

5 Gerarchizzazione dei siti minerari censiti

La direttiva 2006/21/CE del 15 marzo 2006, relativa alla “gestione dei rifiuti delle industrie estrattive” e che modifica la direttiva 2004/35/CE, convertita con DL 117/2008, riporta le seguenti considerazioni politiche iniziali:

«I rifiuti delle industrie estrattive rappresentano un flusso di rifiuti quantitativamente rilevante nell'UE...

Si calcola che tali rifiuti rappresentino circa il 29% del totale dei rifiuti prodotti ogni anno nell'UE e che il loro volume annuo superi i 400 milioni di tonnellate⁶⁴.

Una parte di questi rifiuti è inerte...

Altre frazioni, invece – in particolare quelle generate dall'estrazione di metalli non ferrosi – possono contenere notevoli quantità di sostanze pericolose, ad esempio metalli pesanti. La disponibilità chimica dei metalli e dei composti metallici tende ad aumentare con l'estrazione e la successiva lavorazione dei minerali: da questo possono avere origine fenomeni di drenaggio acido o alcalino. Inoltre, la gestione degli sterili è un'attività intrinsecamente rischiosa anche per la presenza, in molti casi, di residui delle sostanze chimiche di processo impiegate nonché di livelli elevati di metalli. In molti casi gli sterili vengono depositati in cumuli o grandi bacini contenuti da dighe. Il crollo di dighe o cumuli può avere gravi conseguenze sull'ambiente e sulla salute e la sicurezza delle persone⁶⁵, come dimostrano gli incidenti verificatisi ad Aberfan (Galles, 1966)⁶⁶, Stava (Italia, 1985)⁶⁷, Aznalcóllar (Spagna, 1998)⁶⁸, Baia Mare e Baia Borsa (Romania, 2000)⁶⁹. Altre probabili ripercussioni significative sono legate all'impronta ambientale delle strutture di smaltimento dei rifiuti e quindi alla perdita di produttività del terreno, agli effetti sugli ecosistemi, alla polvere e all'erosione.

Le ripercussioni ambientali e socioeconomiche possono durare a lungo nel tempo e gli interventi correttivi, oltre ad essere estremamente difficili da attuare, possono comportare costi elevatissimi. Per questo è indispensabile gestire in modo corretto i rifiuti delle industrie estrattive, al fine di garantire in particolare la stabilità a lungo termine delle strutture di smaltimento e di prevenire o ridurre al minimo l'inquinamento delle acque e del suolo dovuto al drenaggio acido o alcalino e alla lisciviazione di metalli pesanti.

.....

Questa proposta, che scaturisce da una comunicazione della Commissione intitolata “Sicurezza delle attività minerarie: situazione dopo i recenti incidenti” dell'ottobre 2000⁷⁰, fa seguito ai già citati incidenti minerari verificatisi recentemente in Spagna e Romania e segnala la necessità di una revisione della politica ambientale comunitaria in relazione alla gestione dei rifiuti delle miniere e delle cave.

⁶⁴ Dati dell'AEA, http://themes.eea.eu.int/Environmental_issues/waste/indicators/generation/index.html.

⁶⁵ Giova ricordare che, a livello mondiale, negli ultimi 30 anni si sono verificati ogni anno in media 1,7 crolli di dighe di contenimento degli sterili (vedi A.D.M. Penman, *Risk analyses of tailings dams constructions*, intervento presentato al convegno “Safe Tailings Dams Constructions” svoltosi dal 19 al 21 settembre 2001 a Gaellivare (Svezia), http://europa.eu.int/comm/environment/waste/mining_dams_seminar.pdf).

⁶⁶ Il peggior incidente nella storia del Regno Unito ebbe luogo ad Aberfan (Galles) nel 1966 in seguito al crollo di un cumulo di rifiuti inerti provenienti da una miniera di carbone, che causò la morte di 144 persone, in gran parte bambini.

⁶⁷ Il 19 luglio 1985 a Stava, Trento, un bacino di decantazione per sterili di fluorite ha ceduto, rilasciando 200 000 m³ di sterili; l'incidente ha causato 268 morti e la distruzione di 62 edifici.

⁶⁸ A seguito di questo incidente nel fiume Guadiamar sono stati immessi 2 milioni di m³ di sterili e 4 milioni di m³ di acqua contaminata da metalli pesanti in una zona vicina al parco naturale Doñana, nell'Andalusia meridionale.

⁶⁹ A Baia Mare, l'esplosione in un bacino di decantazione ha fatto sì che circa 100 000 m³ di acque reflue contenenti fino a 120 tonnellate di cianuro e metalli pesanti si riversassero nel fiume Lapus, proseguissero il cammino fino ai fiumi Someş e Tisa in Ungheria prima di immettersi nel Danubio. A Baia Borsa 20 000 tonnellate di sterili si sono riversate nel Novat, affluente dei fiumi Viseu e Tisa.

⁷⁰ COM(2000)664 def.

La comunicazione definisce tre azioni prioritarie intese a rendere più sicura la gestione dei rifiuti minerari.

Tali azioni sono:

- a) una modifica della direttiva Seveso II⁷¹ al fine di includere nel suo campo di applicazione la gestione dei rifiuti di miniera e la lavorazione dei minerali;*
- b) un'iniziativa volta a promuovere l'elaborazione di una nuova direttiva sulla gestione dei rifiuti delle industrie estrattive (la presente proposta)*
- c) la stesura di un documento sulle migliori tecniche disponibili (BAT) per la gestione della roccia sterile e degli sterili nelle attività minerarie.*

.....

La presente proposta di direttiva sulla gestione dei rifiuti delle industrie estrattive mira ad istituire un quadro giuridico specifico per questo particolare flusso di rifiuti ...»

Da quanto sopra risulta:

- la consapevolezza dell'importanza qualitativa e quantitativa dei problemi ambientali causati dalla presenza sul territorio di siti minerari non gestiti opportunamente
- l'individuazione di due tipologie di rischio ben definite: ecologico-sanitario, statico-strutturale
- la necessità di un inventario dei siti da sottoporre a bonifica e recupero⁷²

Tale inventario, anche se l'ultima versione della proposta di Direttiva, al contrario delle precedenti⁷³, appare meno stringente nelle richieste, dovrà necessariamente contenere informazioni sito-specifiche, impossibili da ottenere se non attraverso una serie di sopralluoghi.

Tenendo conto della numerosità dei siti censiti nel database in oggetto, non è proponibile una politica dei sopralluoghi che non sia orientata da una precedente gerarchizzazione dei siti, che sia funzione dei rischi potenziali, sia di tipo ecologico-sanitario che statico-strutturale.

Per questa ragione, nei successivi paragrafi, si propone una metodologia di calcolo dell'indice relativo di rischio ecologico-sanitario per i siti minerari, mutuato dalla pratica degli indici relativi di rischio dei siti da bonificare.

