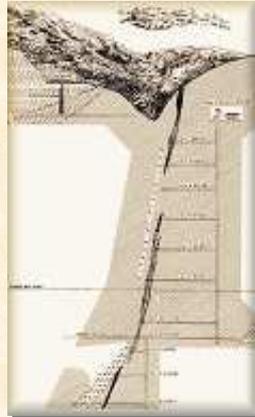




Regione Autonoma della Sardegna
Assessorato della Difesa dell'Ambiente
Servizio Gestione Rifiuti e Bonifica siti inquinati

Linee Guida per la redazione dei progetti e la realizzazione degli interventi di bonifica e risanamento ambientale delle Aree Minerarie Dismesse



GEOPARCO

ATI : IFRAS
INTINI ANGELO
SERVIZI GLOBALI



**LINEE GUIDA PER LA REDAZIONE DEI PROGETTI E LA REALIZZAZIONE
DI INTERVENTI DI BONIFICA E RISANAMENTO AMBIENTALE
DELLE AREE MINERARIE DISMESSE**

INDICE

1.	PREMESSA	1—1
1.1	Le Aree Minerarie Dismesse	1—2
1.2	Definizione di Area Vasta e Centri di Pericolo	1—3
1.3	Determinazione Valori di Fondo	1—3
1.4	Valutazione del riutilizzo dei materiali.....	1—4
1.5	Analisi specifiche.....	1—5
1.6	Rischio idrogeologico	1—6
2.	MODALITÀ E PROCEDURE GENERALI DI APPROVAZIONE DELLA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI	2-1
3.	INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA D’EMERGENZA	3-1
4.	PROTOCOLLO OPERATIVO DEL PIANO DI CARATTERIZZAZIONE	4-1
4.1	Gestione delle Informazioni.....	4-1
4.1.1	Organizzazione e gestione del sistema informativo	4-3
4.2	Elaborazione dell’Indice di Pericolosità	4-4
4.3	Elaborazione del Modello Concettuale Preliminare	4-8
4.4	Progettazione del Piano di Investigazione Iniziale (PIN).....	4-9
4.4.1	Modalità operative	4-10
4.4.2	Programmazione delle Attività del Piano d’Investigazione Iniziale ..	4-18
4.4.3	Esecuzione delle attività	4-19
5.	PROTOCOLLO OPERATIVO DEL PROGETTO PRELIMINARE	5-1
5.1	Analisi dei livelli d’inquinamento	5-1
5.1.1	Eventuale investigazione di dettaglio	5-2
5.2	Analisi di rischio	5-3
5.2.1	Concentrazione rappresentativa della sorgente.....	5-5
5.3	Analisi delle tecnologie possibili adottabili	5-6
5.3.1	Analisi delle alternative d’intervento.....	5-6
5.3.2	Bonifica con misure di sicurezza e ripristino ambientale	5-8
5.4	Descrizione delle tecnologie proposte e degli interventi	5-15
5.5	Test sul campo.....	5-15

5.6	Compatibilità di impatto ambientale degli interventi	5-16
5.7	Progettazione per Fasi	5-16
6.	PROTOCOLLO OPERATIVO DEL PROGETTO DEFINITIVO.....	6-1
6.1	Dettaglio delle tecnologie scelte per gli interventi proposti.....	6-1
6.2	Prescrizioni e limitazioni all'uso del sito.....	6-2
7.	ESECUZIONE INTERVENTI, COLLAUDO E CERTIFICAZIONE	7-1
7.1	Piano delle procedure di verifica e controllo	7-1
7.2	Modalità di verifica progettuale in corso d'opera.....	7-1
7.3	Monitoraggio	7-1
7.4	Approvazione ed Audit	7-2
7.5	Certificazione della Amministrazione Provinciale	7-2
8.	SICUREZZA DEI LAVORATORI	8-1
	INDICE ANALITICO.....	1
	BIBLIOGRAFIA.....	3

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1:	Siti minerari dismessi del PGMSA, stima dei siti e dei volumi di materiali.....	1—2
Tabella 2:	Analisi dei collegamenti Sorgente-Trasmissione-Bersaglio per siti minerari dismessi.....	4-6
Tabella 3:	Esempio di Indice di Pericolosità per un'area mineraria dismessa tipica nel territorio regionale.	4-7
Tabella 4:	Elenco degli elaborati tecnici di progetto del PdC	4-9
Tabella 5:	Densità dei Punti di indagine e campionatura	4-12
Tabella 6:	Elenco degli elaborati tecnici del Progetto di Piano di Investigazione.....	4-18
Tabella 7:	Elenco degli elaborati di tecnici di progetto della Relazione descrittiva dell'Investigazione Iniziale	4-20
Tabella 8:	Applicabilità di tecnologie di trattamento a siti minerari dismessi	5-14
Tabella 9:	Caratteristiche comparate delle tecnologie di trattamento applicabili a siti minerari dismessi.....	5-14

Tabella 10: Elaborati del Progetto Definitivo 6-2

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Procedura graduale di Analisi di rischio 5-4

INDICE DEGLI SCHEMI

SCHEMA 1: Piano di Caratterizzazione..... 2-2
SCHEMA 2: Progetto Preliminare..... 2-4
SCHEMA 3: Progetto Definitivo 2-4
SCHEMA 4: Esecuzione Interventi e Collaudo 2-5

ALLEGATI

- A1 Definizioni**
- A2 Riferimenti normativi e valori tabellari**
- A3 Competenze degli enti territoriali**
- A4 Anagrafe dei siti da bonificare: Scheda anagrafica del sito**

1. Premessa

Le presenti “Linee Guida per la Bonifica delle Aree Minerarie Dismesse”, basate sui criteri generali del D.M. 471/99, sono state predisposte a causa della specificità, la variabilità delle situazioni di degrado e la vastità degli interventi richiesti per la bonifica ed il risanamento ambientale delle aree minerarie dismesse.

Le disposizioni contenute nel D.M. 471/99 “Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica ed il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell’articolo 17 del DLgs. 5 Febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni ed integrazioni”, non fanno espressamente riferimento alla produzione mineraria, e dopo un periodo di incertezza sulla collocazione della tipologia di procedure da applicare, con il DLgs. 426/98 ed il D.M. n.468 del 16 Gennaio 2002, sono stati definitivamente compresi i siti minerari dismessi, nel rispetto delle procedure di bonifica indicate nel D.M. 471/99.

La peculiarità dei siti minerari rispetto ad altri tipi di aree industriali, per le quali era stato chiaramente elaborato il D.M. 471/99, impone però che alcune delle procedure previste, soprattutto per la fase progettuale del Piano della Caratterizzazione, siano adeguate, così come è previsto dallo stesso decreto.

Gli adeguamenti a situazioni peculiari sono stati già perseguiti, per esempio nel sito dell’area ad Alto Rischio di Porto Marghera ed in Sardegna per i siti ENICHEM, dove si è giunti alla redazione di protocolli operativi specifici.

L’istituzione del Parco Geominerario Storico ed Ambientale della Sardegna (PGMSA), che comprende in otto zone circa il 90% delle aree minerarie dismesse della Sardegna, prevede la riconversione delle aree minerarie, tipicamente industriali, attraverso la bonifica e valorizzazione dei siti, in aree a sviluppo artigianale-turistico. Questo cambiamento nella destinazione d’uso delle aree ex minerarie, in corso anche in tutto il territorio nazionale, ha chiaramente un peso importante nella scelta delle metodologie di riabilitazione o bonifica.

Sulla base delle caratteristiche peculiari della maggior parte dei siti contaminati nelle aree minerarie dismesse, i piani di bonifica, una volta accertati i problemi sito-specifici, dovranno orientarsi verso la realizzazione di Bonifiche con Misure di Sicurezza Permanente ed Interventi di Messa in Sicurezza, che imporranno quindi sempre la realizzazione di monitoraggi post-operam. In quest’ottica sarà richiesta una attenta valutazione delle caratteristiche del sito e degli interventi da eseguire, utilizzando la metodologia dell’Analisi di Rischio Sito Specifica che valuta gli effetti dei valori residuali sulle matrici ambientali e la definizione del valore di fondo, e supera il concetto di “limite tabellare” richiesto dal D.M. 471/99, di difficile applicabilità in questi siti.

Si ritiene, infatti, che, a parte alcune piccole porzioni dei siti, non sarà possibile raggiungere gli obiettivi della bonifica delle matrici ambientali così come definite nel D.M. 471/99. Tale scelta, pur assumendo i principi e le metodiche contenuti nella normativa nazionale e comunitaria e tenendo conto delle migliori prassi operative e lo stato dell’arte al momento della redazione, fornisce precisi indirizzi sulle fasi delle attività che comprendono le fasi conoscitive dello stato attuale e pregresso del sito e l’esecuzione delle opere previste durante la fase progettuale, il monitoraggio post operam il collaudo e la certificazione.

Queste “Linee Guida” traggono la loro origine, come richiamato nell’allegato A2 sui riferimenti normativi, dall’Art.10 comma 1 del D.M. 471/99, il quale prescrive che la Regione interessata rediga delle specifiche Linee Guida per meglio definire i contenuti

dell'Allegato 4 del D.M. 471/99, che norma i criteri di redazione dei progetti e degli interventi.

1.1 Le Aree Minerarie Dismesse

L'attività estrattiva mineraria si è protratta per un lungo periodo e soprattutto negli ultimi 150 anni, con l'avvento delle tecniche di produzione industriali ha indotto sostanziali cambiamenti nel paesaggio. L'esaurimento delle riserve minerarie ed il sostanziale abbandono di questo tipo di attività industriale negli ultimi vent'anni, a causa della scarsa economicità dell'intrapresa e della concorrenza dei paesi in via di sviluppo, ha causato la chiusura di quasi tutti i siti.

In tutti i territori l'eredità ambientale è stata piuttosto pesante, tanto che le attuali aree minerarie dismesse sono generalmente condizionate nei loro programmi di sviluppo, da una compromissione del livello qualitativo dell'ambiente per la presenza di scavi, discariche ed abbancamenti di materiali fini di risulta delle lavorazioni dei minerali, responsabili fra l'altro di contaminazione da metalli pesanti nel suolo e nelle acque con potenziale rischio per l'ecosistema.

Il riutilizzo delle aree non può prescindere da interventi di bonifica e messa in sicurezza delle fonti di pericolo causate dalle attività estrattive ed il primo intervento è necessariamente una conoscenza dei livelli di contaminazione attraverso una caratterizzazione fisico-chimica dei materiali.

A titolo esemplificativo della dimensione del problema nel territorio della Sardegna, si possono citare i dati raccolti durante l'esecuzione dello studio di fattibilità per il Parco Geominerario Storico ed Ambientale della Sardegna (PGMSA), redatto nel 2001 dalla PROGEMISA. In quell'occasione fu eseguita una valutazione dei siti minerari nelle otto aree individuate quali maggiormente interessata dalle attività minerarie dismesse, e che rappresentano sul territorio regionale circa il 90% delle attività minerarie.

Nella tabella 1 sono indicati i volumi dei materiali e degli scavi prodotti dalle attività estrattive, per tutte le otto aree del PGMSA.

Siti minerari dismessi n.	Scavi milioni m ³	Discariche milioni m ³	Bacini fanghi milioni m ³	Abbancamenti fini milioni m ³
169	42,7	33,4	28,7	8,9

Tabella 1: Siti minerari dismessi del PGMSA, stima dei siti e dei volumi di materiali

Il totale dei volumi di materiali di risulta delle attività minerarie assomma quindi a circa **71 milioni di m³**, dei quali la gran parte ha caratteristiche chimico-fisiche tali da essere classificate a rischio potenziale per l'ecosistema.

L'esame dei minerali oggetto di attività estrattiva da questi siti, evidenzia che per la maggior parte si tratta di solfuri misti di Fe-Pb-Zn, Cu e Sb, e questi sono presenti in concentrazioni variabili nei residui sopra citati a causa della imperfetta efficienza delle tecniche di trattamento e della scarsa volontà di minimizzare gli impatti sull'ambiente durante gli ultimi 150 anni di attività estrattiva. Questi elementi principali sono sempre accompagnati da quantità inferiori di Cd, As, W, e spesso da Cr, Hg, Co, Al e Mn. Si registrano inoltre un numero discreto di coltivazioni minerarie di F e Ba, spesso associate ai solfuri misti di Pb-Zn.

La pericolosità geochimica di questi elementi inorganici viene spesso amplificata a causa del contenuto in solfuri dei minerali, che, a seguito dell'ossidazione indotta dalla esposizione all'aria, innesca fenomeni di acidificazione delle acque (AMD Acid Mine Drainage), aumentando quindi la mobilità e disponibilità dei potenziali contaminanti nelle matrici ambientali e influenzando il pH di suoli ed acque anche su aree molto estese. Inoltre per quanto riguarda i residui del trattamento di arricchimento dei minerali, possono essere presenti additivi utilizzati nel processo di trattamento.

1.2 Definizione di Area Vasta e Centri di Pericolo

A causa dell'estensione delle aree coinvolte dalle operazioni minerarie, le indagini d'accertamento sulle matrici ambientali potenzialmente compromesse da contaminazione, devono essere pianificate considerando densità crescenti degli accertamenti passando dall'Area Vasta ai Centri di Pericolo.

L'Area Vasta comprende tutte le sorgenti della possibile contaminazione, all'interno del bacino idrogeologico sotteso e quindi su quest'area è necessario procedere con campionature a maglia larga che evidenzino le aree a maggior rischio.

Il Centro di Pericolo, (CdP) è individuato, sulla base delle indagini sull'area vasta, dalle sorgenti principali della contaminazione e dai corpi recettori più sensibili a valle della contaminazione, per esempio dove si trovano nuclei abitati, aziende agricole e unità produttive bersagli principali della contaminazione potenziale.

L'esecuzione della caratterizzazione di siti contaminati da attività minerarie dismesse, deve quindi analizzare l'area sottesa dai bacini idrografici che comprendono i lavori minerari composti da gallerie, trincee, scavi, discariche, accumuli di scarti di produzione e bacini di contenimento, in quanto per le caratteristiche dell'attività mineraria esistono diversi Centri potenziali di Pericolo distribuiti su superfici variamente estese.

1.3 Determinazione Valori di Fondo

Una delle peculiarità principali delle aree minerarie è costituita dal fatto che queste sono state oggetto di un'attività industriale di valorizzazione economica, a causa della concentrazione di elementi utili molte volte superiore a quello che è considerato il "clark" (fondo) geochimico delle rocce e/o sedimenti circostanti.

Il fenomeno della genesi giacimentologica è costituito essenzialmente da un incremento di diversi ordini di grandezza di un certo elemento rispetto all'ambiente circostante, che può quindi diventare un obiettivo di rilevanza economica. I valori "anomali" presentano una zonazione con aumento progressivo verso l'area propriamente mineralizzata, e solo una parte di questa mineralizzazione può presentare le caratteristiche tecnico-economiche necessarie per la sua valorizzazione.

Un esempio tipico, e semplificato, della forma e dei contenuti di un'area mineralizzata, può essere considerato un campo filoniano, oppure un ammasso, di solfuri misti di Pb-Zn-Fe. La geometria delle mineralizzazioni ha generalmente una dimensione prevalente in superficie, la lunghezza, che può essere pluri-chilometrica mentre la larghezza e lo sviluppo in profondità sono in genere di qualche centinaio di metri. Inoltre bisogna considerare il fatto che, l'interazione delle masse mineralizzate produce un aumento della concentrazione degli inorganici potenzialmente contaminanti, anche

sulla matrice ambientale acqua a contatto nella falda acquifera naturale.

