



PIANO REGIONALE PER LA BONIFICA DELLE AREE INQUINATE

ALLEGATO 3

ANALISI RELATIVA DI RISCHIO PER SITI INQUINATI

Criterio di Calcolo

Schede Tecniche

CRITERIO DI CALCOLO "ACORlreg-m"

Il *criterio dell'analisi relativa (o comparata) di rischio*, comprende gli strumenti di calcolo a punteggio che forniscono, attraverso l'opportuna elaborazione numerica delle informazioni effettivamente e specificatamente disponibili (documentazione cartacea ufficiale, risultanze da sopralluoghi ed indagini in situ) su un dato universo di siti ("potenzialmente" contaminati, ovvero secondariamente già definiti "contaminati"), una valutazione del grado di pericolosità di ciascun sito *rispetto* ai rimanenti; non si giunge cioè a valutare il rischio in termini assoluti (come accade, al contrario, nella predetta variante dell'analisi assoluta di rischio), ma *relativi* (per l'appunto *comparativi*), consentendo in tal modo d'individuare una possibile *lista di priorità* di interventi tra più siti (Andreottola & Tatàno, 1993; de Fraja Frangipane *et al.*, 1994; Tatàno, 2000, 2003, 2005; D'Aprile *et al.*, 2004, 2007). L'esigenza di disporre di una lista di priorità di interventi può risultar d'importanza non trascurabile, ove si osservi che, generalmente, i siti potenzialmente contaminati possono essere dell'ordine di *centinaia di migliaia* per paese industrializzato (Tatàno, 2006), e conseguentemente rilevante risulta pertanto esser atteso anche il numero di siti effettivamente contaminati, mentre la disponibilità di risorse finanziarie (a livello locale, regionale, statale) per gestire globalmente la problematica della caratterizzazione dettagliata e susseguente risanamento dei siti medesimi è di norma contenuta.

L'applicazione di criteri di analisi relativa (comparata) di rischio può allora consentire di passare dall'universo di siti censiti al sottouniverso su cui effettuare *prioritariamente* ulteriori interventi. Diversi criteri di analisi relativa di rischio sono stati messi a punto nel corso degli ultimi due decenni, a livello internazionale come pure in differenti paesi europei e – espressamente a livello italiano – in diversificate realtà regionali: in particolare, quali approcci internazionali (pur particolarmente esigenti, in termini di disponibilità di dati informativi sui siti in esame), si menzionano significativamente l'"HRS, Hazard Ranking System" elaborato da U.S.EPA (nella versione originaria già risalente al 1982, e nella versione aggiornata seguente, invero ancor più articolata in termini di necessità di input informativi: U.S.EPA, 1984, 1990, 2001), ed il canadese "NCS, National Classification System" (CCME, 1992). A livello normativo italiano, il primo esplicito riferimento all'applicabilità di criteri di analisi relativa di rischio risale al pre-esistente D.M. 16/5/1989 concernente l'elaborazione dei cosiddetti "P.R.B., Piani Regionali di Bonifica" (Ministero dell'Ambiente, 1989), che fu di stimolo per l'avvio elaborativo di diverse proposte regionali italiane di cui alla Tab. 1; tale D.M. prescriveva difatti la necessità di classificare appunto "in ordine decrescente di priorità d'intervento" i siti contenuti (in ciascun "P.R.B.") nel cosiddetto "primo elenco di aree contaminate da sottoporre a bonifica". Susseguentemente, il D.Lgs n. 22/1997 confermava espressamente (all'art. 22) la necessità d'individuare l' "ordine di priorità degli interventi" nell'ambito dei "P.R.B." (previsti quale parte integrante dei Piani Regionali di Gestione dei Rifiuti), precisando poi – il collegato e predetto D.M. n. 471/1999, all'art. 14 – la necessità

di definire tale “ordine di priorità degli interventi di bonifica e ripristino ambientale” da parte di ciascuna Regione secondo i “criteri di valutazione comparata del rischio definiti dall’ANPA”.

Da ultimo, anche l’attuale D.Lgs n. 152/2006 parrebbe confermare l’utilità normativa dell’analisi relativa di rischio quale strumento adoperabile nella valutazione della qualità dei suoli per siti contaminati in Italia, laddove infatti si ribadisce ulteriormente, espressamente all’art. 199 – “Parte IV”, che i “P.R.B.” (nuovamente quale parte integrante dei Piani Regionali di Gestione dei Rifiuti) debbano altresì prevedere “l’ordine di priorità degli interventi, basato su un criterio di valutazione del rischio elaborato dall’APAT”; peraltro, il riferimento all’“ordine di priorità” (fissato nei “P.R.B.”) è altresì esplicitamente contenuto nell’art. 250 dello specifico “Titolo V” della “Parte IV” del D.Lgs medesimo.

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa dei modelli di analisi di rischio conosciuti a livello nazionale e internazionale:

Criteri internazionali di Analisi Relativa di Rischio	Criteri di Analisi Relativa di Rischio in paesi europei	Criteri regionali italiani di Analisi Relativa di Rischio
<p>“HRS, Hazard Ranking System” (versioni: iniziale 1982 ed aggiornata 1990) (USA) – “NCS, National Classification System” (1992: Canada)</p>	<p>“GTK, Geologian TutkimusKeskus” (Finlandia) – “M.I.F.O., Method for Inventories of Contaminated Sites” (Svezia) – “R.U.M., Remediation Urgency Method” (Olanda) – “S.R.A., Simplified Risk Assessment” (Francia) – “S.P.P.S. Geoenviron, System for the Prioritisation of Point Sources” (Danimarca) – “AGAPE”, criterio “ESSEN”, “B.W.M., Baden-Württemberg Method” (Germania) – “D.R.E.A.M., Dundee Risk Evaluator Assessment Model”, “R.R.S.M., Receptor Source Proximity Relative Risk Screening Model” (Regno Unito)</p>	<p>“LR, Lombardia Risorse” (1991), con ulteriore versione semplificata, nell’ambito del “P.R.B.” Regione Toscana – “SP, Snamprogetti” (1990) – “RP, Regione Piemonte” (2000), con ulteriore versione semplificata “RC, Regione Campania” (2002) – “CSSM, Contaminated Site Screening Model” (1992-1993) – “RI.SI.CO.” (2001) – Approccio preliminare “ARPAM, Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente delle Marche” (2003) – “A.R.G.I.A., Analisi del Rischio per la Gerarchizzazione dei siti Inquinati contenuti nell’Anagrafe” (2003) – Modelli di</p>

Tratto dall’articolo su Rifiuti Solidi “Proposta di criterio regionale di analisi relativa di rischio “ACORlreg-m” per siti contaminati.