Per quanto riguarda, invece, l'individuazione di una gerarchia relativamente al rischio statico-strutturale, non si ritiene opportuno proporre, in questa fase, veri e propri criteri di calcolo dell'indice relativo di rischio statico-strutturale, per le seguenti ragioni:

- la mancanza di una metodologia di riferimento già sperimentata
- l'indisponibilità, per molti dei siti censiti, di dati affidabili riguardanti parametri statico-strutturali (caratteristiche elasto-plastiche dei materiali, geometria delle aree coltivate, stabilità dei versanti, dimensione dei bacini di laveria, ...)

Si stanno raccogliendo, pertanto, con la collaborazione del Dipartimento DICMA della facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, dati storici sugli eventi di frane, dissesti idrogeologici, crolli

⁷¹Direttiva 96/82/CE del Consiglio, del 9 dicembre 1996, sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose (GU L 10 del 14.1.1997, pag. 13).

⁷² Articolo 20 del testo comune approvato dal comitato di conciliazione (08/12/2005): <<Gli Stati membri garantiscono che sia redatto e periodicamente aggiornato un inventario delle strutture di deposito dei rifiuti chiuse, incluse le strutture abbandonate, ubicate sul rispettivo territorio che hanno gravi ripercussioni negative sull'ambiente o che, a breve o medio termine, possono rappresentare una grave minaccia per la salute umana o l'ambiente ...>>

⁷³ In precedenza l'articolo 19 della bozza approvata dal parlamento europeo in 1^a lettura (30/03/2004) individuava in modo più stringente i requisiti minimi dell'inventario, tra cui comparivano: il tipo di rifiuti presenti, la stabilità fisica e chimica dei siti, l'eventuale presenza di fenomeni di drenaggio e/o di concentrazione dei metalli, le condizioni ambientali del sito (qualità del suolo, rete idrografica e idrogeologica ...)

di dighe di laveria e subsidenze ricollegabili all'attività mineraria al fine di individuare elementi comuni e di definire, conseguentemente, una procedura semplificata di selezione e ordinamento dei siti, in funzione dell'eventuale presenza di rischi statici-strutturali.

5.1 Metodo di calcolo di un indice relativo di rischio ecologico-sanitario

Per il calcolo dell'indice relativo di rischio ecologico-sanitario si è fatto ricorso alla metodologia A.R.G.I.A. (Analisi relativa di Rischio per la Gerarchizzazione dei siti Inquinati registrati in Anagrafe), messa a punto dalla regione Emilia-Romagna e selezionata dal Gruppo di lavoro APAT-ARPA come metodologia di riferimento nazionale per la valutazione comparata di rischio con la seguente motivazione:

« ... Il Gruppo di lavoro ha preso in considerazione i metodi esistenti di Analisi Relativa del Rischio e ha esaminato e testato ARGIA vers. 1.1.

Il Gruppo indica questo ultimo metodo come quello da preferirsi per la sua completezza, versatilità e facilità d'uso ...»

5.1.1 Breve descrizione di A.R.G.I.A.

Il modello di calcolo A.R.G.I.A. nasce da una collaborazione tra Regione Emilia Romagna, ARPA sezione provinciale di Ravenna e Centro Ricerche Ambientali Montecatini, nell'ambito di un progetto volto a sviluppare una metodologia innovativa di analisi relativa del rischio applicabile all'anagrafe dei siti contaminati regionali, ossia in quelle aree ove sia stato individuato un valore di concentrazione, nei suoli o nelle acque, superiore ai limiti tabellari per uno o più parametri previsti dal D.M. 471/99.

Il metodo fornisce una guida tecnica per rendere operativa ed efficace l'esecuzione del calcolo per la gerarchizzazione dei siti contaminati regionali.

Lo spirito del metodo è decisamente "conservativo", poiché si ispira alla cautela preferendo sovrastimare un rischio piuttosto che sottostimarlo.

A.R.G.I.A. è stato studiato specificatamente per le aree presenti nell'anagrafe dei siti inquinati e, come tale, si applica ai casi in cui siano stati rilevati superamenti, nei suoli o nelle acque, dei limiti previsti dal D.M. 471/99 e per le sostanze ivi menzionate.

Come altri modelli di *Hazard Ranking*, analizza, per ciascun sito in esame, tre categorie di fattori rilevanti:

- sorgente di contaminazione,
- vie di trasporto,
- recettori.

Ciascuna categoria raggruppa un insieme di parametri, ognuno dei quali ne descrive una caratteristica che incide sulla modalità di contaminazione del sito.

Il modello concettuale di A.R.G.I.A. è la rappresentazione teorica di un sistema ambientale e dei processi chimici, fisici e biologici, che specificano le tipologie di coinvolgimento dei citati fattori rilevanti.

Tale modello concettuale prevede l'individuazione per ogni sito contaminato:

- delle sorgenti di contaminazione e, quindi, la valutazione dei contaminanti indice e della loro concentrazione rappresentativa alla sorgente,
- dei percorsi di migrazione,
- delle vie di esposizione dei recettori.

Le sorgenti di contaminazione

Le sorgenti primarie di inquinamento che si considerano nel modello sono sempre il suolo e/o le acque che presentano valori superiori alla norma.

A valle delle sorgenti primarie, il modello permette di considerare anche le cosiddette sorgenti secondarie, rappresentate dalle matrici ambientali (suolo, acque superficiali e sotterranee, aria indoor e outdoor) che subiscono la contaminazione a partire dalle sorgenti primarie e che, a loro volta, diventano fattori di trasferimento di inquinanti verso altri comparti ambientali o verso i recettori.

I contaminanti indice

A.R.G.I.A. prevede che venga applicato un criterio di *screening* per la selezione dei cosiddetti contaminanti indice, ossia di quelli che è opportuno considerare nel calcolo.

Dalle quantità e qualità di detti contaminanti vengono calcolati altrettanti coefficienti di pericolosità specifica definiti come prodotto del relativo coefficiente di pericolosità intrinseca per il rispettivo carico inquinante.

Il carico inquinante si calcola come prodotto della concentrazione rappresentativa della contaminazione per l'estensione della stessa.

Con il termine coefficiente di pericolosità intrinseca si intende, invece, un punteggio normalizzato proporzionale allo *slope factor*⁷⁴ (per le sostanze cancerogene) o all'inverso della *reference dose*⁷⁵ (per le sostanze non cancerogene). Gli *slope factors* e le *reference doses* utilizzati sono stati assegnati in conformità alle informazioni tossicologiche attualmente presenti nei maggiori database tossicologici (IRIS, RISK). La pericolosità specifica come sopra calcolata assume valori che differiscono di molto a seconda della presenza o meno di sostanze cancerogene. Infatti, la normalizzazione di questi parametri nel metodo è stata operata ottenendo per le sostanze cancerogene valori uguali o superiori a 1000, mentre per le sostanze non cancerogene è stato posto a 100 il limite superiore. Questa differenza di punteggio è stata adottata proprio per tenere conto delle diverse gravità degli effetti patologici indotti.