Nelle aree minerarie dismesse i lavori si sono concentrati sugli adunamenti di minerali con valore economico, tralasciando tutte le altre zone in cui i valori di concentrazione, pur elevati in rapporto al fondo geochimico naturale, non superavano tale soglia di economicità. Nell'esemplificazione citata, la parte economica che è stata oggetto di coltivazione, e quindi asportata, riguarda le porzioni del corpo minerario, nelle tre dimensioni, i cui valori di concentrazione superavano i 40.000 mg/kg (4% Pb+Zn), mentre le zone meno ricche sono rimaste in posto.

In questo caso le zone meno ricche consistono in porzioni con valori di concentrazione che variano tra i 1.000÷40.000 mg/kg di Pb+Zn e che possono avere uno sviluppo areale superiore a quello dell'area coltivata. Questo significa che porzioni anche vaste di territorio nelle aree minerarie, oppure in aree in cui sono presenti solo "indizi minerari", contengono concentrazioni in elementi, considerati potenzialmente nocivi, molto superiori a quelle previste dalle tabelle di "valori limite accettabili" nella normativa vigente, D.M. 471/99 Tab. 1 allegato 1.

Per questo motivo la progettazione d'interventi di bonifica su aree di questo tipo, con l'obiettivo di far rientrare le matrici ambientali nei limiti tabellari, è da considerare di difficile realizzazione.

La normativa di riferimento, D.M. 471/99, prevede la possibilità di deroga dai limiti tabellari fissati come obiettivi di risanamento, se è dimostrabile che tali limiti non possono essere raggiunti con l'applicazione delle migliori tecnologie a costi sostenibili.

Nelle Aree Minerarie a seguito di quanto sopra enunciato, è fondamentale l'accertamento dei valori di fondo, e la verifica puntuale delle interazioni tra un ambiente con valori geochimici anomali naturali, ed i potenziali bersagli, utilizzando lo strumento dell'Analisi di Rischio che evidenzia e valuta la reale consistenza di elementi di rischio per la salute e l'ecosistema, e quindi orienta la progettazione delle opere di risanamento e tutela.

E' necessario considerare quindi che, per la peculiare situazione oggettiva precedentemente descritta, nelle aree minerarie il concetto di "limite tabellare", soprattutto per i suoli, deve essere superato dal confronto con il valore di fondo geochimico.

Sulla base delle metodologie di geochimica mineraria ed ambientale, la matrice ambientale che meglio rappresenta il fondo geochimico, riferito al singolo bacino idrografico, è costituita dai sedimenti fluviali (stream sediments) a monte dei lavori minerari. Per loro natura essi evidenziano, infatti, un sostanziale legame con la realtà geo-giacimentologica dei suoli e delle rocce adiacenti, fornendo un quadro chiaro della distribuzione degli elementi metallici, che costituiscono il maggior componente di potenziale contaminazione nelle aree minerarie dismesse.

Sarà quindi necessario utilizzare questo strumento conoscitivo, che inoltre contribuirà a ridurre i costi d'indagine su aree così estese. Si può, infatti, considerare che in certe aree, a seconda del reticolo di drenaggio superficiale, per una rappresentazione accettabile della situazione geochimica ambientale, può essere considerata sufficiente una densità di campionatura di 2 campioni al km².

1.4 Valutazione del riutilizzo dei materiali

La caratterizzazione ambientale ai fini della bonifica/messa in sicurezza dei centri di

pericolo e delle matrici ambientali contaminate delle aree minerarie dismesse, per la peculiarità del tipo di contaminazione, dovrà seguire una valutazione delle sorgenti di tipo geominerario, seguendo comunque le più recenti normative in materia d'ambiente, soprattutto per quanto attiene alla bonifica dei siti inquinati.

I residui di decenni d'attività mineraria e di trattamento mineralurgico possono essere considerati, oltre che come centri di pericolo per l'ambiente, a causa della tossicità potenziale dei metalli contenuti, anche come una potenziale risorsa industriale per la possibilità d'estrazione dei metalli residui. L'utilizzo dei materiali di discarica quali nuove materie prime, costituisce nella gran parte dei casi, anche un intervento sulle caratteristiche ambientali dell'area. La caratterizzazione dovrà quindi considerare sia le normative direttamente legate al materiale di discarica e considerato come potenzialmente contaminante sia, quando ritenuta utile, eseguire un'analisi di carattere economico-minerario per verificare la fattibilità del riutilizzo dei minerali residui.

L'analisi sulla possibilità di riutilizzo di parte dei residui minerari, è raccomandata perché questa potrebbe fornire un contributo sia tecnico sia economico, alla necessità di bonifica e/o messa in sicurezza del sito contaminato. In quest'ottica, ai fini del possibile riutilizzo, le discariche minerarie devono essere classificate come mineralizzate, debolmente mineralizzate e sterili.

Discariche mineralizzate: in questa classe sono raggruppate le discariche che sono composte da materiali che possono essere definiti risorse minerarie. E' evidente che la valutazione tecnico economica dello sfruttamento di tale risorsa, deve essere inserita in un contesto di valutazioni più ampio che consideri appieno i vantaggi legati alla riabilitazione e riqualificazione del sito e alla globalità dei benefici ambientali del territorio. Le discariche appartenenti a questa categoria, dovranno quindi essere soggette ad una fase di caratterizzazione tipica dei giacimenti minerari che si sovrappone a quella richiesta per i siti inquinati.

Discariche debolmente mineralizzate: si possono comprendere in questa classe le discariche minerarie che presentano una concentrazione di metalli utili che, pur non presentando, per i bassi tenori o per la difficoltà di separazione di tali metalli, caratteristiche di risorsa mineraria, rappresentano un potenziale centro di pericolo per l'ambiente circostante.

Discariche sterili: in questa tipologia possono rientrare tutte quelle discariche che, senza processi di separazione che non siano quelli di una coltivazione selettiva, per la loro composizione possono essere considerate sterili nell'accezione mineraria del termine e che, comunque, rispettino i valori di concentrazione in elementi inquinanti come indicati nella tabella 1/B del D.M. 471/99.

1.5 Analisi specifiche

Un altro concetto che differenzia i residui dell'attività mineraria da altri residui di attività industriali, è la natura dei primi. Si tratta, infatti, principalmente di rocce composte da diversi minerali la cui lavorazione, consistente principalmente in una riduzione della dimensione dei grani, ha prodotto un incremento della superficie specifica, che produce una maggiore reattività di questi con l'ambiente circostante.

Inoltre i componenti mineralogici a causa dei contatti con l'atmosfera, le acque meteoriche superficiali e di falda, sono soggetti a continui cambiamenti per effetto di ossido-riduzioni che alterano continuamente le specie mineralogiche e possono anche formare nuovi minerali. In sostanza il trasferimento degli elementi potenzialmente

pericolosi dalle matrici contaminate alla catena alimentare è un processo geochimico.

I minerali oggetto delle attività estrattive contengono sia gli elementi, generalmente metallici, oggetto dell'attività industriali, sia la cosiddetta "ganga", ma in quantità maggiore (rapporto anche di 100:1 nei minerali preziosi), cioè i componenti mineralogici delle rocce incassanti. Questo fatto è molto importante nella ricostruzione dei modelli di mobilità e disponibilità degli elementi potenzialmente pericolosi.

E' necessario quindi prevedere adeguate tecniche di analisi e studi mineralogici, che consentano di definire le condizioni dinamiche, cui sono sottoposti questi residui delle lavorazioni minerarie, in modo da consentire sia la ricostruzione della mobilità dei contaminanti, sia ottenere una previsione delle evoluzioni a seguito delle azioni di bonifica dei siti che saranno utilizzate nella ricostruzione dell'Analisi di Rischio.

Queste tecniche sono necessarie a descrivere la natura dei legami tra le specie mineralogiche e gli elementi che le compongono, per poter comprendere i meccanismi di interazione degli elementi potenzialmente contaminati con le matrici ambientali e gli effetti sull'uomo.

Le analisi specifiche da eseguire sui prodotti delle attività minerarie sono:

- Analisi mineralogiche al microscopio ottico, microsonda, analisi diffrattometriche
- Analisi statiche e cinetiche sul potenziale di generazione di acque acide
- Ricostruzione geochimica dei modelli di equilibrio dei minerali
- Test sulla biodisponibilità degli elementi potenzialmente pericolosi, test di cessione, estrazione sequenziale e lisciviazione con acidi organici.

1.6 Rischio idrogeologico

La secolare attività mineraria, accompagnata da un'intensa attività di disboscamento, ha determinato e favorito il verificarsi di fenomeni di dissesto che si manifestano con un generale stato di potenziale instabilità dei bacini idrografici di competenza.

Le discariche ed i lavori di scavo minerari, per le frequenti interferenze con la rete idrografica e per le loro caratteristiche geomeccaniche di materiali incoerenti, costituiscono elementi di pericolosità geomorfologica e idraulica. S'identificano quindi come potenziali centri di pericolo anche dal punto di vista del Rischio Idrogeologico.

Questo fatto può quindi indurre un incremento della loro pericolosità, in relazione alle caratteristiche geochimiche, quali potenziali fonti dell'inquinamento delle acque e dei suoli.

Nella classificazione delle aree a rischio idrogeologico nel territorio, la presenza di residui di attività minerarie porta a classificare i bacini sottesi come ad *Elevato Rischio Idrogeologico*.

Gli accertamenti relativi ai piani di Bonifica delle aree minerarie dismesse, devono quindi sviluppare adeguati rilievi in situ e definire proposte progettuali in relazione ai fenomeni ed i rischi connessi con l'instabilità dei versanti ed il rimodellamento dei fondi valle necessari alla messa in sicurezza degli stessi.

2. Modalità e procedure generali di approvazione della progettazione ed esecuzione degli interventi

Le procedure generali della progettazione per la bonifica o messa in sicurezza delle Aree Minerarie dismesse prendono spunto da quelle previste nel D.M. 471/99.

In particolare è richiesto agli esecutori che la progettazione si sviluppi per fasi e che per ognuna di queste, le proposte e le fasi realizzative siano concordate, approvate e collaudate con gli Enti competenti.

Le fasi richieste sono le seguenti:

- Piano di Caratterizzazione del Sito
- Progettazione Preliminare
- Progettazione Definitiva
- Esecuzione Interventi, Collaudo e Certificazione

Per quanto riguarda la successione dei procedimenti autorizzativi, i riferimenti normativi e di finanziamento, le competenze territoriali, questi sono stati raccolti in dettaglio negli Allegati che fanno parte di questo documento.