La peculiarità del modello proposto, visti anche i risultati delle simulazioni a cui è stato sottoposto, è quella di perseguire un equilibrio tra informazioni disponibili, qualità del dato informativo e tempi d’applicazione del criterio scelto. Inoltre il modello permette di adattarsi nella maniera più completa ai modelli concettuali dei siti inquinati su cui dovrà essere eseguita l’analisi di rischio e permette di realizzare simulazioni con tutti gli inquinanti individuati dalla normativa vigente. Il D.Lgs n. 152/2006 in tema di siti contaminati ha di fatto ribadito (a conferma delle precedenti prescrizioni normative)

l'utilità della variante dell'analisi relativa di rischio nell'ambito di un approccio – auspicabilmente integrato (Tatàno, 2006) – di valutazione complessiva della qualità dei suoli, e facendo direttamente e propriamente riferimento all'esperienza (ormai pluriennale, in quanto derivante dall'implementazione territoriale del precedente D.M. n. 471/1999) di disponibilità e catalogazione ufficiale di tipologia e numerosità di dati informativi sui siti potenzialmente contaminati a specifico livello regionale italiano.

Nel presente lavoro, si descrive la strutturazione di calcolo prevista per tale versione iniziale del criterio "ACORlreg-m".

Struttura generale

La versione iniziale della proposta di criterio regionale di analisi relativa del rischio "ACORlreg-m" prende in considerazione le seguenti "categorie di fattori (C)": sorgente di contaminazione ("S"), vettore di trasporto ("V"), obiettivi ("O"). Ciascuna "categoria" è stata disaggregata in taluni "fattori", ognuno dei quali descrive e caratterizza un aspetto specifico della pertinente "categoria"; a ciascun "fattore", è assegnabile un dato valore numerico. Le "vie di migrazione" considerate nella versione iniziale della proposta di criterio "ACORlreg-m" sono: contatto diretto ("CD"), diffusione della contaminazione attraverso la falda ("F"), atmosfera ("A"). Essendo la proposta di criterio "ACORlreg-m" a "struttura" definibile "moltiplicativa" (de Fraja Frangipane et al., 1994; Tatàno, 2000, 2003, 2005), i punteggi attribuiti ad ogni "categoria" vengono moltiplicati tra loro, al fine di determinare il punteggio complessivo della "via di migrazione" considerata, nella rispettiva forma seguente:

$$Rr-CD = CS-CD \times CV-CD \times CO-CD \quad (1)$$

$$Rr-F = CS-F \times CV-F \times CO-F \quad (2)$$

$$Rr-A = CS-A \times CV-A \times CO-A \quad (3)$$

essendo:

- Rr-CD, Rr-F ed Rr-A, i punteggi parziali di "rischio relativo (Rr)" riguardanti le vie di migrazione considerate (rispettivamente "contatto diretto", "falda" ed "atmosfera"); CS-CD, CS-F e CS-A, i punteggi associati alla "categoria sorgente di contaminazione (CS)", rispettivamente per le vie di migrazione "contatto diretto", "falda" ed "atmosfera";
- CV-CD, CV-F e CV-A, i punteggi associati alla "categoria vettore di trasporto (CV)", rispettivamente per le vie di migrazione "contatto diretto", "falda" ed "atmosfera";
- CO-CD, CO-F e CO-A, i punteggi associati alla "categoria obiettivi (CO)", rispettivamente per le vie di migrazione "contatto diretto", "falda" ed "atmosfera".

Si ricorda che, nei criteri di analisi relativa di rischio a "struttura moltiplicativa", il meccanismo di moltiplicazione dei punteggi di "categoria" fa sì che una "via di migrazione", per dar luogo ad un punteggio non nullo (in altri termini, per contribuire fattivamente alla definizione del rischio complessivo), debba risultar completa (de Fraja Frangipane et al., 1994; Tatàno, 2000, 2003, 2005).

In linea con la tipologia di algoritmo di calcolo (media quadratica) originariamente introdotta nel criterio internazionale di riferimento "HRS", nella presente proposta di criterio "ACORlreg-m" il cosiddetto "Indice di Rischio relativo (IRr)", conclusivamente e complessivamente attribuibile a ciascun sito in esame, è calcolabile (in scala numerica con max 1.000) nella forma:

$$IR_r = \sqrt{\frac{(R_r - CD)^2 + (R_r - F)^2 + (R_r - A)^2}{3}}$$

Si ricorda che, nella logica propria dell'approccio dell'analisi relativa di rischio, tale indice complessivo "(IRr)" consente per l'appunto una valutazione comparativa del grado di pericolosità di ciascun sito rispetto ai rimanenti, pervenendo dunque ad una possibile lista in ordine di priorità d'interventi.

Via di migrazione "contatto diretto (CD)"

Categoria di fattori "CS-CD"

Nella proposta di criterio "ACORlreg-m", con "sorgente di contaminazione" – in riferimento alla via di migrazione "contatto diretto" – s'intende lo strato superficiale di suolo presentante concentrazioni di contaminanti superiori ai predetti livelli di soglia "CSC" espressamente riportati in "Allegato 5" alla "Parte IV – Titolo V" del D.Lgs n. 152/2006. Tale categoria di fattori "sorgente di contaminazione (CS-CD)" è comprensiva dei due "fattori (FS)" seguenti:

- FS-CDA: fattore associato alla superficie non pavimentata [m2] di suolo interessato dalla contaminazione alla profondità di 0÷1 m;
- FS-CDB: fattore cosiddetto di "pericolosità".

In accordo alla Tab. 2, il fattore "FS-CDA" può assumere (in presenza di superfici non pavimentate) valori in un intervallo compreso tra 1 e 10, ottenuti normalizzando il valore di superficie (per l'appunto non pavimentata) interessata dalla contaminazione: alla superficie massima riscontrata nell'"universo" di siti considerato si attribuisce il punteggio 10, alla superficie minima il punteggio 1, mentre i valori associati alle superfici intermedie vengono interpolati linearmente di conseguenza.