La selezione delle sostanze indice avviene, per ciascuna sorgente primaria, includendo nei successivi calcoli quegli inquinanti del sito che risultano avere un coefficiente di pericolosità specifica superiore al 10% di quella del contaminante con pericolosità specifica massima nella rispettiva categoria (cancerogena e non) indipendentemente dalla sorgente, suolo o acqua, interna al sito considerato, in cui è presente la sostanza.

Dopo la selezione, quindi, rimarranno una o più sostanze cancerogene ed una o più sostanze non cancerogene, per ciascuna delle quali è necessario conoscere la concentrazione rappresentativa della sorgente.

Le vie e le modalità di esposizione

A.R.G.I.A. prevede e richiede l'individuazione delle vie di migrazione e delle modalità attraverso le quali i contaminanti indice possono raggiungere, col tempo, i recettori.

L'esposizione di un soggetto recettore può avvenire sulla verticale della sorgente di contaminazione (esposizione diretta) o a distanza da questa (esposizione indiretta).

Nel primo caso la concentrazione da assumere nell'analisi relativa del rischio coincide con la concentrazione assunta come rappresentativa della sorgente; altrimenti è necessario modellizzare i

⁷⁴ Pendenza della curva effetto-dose alle basse dosi (tra 0 e 0.01 di rischio), espressa in $(\text{mg}/(\text{Kg-giorno}))^{-1}$.

⁷⁵ È la massima esposizione media giornaliera che non produce effetti apprezzabili sull'organismo durante il corso della vita. Si esprime in $(\text{mg}/\text{Kg-giorno})$.

meccanismi che regolano la migrazione dei contaminanti dalla sorgente di contaminazione fino al punto di esposizione.

Per simulare i fenomeni di trasporto e di diffusione della contaminazione si ricorre ai fattori di ripartizione che considerano implicitamente le proprietà chimico-fisiche dei contaminanti e descrivono la loro distribuzione nei comparti ambientali.

Le vie di esposizione considerate da A.R.G.I.A. coincidono con le matrici ambientali considerate (suolo, acque sotterranee e/o superficiali, aria indoor e/o outdoor) e operano attraverso le seguenti modalità:

- il contatto dermico e l'ingestione di suolo contaminato
- l'ingestione di acque sotterranee
- il contatto dermico con acque superficiali
- l'inalazione indoor e outdoor di vapori e/o particolato dalla superficie del suolo e/o dalle acque

I recettori

Per quanto riguarda i recettori, il modello concettuale considera due tipologie di recettori:

- recettori umani
- recettori naturali o artistici

I recettori umani comprendono sia i residenziali, sia i lavoratori, differenziati anche in base alla loro localizzazione.

A questo proposito A.R.G.I.A. considera i recettori *on site*, che sono quelli posti in corrispondenza della sorgente di contaminazione ed i recettori *off site*, collocati ad una certa distanza, nell'ambito di tre fasce concentriche: 101-1000 m, 1001-3000 m, 3001-5000 m, misurati dal bordo del sito contaminato (la fascia da 0 a 100 m si considera *on site*).

La presenza di recettori naturali-artistici viene identificata sulla base delle individuazioni operate dal Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR) e dai Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale (PTCP) con le terminologie: *zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale*, *zone di tutela naturalistica*, *zone ed elementi di particolare interesse storico-archeologico o artistico* (Artt. 19,21,25), qualora esse esistano nel raggio di 5 km di distanza dal perimetro del sito contaminato.

Quella che viene stimata è la densità delle zone sensibili rispetto all'area sottesa dalla fascia di interesse. Questo parametro dimensionale assume valori compresi fra 0 e 1 ed esprime la frazione di superficie vulnerabile (per motivi naturali o storico-artistici) alla contaminazione.

A.R.G.I.A. permette, quindi, di valutare sia l'indice relativo di rischio sanitario (recettori umani) che ecologico (recettori naturali/artistici).

L'indice di rischio IRI_m , relativo al contaminante m^{imo} presente nella sorgente primaria j , è un numero adimensionale dato da:

$$IRI_{jm} = \sum_i PtS_{ijm} * PtT_i * PtR_i$$

In cui

PtS , PtT e PtR sono, rispettivamente, i punteggi relativi alle sorgenti secondarie, alle vie di trasporto e ai recettori;

i sono i 5 diversi ambiti (acque sotterranee, acque superficiali, suolo, aria indoor ed aria outdoor)

j le diverse sorgenti primarie presenti nel sito

m le sostanze inquinanti considerate per la sorgente primaria j

L'indice di rischio complessivo di una sorgente è dato dalla somma degli indici relativi a tutti i contaminanti analizzati $\rightarrow IRI_j = \sum_m IRI_{jm}$.

L'indice di rischio totale di un sito è, a sua volta, la somma degli indici di rischio delle diverse sorgenti primarie presenti nel sito $\rightarrow IRI = \sum_j IRI_j$.

5.1.2 I punteggi di tossicità

Come è già stato osservato i punteggi di tossicità utilizzati in ARGIA sono proporzionali allo *Slope Factor* (SF) per le sostanze cancerogene, ed inversamente proporzionali alla *Reference Dose* (RFD)⁷⁶ per le sostanze non cancerogene.

Per ribadire la maggiore pericolosità delle sostanze cancerogene, le suddette proporzionalità sono state ulteriormente corrette in modo che il punteggio minimo di tali sostanze fosse uguale a 1000⁷⁷ e quello massimo delle non cancerogene fosse 100⁷⁸.

Confrontando i punteggi ottenuti con i valori di SF e RFD che, per le sostanze inquinanti presenti in Allegato 1 del DM 471/99, sono stati proposti dal gruppo di lavoro APAT, ISS, ISPEL, nel corso della redazione dei "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" si osservano le relazioni mostrate nelle figg. 82a e 82b, in cui entrambe le coordinate sono riportate in scala logaritmica.