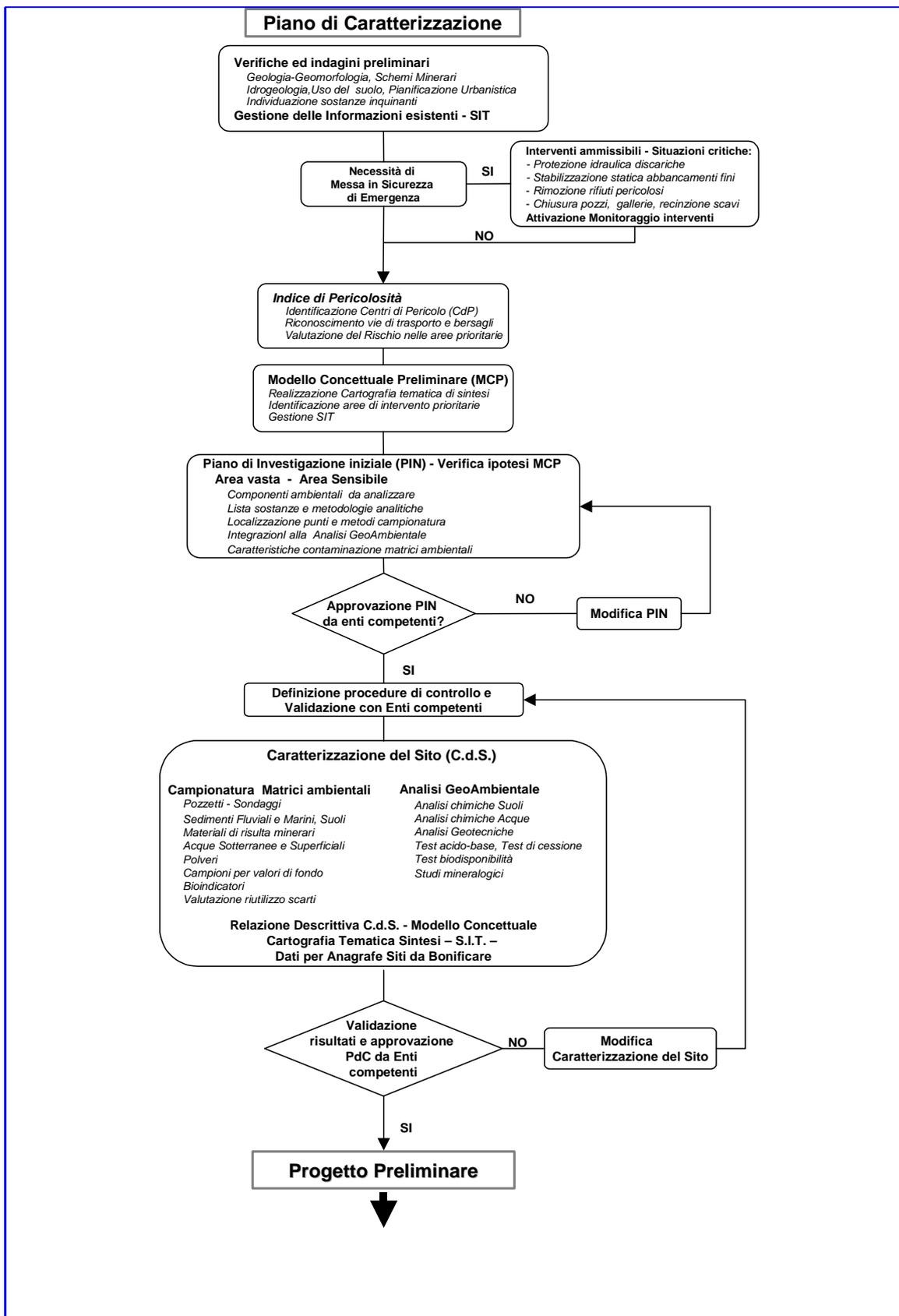
A1 Definizioni

A2 Riferimenti normativi e valori tabellari

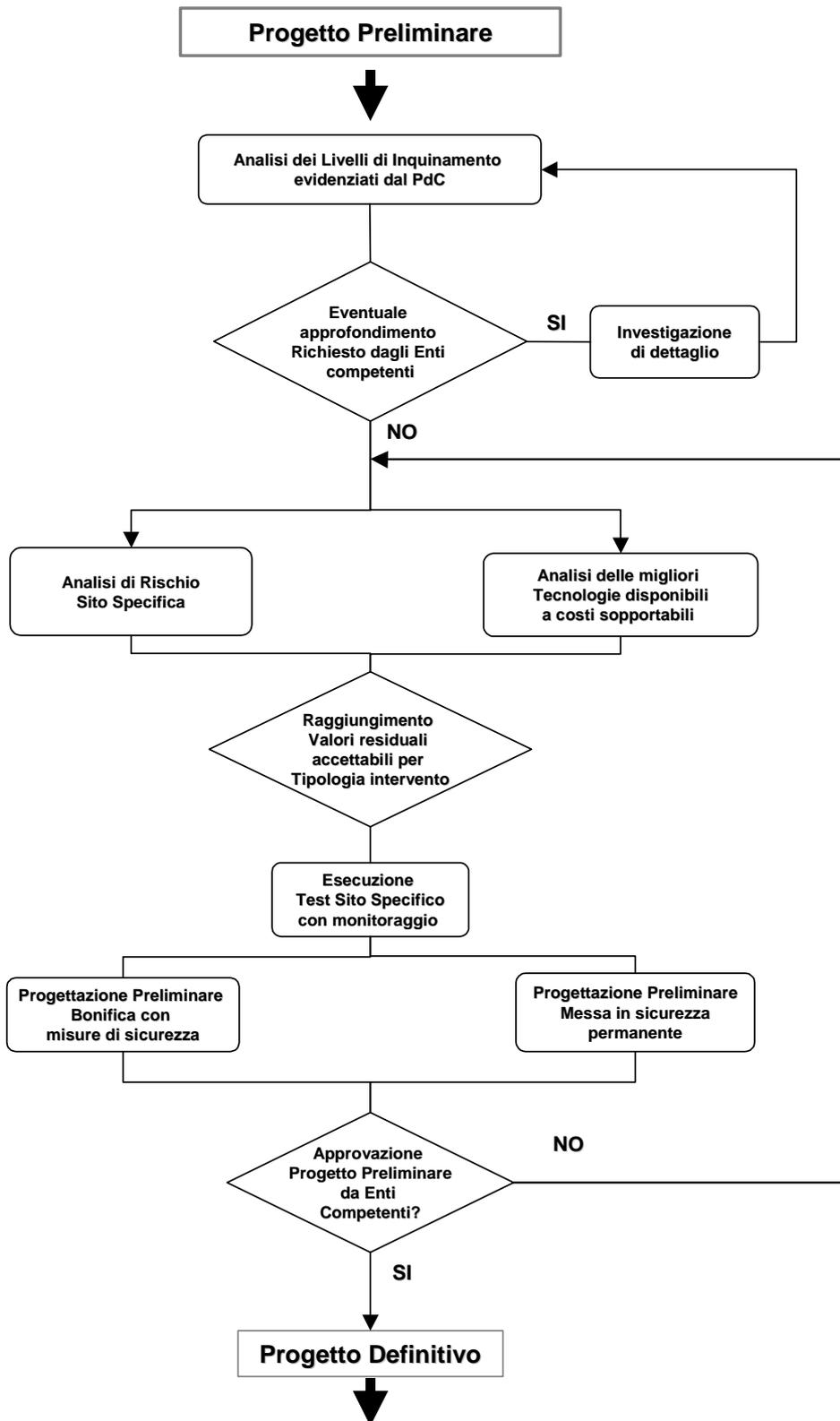
A3 Competenze degli enti territoriali

A4 Anagrafe dei siti da bonificare: Scheda anagrafica del sito

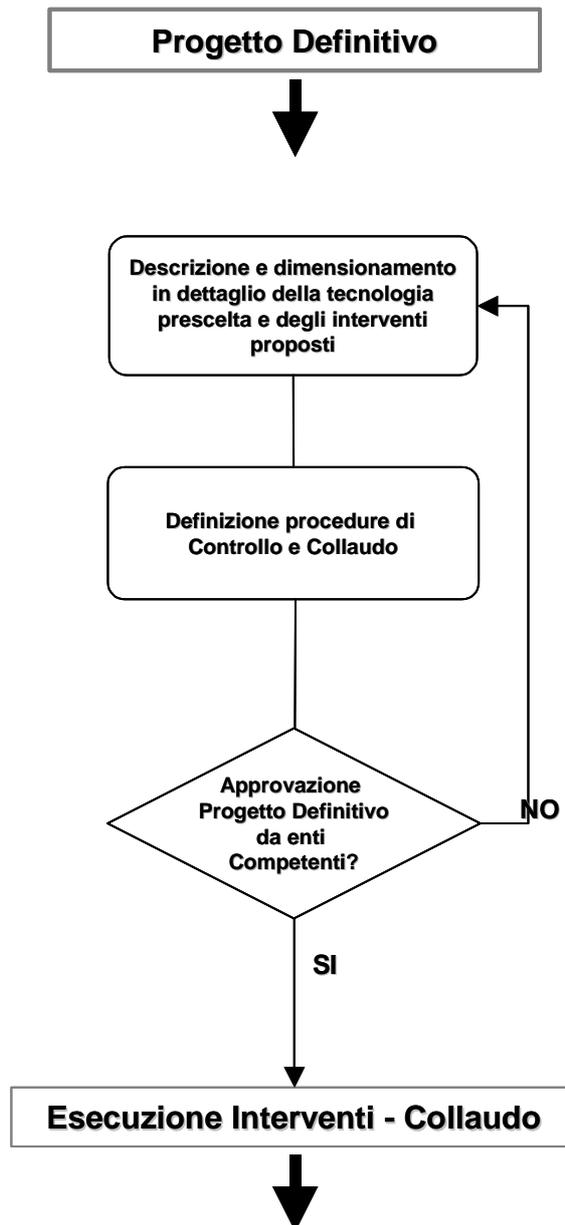
Per visualizzare, in maniera semplificata, sia le fasi progettuali che di approvazione delle procedure di Bonifica delle Aree Minerarie Dismesse, sono stati elaborati dei diagrammi di flusso per ognuna delle fasi progettuali principali, e questi schemi sono raccolti di seguito nel documento.



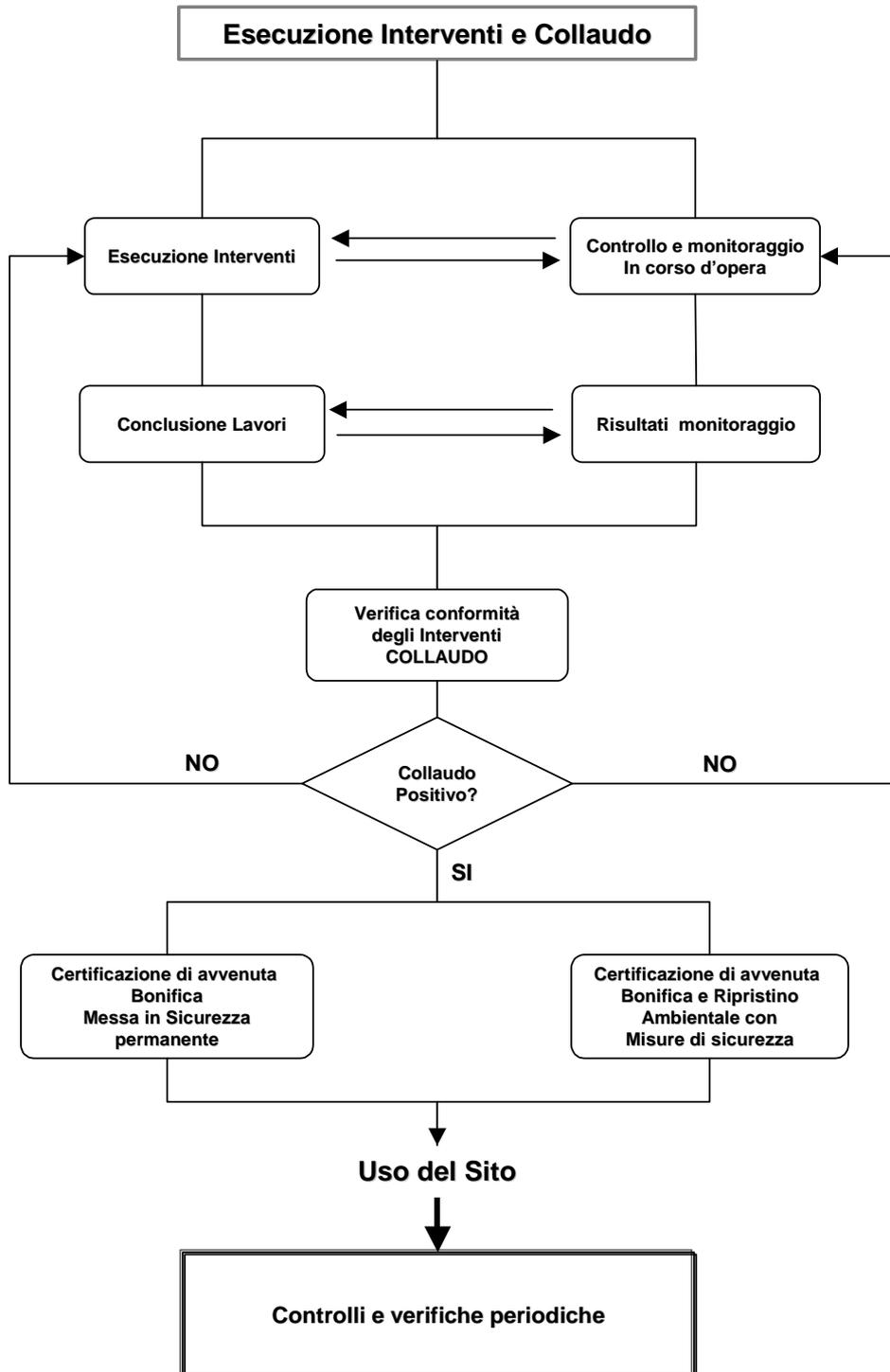
SCHEMA 1: PIANO DI CARATTERIZZAZIONE



SCHEMA 2: PROGETTO PRELIMINARE



SCHEMA 3: PROGETTO DEFINITIVO



SCHEMA 4: ESECUZIONE INTERVENTI E COLLAUDO

3. Interventi di messa in sicurezza d'emergenza

L'Art. 2, comma d) del D. M. 471/99 definisce la messa in sicurezza d'emergenza come: "*Ogni intervento necessario ed urgente per rimuovere le fonti inquinanti, contenere la diffusione degli inquinanti e impedire il contatto con le fonti inquinanti presenti nel sito, in attesa degli interventi di bonifica e ripristino ambientale o degli interventi di messa in sicurezza permanente.*"

Gli interventi di questo tipo vengono proposti e quindi autorizzati, in caso di improvvisa modifica di condizioni ambientali, a causa di sversamenti di contaminanti, oppure di problemi di statica dei cumuli di "rifiuti" che possono incrementare la diffusione di contaminanti nelle matrici ambientali. In ogni caso, a seguito della segnalazione di questi eventi e dell'esecuzione degli interventi, l'autorizzazione degli Enti Competenti costituisce una deroga temporanea all'obbligo di bonifica di un sito inquinato. Infatti, come enunciato nell'articolo di legge gli interventi vengono eseguiti "... in attesa degli interventi di bonifica e o messa in sicurezza permanente".

Nel caso delle Aree Minerarie Dismesse, come già enunciato nella premessa di queste Linee Guida, i siti sono già compromessi e potenzialmente contaminati da diversi anni, se non addirittura da decenni. Il concetto quindi di "evento improvviso" mal si applica a questa tipologia di siti, in particolare a riguardo della diffusione dei contaminanti, che per la maggior parte dei siti è già avvenuta.

L'esperienza degli ultimi anni ha evidenziato comunque, che il tipo di eventi più significativi in questi siti, sono legati alle risorgenze di acque di falda, variamente contaminata, dai lavori minerari, oppure all'insorgere di fenomeni franosi dei versanti interessati da discariche minerarie e scavi, che contribuiscono ad una maggiore diffusione della contaminazione delle matrici ambientali.

Qualora sia necessario realizzare interventi di messa in sicurezza d'emergenza il progetto relativo dovrà essere trasmesso al Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio che si esprimerà in merito tramite conferenza dei Servizi.

Gli interventi di messa in sicurezza di emergenza ammissibili all'iter procedurale di cui sopra, sono strettamente identificati nelle situazioni che presentano rischi immediati per la sicurezza delle persone e delle cose, di seguito elencate:

- Interventi di protezione idraulica in presenza di situazioni critiche, di discariche mineralizzate, abbancamenti fini e bacini sterili di laveria
- Stabilizzazione statica in fasi critiche di abbancamenti fini o bacini sterili di laveria
- Regimazione idraulica nei casi critici di risorgenze di acque da lavori minerari
- Rimozione e smaltimento di rifiuti pericolosi, quali oli esausti, serbatoi con residui, coperture in cemento-amianto, trasformatori elettrici. Sono esclusi tutti i residui provenienti dal trattamento mineralurgico e metallurgico

E' ammessa inoltre l'esecuzione di ulteriori misure di messa in sicurezza di lavori minerari aperti quali pozzi, gallerie e scavi o di edifici pericolanti

Su proposta dell'Esecutore, ed approvazione degli Enti Competenti, s'individuano e realizzeranno le misure di intervento necessarie ed urgenti, con il supporto progettuale e di raccolta e gestione dei dati e informazioni.

In ogni caso l'esecutore dovrà porre la massima attenzione nella realizzazione delle

messe in sicurezza d'emergenza, in modo da non costituire un impedimento alla realizzazione dei successivi interventi previsti per il completamento della messa in sicurezza o bonifica del sito.

L'intervento eseguito, in ogni caso, non sostituisce le fasi progettuali ed esecutive di queste Linee Guida, che l'Esecutore è tenuto a continuare sino all'individuazione degli interventi di bonifica o messa in sicurezza permanente e di ripristino ambientale del sito, ad iniziare dalla fase del Piano di Caratterizzazione.

L'esecuzione di questi interventi deve prevedere la progettazione e realizzazione di un monitoraggio specifico sugli interventi, che proseguirà durante le successive fasi del progetto di bonifica e sarà sottoposto ad approvazione e controllo da parte degli enti competenti.

Su tutti gli interventi eseguiti verrà esercitata un'azione di controllo da parte degli Enti Competenti in relazione allo specifico intervento.

4. Protocollo Operativo del Piano di Caratterizzazione

Obiettivo del Piano della Caratterizzazione - PdC - è la descrizione dettagliata del sito e di tutte le attività che si sono svolte o che ancora si svolgono. Il PdC individua le correlazioni tra le attività svolte e tipo, localizzazione ed estensione della possibile contaminazione; descrive le caratteristiche delle componenti ambientali sia all'interno del sito sia nell'area da questo influenzata; descrive le condizioni necessarie alla protezione ambientale e alla tutela della salute pubblica; presenta un piano delle indagini da attuare per definire tipo, grado ed estensione dell'inquinamento.

Si articola nelle seguenti sezioni:

- Gestione delle Informazioni
- Modello Concettuale Preliminare
 - Analisi di rischio preliminare
 - Elaborazione Modello concettuale
- Progettazione e realizzazione del Piano d'Investigazione Iniziale
 - Modalità operative
 - Esecuzione della Caratterizzazione del Sito
 - Relazione Descrittiva dei risultati del PIN

Per tutte le fasi del PdC ed ogni attività prevista, in particolare in quelle operative, dovrà essere espressamente individuato il responsabile delle stesse, che dovrà garantire le modalità esecutive.

4.1 Gestione delle Informazioni

In questa sezione si devono raccogliere e gestire tutte le informazioni disponibili sul sito, individuando attraverso verifiche ed indagini anche sul campo, l'area di interesse ed i possibili elementi della contaminazione. Lo schema di lavoro è costituito dai punti elencati di seguito.

Verifiche sul campo

Tale attività è finalizzata ad individuare e delimitare in modo univoco l'area d'interesse sulla quale eseguire le successive fasi di caratterizzazione. Per la corretta ubicazione e delimitazione dell'area saranno utilizzate basi cartografiche in formato digitale vettoriale. Sarà indispensabile che il supporto cartografico sia integrato da rilievi aereofotogrammetrici aggiornati, a scala significativa (almeno 1:10.000).

Raccolta dati ed informazioni disponibili

La raccolta d'informazioni dettagliate e disponibili riguardanti l'area d'interesse dovrà riguardare:

- i dati sulle mineralizzazioni (paragenesi mineralogiche, tenori, volumi, etc.) oggetto di coltivazioni con caratterizzazioni anche geotecniche delle litologie incassanti;

- l'identificazione di tutte le attività antropiche e la loro cronologia che hanno luogo o sono avvenuti nell'area (tipologia e piani di coltivazione mineraria, tipologia e schemi dei processi di trattamento mineralurgico, interventi infrastrutturali etc.);
- elenco e analisi delle sostanze chimiche utilizzate nei cicli di lavorazione e dati sull'eventuale smaltimento.