La superficie (non pavimentata) di suolo interessato dalla contaminazione, alla profondità 0÷1 m, è definibile acquisendo stime riportate in documenti riguardanti indagini dirette sul sito in esame o in seguito a sopralluoghi.

Superficie del sito interessata dalla contaminazione	Punteggio
Superficie (non pavimentata) massima	10
Superficie (non pavimentata) minima	1
Superficie (non pavimentata) intermedia	Interpolazione lineare
Solo area pavimentata	0

Tab.2 Proposta di criterio "ACORIREG-M": punteggi attribuibili al fattore "FS-CDA" nell'ambito della categoria "sorgente di contaminazione (S)" per la via di migrazione "contatto diretto (CD)"

Il fattore di "pericolosità (FS-CDB)" viene invece calcolato per ogni contaminante – rinvenuto nel sito in esame – che presenti superamento delle predette "CSC" di cui all'"Allegato 5" alla "Parte IV – Titolo V" del D.Lgs n. 152/2006; in particolare, la concentrazione del contaminante si riferisce sempre al valore max tra tutti i campionamenti superficiali effettuati presso il sito in esame alla profondità di riferimento 0÷1 m. La procedura di determinazione del punteggio del fattore "FS-CDB" prevede inizialmente il calcolo del rapporto tra la predetta concentrazione del dato contaminante nella matrice suolo superficiale e la corrispondente "Concentrazione Soglia di Rischio generica (CSRg)" ufficialmente riportata nell' "Appendice Q (Criteri per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici)" dei predetti "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" (APAT, 2006). Si precisa che, nella suddetta "Appendice Q", tali livelli "CSRg" di riferimento sono stati espressamente derivati dall'applicazione di un'analisi assoluta di rischio eseguita in modalità "inversa" ("backward") con riguardo ad un sito "generico" (con valori di "default" dei parametri significativi intervenenti nell'analisi) (APAT, 2006).

Propriamente per tale via di migrazione "contatto diretto", si sono esclusivamente considerati i livelli "CSRg" elencati – nella predetta "Appendice Q" – per la sorgente di contaminazione "suolo superficiale" e le modalità di esposizione "contatto dermico" ed "ingestione di suolo" (differenziatamente per le possibili destinazioni d'uso "residenziale" ed "industriale"), assumendo di volta in volta il valore di soglia più restrittivo.

Da ultimo, i valori ottenuti (per ogni contaminante di sito) del predetto rapporto $[(\text{concentrazione contaminante nel suolo superficiale}) / (\text{CSRg})]$ vengono sommati tra loro, al fine di ottenere il punteggio di pericolosità (non normalizzato) relativo al sito in esame; effettuata tale sommatoria per tutti i siti dell'"universo" considerato, si procede alla conseguente normalizzazione in scala 1-10, individuando in tal modo i punteggi corrispondenti "FS-CDB"; l'assenza di rilevamento di contaminanti nel suolo superficiale, conduce – per il sito corrispondente – all'annullamento del fattore "FS-CDB" in esame.

In conclusione, il punteggio (“CS-CD”, soggetto ad un valore max 10) della categoria “sorgente di contaminazione” per la via di migrazione “contatto diretto” viene calcolato nella semplice forma seguente:

$$CS-CD = 1/2 \times (FS-CDA + FS-CDB) \quad (5)$$

Si precisa altresì che l'implementazione su foglio elettronico – effettuata per la presente proposta di criterio “ACORlreg-m” – prevede comunque l'annullamento di tale punteggio di categoria “CS-CD” nel caso in cui uno dei due predetti fattori (“FS-CDA ” o “FS-CDB”) dovesse risultar nullo.

Categoria di fattori “CV-CD”

Tale categoria di fattori “vettore di trasporto (CV-CD)” considera l'eventualità che bersagli (esseri viventi) possano entrar in contatto con il suolo superficiale contaminato, in caso di condizioni di possibile accessibilità al sito in esame. Essa è comprensiva dei due “fattori (FV)” seguenti:

- FV-CDA: fattore associato all'accessibilità al sito;
- FV-CDB: fattore associato alla presenza di lavoratori/residenti nel sito.

Il fattore “FV-CDA” valuta la possibilità di accesso al sito dall'esterno da parte della popolazione potenzialmente esposta, in accordo ai punteggi attribuibili di Tab. 3. Il fattore “FV-CDB” valuta invece la presenza nel sito di lavoratori/residenti, in accordo ai punteggi attribuibili di Tab. 4.

Possibilità di accesso al sito	<i>Punteggio</i>
Accessibile	10
Parzialmente accessibile	5
Inaccessibile	1

Tab.3 Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FV-CDA” nell'ambito della categoria “vettore di trasporto (V)” per la via di migrazione “contatto diretto (CD)”

Presenza di lavoratori/residenti	<i>Punteggio</i>
Si	10
No	0

Tab. 4 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FV-CDB” nell'ambito della categoria “vettore di trasporto (V)” per la via di migrazione “contatto diretto (CD)”

In conclusione, il punteggio di categoria “CV-CD” (soggetto ad un valore max 10) viene calcolato nella semplice forma seguente:

$$CV-CD = 1/2 \times (FV-CDA + FV-CDB) \quad (6)$$

Categoria di fattori “CO-CD”

Tale categoria di fattori “obiettivi (CO-CD)” è comprensiva dei due “fattori (FO)” seguenti:

- FO-CDA: fattore associato alla destinazione d’uso del suolo;
- FO-CDB: fattore associato alla presenza di bersagli sensibili umani (quali scuole, ospedali, centri di aggregazione) entro un raggio di 500 m rispetto al perimetro del sito in esame.

I punteggi attribuibili ai predetti fattori “FO-CDA” ed “FO-CDB” sono riportati rispettivamente in Tab. 5 e Tab. 6.