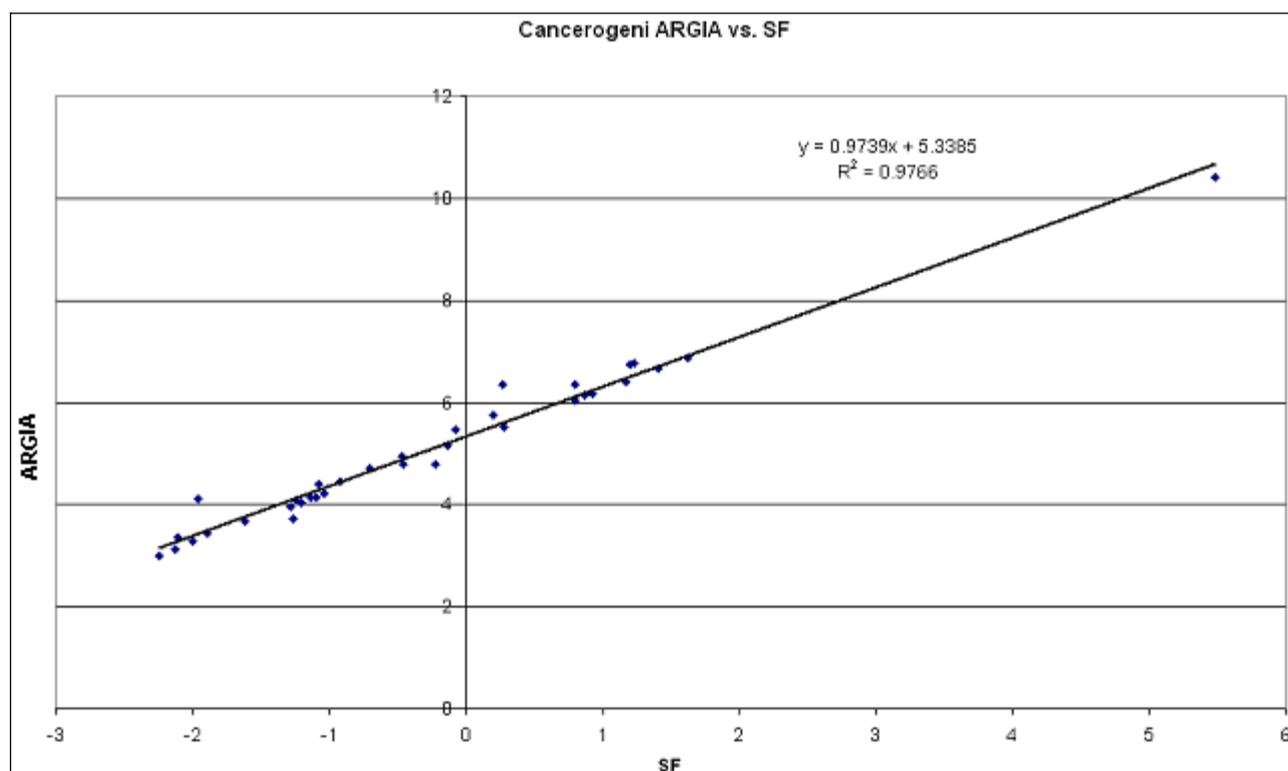


Fig. 82a

⁷⁶ Se presenti, per una data sostanza, valori diversi di SF e RFD per contatto, ingestione e/o inalazione, si considera il valore massimo di SF e il minimo di RFD .

⁷⁷ In corrispondenza all'Anilina

⁷⁸ In corrispondenza al Manganese. I punteggi di tossicità delle sostanze cancerogene sono state ulteriormente aumentate del 10, 20 o 30% in funzione di ulteriori parametri di pericolosità (irritabilità, infiammabilità, tossicità acuta ...)

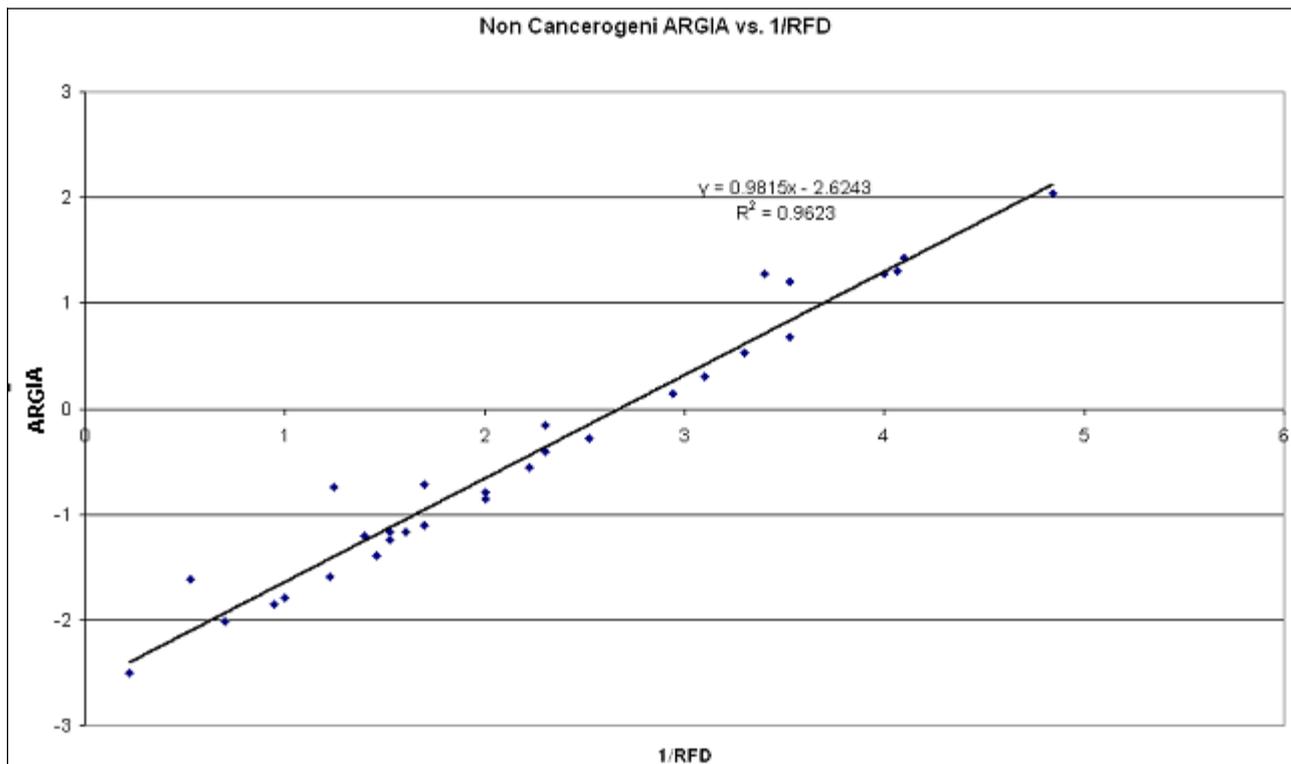


Fig. 82b

Dalla fig.82a si osserva che, riportando i valori su scala normale, tra punteggio cancerogeni (P_{CA}) e slope factor (SF) esiste la seguente relazione: $P_{CA} = 10^{5.3385} * SF^{0.9739}$, con coefficiente di correlazione $R = 0.988$ molto alto.