Gli aspetti relativi alla caratterizzazione ambientale delle aree minerarie dismesse devono prevedere un'accurata ricostruzione delle attività succedutesi nell'area in esame. L'acquisizione di questi elementi, come prescritto dalla normativa di riferimento, è propedeutica all'attività d'investigazione vera e propria. Si procederà a sopralluoghi sul sito, alla ricostruzione storica della gestione dell'attività industriale ed alla raccolta degli elementi necessari a comporre il quadro sullo stato ecologico-ambientale.

In questa fase si deve ricostruire, dai dati presenti negli archivi dei Distretti Minerari (Iglesias), del Servizio Attività Estrattive dell'Assessorato all'Industria della R.A.S., e da altre fonti documentali, il processo produttivo storico ed attuale in relazione alle tecnologie ed impianti industriali utilizzati e dismessi, i materiali ed i reagenti chimici impiegati, la loro movimentazione all'interno ed eventualmente all'esterno dell'area di pertinenza, nonché rapporti su eventuali sversamenti di sostanze, crolli di bacini sterili oppure sulle eventuali periodiche aperture.

La raccolta dei dati dovrà procedere con la definizione degli accumuli di materiali, dei criteri di conservazione degli stessi, della quantità e qualità dei diversi materiali di scarto del processo produttivo, allo scopo di definire eventuali dispersioni, anche non visibili, di sottoprodotti nell'ambiente.

La ricostruzione dovrà focalizzarsi sulla ricostruzione dello sviluppo areale e volumetrico, storico e attuale dei materiali di risulta, e gli effetti della diffusione degli inquinanti nell'ambiente circostante. Le indagini dovranno quindi comprendere la raccolta della documentazione esistente nel territorio interessato dal punto di vista geologico-stratigrafico, geomorfologico, idrologico ed idrogeologico, e l'uso del suolo nell'area d'indagine. L'analisi delle serie storiche disponibili, di rilievi cartografici e aereofotogrammetrici, dovrà essere eseguita allo scopo di rendere evidente le trasformazioni nel tempo del sito e dell'ambiente circostante.

Si dovranno esaminare le carte geologiche disponibili sull'area a varia scala, e le eventuali stratigrafie di sondaggi effettuati nell'area durante i lavori di coltivazione mineraria. L'analisi geomorfologica dell'area interessata dalla presenza dei lavori minerari e delle attività produttive, dovrà evidenziare le principali forme e processi geomorfologici in atto e potenziali, allo scopo di valutare la pericolosità geomorfologica del sito.

Considerate le problematiche ambientali connesse al potenziale rischio idrogeologico delle aree in cui sono ubicati i siti, l'analisi geomorfologica riguarderà anche le aree circostanti l'area di pertinenza mineraria, allo scopo di evidenziare le interazioni tra i principali processi fluviali e i siti interessati dalle discariche.

L'obiettivo dell'analisi sarà pertanto quello di individuare le aree considerate a maggior rischio idrogeologico ed in via preliminare gli interventi e le misure, sia strutturali sia non strutturali, finalizzate al contenimento dei fenomeni erosivi.

Per quanto riguarda le acque sotterranee e superficiali saranno raccolti dati relativi a:

- *Climatologia*: dati di precipitazione e di temperatura rilevati nelle stazioni pluviometriche e termometriche di riferimento, ed i dati relativi ai casi critici

pluviometrici riscontrati nelle stesse stazioni;

- *Idrografia*: dati e informazioni relativi ai principali corpi idrici superficiali presenti nell'area di indagine, quali corsi d'acqua, stagni, laghetti, e dighe di contenimento, riguardanti in particolare i bacini idrografici, le aste fluviali, il regime e le portate dei corsi d'acqua, le dimensioni degli invasi;
- *Idrogeologia*: dati e informazioni riguardanti gli acquiferi presenti nel sito, ed in particolare dati relativi alla presenza ed alle caratteristiche di pozzi, di sorgenti e di acque di miniera con il loro utilizzo ed eventualmente informazioni riguardanti le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche ed i parametri idrodinamici degli stessi corpi idrici sotterranei;
- *Idrochimica*: dati relativi a campionamenti ed analisi chimico-fisiche di acque superficiali e sotterranee effettuate sul sito.
- Individuazione di sotto-aree omogenee

A seguito dell'attività di raccolta dei dati pregressi, sarà utile operare una sovrapposizione cartografica di informazioni "omogenee", in modo da poter meglio definire le successive fasi di indagine. Mediante la sovrapposizione delle informazioni cartografiche storiche, infatti, sarà possibile definire all'interno del sito perimetrato delle sub-aree "omogenee" che saranno poi la guida per la pianificazione ed esecuzione delle indagini successive.

4.1.1 *Organizzazione e gestione del sistema informativo*

Il sistema informativo dovrà essere realizzato per permettere di gestire tutti i dati inizialmente raccolti e quelli che nelle varie fasi del progetto si renderanno disponibili (ubicazione indagini e campionamenti, analisi chimiche, mineralogiche e geotecniche eseguite sui campioni etc.) in modo che gli specialisti delle varie discipline, che opereranno nelle fasi di caratterizzazione, siano dotati di uno strumento che consenta di ottimizzare le sinergie e, a partire dal quadro iniziale, verificare la rispondenza dello stato di avanzamento degli interventi al programma originario.

L'insieme dei dati alfanumerici dovrà essere organizzato in una banca dati che consenta l'immagazzinamento, l'interrogazione e la visualizzazione delle informazioni riguardanti ciascuna area o punto di indagine o di misura di pertinenza del sito e del suo immediato intorno, sia per quanto riguarda le caratteristiche fisiche (area, tipo di punto di indagine, caratteristiche realizzative, stratigrafia, ecc.) che chimiche (dati analitici dei terreni, delle acque, di misure e prove in campo in campo eseguite). I dati analitici e le misure dovranno essere riportati in modo da consentire l'inserimento e la rappresentazione di serie successive di dati, in modo da permettere la visualizzazione dell'andamento temporale delle fasi di caratterizzazione.

Tutte le informazioni riportate nella Banca Dati dovranno essere georeferenziate, sistema di coordinate Gauss-Boaga riportato nelle Carta tecnica regionale scala 1:10.000, tramite elementi geometrici che si possono ricollegare a punti, linee od aree, al fine di permettere la realizzazione di un SIT dedicato al sito, con cui poter ricostruire in modo automatico carte tematiche di interesse. Le coordinate dovranno avere precisione planimetrica di un metro ed altimetrica di un centimetro. Gli elaborati grafici dovranno essere compilati in formato vettoriale tale che permetterà la loro integrazione con i sistemi GIS più diffusi.

Nelle tabelle di database relative ai dati raccolti, i valori analitici dovranno essere espressi in mg/kg s.s. per i solidi ed in g/l per le acque. Nei database dovranno essere

inseriti tutti i dati raccolti, anche i risultati analitici inferiori ai limiti di detezione degli elementi concordati con gli Enti Competenti. Questi dati analitici potranno essere modificati solo in fase di elaborazione dei dati. Tutti i certificati analitici di laboratorio dovranno essere raccolti negli elaborati di testo.

Su ogni sito si raccoglieranno significative quantità di dati, per l'interpretazione dei quali sarà necessario adottare metodi di analisi statistica per evidenziare elementi e andamenti critici della situazione rilevata.

Il sistema informativo dovrà permettere l'interrogazione diretta della Banca Dati e dovrà costituire la base del sistema di controllo degli interventi, in opera e post opera.

I modelli di riferimento per la strutturazione dei dati sono quelli elaborati dall'ANPA nei "Criteri per la predisposizione dell'Anagrafe dei Siti da Bonificare (D.M. 471/99) Contenuti e Struttura Dati" (vedi Allegato 6), nonché nel sistema nazionale SINA (Sistema Informativo Nazionale Ambientale), oppure altre strutture di Sistemi Informativi Territoriali sviluppati dagli enti competenti.

I dati dovranno essere forniti in supporti ottici, CD-ROM, o magnetici, Floppy Disk 3.5'.

4.2 Elaborazione dell'Indice di Pericolosità

Sulla base degli studi e delle elaborazioni eseguite nella fase di raccolta e gestione delle informazioni, si procederà ad una rappresentazione schematica del sito individuando:

- le possibili fonti della contaminazione quali residui di lavorazione, sedimenti e suolo contaminato, rifiuti interrati, accumuli di rifiuti, perdite da impianti e serbatoi, scarichi di attività produttive, reti tecnologiche e polveri;
- le sostanze contaminanti potenzialmente presenti nelle diverse componenti ambientali influenzate dal sito e la loro evoluzione;
- il contesto ambientale dell'area in cui è situata l'area mineraria ed il livello di vulnerabilità ambientale;
- la presenza di pozzi, piezometri e l'utilizzo delle acque prelevate;
- la presenza di centri abitati nelle zone circostanti e l'utilizzo attuale del suolo nelle aree a rischio.

Le attività specifiche concernenti le acque da realizzarsi in questa sezione sono le seguenti:

- Individuazione e caratterizzazione dei Centri di Pericolo potenziali;
- Definizione dei possibili percorsi dei contaminanti;
- Individuazione e caratterizzazione dei Corpi Idrici Sensibili.

Per individuare le azioni prioritarie da inserire nel Modello Concettuale e quindi di indagine sul campo, si applicherà una metodologia *per la determinazione dell'Indice di Pericolosità (IdP)* Sulla base dei dati raccolti si definirà lo schema sorgente – trasporto – bersaglio, fondamentale per giungere alla individuazione degli obiettivi di bonifica, della formulazione del progetto, della valutazione del rischio e della selezione delle eventuali misure di sicurezza permanente.

La valutazione dell'indice di pericolosità consente una prima valutazione del rischio,

utile alla progettazione delle fasi successive di Caratterizzazione del Sito e per la programmazione degli obiettivi di riabilitazione e come base per la successiva Analisi di rischio come prevista dalla normativa vigente. La valutazione da ottenere è di tipo qualitativo, poiché la base di dati su cui si opera, principalmente di letteratura e storici del sito, è insufficiente per una valutazione quantitativa dei centri di pericolo e degli effetti della contaminazione.

Sulla base dei dati ottenuti nella fase di verifica preliminare, si devono identificare le fonti causative (centri di pericolo), i meccanismi di trasmissione e gli effetti sulle aree a rischio considerando la Probabilità e la Magnitudo delle conseguenze secondo le seguenti definizioni.

La *Probabilità* che una possibile contaminazione raggiunga un'area in concentrazione sufficiente per causare un pericolo ambientale viene classificata come: *Alta* (certa), *Media* (ragionevolmente probabile), *Bassa* (improbabile) e *Trascurabile*.

La *Magnitudo* dovuta alla contaminazione ambientale è classificata come: *Grave* (pericolo di malattie mortali per la comunità umana, importanti modifiche dell'ecosistema con estinzione di specie, gravi danni a strutture), *Moderata* (possibili malattie umane, cambiamenti nell'ecosistema, danni a strutture), *Blanda* (casi isolati di malattie, limitati cambiamenti dell'ecosistema, danni riparabili) e *Trascurabile* (lievi disturbi all'attività umana, nessun cambiamento nell'ecosistema, danni molto limitati alle strutture).

Sulla base della stima della *Probabilità* e la *Magnitudo*, il **Rischio Ambientale** è classificato da **Alto** a **Quasi Zero** secondo la tavola seguente.

<i>Probabilità</i>	<i>Magnitudo</i>			
	<i>Grave</i>	<i>Moderata</i>	<i>Blanda</i>	<i>Trascurabile</i>
	Rischio Ambientale			
<i>Alta</i>	<u>Alto</u>	Alto	<u>Medio/Basso</u>	<u>Quasi Zero</u>
<i>Media</i>	<u>Alto</u>	Medio	<u>Basso</u>	<u>Quasi Zero</u>
<i>Bassa</i>	<u>Alto/Medio</u>	<u>Medio/Basso</u>	<u>Basso</u>	<u>Quasi Zero</u>
<i>Trascurabile</i>	<u>Alto/Medio/Basso</u>	<u>Medio</u>	<u>Basso</u>	<u>Quasi Zero</u>

Le vie di trasmissione della contaminazione sono considerate: inalazione, ingestione, contatto dermico, eluati e particelle solide in acqua e aria, prelievo diretto, prelievo della flora, consumo di vegetali ed acque. I ricettori ambientali sono: la comunità umana, flora e fauna, suoli, acque superficiali e sotterranee, acque marine.

Nelle tabelle seguenti, si esemplifica la metodologia di applicazione della procedura di *valutazione dell'indice di pericolosità* (tabella 2) attraverso un esempio su un'area mineraria dismessa tipica del territorio regionale (tabella 3).

Sulla base dei dati raccolti nella fase di verifica preliminare (vedi cap. 4.1) si identifica l'Area Vasta, che come precedentemente riportato, è relativa al bacino idrogeologico in cui si trova l'area mineraria in studio, e che per la tipologia di attività ha dimensioni anche di decine di km². Gli ammassi di risulta delle attività estrattive individuati in loco,

discariche minerarie, bacini di fanghi, abbancamenti di fini, scavi, suoli contaminati e risorgenze di falde contaminate da gallerie, devono essere classificati come centri di pericolo. Sulla base di questi dati, della ricostruzione preliminare delle attività, dei caratteri fisici del territorio, idrografia ed idrogeologia, impatto sulle matrici ambientali, si ricostruisce lo schema Sorgente-Trasmissione – Bersaglio come esemplificato in tabella 2.

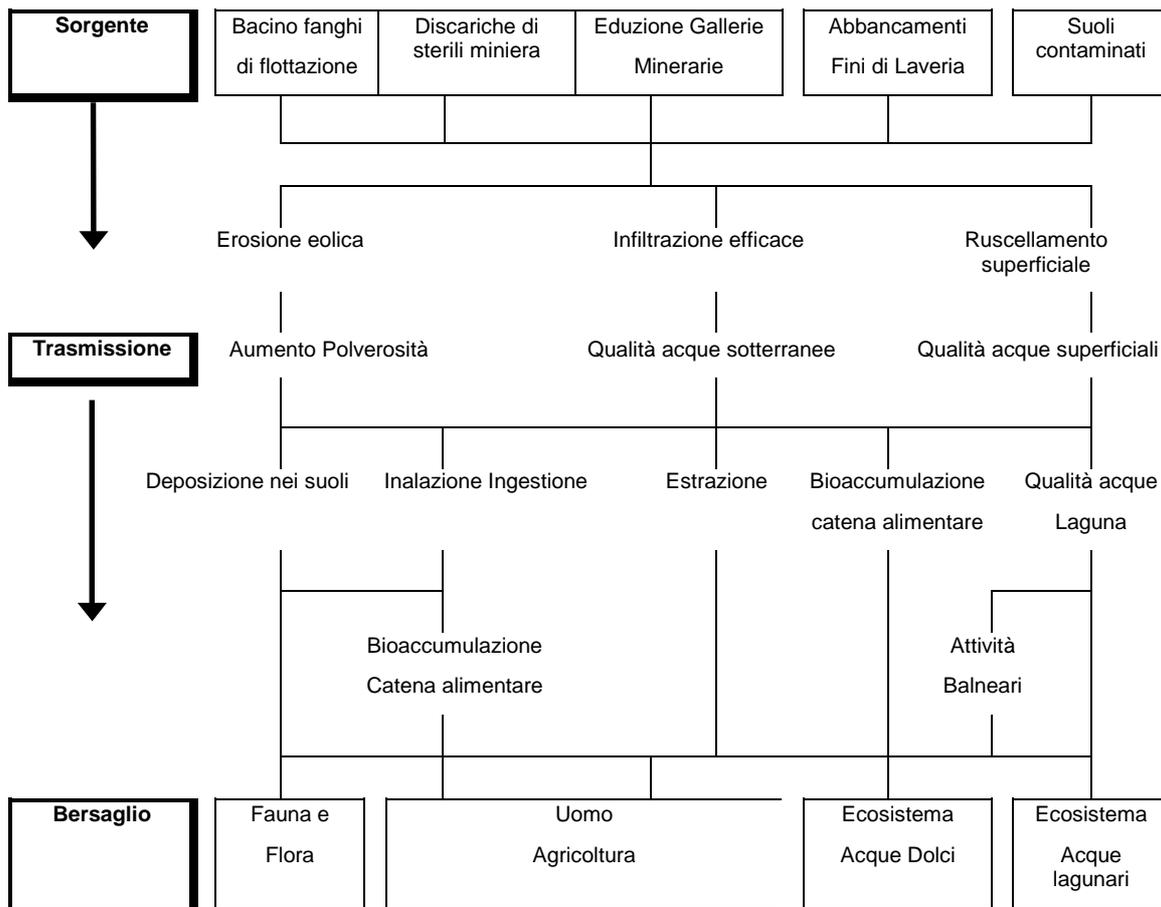


Tabella 2: Analisi dei collegamenti Sorgente-Trasmissione-Bersaglio per siti minerari dismessi

A seguito dell'individuazione delle potenziali Sorgenti della contaminazione, delle vie di Trasmissione e dei Bersagli sito specifici, si procederà con la valutazione quantitativa del tipo di pericolo connesso ai centri di pericolo, attraverso la sintesi dei dati delle sorgenti, dei loro collegamenti con le matrici ambientali ed i potenziali bersagli.