Uso del suolo	Punteggio
Ricreativo– residenziale	10
Agricolo	5
Industriale– commerciale	1

Tab. 5 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FO-CDA” nell’ambito della categoria “obiettivi (O)” per la via di migrazione “contatto diretto (CD)”

Presenza di bersagli sensibili (scuole, centri di aggregazione, ospedali, ecc.)	<i>Punteggio</i>
Si	10
No	0

Tab. 6 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FO-CDB” nell’ambito della categoria “obiettivi (O)” per la via di migrazione “contatto diretto (CD)”

In conclusione, il punteggio di categoria “CO-CD” (soggetto ad un valore max 10) viene calcolato nella semplice forma seguente:

$$CO-CD = 1/2 \times (FO-CDA + FO-CDB) \quad (7)$$

Punteggio via di migrazione

Il punteggio di rischio (“Rr-CD”) riguardante la via di migrazione “contatto diretto”, determinabile mediante l’algoritmo moltiplicativo della relazione (1), risulta essere definito in una scala numerica 0÷1.000. La Fig. 1 riporta uno schema di flusso sintetico sulla strutturazione di tale via di migrazione.

Via di migrazione “falda (F)”

Categoria di fattori “CS-F”

Nella proposta di criterio “ACORlreg-m”, con “sorgente di contaminazione” – in riferimento alla via di migrazione “falda” – s’intende il volume (effettivo) di acqua di falda che presenta concentrazioni superiori rispetto a quelle corrispondenti di soglia “CSC” definite nel predetto “Allegato 5” alla “Parte IV – Titolo V” del D.Lgs n. 152/2006.

Tale considerazione di sorgente di contaminazione avviene nell’assunzione di condizioni conservative di stazionarietà ed equilibrio della contaminazione in falda. Tale categoria di fattori “sorgente di contaminazione (CS-F)” è comprensiva dei due “fattori (FS)” seguenti:

- FS-FA: fattore associato al volume (effettivo) di acqua di falda contaminata [m³];
- FS-FB: fattore cosiddetto di “pericolosità”.

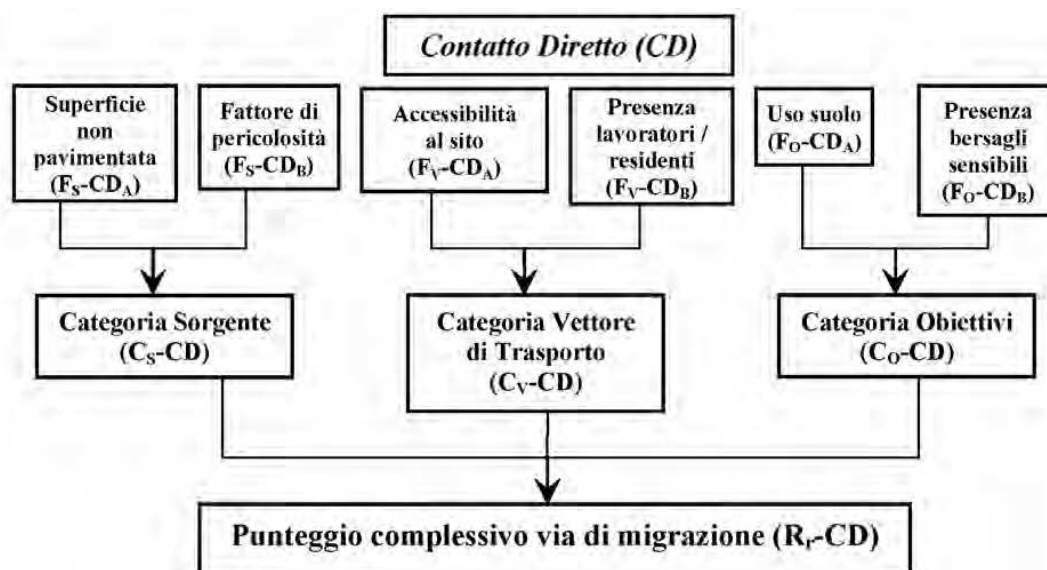


Fig. 1 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: schema di flusso di sintesi riguardante la strutturazione della via di migrazione “contatto diretto (CD)”.

In accordo alla Tab. 7, il fattore “FS-FA” può assumere valori in un intervallo compreso tra 1 e 10, ottenuti normalizzando il valore di volume (effettivo) di falda contaminata (in analogia metodologica di normalizzazione con il parametro “FS-CDA”: cfr. Tab. 2). Si osservi che, ove non direttamente riportato numericamente nella documentazione cartacea ufficiale disponibile per il sito in esame, il volume (complessivo) di acquifero contaminato è stimabile a partire dalla carte di iso-concentrazione dei contaminanti; tale

volume viene quindi successivamente moltiplicato per la “porosità efficace” (propriamente adoperabile dal fluido in movimento) del mezzo saturo, derivabile dalla documentazione cartacea ufficiale del sito in esame ovvero (alternativamente) da indicazioni di letteratura tecnico-scientifica (quali ad esempio, e propriamente per taluni siti di studio di cui al seguente Cap. 3, la lista per diversificate e molteplici tipologie litologiche dell’“USGS, U.S. Geological Survey”).

Volume (effettivo) acquifero contaminato	<i>Punteggio</i>
Volume massimo	10
Volume minimo	1
Volume intermedio	Interpolazione lineare
Assenza contaminazione rilevata di falda – assenza falda	0

Tab. 7 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FS-FA” nell’ambito della categoria “sorgente di contaminazione (S)” per la via di migrazione “falda (F)”

Il fattore di pericolosità “FS-FB” viene determinato in analogia metodologica con il corrispondente fattore “FS-CDB” riguardante la predetta via di migrazione “contatto diretto” prendendo tuttavia espressamente a riferimento i livelli “CSRg” dell’“Appendice Q (Criteri per il calcolo degli obiettivi di bonifica sito-specifici)” dei predetti “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati” APAT, 2006) per la sorgente di contaminazione “falda” e la modalità di esposizione “ingestione d’acqua – rischio risorsa idrica” (invero, di fatto coincidenti con le soglie “CSC” per le acque sotterranee riportate in “Tabella 2” del predetto “Allegato 5” alla “Parte IV – Titolo V” del D.Lgs n. 152/2006).