Analogamente, la relazione individuata per i punteggi non cancerogeni (fig. 82b) è: $P_{NOCA} = 10^{-2.6243} * (1/RFD)^{0.9815}$, con coefficiente di correlazione $R = 0.981$, anch'esso molto alto.

Ponendo uguale a T il parametro che in ciascuna equazione rappresenta la tossicità (SF e 1/RFD, rispettivamente), si ricava che il rapporto $RP = P_{CA}/P_{NOCA} = 10^{7.9628} * T^{-0.0076} \sim 10^8$.

I punteggi cancerogeni sono, cioè, sopravvalutati di otto ordini di grandezza rispetto a quelli delle sostanze non cancerogene.

Mentre per i primi sei ordini di grandezza la sopravvalutazione è giustificata dal diverso limite di accettabilità cui deve obbedire l'indice di rischio (10^{-6} per le sostanze cancerogene ed 1 per le non cancerogene), gli ulteriori due ordini di grandezza, dovuti alla volontà di sottolineare, comunque, la presenza delle sostanze cancerogene, non appaiono motivati⁷⁹.

Si è ritenuto, pertanto, opportuno modificare⁸⁰ i punteggi utilizzati in ARGIA, secondo la seguente procedura:

- utilizzo dei parametri di tossicità T individuati dal gruppo di lavoro APAT, ISS e ISPEL sopra citato, secondo le seguenti relazioni: $T^{81} = SF * 10^6$ (cancerogene), $T = 1/RFD$ (non cancerogene)
- normalizzazione a 1000 del punteggio minimo delle sostanze cancerogene⁸²

⁷⁹ Tanto più che alcuni software di analisi di rischio pongono a 10^{-5} o 10^{-4} il limite di accettabilità per le sostanze cancerogene.

⁸⁰ In realtà la tabella con i punteggi ARGIA originari è stata mantenuta e le si è affiancata la nuova tabella.

La procedura messa a punto può gerarchizzare i siti usando una tabella o l'altra secondo la richiesta dell'utente.

⁸¹ In presenza, per una stessa sostanza, valori diversi di SF e/o RFD, si porrà $T = SF_{max} * 10^6$ e $T = 1/RFD_{min}$.

⁸² Tale punteggio è in corrispondenza dell'Etilbenzene che presenta un valore di $SF = 3.85 * 10^{-3}$. Di conseguenza la normalizzazione si ottiene dalla relazione $T/3.85$, valida sia per tutte le sostanze.

- per le sostanze sia tossiche che cancerogene, selezione del punteggio più alto
- per le sostanze individuate come cancerogene nella tabella originaria ma non nella modifica, mantenimento del punteggio cancerogeno originario⁸³

In tabella 45 sono riportati i punteggi ricavati e i rispettivi parametri di tossicità.

Sostanza	Punteggio cancerogene	SF	Punteggio non cancerogene	1/RFD
Antimonio			6.49E+02	2.50E+03
Arsenico	3.90E+06	1.50E+01		3.33E+03
Berillio	2.18E+06	8.40E+00		1.75E+05
Cadmio	1.64E+06	6.30E+00		1.75E+04
Cobalto			8.96E+02	3.45E+03
Cromo totale			1.73E-01	6.67E-01
Cromo VI	1.09E+07	4.20E+01		3.50E+04
Cianuri (liberi)			1.30E+01	5.00E+01
Mercurio			3.02E+03	1.16E+04
Nichel	2.18E+05	8.40E-01		5.00E+01
<i>Piombo</i>	<i>7.60E+03</i>			<i>2.86E+02</i>
Tallio			3.25E+03	1.25E+04
Rame			6.49E+00	2.50E+01
Selenio			5.19E+01	2.00E+02
Stagno			4.33E-01	1.67E+00
Vanadio			3.71E+01	1.43E+02
Argento			5.19E+01	2.00E+02
Fluoruri			4.33E+00	1.67E+01
Zinco			8.66E-01	3.33E+00
Manganese			1.82E+04	6.99E+04
Benzene	1.43E+04	5.50E-02		2.50E+02
Etilbenzene	1.00E+03	3.85E-03		1.00E+01
Stirene			1.30E+00	5.00E+00
Toluene			2.28E+00	8.77E+00
Xileni			1.30E+00	5.00E+00
Benzo(a)antracene	1.90E+05	7.30E-01		3.51E+00
Benzo(a)pirene	1.90E+06	7.32E+00		3.19E-01
Benzo(b)fluorantene	1.90E+05	7.30E-01		3.51E+00
Benzo(k)fluorantene	1.90E+04	7.30E-02		3.51E+01
Benzo(g,h,i)perilene			8.66E+00	3.33E+01
Crisene		7.00E-03	1.01E+06	3.89E+06
Dibenzo(a,h)antracene	1.90E+06	7.30E+00		8.77E+00
Indenopirene	1.90E+05	7.30E-01		3.33E+01
Pirene			8.66E+00	3.33E+01
Clorometano	3.38E+03	1.30E-02		1.59E+02
Diclorometano	1.95E+03	7.50E-03		1.67E+01
Triclorometano	2.09E+04	8.05E-02		1.17E+04
Cloruro di Vinile	4.94E+05	1.90E+00		3.33E+02
1,2-Dicloroetano	2.36E+04	9.10E-02		3.51E+02
1,1-Dicloroetilene	1.56E+05	6.00E-01		1.11E+02
1,2-Dicloropropano	1.77E+04	6.80E-02		8.77E+02
1,1,2-Tricloroetano	1.48E+04	5.70E-02		2.50E+02
Tricloroetilene	2.86E+03	1.10E-02		1.67E+02
1,2,3-Tricloropropano	1.82E+06	7.00E+00		1.67E+02
1,1,2,2-Tetracloroetano	5.19E+04	2.00E-01		1.67E+01
Tetracloroetilene(PCE)	1.35E+04	5.20E-02		1.00E+02
1,1-Dicloroetano			2.60E+00	1.00E+01
1,2-Dicloroetilene			2.60E+01	1.00E+02
1,1,1-Tricloroetano			1.30E+01	5.00E+01
Tribromometano (bromoformio)	2.05E+03	7.90E-03		5.00E+01
1,2-dibromoetano	5.19E+05	2.00E+00		3.89E+02
Dibromoclorometano	2.18E+04	8.40E-02		5.00E+01

⁸³ Tali sostanze sono segnalate in corsivo nella tabella; si noti che, dalle equazioni di regressione sopra riportate, sono i punteggi non cancerogeni ad essere sottovalutati nella tabella originaria di Argia. Pertanto, utilizzare, nei casi dubbi, i punteggi cancerogeni di Argia nella nuova tabella non è errato ma risponde a criteri cautelativi.