Come esemplificato nell'esempio di tabella 3, attraverso una ricostruzione a matrice, si procederà alla valutazione della Probabilità e della Magnitudo del Rischio, come esemplificato precedentemente.

Si arriverà quindi ad una valutazione qualitativa del Rischio Ambientale, da Quasi Zero ad Alto, che dovrà essere utilizzata per individuare le priorità sugli obiettivi di bonifica del sito utili alla definizione del Modello Concettuale Preliminare.

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
LINEE GUIDA BONIFICA AREE MINERARIE DISMESSE

		<i>Indice di Pericolosità</i>			
		Ricettore	Probabilità	Magnitudo	RISCHIO
Sorgente:	Bacino fanghi di flottazione				
Pericolo:	Elevata concentrazione di metalli pesanti. Materiale caratterizzato come tossico. Capacità di produrre drenaggio acido con alte concentrazioni di metalli pesanti. Stabilità statica.				
Trasmissione					
	Erosione eolica > aumento della polverosità > inalazione ed ingestione	Uomo	Media	Moderata	Medio
	Erosione eolica > aumento polverosità > deposizione sul terreno	Flora	Media	Moderata	Basso
	Erosione eolica-aumento polverosità > deposizione sul terreno > bioaccumulazione su flora > catena alimentare	Uomo	Media	Moderata	Basso
	Drenaggio superficiale > qualità acque superficiali , contaminazione suoli	Ecosistema	Alta	Moderata	Medio
	Drenaggio superficiale > qualità acque superficiali , contaminazione suoli > bioaccumulazione su flora > catena alimentare	Uomo	Alta	Moderata	Alto
	Infiltrazione e drenaggio superficiale > qualità acque sotterranee/di superficie	Ecosistema	Alta	Moderata	Alto
	Infiltrazione e drenaggio superficiale > qualità acque sotterranee e di superficie	Uomo	Alta	Blanda	Medio Basso
Sorgente:	Gallerie di eduazione minerarie				
Pericolo:	Elevate concentrazioni di elementi tossici. Drenaggio acido. Acque contaminate da metalli pesanti . Vasta dispersione nell'ambiente. Possibile impatto su flora e fauna lagunare- Catena alimentare				
Trasmissione					
	Infiltrazione e drenaggio superficiale > qualità acque sotterranee/di superficie > qualità compendio lagunare	Uomo	Alta	Moderata	Alto
	Infiltrazione e drenaggio superficiale > qualità acque sotterranee e di superficie > qualità acque lagunari > bioaccumulazione su flora e fauna > catena alimentare	Flora Ecosistema Lagunare	Alta	Blanda	Medio Basso
Sorgente:	Abbancamenti fini di laveria e suoli contaminati				
Pericolo:	Elevata concentrazione di metalli pesanti. Materiale caratterizzato come tossico. vasta dispersione nell'ambiente. Desertificazione suoli				
Trasmissione					
	Erosione eolica > aumento della polverosità > inalazione ed ingestione	Uomo	Alta	Moderata	Alto
	Erosione eolica > aumento polverosità > deposizione sul terreno	Flora	Alta	Moderata	Alto
	Erosione eolica-aumento polverosità > deposizione sul terreno > bioaccumulazione su flora > catena alimentare	Uomo	Alta	Moderata	Alto
	Drenaggio superficiale > qualità acque superficiali , contaminazione suoli	Ecosistema	Alta	Moderata	Alto
	Drenaggio superficiale > qualità acque superficiali , contaminazione suoli > bioaccumulazione su flora > catena alimentare	Uomo	Alta	Moderata	Alto
	Infiltrazione e drenaggio superficiale > qualità acque sotterranee/di superficie > qualità compendio lagunare	Ecosistema	Alta	Blanda	Medio
	Infiltrazione e drenaggio superficiale > qualità acque sotterranee e di superficie > qualità acque lagunari > bioaccumulazione su flora e fauna > catena alimentare	Ecosistema Lagunare Uomo	Alta	Blanda	Medio

Tabella 3: Esempio di Indice di Pericolosità per un'area mineraria dismessa tipica nel territorio regionale.

Nell'esempio proposto di un sito minerario dismesso tipico, il bacino dei fanghi di flottazione provoca un rischio medio-alto a causa del drenaggio di acque acide con elevato contenuto in metalli pesanti, ed un elevato rischio per la qualità dell'aria, a causa della polverosità. Le acque di miniera che vengono a giorno aumentano il rischio poiché con il loro contributo rilevante sulla portata delle acque superficiali, contribuiscono alla trasmissione della contaminazione sino all'immissione in ecosistemi lagunari e/o marini.

Gli abbancamenti fini distribuiti, a valle dei bacini di flottazione, lungo i corsi d'acqua, a

causa del loro livello di contaminazione possono provocare la desertificazione anche su vaste aree di suoli con un alto rischio sulle attività di agricoltura e pastorizia, in quanto gli elementi tossici possono avere un elevato indice di biodisponibilità. Inoltre la granulometria fine dei materiali può causare un trasporto eolico di questi residui di lavorazione anche su grandi distanze.

4.3 Elaborazione del Modello Concettuale Preliminare

Sulla base dei dati raccolti e delle valutazioni eseguite con *la valutazione dell'Indice di Pericolosità* si giungerà alla formulazione preliminare del Modello Concettuale, mediante la realizzazione di carte tematiche sovrapponibili. Queste saranno necessarie per definire nel dettaglio gli interventi del Piano di investigazione iniziale (delimitazione dell'area di intervento, ubicazione dei punti di campionamento, dei piezometri e scelta dei parametri chimico – fisici da determinare).

Nello specifico dovranno essere valutate la tossicità chimica e la biodisponibilità delle sostanze inorganiche potenzialmente pericolose presenti nell'area, ed il loro livello di rischio di diffusione per trasporto fisico, solubilità ed evaporazione. La definizione delle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi superficiali e profondi sarà esaminata in dettaglio in quanto possibile veicolo e bersaglio della contaminazione.

L'analisi dei dati e delle informazioni raccolte dovrà permettere la ricostruzione del Modello Concettuale del sito, che consentirà la corretta impostazione delle successive indagini del Piano di Investigazione, il cui obiettivo è l'accertamento e la verifica delle ipotesi formulate in relazione alla pericolosità del sito ed alla vulnerabilità dell'ambiente circostante.

Rapporto	Elaborati grafici	Scala
1 Raccolta e Sistematizzazione dati		
1.1 Relazione di sintesi, contenente una valutazione dei dati e delle informazioni fornite	Planimetria dell'area del sito e dell'ambiente circostante.	1:10.000
1.2 Indagine storica dettagliata, di attività, processi produttivi, incidenti che hanno interessato l'area e prodotto l'inquinamento del sito. Definizione delle possibili sostanze presenti, definizione delle aree a maggiore possibilità di inquinamento e dei possibili percorsi di migrazione	Mappe tematiche del sito: strutture impiantistiche ed edifici reti tecnologiche, fognature, punti di stoccaggio, aree di carico/scarico lavori minerari, gallerie, pozzi, scavi, discariche, bacini di accumulo	1:5.000 1:1.000
1.3 Descrizione della destinazione d'uso attuale e prevista dagli strumenti urbanistici vigenti; certificato di destinazione urbanistica		
1.4 Descrizione delle eventuali azioni di messa in sicurezza d'emergenza già attuate, e descrizione dei sistemi di monitoraggio adottati per verificare l'efficacia delle azioni di messa in sicurezza in attesa degli interventi di bonifica e ripristino ambientale		
1.5 Descrizione dettagliata del sito e dell'area interessata dall'inquinamento e dalla migrazione delle sostanze inquinanti. Descrizione geologica ed idrogeologica del sito e dell'ambiente circostante; dei corpi d'acqua superficiali; delle componenti ambientali rilevanti e del territorio circostanti.	Mappe tematiche: Geologica Geochimica ed idrogeochimica Geoambientale	1:10.000 1:5.000 1:1.000

Rapporto	Elaborati grafici	Scala
Caratteristiche meteorologiche		
2 Caratterizzazione del Sito e Modello Concettuale preliminare		
2.1 Caratterizzazione generale del sito <i>Indice di pericolosità</i> Elaborazione del Modello Concettuale preliminare Definizione del possibile contributo all'inquinamento generato, all'interno e all'esterno del sito, da ogni CdP individuato		
2.2 Valutazione degli elementi caratterizzanti i valori di fondo geochimici del sito in esame	Cartografia tematica dei valori di fondo geochimico naturale del sito, in confronto coi risultati delle altre matrici ambientali	1:10.000
2.3 Risultati analisi chimico-fisiche svolte preliminarmente sul sito, indicazione laboratori utilizzati nelle indagini preliminari. Definizione preliminare di eventuali aree di contaminazione rilevate con l'analisi.	Mappe tematiche: Geochemica dei contaminanti Idrogeochemica	1:10.000 1:5.000 1:1.000
2.4 Descrizione di eventuali indagini geochimiche, geognostiche, geofisiche, geologiche ed idrogeologiche da svolgere ad integrazione e conferma dei dati esistenti.	Cartografia tematica relativa a idrologia ed idrogeologia dell'area. Direzioni di flusso e gradienti; permeabilità, conducibilità idraulica	1:10.000

Tabella 4: Elenco degli elaborati tecnici di progetto del PdC

4.4 Progettazione del Piano di Investigazione Iniziale (PIN)

Ai fini della valutazione del rischio di inquinamento per l'ambiente naturale, il territorio urbanizzato e del danno per la salute pubblica, devono essere condotte analisi del suolo, sottosuolo, acque sotterranee e superficiali e delle componenti ambientali che possono essere state interessate dalla migrazione delle sostanze contaminanti, per esempio specie vegetali. Le informazioni raccolte durante la fase precedente e le ipotesi formulate per il Modello Concettuale del sito, saranno utilizzate per la redazione del Piano di Investigazione Iniziale, che sarà sviluppato per:

- verificare, sulla base delle ipotesi formulate, l'effettivo inquinamento generato sulle diverse matrici ambientali, dalla diffusione della contaminazione dei residui minerali e prodotti commerciali, dagli sterili minerali e dai rifiuti stoccati nell'area del sito in esame;
- individuare e definire le fonti degli eventuali inquinamenti (centri di pericolo) distinguendo tra impianti dismessi ed in attività e reagenti, rifiuti stoccati e/o suolo contaminato;
- definire, confermare e integrare i dati relativi alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, pedologiche, idrologiche del sito e ad ogni altra componente ambientale rilevante per l'area interessata, compreso l'uso e la copertura attuale del suolo;
- definire accuratamente l'estensione e le caratteristiche dell'inquinamento dei sedimenti, del suolo, del sottosuolo, dei materiali di riporto, delle acque sotterranee e superficiali e delle altre matrici ambientali rilevanti, i meccanismi di trasporto dei contaminanti ed i bersagli;

- definire l'eventuale possibilità di riutilizzo tecnico-economica dei residui minerari presenti nel sito.

4.4.1 *Modalità operative*

Il programma di investigazione e campionature definirà le campionature e le analisi chimico-fisiche mirate alla individuazione delle sorgenti dell'inquinamento, alla definizione dell'entità e dell'estensione della contaminazione del suolo e delle acque, sia all'interno dell'area industriale che nell'ambiente circostante da esso influenzato e alla individuazione dei percorsi di migrazione degli inquinanti ed i bersagli ambientali che ne subiscono gli effetti. Al fine di garantire il controllo e la qualità delle operazioni di campionamento, secondo i criteri esposti nell'Allegato 2 del D.M. 471/99, sarà predisposta l'appropriata documentazione delle attività che consentirà la rintracciabilità dei campioni prelevati dal sito e inviati presso il laboratorio di analisi, nonché le azioni di controllo delle attività svolte in campo ed in laboratorio.

L'ubicazione dei punti di campionamento e della loro densità deve garantire la rappresentatività dei campioni e devono essere sufficienti a caratterizzare la qualità delle matrici ambientali indagate. I punti devono essere verificati con un apposito sopralluogo.

L'area oggetto dell'investigazione comprenderà l'area "vasta" ed i centri di pericolo, che verranno definite sulla base del Modello Concettuale del Sito, considerando i fattori di mobilità geochimica dei contaminanti nelle varie matrici ambientali individuate, le caratteristiche idrogeologiche e meteorologiche dell'area e la vulnerabilità dei bersagli della contaminazione. Sulla base dell'effettiva estensione areale del sito, le indagini saranno eseguite con differente densità di indagine, infittendo nelle zone in cui si è evidenziata una maggiore vulnerabilità riguardo alla salute pubblica, centri abitati ed aree produttive agricole e di allevamento. Sulla base delle specifiche situazioni, si valuterà l'opportunità di prelevare campioni, adottando criteri di tipo soggettivo, dettati cioè da scelte ragionate; criteri di tipo casuale o statistico, basati su metodi probabilistici.

La raccolta dei dati sarà corredata da un'analisi geoambientale, da un'analisi pedologica, da un'analisi dell'uso attuale del suolo e della copertura vegetale. L'analisi geoambientale avrà lo scopo di rappresentare, su una cartografia in scala 1:10.000, i lavori minerari presenti nell'area distinguendo le aree occupate dalle discariche minerarie, anche in relazione alle diverse tipologie riconoscibili in campagna, gli scavi, le trincee, i pozzi, gli impianti minerari, e quant'altro connesso alla passata attività mineraria. L'obiettivo sarà quello di individuare e cartografare i centri di pericolo potenziali, sia in relazione al pericolo d'inquinamento, sia in relazione alla pericolosità geomorfologica ed idraulica. L'analisi geomorfologica sarà supportata, in fase di indagine geognostica, da una caratterizzazione geomeccanica dei materiali abbancati, prevedendo analisi geotecniche in situ ed in laboratorio sulle classi granulometriche più significative rappresentate nei residui di lavorazioni minerarie. Le caratterizzazioni geotecniche consisteranno in:

Analisi in situ: prove di permeabilità. Analisi di laboratorio: classificazione terre UNI-CNR 10006, limiti e indici di Atterberg, determinazione del peso di volume, determinazione del peso specifico, analisi granulometriche per vagliatura, prove di permeabilità a carico variabile.