Si osservi che, nel caso in cui – per il sito in esame – non siano direttamente disponibili concentrazioni sperimentali e documentate dei contaminanti in falda, ai fini della determinazione del punteggio per tale fattore “FS-FB” l’implementazione su foglio elettronico della presente proposta di criterio “ACORlreg-m” contempla la stima modellistica della concentrazione del contaminante in falda (nella zona di miscelazione) – a partire dalla concentrazione disponibile nella sorgente suolo – in accordo alla modellizzazione teorica riportata in Di Molfetta & Aglietto, 1999 ed UNICHIM, 2002 (modellizzazione peraltro riferita ai predetti protocolli internazionali di analisi assoluta di rischio ASTM “RBCA, PS 104” ed U.S.EPA “SSLs”).

In conclusione, il punteggio (“CS-F”, soggetto ad un valore max 10) della categoria “sorgente di contaminazione” per la via di migrazione “falda” viene calcolato nella semplice forma seguente:

$$CS-F = 1/2 \times (FS-FA + FS-FB) \quad (8)$$

1.3.2 Categoria di fattori "CV-F"

Tale categoria di fattori "vettore di trasporto (CV-F)" è indicativa della capacità intrinseca di trasporto dei contaminanti attraverso l'acquifero fino ai bersagli viventi umani eventualmente interessati. Essa è comprensiva dei due "fattori (FV)" seguenti:

- FV-FA: fattore associato alla conducibilità idraulica dell'acquifero;
- FV-FB: fattore associato al gradiente idraulico dell'acquifero.

I punteggi attribuibili al fattore "FV-FA", riportati in Tab. 8, sono stati individuati aggregativamente per classi di tipologie litologiche del mezzo poroso costituente l'acquifero e/o classi di valori di conducibilità idraulica [cm s^{-1}], traendo spunto di riferimento iniziale dalle indicazioni di "default" di letteratura tecnico-scientifica sui valori (min, max) di conducibilità idraulica in funzione dei principali tipi di suoli espressamente riportate in UNICHIM, 2002. I punteggi attribuibili al fattore "FV-FB" sono riportati invece in Tab. 9, laddove le classi di gradiente idraulico corrispondenti sono state individuate sulla base del quadro conoscitivo reale su dati di caratterizzazione dei siti potenzialmente contaminati e contaminati ad un livello regionale di studio.

Conducibilità idraulica	Tipologie di suolo	Punteggio
Alta (maggiore di 10^{-4} cm s^{-1})	Sabbioso, sabbioso tendente medio, medio sabbioso, di grana media	10
Media (compresa tra 10^{-4} cm s^{-1} e 10^{-6} cm s^{-1})	Limoso, medio limoso, medio argilloso tendente sabbioso, medio argilloso	5
Bassa (minore di 10^{-6} cm s^{-1})	Medio argilloso tendente limoso, argilloso sabbioso, argilloso limoso, argilloso	1

Tab. 8 – Proposta di criterio "ACORlreg-m": punteggi attribuibili al fattore "FV-FA" nell'ambito della categoria "vettore di trasporto (V)" per la via di migrazione "falda (F)"

Gradiente idraulico	Valore (adim.)	Punteggio
Alto	Maggiore di 10^{-3}	10
Medio	Compreso tra 10^{-3} e 10^{-5}	5
Basso	Minore di 10^{-5}	1

Tab. 9 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FV-FB” nell’ambito della categoria “vettore di trasporto (V)” per la via di migrazione “falda (F)”

In conclusione, il punteggio di categoria “CV-F” (soggetto ad un valore max 10) viene calcolato nella semplice forma seguente:

$$CV-F = 1/2 \times (FV-FA + FV-FB) \quad (9)$$

Categoria di fattori “CO-F”

Tale categoria di fattori “obiettivi (CO-F)” considera, come obiettivi potenzialmente raggiungibili a seguito della contaminazione della falda acquifera, i pozzi per la captazione delle acque e gli utilizzi eventuali delle acque superficiali (in interazione idrogeologica con la falda dell’area in esame). Essa è comprensiva dei due “fattori (FO)” seguenti:

- FO-FA: fattore associato ai pozzi di captazione;
- FO-FB: fattore associato ai corpi idrici superficiali.

Il punteggio associato al “fattore rischio pozzi FO-FA”, si ottiene classificando i pozzi medesimi in base al loro utilizzo e alla distanza rispetto alla sorgente di contaminazione. In particolare, la presente proposta di criterio “ACORlreg-m” considera tutti i pozzi compresi entro un raggio di 500 m dal perimetro del sito, individuando preliminarmente – per ciascun pozzo – i seguenti sotto-punteggi:

- FO-FA-u: sotto-punteggio attribuibile in funzione della tipologia di utilizzo (“u”) del pozzo, in accordo alla Tab. 10;
- FO-FA-d: sotto-punteggio attribuibile invece in funzione della distanza (“d”) del pozzo dal sito (espressa in m, e derivabile da opportuna cartografia), assumendolo esattamente corrispondente all’inverso di tale distanza (vale a dire: FOFA-d = 1 / [distanza pozzo in

m]) in modo da associare un punteggio (e corrispondente rischio) più elevato ai pozzi a minor distanza dalla sorgente di contaminazione.

I valori ottenuti dei predetti sotto-punteggi (FO-FA-u, FO-FA-d), relativi ad ogni singolo pozzo, vengono quindi moltiplicati tra loro, così da ricavare il punteggio complessivo per ciascun pozzo. Da ultimo, la somma dei predetti punteggi di prodotto dei singoli pozzi riguardanti un dato sito, permette di ottenere il punteggio (non normalizzato) del fattore “FO-FA” per il sito in esame; la normalizzazione finale (con riferimento all’“universo” di siti considerati) dei punteggi di tale fattore – su scala 1-10 – avviene attribuendo punteggio 10 al valore max (non normalizzato), punteggio 1 al valore min (non normalizzato), ed interpolando linearmente di conseguenza i valori intermedi (non normalizzati).

Utilizzo pozzo	Punteggio
Non utilizzato	1
Industriale	2
Irriguo	3
Potabile	4

Tab. 10 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al sotto-fattore “FO-FA-u” nell’ambito della categoria “obiettivi (O)” per la via di migrazione “falda (F)”

Anche con riferimento al “fattore rischio corpi idrici superficiali FO-FB”, la presente proposta di criterio “ACORlreg-m” classifica tali corpi idrici in base alla modalità di utilizzo delle acque ed alla distanza rispetto alla sorgente di contaminazione (sito in esame).