Bromodiclorometano	1.61E+04	6.20E-02		5.00E+01
Nitrobenzene			5.19E+02	2.00E+03
1,2-Dinitrobenzene			6.49E+02	2.50E+03
1,3-Dinitrobenzene			2.60E+03	1.00E+04
Cloronitrobenzeni	6.49E+03	2.50E-02		
Monoclorobenzene			4.33E+01	1.67E+02
1,2-Diclorobenzene			4.56E+00	1.75E+01
1,4-Diclorobenzene	6.23E+03	2.40E-02		3.33E+01
1,2,4-Triclorobenzene			2.60E+01	1.00E+02
1,2,4,5-Tetraclorobenzene			8.66E+02	3.33E+03
Pentaclorobenzene			3.25E+02	1.25E+03
Esaclorobenzene	4.16E+05	1.60E+00		1.25E+03
Fenolo			4.33E-01	1.67E+00
<i>p</i> -Metilfenolo	2.50E+04			2.00E+02
2-Clorofenolo			5.19E+01	2.00E+02
2,4-Diclorofenolo			8.66E+01	3.33E+02
2,4,6-Triclorofenolo	2.60E+03	1.00E-02		
Pentaclorofenolo	3.12E+04	1.20E-01		3.33E+01
Anilina	1.48E+03	5.70E-03		3.33E+03
o-Anisidina	3.64E+04	1.40E-01		1.67E+04
m,p-Anisidina	1.00E+03			1.43E+02
Difenilamina			1.04E+01	4.00E+01
<i>p</i> -Toluidina	4.94E+04	1.90E-01		
Alaclor	2.08E+04	8.00E-02		1.00E+02
al drin	4.45E+06	1.72E+01		3.33E+04
Atrazina	5.71E+04	2.20E-01		2.86E+01
α -Esacloroesano	1.64E+06	6.30E+00		
β -Esacloroesano	4.83E+05	1.86E+00		
?-esaclorocicloesano (Lindano)	2.30E+06			3.33E+03
Clordano	9.09E+04	3.50E-01		5.00E+03
DDT	8.83E+04	3.40E-01		2.00E+03
Dieldrin	4.16E+06	1.60E+01		2.00E+04
Endrin			8.66E+02	3.33E+03
PCB	5.19E+05	2.00E+00		5.00E+04
2,3,7,8-TCDD	7.79E+10	3.00E+05		
Aromatici C9 - C10			1.82E+01	7.02E+01
Aromatici C11 - C32			8.66E+00	3.33E+01
Amianto (Fibre libere)	6.57E+06	2.53E+01		

Tab. 45

5.2 Selezione dei siti minerari potenzialmente inquinati

Tenendo conto delle sostanze inquinanti riportate in tab. 45, è stata realizzata una matrice a doppia entrata “Minerale estratto/Sostanza inquinante” (tab. 46), funzione sia degli elementi chimici presenti nel minerale stesso, sia di quelli presenti nei minerali parageneticamente associati al minerale dato, sia delle sostanze utilizzate nei processi di arricchimento.

Sono stati, quindi, selezionati tutti i siti minerari censiti interessati dalla coltivazione di uno o più dei minerali riportati nelle righe della sottostante tabella.

Sostanza Minerale	Amianto	Antimonio	Argento	Arsenico	Cadmio	Cobalto	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Vanadio	Zinco	Cianuro	Manganese	Berillio	Fluoruri	Aromatici C>10
Blenda		X			X								X	X				
Calamina													X					
Galena			X						X					X				
Galena argentifera			X						X					X				
Calcopirite				X	X			X		X								

Pirite				X	X			X		X					X			
Pirite cuprifera				X	X			X		X					X			
Siderite															X		X	
Fluorite																	X	
Barite																	X	
Cinabro							X											
Amianto	X																	
Talco	X																	
Minerali del Manganese															X			
Argento			X											X				
Oro														X				
Antimonite		X																
Pirrotina																		
Pirrotina nichelifera								X										
Rame										X								
Arsenopirite				X														
Cuprite										X								
Solfuri misti														X				
Cobaltite						X												
Cobalto						X												
Molibdenite																		
Nichelina								X										
Argentite			X															
Arsenico																		
Nichel								X										
Nichelio								X										
Magnetite												X						
Cassiterite										X								
Berillo																	X	
Asfalto																		X
Scisti bituminosi																		X

Tab. 46

5.2.1 Costruzione di un database dei siti selezionati per l'applicazione di A.R.G.I.A

I siti selezionati secondo il criterio descritto nel paragrafo precedente sono registrati in un database articolato nelle seguenti tabelle:

Siti

Oltre al codice, nome, comune, provincia e regione del sito, contiene dati relativi alla densità demografica⁸⁴, ai parametri climatici, idrografici e idrogeologici⁸⁵.

⁸⁴ Calcolata mediante la relazione $D_{AB} = D_{CO} * 0.75 + D_{LM} * .25$, in cui D_{CO} è la densità demografica del comune in cui è ubicato il sito, D_{LM} è la densità demografica media dei comuni limitrofi.
La densità viene utilizzata per definire i potenziali recettori delle sostanze inquinanti.

Su tale tabella sono registrati, in uscita, gli indici di rischio relativi calcolati da ARGIA.

Sorgenti

Per ciascun sito viene considerata una sorgente primaria, del tipo “Cumulo”, accessibile e non contenuta.

La dimensione Q^{86} di tale sorgente viene calcolata in funzione dell'estensione E della concessione mineraria, della durata della coltivazione e della distanza temporale del periodo di coltivazione dai nostri giorni, secondo una relazione semplificata del tipo:

$$Q = E * CF(T_0, T_1, T)$$

in cui

T_0 = anno inizio coltivazione,

T_1 = anno fine coltivazione,

$T > T_0$ = anno di calcolo,

$$CF = \begin{cases} 0 \rightarrow T \leq T_0 \\ 1 + \int_{T_0}^{T-1} \frac{dt}{(T-t)} = 1 + \ln(T - T_0) \rightarrow T_0 < T \leq T_1 \rightarrow \text{decadimento funzione inversa del tempo} \\ \int_{T_0}^{T_1} \frac{dt}{(T-t)} = \ln\left(\frac{T - T_0}{T - T_1}\right) \rightarrow T > T_1 \end{cases}$$

$$CF = \begin{cases} 0 \rightarrow T \leq T_0 \\ \int_{T_0}^T \exp\left(\frac{t-T}{t_0}\right) dt = t_0 \left(1 - \exp\left(\frac{T_0 - T}{t_0}\right)\right) \rightarrow T_0 < T \leq T_1 \rightarrow \text{decadimento esponenziale con tempo } t_0 \\ \int_{T_0}^{T_1} \exp\left(\frac{t-T}{t_0}\right) dt = t_0 \left(\exp\left(\frac{T_1 - T}{t_0}\right) - \exp\left(\frac{T_0 - T}{t_0}\right)\right) \rightarrow T > T_1 \end{cases}$$

L'andamento di CF in funzione di T è mostrato in figura 83, per vari valori di t_0 e nel caso di decadimento inversamente proporzionale al tempo (Log).