I risultati delle indagini dovranno essere integrati nell'elaborato "Carta Geoambientale" e descritti da una relazione d'accompagnamento esplicativa delle metodologie adottate

e dei risultati conseguiti.

L'analisi dell'uso del suolo prevede la rappresentazione cartografica in scala 1:10.000 dei principali utilizzi del territorio (uso agricolo e agricolo-pastorale, uso silvo-forestale, uso industriale, etc.) e della copertura attuale del suolo, attraverso la rappresentazione della viabilità principale e secondaria, dell'edificato urbano e periurbano, e delle altre principali infrastrutture (canali, reti elettriche, acquedottistiche e fognarie, impianti industriali, etc.). L'analisi avrà anche lo scopo di rappresentare cartograficamente la copertura vegetale e la presenza di particolari specie. La metodologia dovrà fare riferimento agli schemi di classificazione riconosciuti in campo internazionale (CORINE), riadattati alle esigenze specifiche del Piano di caratterizzazione e del territorio studiato. L'elaborato finale sarà rappresentato dalla "Carta dell'uso e della copertura del suolo" e da una relazione di accompagnamento esplicativa delle metodologie adottate e dei risultati conseguiti

Sulla base di quest'analisi si eseguirà un'analisi pedologica sulle aree del sito, attraverso la realizzazione di un adeguato numero di profili (1 profilo/100 ettari), allo scopo di caratterizzare il fondo naturale, e di una cartografia di riferimento. La metodologia adottata farà riferimento alla classificazione dei suoli della Soil-Taxonomy e alla classificazione FAO-UNESCO e relativamente alla Land Capability al Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti (Klingebiel e Montgomery 1961). L'obiettivo principale dell'analisi è di individuare, attraverso la rappresentazione degli usi del suolo, le aree e i siti vulnerabili.

Campionatura suolo e sottosuolo

Sulla base dei criteri guida, la campionatura geochimica per la caratterizzazione dell'area nella matrice suolo-sottosuolo dovrà essere realizzata attraverso campionature su suolo e sottosuolo da eseguire in sito ed extra sito, sulla base dell'estensione areale dello stesso.

L'analisi conoscitiva areale, Area Vasta, si farà dapprima attraverso campionature tipo "stream sediments" (sedimenti fluviali) sulle aste fluviali del bacino idrologico individuato dalla perimetrazione dell'area d'indagine. La densità di campionatura sarà dimensionata in relazione all'estensione areale, ma in ogni caso non potrà essere inferiore a 2 campioni per km², considerando tutte le aste fluviali interessate. I campioni dovranno essere prelevati trasversalmente all'asta fluviale e la loro analisi seguirà le metodologie indicate per suolo e sottosuolo dall'All. 2 del D.M. 471/99.

La campionatura della zona "vasta" dovrà inoltre consentire di prelevare un numero rappresentativo di campioni, non inferiore a 5, di suoli, nei quali si ha la certezza d'assenza di contaminazione derivante dai centri di pericolo e da altre attività antropiche. La ricostruzione dei valori di fondo sarà quindi eseguita attraverso una trattazione statistica dei dati, ottenuti dall'analisi dei risultati delle campionature di sedimenti fluviali e l'integrazione dei campioni di suolo, da considerare come campioni di fondo naturale.

Per la determinazione del "valore di fondo", per suolo e sedimenti, si dovrà suddividere il sito in aree omogenee dal punto di vista geologico-giacimentologico. Per ogni area omogenea, e per ogni elemento indice, il valore di fondo verrà assunto pari a:

- *Il valore medio quando il numero di campioni è inferiore a 6*
- *Il 75% percentile quando il numero di campioni è maggiore uguale a 6*

Vista l'eterogeneità e peculiarità dei siti minerari dismessi, potranno essere accettate altre metodologie di elaborazione statistica tra quelle di comprovata attendibilità

scientifica.

La profondità d'indagine e prelievo, necessari per ottenere una conoscenza dei fattori di dispersione della contaminazione e della sua intensità, dovranno essere progettate in funzioni delle specificità del sito. Sulla base delle condizioni geologiche e idrogeologiche si dovranno definire, sulla base del Modello Concettuale, le strategie di campionatura che potranno essere modificate in base alle osservazioni dirette durante le fasi di campionatura.

Tutti i prelievi saranno eseguiti a secco, ed i campioni saranno costituiti in loco, per prevenire contaminazioni esterne oppure la perdita di sostanze. Di tutti i campioni prelevati si dovranno conservare, sino alla conclusione del progetto di bonifica, dei testimoni per eseguire eventuali analisi e/o prove di controllo. Nelle aree interessate dai lavori minerari, "Centri di Pericolo", CdP, e quindi dagli accumuli dei residui di lavorazione, scavi, gallerie ed impianti, le campionature dovranno seguire criteri di rappresentatività dei singoli corpi potenzialmente inquinanti.

Per garantire un'adeguata caratterizzazione dei CdP, accumuli, discariche etc., questa dovrà avvenire per lotti. Nella tabella 5 è descritta la densità minima richiesta di punti di campionatura (a meno di prescrizioni differenti da parte degli Enti Competenti), in relazione alla superficie da investigare. L'individuazione dei punti di campionatura non richiede vincoli di maglia, ma deve essere progettata in maniera da chiarire i rapporti di scambio degli inquinanti con l'ecosistema.

Centri di Pericolo (CdP) DISCARICHE	Superficie m ²	N°Punti campionatura
Piccole	< 100	1
	100 ÷ 1.000	3
Medie	1.000 ÷ 5.000	6
	5.000 ÷ 10.000	12
Grandi	10.000 ÷ 50.000	20
	50.000 ÷ 100.000	30
	> 100.000	3 punti ogni 10.000 m ²
AREA VASTA	Superficie m ²	N°Campioni
	< 100.000	5
	100.000 ÷ 500.000	10
	500.000 ÷ 1.000.000	20
	> 1.000.000	2 ogni 100.000 m ²

Tabella 5: Densità dei Punti di indagine e campionatura

Nei Centri di Pericolo, ed in quelle aree che verranno individuate come bersagli della contaminazione, si potranno quindi eseguire a seconda dei volumi campionature a mano, escavazioni con mezzi meccanici oppure attraverso sondaggi a carotaggio continuo, seguendo le indicazioni dell'All. 2 D.M. 471/99, ed in ogni caso arrivando a definire l'intero spessore del corpo potenzialmente inquinante o inquinato.

Formazione dei campioni. Nelle campionature sugli accumuli di materiali di scarto di miniera, si presenta il problema della rappresentatività dei campioni, a causa dell'eterogeneità delle componenti soprattutto dal punto di vista granulometrico. Nelle discariche di "sterili" di miniera che provengono generalmente da aree di scappellamento della mineralizzazione, dai lavori di tracciamento delle gallerie oppure dai mucchi di cernita del minerale ricco da quello sterile, le granulometrie possono variare, infatti, da blocchi di dimensioni decimetriche, sino a materiali inferiori ad 1mm.

In tutte le classi granulometriche si possono associare elevati contenuti di potenziali contaminanti, e quindi è necessario eseguire campionature adeguate per ottenere campioni rappresentativi.

A differenza quindi delle campionature sui suoli, è necessario che il campione rappresenti al meglio il totale della zona investigata senza operare una selezione come quella prevista da alcuni protocolli di campionatura. Nel caso di composizione molto eterogenea e con granulometrie grossolana, ad es. > 5 cm, della discarica sarà necessario prevedere campionature di grossi volumi, ad es. decine di kg, attraverso campionature a “canaletta” che interessino l'intero spessore del mucchio, e che poi dovranno essere “inquartate” per la riduzione ad un campione per la realizzazione delle analisi.

Nel caso la campionatura degli accumuli non sia eseguibile a mano oppure con escavatori dovranno essere realizzati sondaggi a carotaggio continuo come previsto sopra. I carotaggi devono essere effettuati a secco, senza ricorrere all'ausilio di fluidi o fanghi. La strategia di prelievo sui sondaggi deve prevedere la campionatura continua su tutti i livelli attraversati e ritenuti di rilievo, ad intervalli minimi di 1÷2 metri per le porzioni superficiali sino a 6 metri di profondità dal p.c., mentre per i campioni a maggiore profondità si potranno costituire campioni composti di lunghezza superiore, sino a 2÷3 m di spessore in funzione della maggiore o minore omogeneità dei livelli attraversati.

Essendo necessaria la realizzazione di un numero adeguato di piezometri per la caratterizzazione delle acque sotterranee, la strategia di campionatura dovrà prevedere che i campioni provenienti dai sondaggi a carotaggio continuo per la realizzazione dei piezometri, siano utilizzati per le analisi chimico-fisiche su suolo e sottosuolo.

Nelle aree a valle dei siti minerari, soprattutto in presenza di centri abitati e/o attività agricole, area “sensibile”, sulla base delle indicazioni dell'analisi di rischio e del Modello Concettuale, dovrà essere programmata una campionatura geochimica che interessi la possibile area di dispersione dei contaminanti.

Anche su questa, a seconda delle prevedibili interazioni tra il trasporto dei contaminanti ed i corpi recettori, dovranno essere eseguite campionature su suolo e sottosuolo per definire la dispersione della contaminazione, con metodologie analoghe a quelle precedentemente descritte. Per la densità dei punti di campionatura, è da seguire la tabella 5, eseguendo eventuali infittimenti in aree particolarmente vulnerabili e con l'obiettivo di esaminare l'intero spessore di sedimenti e/o rocce interessati dalla contaminazione.

Tutti punti di campionatura dovranno essere saranno rilevati topograficamente, per avere un'accurata ricostruzione delle quote e delle coordinate in modo da poter riferenziare i dati che saranno inseriti nel Sistema Informativo.

Le campionature dovranno essere descritte e registrate per la ricostruzione della stratigrafia dei terreni attraversati, e su questa base si produrranno interpretazioni sulla natura del suolo e sottosuolo, attraverso sezioni descrittive che insieme con l'interpretazione geologica costituiranno la base per l'elaborazione delle carte sulla mobilità geochimica dei contaminanti.

Nella formazione del campione da inviare alle analisi occorre tenere presente alcuni accorgimenti:

- identificare e scartare materiali estranei (pezzi di vetro, ciottoli, rami, foglie,

- ecc.), indicandoli nelle note di campionatura;
- omogeneizzare il campione per avere una distribuzione uniforme dei contaminanti;
 - suddividere il campione in più parti omogenee, adottando metodi di quartatura riportati nella normativa (IRSA-CNR, Quaderno 64 del gennaio 1985);
 - il campione deve essere riposto in un contenitore adeguato alle caratteristiche dell'inquinante e conservato in luogo idoneo a preservarne inalterate le caratteristiche chimico-fisiche.
 - i contenitori devono essere sigillati, etichettati ed avviati subito al laboratorio d'analisi, insieme con le note di campionatura.
 - il prelievo e la composizione del campione devono essere effettuati con attrezzi decontaminati dopo ogni operazione per evitare la variazione delle caratteristiche e la contaminazione del materiale.

Su tutti i campioni prelevati dovranno essere eseguite analisi chimico-fisiche. Sulla base delle caratteristiche generali e le conoscenze sui siti minerari dimessi della Sardegna, per ciascun punto d'indagine dovranno essere analizzati almeno i seguenti elementi:

As, Cd, Fe, Hg, Mn, Pb, Cr_{tot}, Cu, Ni, S, Sb, Se, Zn, Solfati, Fluoruri, Cianuri (liberi).

I limiti di detezione per ciascun elemento dovranno essere stabiliti inferiori ai limiti tabellari della Tab. 1 Allegato 1 del 471/99. Queste analisi chimiche costituiranno lo "screening" iniziale su alcuni campioni rappresentativi, in cui si determineranno un numero adeguato di analiti, basandosi sul Modello concettuale Preliminare. Nelle successive analisi dovranno essere determinati gli elementi potenzialmente pericolosi presenti nei materiali, tra quelli riportati nella Tab. 1 del D.M. 471/99. Su alcuni campioni selezionati dovranno essere realizzate analisi mineralogiche e/o diffrattometriche per stabilire le specie mineralogiche presenti e valutare le possibili evoluzioni nel tempo, reazioni redox, alterazione mineralogica, etc.

Per quanto riguarda la preparazione dei campioni, prelevati per l'analisi bisogna considerare la differenza tra suolo e residui minerari. Nel caso di suoli, anche degradati, si dovranno applicare le metodologie previste nell'All. " del D.M. 471/99, mentre per i residui minerari, dove si presume che tutte le classi granulometriche contribuiscano alla dispersione della contaminazione, è necessario che il campione sia suddiviso in almeno tre frazioni granulometriche con diametri + 2 cm, - 2 cm + 2 mm, e - 2 mm e che ogni classe, pesata, sia mandata all'analisi.

Su un numero adeguato di campioni di suolo/sottosuolo, *minimo il 15% dei campioni che mostrano il superamento dei limiti tabellari del D.M.471/99 nei contaminanti indice del sito*, dovrà essere eseguito il test di cessione con CO₂, con particolare riferimento ai contaminanti inorganici e microinquinanti metallici, anche al fine di valutare la biodisponibilità di queste sostanze. Le frazioni granulometriche da sottoporre al test, dovranno essere quelle dove sono stati riscontrati i valori dei contaminanti superiori alle concentrazioni limite di riferimento, Tab. 2 All.1 D.M. 471/99.

Le condizioni da riprodurre nel test di eluizione dovranno essere le più simili a quelle riscontrate nel suolo e sottosuolo in termini di pH, potenziale di ossidoriduzione, conducibilità, eccetera. Il tempo di contatto solido/liquido non dovrà essere inferiore alle 24 ore.

Per la valutazione della mobilità dei contaminanti e della loro distribuzione nelle matrici ambientali, dovranno essere eseguiti test di speciazione, seguendo almeno una delle due seguenti metodiche: l'estrazione sequenziale, oppure la determinazione della frazione biodisponibile attraverso la lisciviazione con complessati organici, EDTA.

I test devono essere eseguiti su campioni rappresentativi dell'accumulo di residui e/o suolo contaminato di maggiore importanza nell'area in esame.

A causa del potenziale di generazione di eluati acidi da parte delle discariche e degli abbancamenti, per il loro contenuto di solfuri soprattutto di Fe, sarà necessario prevedere l'esecuzione di test di controllo di tipo statico (ABA etc.) e cinetico (Iisimetri etc.), per valutare nei diversi Centro di Pericolo l'effettivo potenziale. I test statici servono a definire il potenziale acido di un materiale, mentre con i test cinetici si valuta l'evoluzione del materiale a seguito dell'alterazione naturale dello stesso nel tempo e sotto diverse condizioni.

Tutti i risultati dovranno essere valutati attraverso la ricostruzione cartografica della dispersione dei contaminanti e quindi la modellizzazione geochimica dell'area. Il modello dovrà essere sovrapponibile e relazionabile agli altri modelli dell'area mineraria., per il suo utilizzo durante la fase successiva di progettazione degli interventi e delle azioni di monitoraggio.

Valutazione del potenziale di riutilizzo dei materiali

Sulla base dei risultati delle analisi fisico-chimiche, e quindi delle concentrazioni di elementi con valore di mercato, dovrà essere valutata l'opportunità di eseguire prove di trattamento mineralurgico per la verifica delle possibilità di riutilizzo dei materiali *attraverso metodi di trattamento di semplice tecnologia e basso costo operativo*, per es. idrogravimetrico, Una valutazione tecnico economica preliminare dovrà essere redatta con conclusioni sulla eventuale applicabilità di metodologie poco costose ed efficaci.