Nuovamente, sono presi in considerazione i corpi idrici superficiali presenti entro un raggio di 500 m dal perimetro del sito; va peraltro evidenziata la maggior semplicità procedurale di calcolo rispetto al precedente fattore “FO- FA”, dal momento che l’interazione tra acque di falda e quelle superficiali viene valutata in maniera assai semplice – nella presente proposta di criterio – considerando il corpo idrico superficiale nel cui bacino di drenaggio ricade il sito in esame. In analogia ad “FO-FA”, anche il fattore “FO-FB” viene disaggregato in due sotto-punteggi:

- FO-FB-u: sotto-punteggio attribuibile in funzione della tipologia di utilizzo (“u”) delle acque del corpo idrico superficiale, in accordo alla Tab. 11;
- FO-FB-d: sotto-punteggio attribuibile in funzione della distanza (“d”) del corpo idrico superficiale dal sito (espressa in m, e derivabile da opportuna cartografia), assumendolo corrispondente all’inverso di tale distanza (vale a dire:FOFB-d = 1 / [distanza in m]) in modo da associare punteggi (e corrispondenti livelli di rischio) più elevati ai corpi idrici a minor distanza dai rispettivi siti.

Utilizzo acque del corpo idrico superficiale	<i>Punteggio</i>
Non utilizzato	1

Industriale	2
Irriguo	3
Potabile, balneazione	4

Tab. 11 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al sotto-fattore “FO-FB-u” nell’ambito della categoria “obiettivi (O)” per la via di migrazione “falda (F)”

Conseguentemente, i valori ottenuti dei predetti sotto-punteggi (FO-FB-u, FO-FB-d), vengono moltiplicati tra loro, così da ottenere il punteggio complessivo “FO-FB” (non normalizzato) per il dato corpo idrico superficiale (e dunque per il dato sito); da ultimo, la normalizzazione finale (con riferimento all’universo di siti considerati) dei punteggi di tale fattore – su scala 1-10 – avviene attribuendo al solito punteggio 10 al valore max (non normalizzato), punteggio 1 al valore min (non normalizzato), ed interpolando linearmente i valori intermedi (non normalizzati).

In conclusione, il punteggio di categoria “CO-F” (soggetto ad un valore max 10) viene calcolato nella semplice forma seguente:

$$CO-F = 1/2 \times (FO-FA + FO-FB) \quad (10)$$

Punteggio via di migrazione

Il punteggio di rischio (“Rr-F”) riguardante la via di migrazione “falda”, determinabile mediante l’algoritmo moltiplicativo della relazione (2), risulta essere definito in una scala numerica 0÷1.000. La Fig. 2 riporta un diagramma di flusso sintetico sulla strutturazione di tale via di migrazione.

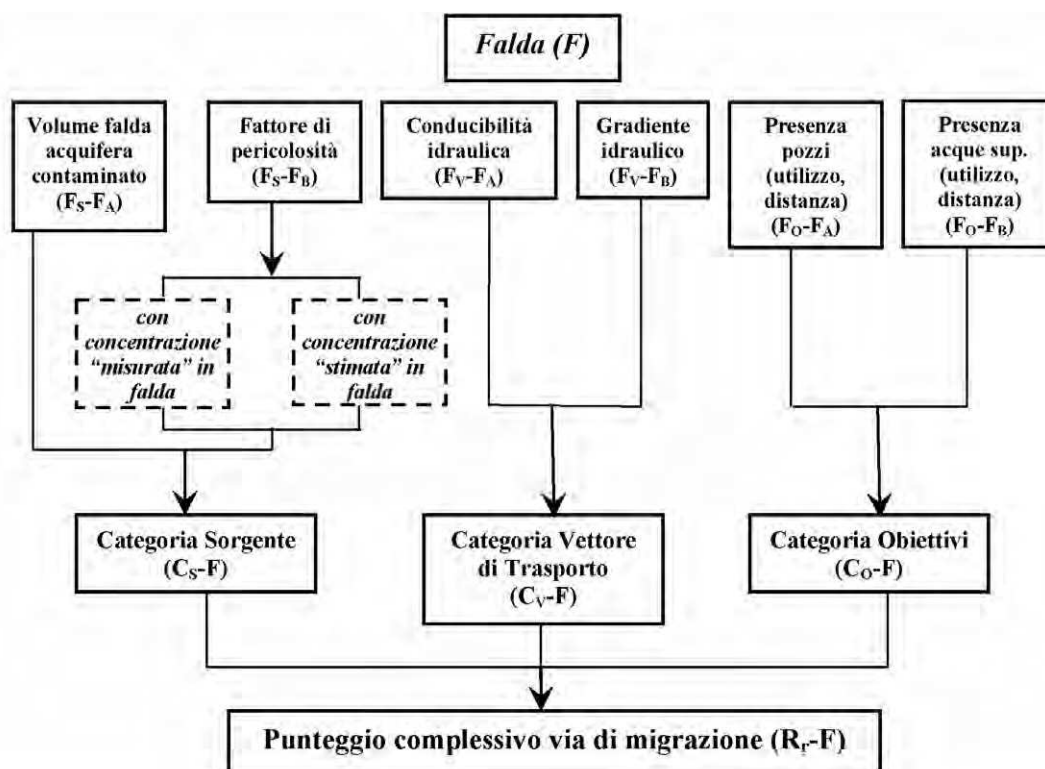


Fig. 2 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: schema di flusso di sintesi riguardante la strutturazione della via di migrazione “falda (F)”

Via di migrazione “atmosfera (A)”

Categoria di fattori “CS-A”

Nella presente proposta di criterio “ACORlreg-m”, la caratterizzazione della “sorgente di contaminazione” per la via di migrazione “atmosfera”, viene eseguita considerando il contributo alla formazione di vapori inquinanti che possono potenzialmente generarsi da “suolo superficiale (s-sup)”, “suolo profondo (s-p)” ed “acque di falda (f)” contaminate.

Pertanto, a differenza delle vie di migrazioni precedenti, si perverrà inizialmente ad un punteggio di categoria disaggregato per l'appunto per

“suolo superficiale” (in simboli “CS-As-sup”),

“suolo profondo” (in simboli “CS-As-p”)

e “falda” (in simboli “CS-Af”).