Per similitudine con l'andamento di carica Log si assume $t_0 = 5$ anni.

⁸⁵ Se disponibili alla scala comunale; in caso contrario i campi sono lasciati in bianco ed ARGIA è in grado di girare lo stesso utilizzando dati di default cautelativi.

⁸⁶ Nel caso di siti minerari classificati come “Permessi di ricerca” è stata considerata un'estensione pari a quella media delle concessioni minerarie dello stesso tipo nella stessa regione; inoltre il valore Q è stato diviso per 10, per tenere conto che, comunque, si è in presenza di attività minerarie limitate.

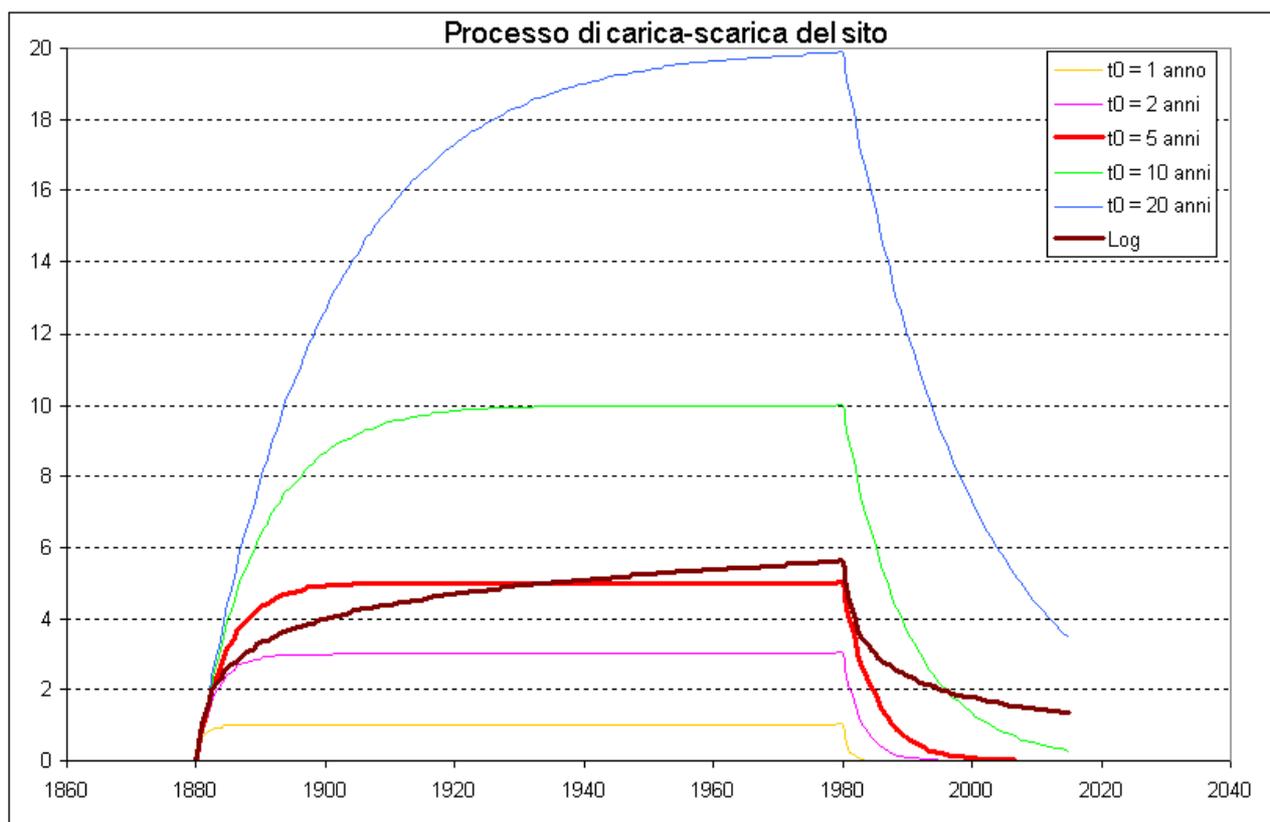


Fig. 83

Sostanze

Vengono registrate per ciascun sito, e relativa sorgente, tutte le sostanze inquinanti potenzialmente presenti in funzione dei minerali estratti, secondo la matrice mostrata in tab. 46.

Per ciascuna sostanza è considerata una concentrazione rappresentativa (in ppm) pari alla massima tra quelle indicate nella colonna relativa della tab. 47⁸⁷, considerando solo i valori in corrispondenza ai minerali presenti nel sito.

Nel caso che sia segnalata nel sito (tabella Scarti del database) una determinata sostanza senza che questa risulti come possibile inquinante in relazione ai minerali estratti, si considera un valore di default (ultima riga) pari a 1/10 del valore minimo della relativa colonna.

Sostanza Minerale	Amianto	Antimonio	Argento	Arsenico	Cadmio	Cobalto	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Stagno	Vanadio	Zinco	Cianuro	Manganese	Berillio	Fluoruri	Aromatici C>10
Blenda		250			300								5000	100				
Calamina													5000					
Galena			3						2000					100				
Galena argentifera			15						2000					100				
Calcopirite				250	450			650		6000								

⁸⁷ I valori della tab. 47 sono ricavati dalla letteratura mineraria, in particolare L. Usoni – Installations de preparation des mineraux en Italie (1963).

La procedura di gerarchizzazione prevede, preferenzialmente, la possibilità di utilizzare per ogni sito i valori reali di concentrazione delle sostanze inquinate abbandonate (tabella Scarti del Database del Censimento), da acquisire tramite misure di campo; in assenza di tali dati, si è deciso di ricorrere ai valori di tabella 47, da considerarsi sufficientemente cautelativi.

Inoltre, tali valori rispettano la gerarchia di presenza media delle sostanze inquinanti in corrispondenza alle varie tipologie di siti, garantendo, quantomeno, una differenziazione tra tali tipologie e lasciando l'ulteriore differenziazione sito per sito in funzione dei dati disponibili per tutti (o quasi) i siti censiti (ubicazione geografica, estensione, anni di coltivazione, ...)