I rifiuti che a seguito degli studi di cui sopra non dovessero risultare riutilizzabili, verranno avviati a smaltimento finale con conferimento ad impianti autorizzati ai termini del DLgs. 22/97, del DLgs. 36/03 ed il D.M. 13/03/03.

Valutazione del trasporto eolico dei contaminanti

La natura di gran parte degli accumuli di residui minerali è tale per cui, la dispersione eolica di particolato contenente metalli potenzialmente tossici è molto elevata. In particolare gli abbancamenti dei residui di trattamenti idrogravimetrici e di flottazione, hanno granulometrie anche inferiori a 1 mm, che quindi sono facilmente veicolate dai venti. In certe aree, quindi, il trasporto eolico ha una notevole incidenza sulla diffusione della contaminazione e contribuisce ad incrementare il rischio per l'ecosistema. La valutazione della presenza di sostanze inquinanti nell'atmosfera e le ricadute al suolo, e la ricostruzione delle vie di dispersione delle stesse, dovranno quindi essere esaminate con campionature adeguate. Sulla base delle campionature programmate sulle discariche e dei dati relativi alla ventosità del sito, si dovranno quindi individuare le sorgenti di polverosità e definire le vie di dispersione dalle sorgenti individuate verso le varie matrici ambientali presenti nell'intorno del sito.

Per la valutazione quantitativa, e soprattutto qualitativa delle polveri disperse, in presenza di un fenomeno di proporzioni rilevanti, anche in considerazioni delle condizioni meteo-climatiche sito specifiche, si dovrà programmare la realizzazione di

un numero adeguato di stazioni di campionatura passiva (deposimetri) posti lungo le direzioni dei venti dominanti, che consentiranno il campionamento della deposizione delle polveri disperse nell'arco di tempo prescelto (non inferiore ad un mese). La presenza di un centro abitato nelle immediate vicinanze, richiederà l'ubicazione di una postazione fissa in prossimità delle abitazioni. Le polveri così raccolte saranno analizzate per la valutazione della quantità e della composizione in sostanze inquinanti, attraverso la ricostruzione di un modello matematico di simulazione sulla base degli elementi fisiografici e dell'uso del suolo del sito.

Campionatura acque superficiali e sotterranee

Per quanto riguarda le acque superficiali e sotterranee, saranno esaminate le interazioni tra il sito ed i corpi idrici vulnerabili. Il campionamento delle acque deve fornire informazioni sullo stato di contaminazione dei corpi idrici acquifere in relazione alla qualità delle stesse immediatamente a monte, all'interno ed a valle del sito in esame.

L'attenzione sarà rivolta a tutte le acque presenti nel sito e nell'ambiente circostante e saranno ricostruiti dettagliatamente i meccanismi di circolazione delle stesse. Gli interventi previsti sulle acque superficiali e sotterranee per la definizione del P.d.C., seguiranno lo schema previsto nell'allegato 4 del D.M. 471/99. La peculiarità delle aree minerarie dismesse, dovrà essere ben evidenziata nella progettazione del Piano d'Investigazione.

I lavori minerari hanno prodotto impatti e trasformazioni, sia sul regime delle acque superficiali che sotterranee, attraverso gli scavi e soprattutto le gallerie che, a seconda dei metodi di coltivazione e delle procedure di chiusura, possono dar luogo a veri e propri acquiferi con caratteristiche proprie di permeabilità e deflusso. L'escavazione di minerali produce l'ossidazione dei componenti sulfurei, che provoca il fenomeno del drenaggio acido, cioè un abbassamento del pH delle acque, che porta ad una maggiore solubilizzazione dei metalli potenzialmente inquinanti. Questi fenomeni hanno un forte impatto sull'ecosistema e quindi le indagini dovranno arrivare a definire il modello di trasporto idrogeochimico del sito.

Per ciò che concerne le acque superficiali e sotterranee, il Piano di investigazione iniziale deve prevedere attività di campionatura ed analisi dimensionate e definite in base alle conoscenze acquisite preliminarmente sul sito, ma che potranno essere soggette a modifiche in corso d'opera. Sulle acque superficiali devono essere definiti i parametri a valle ed a monte dei Centri di Pericolo potenziali, e soprattutto quelli relativi ad apporti da sorgenti e scaturigini relative a lavori minerari, nonché laghetti minerari e altri corpi idrici superficiali.

Per quanto riguarda le discariche minerarie ed i bacini degli sterili di miniera, si dovranno chiarire i rapporti dei materiali di risulta con le falde acquifere. L'analisi dovrà fornire elementi sul sistema ammasso-substrato relativi agli scambi idrogeochimici, ed agli aspetti relativi alla stabilità geotecnica, che potrebbe essere compromessa dalle variazioni di livello delle falde.

Sulle acque sotterranee, quindi, devono essere censiti e campionati i pozzi esistenti, con particolare riferimento a quelli utilizzati a scopo irriguo e/o potabile dell'area "vasta". Nell'area "sensibile" sarà necessario infittire le campionature procedendo all'esecuzione di piezometri, da realizzare secondo le indicazioni dell'All. 2 del 471/99, che consentiranno di eseguire campionature mirate sulle aree più vulnerabili definite dal Modello Concettuale, ed inoltre potranno essere utilizzate in sede di monitoraggio

degli interventi successivi. Al fine di definire le caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero superficiale, si dovrà prevedere la realizzazione di prove idrodinamiche, in numero sufficiente alla modellizzazione degli acquiferi, necessaria per l'individuazione delle aree a maggiore vulnerabilità.

I piezometri dovranno essere realizzati in materiali compatibili con gli inquinanti presenti nel sito ed installati in numero sufficiente a caratterizzare gli acquiferi da indagare. Almeno un piezometro andrà posizionato a monte dell'area ed uno a valle della stessa, in relazione alle linee direttrici del flusso di falda. Nel corso della perforazione sarà rilevata la stratigrafia dei terreni attraversati a cura di un Geologo.

Ulteriori raccomandazioni al riguardo della perforazione di piezometri sono le seguenti:

- la georeferenziazione dei pozzetti di monitoraggio delle acque sotterranee deve essere fatta con la precisione di un metro per le coordinate x e y e di un centimetro per la quota, indicando per ogni piezometro l'intervallo di profondità della porzione filtrante;
- l'installazione del fondo del piezometro deve entrare nel substrato impermeabile per almeno 30 cm. La porzione filtrante deve comprendere tutta la zona satura estendendosi parzialmente nella zona insatura, in considerazione delle fluttuazioni del livello piezometrico;
- il tubo cieco sarà costituito in materiale compatibile con i composti da campionare, con diametro nominale pari ad almeno 70 millimetri (diametro interno);
- il tubo-filtro sarà costituito in materiale compatibile con i composti da campionare con diametro nominale pari ad almeno 70 millimetri (diametro interno) e aperture definite in funzione dell'acquifero da filtrare;
- eseguire la chiusura del fondo del tubo piezometrico mediante fondello cieco impermeabile e applicare, sulla parte fessurata, una fascia di tessuto non tessuto;
- la giunzione dei tubi d'assemblaggio del piezometro deve essere realizzata con cura per garantire il passaggio degli strumenti di campionamento delle acque e dei freatimetri;
- riempire l'intercapedine perforo-tubazione in corrispondenza dei tratti filtrati con un dreno costituito da ghiaietto siliceo uniforme; il diametro del dreno sarà stabilito in corso d'opera sulla base dell'acquifero da filtrare;
- continuare la costruzione dell'intercapedine immettendo sabbia per uno spessore di 0,2 metri al di sopra del dreno seguita dal tappo impermeabile di bentonite per lo spessore di 0,5 metri e procedere successivamente al riempimento dell'intercapedine fino alla superficie con miscela di cemento e bentonite;
- chiudere con un tappo il tubo di rivestimento che fuoriesce dal piano campagna e realizzare una testa pozzo di protezione fornita di coperchio carrabile e munita di chiusura a chiave (lucchetto) e di targhetta identificativa;
- procedere allo spurgo del piezometro.

Le campionature nei pozzi dovranno essere realizzate attraverso un campionamento dinamico, in altre parole attraverso una pompa sommersa, subito dopo l'effettuazione dello spurgo; il campionamento dinamico sarà utilizzato per ottenere un campione composito con acque provenienti da differenti profondità e, quindi, approssimativamente rappresentativo della composizione media dell'acquifero

indagato.

Su tutti i campioni di acque dovranno essere determinati sul campo pH, Conducibilità, EH, potenziale redox ed in laboratorio gli analiti precedentemente selezionati per i terreni, con l'aggiunta di quelle determinazioni utili all'ottenimento delle indicazioni necessarie alla caratterizzazione delle acque, anche in funzione della loro destinazione d'uso, ad es. bilancio ionico. Per tutti i campioni prelevati si deve prevedere il trasporto nella giornata, dei campioni al laboratorio di analisi

I campioni dovranno essere etichettati nell'idoneo contenitore (secondo i metodi IRSA - CNR, Volume 64/85), riportando il pozzo di monitoraggio, data e ora del prelievo. Seguendo quindi le metodiche IRSA - CNR, Volume 64/85, si dovranno stabilizzare i campioni che dovranno essere trasportati in appositi contenitori alla temperatura di 4°C e conservati sino all'esecuzione delle analisi.

Per quanto riguarda le modalità di campionamento ed analisi dei sedimenti fluviali e marini si deve fare riferimento alle indicazioni che saranno fornite sull'argomento da parte di ICRAM (Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare - www.icram.org).

4.4.2 Programmazione delle Attività del Piano d'Investigazione Iniziale

La relazione descrittiva del Progetto di Piano di Investigazione Iniziale dovrà comprendere, almeno, le relazioni e gli elaborati tecnici elencati nella tabella 6, accompagnati da una stima dei costi e dei tempi di realizzazione.

Rapporto	Elaborati grafici	Scala
3 Piano d'Investigazione Iniziale (PIN)		
3.1 Piano di dettaglio del campionamento e Descrizione di eventuali indagini geognostiche, geofisiche, geologiche ed idrogeologiche da svolgere ad integrazione e conferma dei dati esistenti delle analisi chimico-fisiche e di altro tipo ritenute necessarie a verificare le ipotesi formulate.	Mappatura dei punti di campionamento proposti, con specificazione del tipo di analisi da condurre	1:10.000 15.000 1:1.000
3.2 Descrizione di azioni di messa in sicurezza d'emergenza da attuare prima degli interventi di bonifica.		
3.3 Interazione e congruenza delle attività di indagine con l'ambiente circostante e/o attività o processi industriali in atto		
Rapporto	Elaborati grafici	Scala
3.4 Preliminare verifica di rispondenza alla normativa vigente degli interventi svolti e degli obiettivi di bonifica.		

Tabella 6: Elenco degli elaborati tecnici del Progetto di Piano di Investigazione

Al fine dell'approvazione del Piano della caratterizzazione l'autorità competente valuta la qualità delle informazioni e dei dati relativi al sito. Questa valutazione si basa su analisi, elaborazione e valutazione delle informazioni e dei dati presentati nel Piano, sintetizzati nella formulazione del modello concettuale del sito e deve definire:

- la completezza di materiali, cartografia, dati, fatti e conoscenze raccolti
- se, in base alle informazioni messe a disposizione, è stato fornito un adeguato modello concettuale del sito
- il potenziale di contaminazione derivante dagli usi che hanno insistito sul sito
- la necessità di integrare le informazioni specifiche per il sito con la descrizione del territorio in termini di componenti ambientali e caratteristiche urbanistiche, ai fini di stabilire la possibilità di migrazione della contaminazione, le vie di esposizione, per la popolazione la vicinanza dei bersagli e l'urgenza degli interventi di bonifica
- se il piano di monitoraggio e analisi proposto, è adeguato agli obiettivi di caratterizzazione della contaminazione necessaria a stabilire tutti gli interventi atti a proteggere l'ambiente e la salute pubblica

Questa valutazione preliminare si conclude con la decisione dell'autorità competente in merito alla necessità di: i) approfondire le indagini, per quanto riguarda la raccolta di ulteriori informazioni, documenti o materiali, o di un approfondimento nella descrizione del sito in esame o dell'area da esso influenzata, ii) attuare ulteriori interventi di messa in sicurezza d'emergenza per limitare l'impatto del sito sull'ambiente e il rischio per la salute pubblica. A seguito dell'approvazione del Piano della caratterizzazione, il responsabile esegue le indagini, i campionamenti e le analisi approvate per l'investigazione iniziale.

4.4.3 Esecuzione delle attività

Nel rispetto dei criteri, dei vincoli, delle integrazioni e delle indicazioni stabilite dall'autorità competente con l'approvazione del Piano della Caratterizzazione, il responsabile dovrà:

- eseguire il campionamento, le indagini previste, e le analisi
- valutare i risultati delle analisi e di ogni tipo di indagine
- realizzare la mappatura dell'estensione e del grado della contaminazione per le principali sostanze contaminanti o per rifiuti eventualmente interrati, con l'indicazione dei ricettori potenziali od attuali dell'inquinamento
- valutare il livello di anomalia geochimica naturale propria del sito, in rapporto all'attività estrattiva dismessa
- evidenziare le vie di migrazione degli inquinanti dal sito alle diverse matrici ambientali, e le vie di esposizione attraverso le quali i bersagli possono essere raggiunti.

I risultati della fase operativa dell'Investigazione Iniziale del Piano di Caratterizzazione, dovranno essere valutati attraverso la ricostruzione cartografica della dispersione dei contaminanti e dove possibile con l'esecuzione di un modello degli acquiferi che possa essere utilizzato anche per la progettazione degli interventi e la progettazione delle azioni di monitoraggio.

Al termine della fase operativa del Piano della Caratterizzazione, i risultati ottenuti saranno elaborati per la definizione del Modello Concettuale, necessario alla formulazione del Progetto di Bonifica.

La Relazione Descrittiva sulle attività d'Investigazione Iniziale deve prevedere, almeno, gli elaborati tecnici descritti nella tabella 7.

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PROTOCOLLO OPERATIVO DEL PIANO DI CARATTERIZZAZIONE

	Rapporto	Elaborati grafici	Scala
1	Risultati delle attività del piano di campionamento ed analisi, con indicazione delle eventuali non conformità ed azioni correttive effettuate rispetto a quanto approvato dall'autorità competente	Mappe tematiche: indagini geochimiche, geognostiche, geofisiche e d'ogni altro tipo d'indagine o campionamento svolti sul sito e nell'area interessata Risultati delle analisi di laboratorio - Sezioni stratigrafiche sulle campionature	1:5.000 1:1.000
2	Descrizione dei risultati delle eventuali indagini geognostiche, geofisiche e delle stratigrafie dei carotaggi prelevati durante il campionamento e verifica di congruenza con la descrizione idrogeologica del sito.	- Carta Geoambientale, - Mappatura dell'inquinamento di suolo, sottosuolo, materiali di riporto, polveri, acque superficiali e sotterranee - Individuazione del pennacchio di contaminazione e dei punti a maggior concentrazione, per la profondità interessata dai fenomeni d'inquinamento	1:1.000- 1:5.000
3	Descrizione del tipo e grado d'inquinamento, per ognuna delle sostanze analizzate, per ogni componente ambientale rilevante. Descrizione dei metodi adottati per definire estensione e grado dell'inquinamento. Confronto dei valori di contaminazione con i valori di fondo geochimico naturale	Mappe di confronto tra i livelli di contaminazione riscontrati ed il fondo geochimico naturale nelle matrici ambientali del sito.	1:5.000

Tabella 7: Elenco degli elaborati di tecnici di progetto della Relazione descrittiva dell'Investigazione Iniziale

5. Protocollo Operativo del Progetto Preliminare

L'obiettivo della fase del Piano di Caratterizzazione è la completa conoscenza delle caratteristiche del sito minerario dismesso e delle interazioni con l'ambiente circostante riguardo alla contaminazione indotta dai lavori minerari. I risultati del P.d.C. consistono nella definizione del Modello Concettuale del sito con l'identificazione degli inquinanti, dei Centri di Pericolo, delle vie di trasporto e dei bersagli.