Più precisamente, per ciascuna di tali possibili sotto-sorgenti, tale categoria di fattori (“CS-As-sup”, “CS-As-p”, “CS-Af”) è comprensiva dei due “fattori (FS)” seguenti:

- FS-AA: fattore associato alla superficie [m²] di ciascuna matrice contaminata;
- FS-AB: fattore cosiddetto di “pericolosità”.

Nello specifico, e per ciascuna matrice contaminata (“s-sup”, “s-p”, “f”), il fattore “FS-AA” può assumere valori in un intervallo compreso tra 1 e 10, ottenuti normalizzando il valore di superficie contaminata: alla superficie massima riscontrata nell’“universo” di siti considerato, si attribuisce il punteggio 10, alla superficie minima il punteggio 1, mentre i valori associati alle superfici intermedie vengono (al solito) interpolati linearmente. Tali superfici di suolo superficiale, suolo profondo e falda contaminati possono essere utilmente definite acquisendo stime riportate in documentazioni ufficiali riguardanti indagini dirette presso i siti ovvero in seguito a sopralluoghi.

Il fattore di pericolosità “FS-AB” viene invece calcolato in accordo alla metodologia procedurale già descritta ai precedenti Sottopar. 1.2.1 e 1.3.1.

Si precisa tuttavia che, con riferimento alla presente via di migrazione, si sono espressamente considerate le seguenti tipologie di livelli “CSRg” (ufficialmente riportate nell’“Appendice Q” dei predetti “Criteri metodologici per l’applicazione dell’analisi assoluta di rischio ai siti contaminati”):

- “suolo superficiale (s-sup)”: CSRg – inalazione vapori indoor (residenziale ed industriale), CSRg – inalazione vapori outdoor (residenziale ed industriale);
- “suolo profondo (s-p)”: CSRg – inalazione vapori indoor (residenziale ed industriale), CSRg – inalazione vapori outdoor (residenziale ed industriale);
- “falda (f)”: CSRg – falda indoor (residenziale ed industriale), CSRg – falda outdoor (residenziale ed industriale).

Susseguentemente, in maniera disaggregata per ciascuna matrice considerata, il corrispondente punteggio parziale (“CS-As-sup”, “CS-As-p”, “CS-Af”, soggetto ad un valore max 10) è determinabile nelle semplici forme seguenti:

$$CS-As-sup = 1/2 \times (FS-AA, s-sup + FS-AB, s-sup) \quad (11)$$

$$CS-As-p = 1/2 \cdot (FS-AA, s-p + FS-AB, s-p) \quad (12)$$

$$CS-Af = 1/2 \cdot (FS-AA, f + FS-AB, f) \quad (13)$$

Da ultimo, il punteggio complessivo (“CS-A”, soggetto ad un valore max possibile 10) della categoria “sorgente di contaminazione” per la via di migrazione “atmosfera” viene calcolato come media aritmetica dei tre predetti punteggi disaggregati:

$$CS-A = (CS-As-sup + CS-As-p + CS-Af) / 3 \quad (14)$$

Categoria di fattori “CV-A”

Tale categoria di fattori “vettore di trasporto (CV-A)” è comprensiva dei due “fattori (FV)” seguenti:

- FV-AA: fattore associato alla permeabilità assoluta (o intrinseca) all’aria (de Fraja Frangipane et al., 1994) del terreno insaturo;
- FV-AB: fattore associato alla tipologia di superficie del sito in esame.

Circa il fattore “FV-AA”, si procede innanzitutto all’attribuzione – con riferimento ai tipi litologici presenti nella zona vadosa del sito in esame – del valore più basso di permeabilità intrinseca all’aria (misurabile in darcy, essendo 1 Darcy = 10⁻⁸ cm²: De Fraja Frangipane et al., 1994) individuabile (nella presente proposta iniziale di criterio “ACORlreg-m”) sulla base delle indicazioni (pur generiche) di letteratura tecnico-scientifica internazionale di Tab. 12. Quindi, la determinazione dei punteggi “FV-AA” avviene propriamente – per l’universo di siti considerati – normalizzando in scala 1-10 i predetti valori di permeabilità all’aria: al valore massimo di permeabilità all’aria riscontrato nell’universo di siti considerato si attribuisce cioè il punteggio 10, al valore minimo il punteggio 1, mentre i valori intermedi vengono (al solito) interpolati linearmente.

Il susseguente fattore “FV-AB” valuta invece la tipologia di superficie del sito ai fini della possibilità per gli eventuali contaminanti volatilizzati di migrare fino ai bersagli umani attraverso appunto la dispersione in aria, in accordo ai punteggi attribuibili secondo la classificazione qualitativa di Tab. 13; si precisa che, la considerazione di un punteggio unitario in Tab. 13 per la tipologia di superficie comunque “pavimentata”, viene assunta cautelativamente a significare la possibile presenza (attuale o futura) di fessure, discontinuità, fratturazioni.

Da ultimo, il punteggio di categoria “CV-A” (soggetto ad un valore max 10) viene al solito calcolato nella forma:

$$CV-A = 1/2 \times (FV-AA + FV-AB) \quad (15)$$

Tipo di suolo	Permeabilità all’aria [darcy]
----------------------	--

Limo	0,001 – 0,01
Sabbia limosa	0,01 – 0,1
Sabbia fine	0,1 – 1
Sabbia media	1 – 10
Sabbia grossolana	> 10

Tab. 12 – Valori di permeabilità intrinseca all'aria in funzione di tipi litologici di terreno (LaGrega et al., 2001)

Tipologia di superficie	Punteggio
Pavimentata	1
Parzialmente pavimentata	5
Non pavimentata	10

Tab. 13 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FV-AB” nell’ambito della categoria “vettore di trasporto (V)” per la via di migrazione “atmosfera (A)”

Categoria di fattori “CO-A”

Tale categoria di fattori “obiettivi (CO-A)” è comprensiva dei seguenti “fattori (FO)”:

- FO-AA: fattore associato alla tipologia di ambienti di vita sovrastanti e/o limitrofi alla sorgente di contaminazione;
- FO-AB: fattore associato alla possibile presenza di bersagli umani sensibili (quali scuole, centri d’aggregazione, ospedali) nel raggio di 500 m dal perimetro del sito in esame.