Pirite				250	450			650		2700					3800				
Pirite cuprifera				250	450			650		3300					3800				
Siderite															15000		5000		
Fluorite																	285000		
Barite																	100000		
Cinabro								350											
Amianto	4500																		
Talco	450																		
Minerali del Manganese															30000				
Argento			30												100				
Oro															100				
Antimonite		1000																	
Pirrotina																			
Pirrotina nichelifera								1200											
Rame										5000									
Arsenopirite				2000															
Cuprite										5000									
Solfuri misti															100				
Cobaltite								300											
Cobalto								300											
Molibdenite																			
Nichelina								1000											
Argentite			20																
Arsenico																			
Nichel								1000											
Nichelio								1000											
Magnetite														300					
Cassiterite										1000									
Berillo																	250		
Asfalto																			10000
Scisti bituminosi																			10000
Default	45	25	0.3	25	30	30	35	65	200	270	100	30	500	10	380	25	500	1000	

Tab. 47

5.3 Gerarchizzazione dei siti mediante l'applicazione di A.R.G.I.A.

Mediante le procedure sopra descritte, sono stati selezionati e sottoposti a gerarchizzazione mediante ARGIA 912 siti, articolati a livello regionale come mostrato in tabella 48.

Regione	Siti a rischio potenziale
SARDEGNA	242
LOMBARDIA	166
TOSCANA	136
PIEMONTE	120
TRENTINO ALTO ADIGE	61
SICILIA	35

LAZIO	28
LIGURIA	28
VENETO	25
VALLE D'AOSTA	24
ABRUZZO	22
CALABRIA	9
FRIULI VENEZIA GIULIA	8
EMILIA-ROMAGNA	5
CAMPANIA	2
MOLISE	1

Tab. 48

Si sono ottenuti indici di rischio ecologico-sanitario che variano da 2.930E-18 a 8.9457E+04, il cui istogramma, normalizzato⁸⁸, è mostrato in fig. 84.

L'insieme dei siti è stato, quindi, suddiviso in 5 classi (B = rischio basso; MB = rischio medio-basso; M = rischio medio; MA = rischio medio-alto; A = rischio alto), mediante i valori di cut-off⁸⁹ mostrati in figura, tenendo conto sia dell'andamento dell'istogramma, che dell'esigenza di avere una suddivisione tale da massimizzare il numero dei siti sui valori medi e minimizzarlo sugli estremi.

Si è così ottenuta la ripartizione dei siti mostrata in tabella 49.

Regione	B	MB	M	MA	A	TOTALE
SARDEGNA	0	29	73	82	58	242
LOMBARDIA	1	28	67	39	31	166
TOSCANA	2	50	46	22	16	136
PIEMONTE	40	26	24	17	13	120
TRENTINO ALTO ADIGE	2	10	24	25	0	61
SICILIA	0	13	16	5	1	35
LAZIO	1	4	11	11	1	28
LIGURIA	4	4	13	6	1	28
VENETO	2	11	7	3	2	25
VALLE D'AOSTA	5	9	6	4	0	24
ABRUZZO	0	9	12	0	1	22
CALABRIA	0	1	6	2	0	9
FRIULI VENEZIA GIULIA	0	2	4	1	1	8
EMILIA-ROMAGNA	2	1	0	2	0	5
CAMPANIA	0	2	0	0	0	2
MOLISE	0	0	0	1	0	1
TOTALE	59	199	309	220	125	912

Tab. 49

⁸⁸ Gli indici sono stati normalizzati in scala logaritmica da 0 a 100, secondo l'equazione $I = 100 \frac{\log_{10}\left(\frac{v}{v_{\min}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{v_{\max}}{v_{\min}}\right)}$

$$I = 100 \frac{\log_{10}\left(\frac{v}{v_{\min}}\right)}{\log_{10}\left(\frac{v_{\max}}{v_{\min}}\right)}$$

⁸⁹ Sono stati utilizzati i seguenti valori di cut-off normalizzati: $B < 43 \leq MB < 58 \leq M < 68 \leq MA < 86 \leq A$

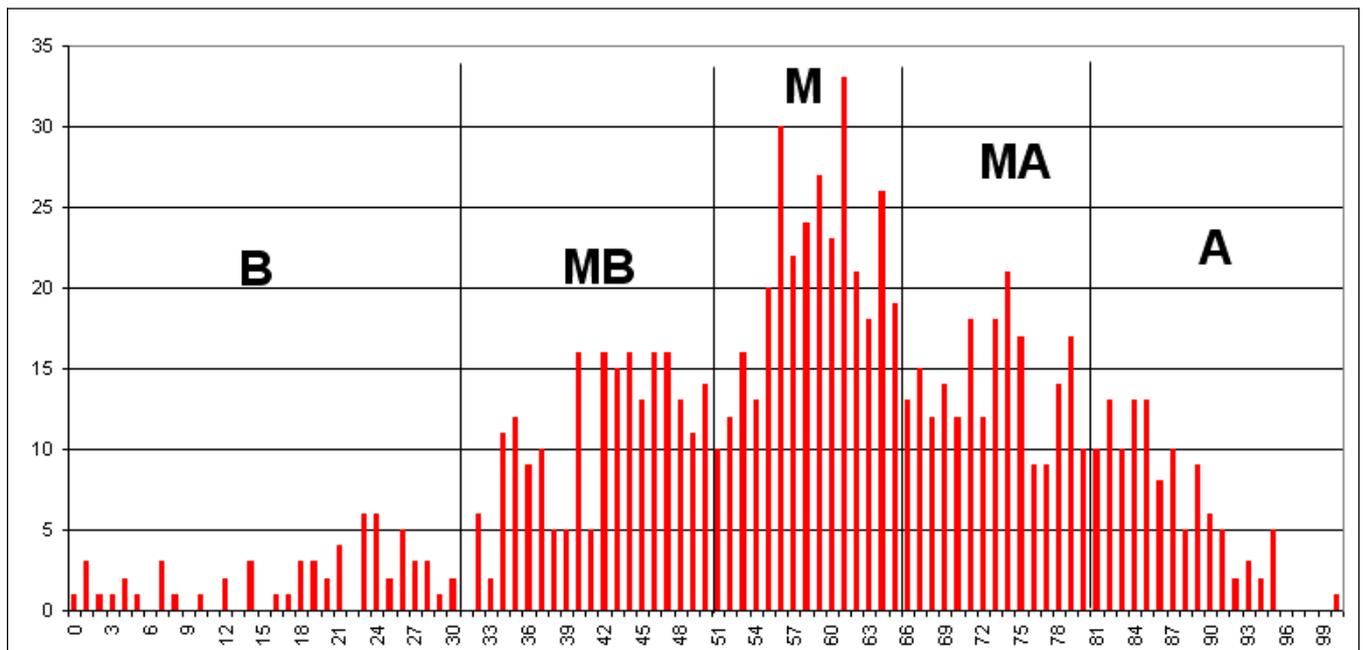


Fig. 84

Nell'allegato 5 è riportata la lista dei siti a potenziale rischio ecologico-sanitario, suddivisi per classi e ordinati per regione.