Nello specifico, in accordo alla Tab. 14 il parametro “FO-AA” considera qualitativamente la tipologia di ambienti di vita (indoor o outdoor) e il relativo uso (residenziale o commerciale/industriale). Circa invece il susseguente fattore “FO-AB”, si provvede assai semplicemente ad attribuire i due possibili punteggi (cfr., per analogia, Tab. 6): 10, in presenza dei predetti bersagli sensibili (entro il raggio di 500 m); 0, in assenza di bersagli sensibili.

Al solito, il punteggio complessivo di categoria “CO-A” (soggetto ad un valore max 10) viene calcolato nella semplice forma seguente:

CO-A = 1/2 x (FO-AA + FO-AB) (16) 2.4.4 Punteggio via di migrazione Il punteggio di rischio (“Rr-A”) riguardante la via di migrazione “atmosfera”, determinabile mediante la

relazione (3), risulta essere al solito definito in scala numerica 0÷1.000. La Fig. 3 contempla uno schema di flusso sintetico sulla strutturazione di tale via di migrazione.

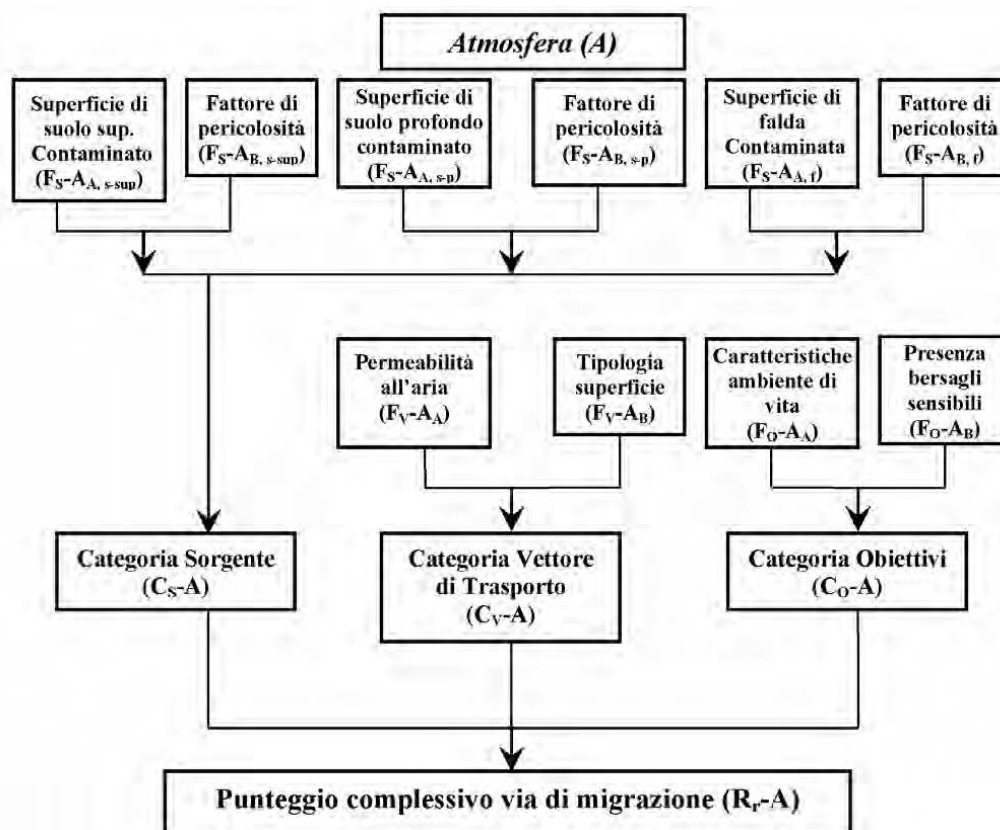


Fig. 3 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: schema di flusso di sintesi riguardante la strutturazione della via di migrazione “atmosfera (A)”

Tipologia ambienti sovrastanti limitrofi la sorgente di contaminazione	Punteggio
Destinazione d'uso residenziale con presenza ambienti indoor	10
Destinazione d'uso commerciale/industriale con presenza ambienti indoor	7
Destinazione d'uso residenziale con ambienti outdoor	4
Destinazione d'uso commerciale/industriale con ambienti outdoor	1

Tab. 14 – Proposta di criterio “ACORlreg-m”: punteggi attribuibili al fattore “FO-AA” nell’ambito della categoria “obiettivi (O)” per la via di migrazione “atmosfera (A)”

Valutazione parametrica dell'attendibilità dei dati informativi per sito

Stante l'eterogeneità della qualità dei dati informativi in possesso per applicare l'analisi relativa di rischio, si è ritenuto utile prevedere una (seppur estremamente semplice) valutazione parametrica dell'attendibilità dei dati informativi. Tale valutazione (riconducibile propriamente al parametro definibile "attendibilità dati informativi") consiste nella seguente determinazione percentuale:

$$\text{Attendibilità dati informativi sito [\%]} = \frac{\{(n.\text{tot fattori})\text{criterio} - (n.\text{fattori stimati})\text{sito}\}}{(n.\text{tot fattori})\text{criterio}} \times 100 \quad (17)$$

Laddove "(n. tot fattori) criterio" rappresenta il numero complessivo dei "fattori" interventi nel criterio di analisi di rischio, mentre "(n. fattori stimati) sito" rappresenta, per il dato sito, il numero di "fattori" le cui informazioni sono accreditabili con un grado informativo non pienamente ottimale.

Più precisamente: dati informativi derivabili da piani di caratterizzazione, indagini preliminari e sopralluoghi/indagini direttamente eseguite sul sito, sono ritenute altamente attendibili; al contrario, dati e valori desunti da fonti bibliografiche, simulazioni di calcolo (quali quella relativa alla stima modellistica eventuale della concentrazione in falda di cui al precedente Sottopar. 1.3.1) ovvero fonti informative non accreditate, sono considerabili con grado di affidabilità inferiore, e dunque concorrenti all'individuazione del predetto valore "(n. fattori stimati) sito".

Nelle tabelle allegate i fattori con un grado informativo non pienamente ottimale sono stati indicati in rosso.