Sulla base delle valutazioni e delle prescrizioni concordate con gli Enti competenti, se il sito deve essere bonificato, si deve procedere, come prescritto dal D.M. 471/99, alla realizzazione della Progettazione Preliminare.

Le sezioni generali sono le seguenti:

- Analisi dei Livelli d'Inquinamento
- Analisi delle possibili tecnologie adottabili e concentrazioni residue ottenibili
- Analisi di rischio
- Descrizione delle Tecnologie di bonifica, ripristino ambientale e delle misure di sicurezza da adottare e dei relativi interventi
- Test sito specifico per la verifica dell'efficacia degli interventi proposti
- Compatibilità ambientale degli interventi
- *Progettazione per Fasi*

Le sezioni di maggiore importanza in questa fase sono quelle della selezione e la verifica delle tecnologie di bonifica o messa in sicurezza che permettono di raggiungere gli obiettivi di risanamento del sito sulla base dell'Analisi di Rischio.

Per quello che riguarda le Aree Minerarie Dismesse a causa delle loro caratteristiche e delle vaste superfici coinvolte, l'obiettivo possibile a costi sostenibili è sicuramente la bonifica con messa in sicurezza permanente in relazione alla destinazione d'uso del sito, come già descritto nella premessa.

Nel caso che l'autorità competente autorizzi la presentazione della progettazione definitiva per Fasi, il Progetto preliminare deve presentare le suddette caratteristiche per ogni singola Fase per cui verrà presentato un Progetto definitivo. In particolare deve individuare compiutamente per ogni Fase gli interventi e i lavori da realizzare in base alla tecnologia selezionata per: i) raggiungere i valori di concentrazione limite accettabili o le concentrazioni residue specifiche per il sito relative alla destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici, ii) garantire l'efficienza della messa in sicurezza permanente. Il Progetto preliminare deve descrivere dettagliatamente le relazioni tra le diverse sezioni progettuali, sia in termini tecnologici che temporali e spaziali.

5.1 Analisi dei livelli d'inquinamento

La conoscenza dettagliata delle caratteristiche del sito e del contesto ambientale nel quale è inserito (fonti dell'inquinamento, percorsi di migrazione nell'ambiente, bersagli diretti ed indiretti), costituiscono i dati di base che già in fase di Piano di caratterizzazione devono essere analizzati in dettaglio (si vedano in proposito le "Linee guida per la redazione di un Piano di caratterizzazione per la bonifica di un sito

minerario dismesso”). Un’attività mineraria si realizza mediante l’escavazione, in superficie o in sotterraneo, di terreni o rocce contenenti concentrazioni anomale di specifiche sostanze, spesso con il trattamento in loco del materiale estratto e produzione di un concentrato e di un residuo. Il concentrato è generalmente venduto o utilizzato e quindi non più presente nel sito, mentre il residuo è disposto nell’area.

In definitiva un’attività mineraria produce:

- vuoti minerari in superficie ed in sotterraneo
- accumuli di materiale dispersi nell’ambiente o in discariche confinate
- edifici ed impianti di trattamento mineralurgico.

L’analisi del sito e della contaminazione deve raggiungere una conoscenza adeguata, così come prescritto dalla normativa, dei fattori che influenzano l’analisi di rischio (sorgente-trasporto-bersaglio), che porterà alla definizione degli obiettivi di bonifica.

In un’area mineraria dismessa le sorgenti della contaminazione sono generalmente le discariche di residui di coltivazione e trattamento, oltre alle acque di miniera. Per i solidi sarà quindi necessario analizzare:

- tipo e concentrazione dei contaminanti (talora un trattamento mineralurgico può determinare l’estrazione economica dei contaminanti)
- dimensioni delle discariche (per determinare, ad esempio, se interventi off-site sono ragionevolmente applicabili)
- geometria (materiali confinati o dispersi)
- posizione geografica e morfologica (per definire, ad esempio, la possibilità di effettuare interventi on-site)

Per le acque sarà indispensabile conoscere le caratteristiche idrogeologiche dell’area, lo sviluppo dell’attività mineraria sotterranea e le interazioni con le falde, oltre naturalmente alla natura della contaminazione.

Queste analisi, in particolare, dovranno verificare la possibilità di individuare aree omogenee in modo da permettere un’eventuale diversificazione degli interventi da mettere in atto.

5.1.1 Eventuale investigazione di dettaglio

Nel caso in cui dal Piano di caratterizzazione e dalla modellizzazione dell’analisi dei livelli emergano situazioni critiche non sufficientemente chiarite, è facoltà degli Enti competenti richiedere approfondimenti delle analisi, i cui obiettivi devono essere di fornire ulteriori informazioni significative sul rischio, l’estensione e la migrazione della contaminazione.

In questo caso l’esecutore in accordo con gli Enti Competenti eseguirà un’Investigazione di Dettaglio indirizzata alla verifica puntuale degli aspetti da chiarire.

Le analisi possono comprendere nuove campionature sul campo oppure l’affinamento dei modelli d’interpretazione dei livelli di contaminazione.

5.2 Analisi di rischio

La normativa sulla bonifica dei siti inquinati, prevede il confronto tra i valori di concentrazione dei contaminanti rilevati nelle matrici ambientali del sito, con le tabelle dei valori limite, All.1 D.M. 471/99. Nel caso di un sito minerario dismesso (come già esplicito nel capitolo "1.3 Valori di fondo" di queste Linee Guida), l'applicazione dei limiti tabellari porterebbe alla ricerca di soluzioni non applicabili, dal punto di vista tecnico ed economico, o non ragionevoli perché, a differenza di un sito inquinato generico, le aree minerarie sono caratterizzate da alte concentrazioni naturali di minerali (che generalmente coincidono con le sostanze contaminanti) e da grandissimi volumi di materiali.

Di conseguenza la definizione del fondo naturale e la pianificazione territoriale non possono essere trascurate per la definizione degli obiettivi di bonifica. I valori di concentrazione dei contaminanti cui l'intervento deve tendere, devono derivare quindi dall'analisi di rischio sito-specifica associata alla normativa vigente.

Tale analisi di rischio, eseguita in fase preliminare di caratterizzazione del sito, e quindi durante questa fase di progettuale preliminare, consente di programmare e progettare gli interventi di messa in sicurezza o bonifica, in considerazione dei rischi sanitari ed ambientali che effettivamente i siti minerari dismessi pongono.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella determinazione dei valori di fondo, che costituiranno, di fatto, i valori di riferimento con cui considerare il sito inquinato o no. Tale determinazione dovrà quindi derivare da convincenti argomentazioni scientifiche, che giustificheranno i nuovi valori di riferimento.

Il modello concettuale del sito, l'analisi dei livelli di inquinamento e la determinazione dei valori di fondo, portano alla modellizzazione dei processi, dei modi e dei tempi nei quali, gli elementi contaminanti possono interagire nelle matrici ambientali e raggiungere i bersagli.

La complessità delle relazioni tra l'ambiente ed i contaminanti, soprattutto nel caso di Siti minerari dismessi, che hanno come caratteristica principale l'estensione areale ed il periodo durante il quale si sono evoluti i processi fisico-chimici di scambio con l'ambiente, porta alla necessità di utilizzare strumenti come l'analisi di rischio. Inoltre come già precedentemente accennato il fattore geochimico dovuto al valore di fondo di aree mineralizzate, difficilmente può consentire di ottenere una bonifica del sito assoluta come richiesto dall'osservazione dei limiti tabellari previsti dal D.M. 471/99.

Lo stesso D.M. prevede altresì, che lo strumento dell'analisi di rischio sia utilizzato in situazioni che ben si adattano alla specificità delle aree minerarie dismesse, in particolare per il raggiungimento degli obiettivi di messa in sicurezza permanente.

In questa fase di Progettazione Preliminare si dovranno riesaminare ed inserire gli eventuali nuovi dati sulle componenti ambientali e soprattutto bisognerà verificare la situazione attesa attraverso l'applicazione delle tecnologie di bonifica in corso di selezione per il sito.

Attraverso l'iterazione dei dati disponibili all'interno di modelli di calcolo d'analisi di rischio specifici basati generalmente sul metodo RBCA (Risk Based Corrective Action), si dovrà arrivare a definire il rischio potenziale per i bersagli.

I dati raccolti, dopo una preventiva valutazione critica sulla loro affidabilità, dovranno essere organizzati per ogni matrice ambientale e confrontati dapprima con il fondo naturale. Successivamente si opererà una selezione delle sostanze significative per il

sito su cui effettuare l'analisi di rischio delle quali andranno ricercate le caratteristiche chimico-fisiche (solubilità, volatilità, etc.) e tossicologiche.

L'analisi di rischio è utilizzata nel caso della bonifica e ripristino ambientale con misure di sicurezza, com'è il caso delle Aree Minerarie Dismesse, valutando l'accettabilità del rischio sulle concentrazioni residuali in situ dopo gli interventi effettuati.

Il percorso d'approccio alla definizione del rischio è graduale basato sull'integrazione di più livelli d'approfondimento dell'analisi. La prassi consolidata e sostenuta dalla comunità scientifica è quella di sviluppare 3 livelli che si differenziano per tempi d'esecuzione, risorse economiche necessarie, quantità di dati. Si passa dal livello 1 (più semplice) al livello 3 (più complesso), così come esemplificato descritto nel diagramma di flusso di figura 1.

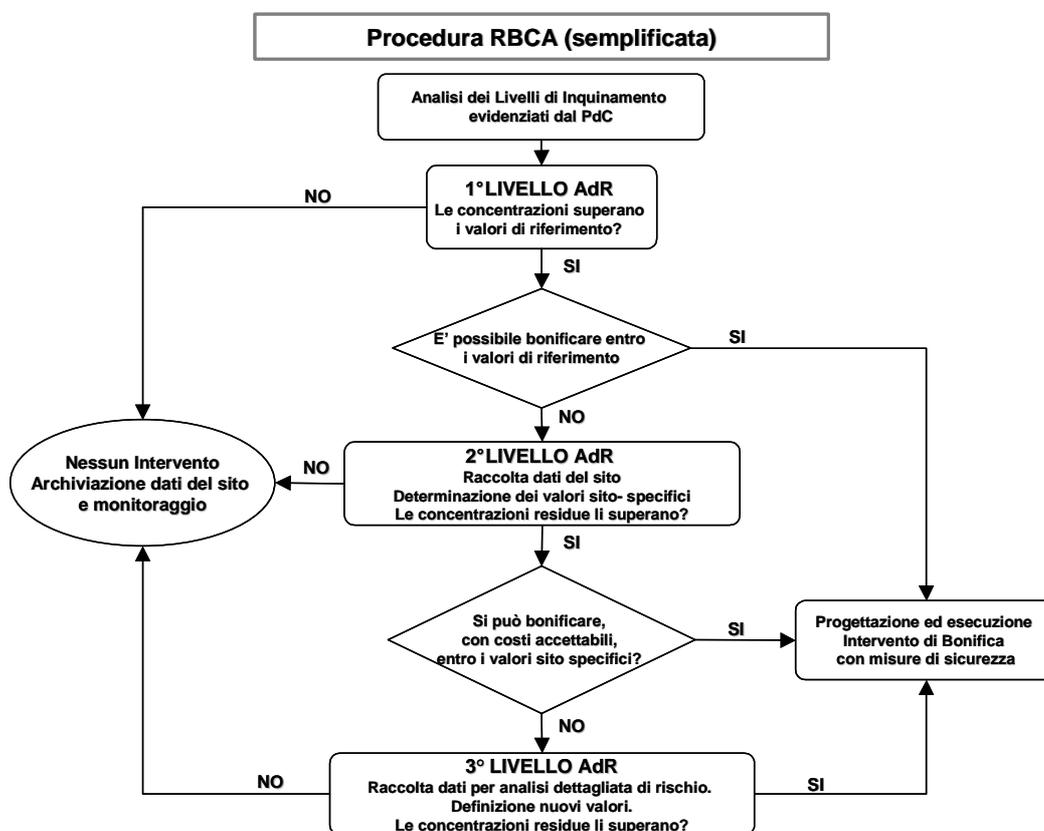


Figura 1. Procedura graduale di Analisi di rischio

La valutazione, sito specifica, da eseguire nella scelta di procedere dal livello 1 al livello 3 deve considerare che, come già detto, aumentano considerevolmente numero e qualità dei dati necessari e quindi aumentano le risorse da utilizzare, ottenendo d'altro canto una maggiore determinazione rispetto all'efficacia degli interventi.

Nell'approccio RBCA, l'analisi parte dal criterio d'accettabilità del rischio per giungere ad obiettivi di qualità sito-specifici.

Il livello 1 corrisponde alla valutazione di *screening*, preselezione, in cui se le

concentrazioni rappresentative delle matrici ambientali superano i limiti tabellari (valori generici e non sito-specifici) questi sono presi come obiettivo della bonifica, oppure si passa al livello 2.

Il livello 2 rappresenta una valutazione sito-specifica in cui si determinano, sulla base degli scenari e quindi dei valori di fondo, gli obiettivi di bonifica delle matrici ambientali e si confrontano i valori di concentrazione osservati nel sito.

Il livello 3 rappresenta una valutazione più dettagliata sito-specifica che, nel caso di situazioni complesse, utilizza modelli di simulazione adeguati con un numero di dati di grande dettaglio.

Considerando i modelli d'analisi attualmente disponibili e, soprattutto, le caratteristiche intrinseche delle Aree Minerarie Dismesse il tipo d'analisi richiesto, in ogni caso, è quello di Livello 2.

Sulla base del Modello Concettuale elaborato nel Piano di Caratterizzazione (indagini in sito ed in laboratorio) si esaminano modelli semplificati della propagazione e dell'esposizione ai contaminanti ed i possibili bersagli.

I risultati dell'Analisi di Rischio, livello 2, possono portare a due possibilità:

- a) Nel caso che, i valori ottenuti dalle analisi di rischio siano inferiori a quelli indicati nei software d'elaborazione, si ritiene che la presenza d'inquinanti alle concentrazioni residuali in sito dopo gli interventi di bonifica con misure di sicurezza previste dalla progettazione pongano un rischio accettabile. Si procede ad un monitoraggio *post-operam* ed il sito è certificato come "bonificato con misure di sicurezza".
- b) Nel caso che i valori di riferimento non siano rispettati a seguito degli interventi previsti, s'interviene modificando la tipologia e le caratteristiche degli interventi di bonifica con misure di sicurezza previsti, avendo come obiettivo finale il raggiungimento dei valori che pongono un rischio accettabile;
si applicano misure provvisorie di risanamento;
si può passare alla fase successiva di valutazione, anche perché il rischio esistente giustifica ulteriori maggior investimenti di risorse finanziarie.

L'analisi è resa più semplice nelle elaborazioni mediante un software appositamente predisposto ed aderente alla normativa italiana denominato GIUDITTA (Provincia di Milano-Dames & Moore, 1999); sono comunque disponibili anche altri software gratuiti quali ROME (ANPA, 1999) e RBCA TOOL Kit (Groundwater Service. Inc., 1998), oppure il MINTEC messo a punto dal British Geological Survey specificatamente per le aree minerarie.

5.2.1 Concentrazione rappresentativa della sorgente

L'esecuzione dell'analisi di rischio comporta l'individuazione dei valori di concentrazione rappresentativa delle sorgenti di contaminazione nelle matrici ambientali considerate. Questo valore, nelle elaborazioni dei software sopra riportati, deve essere unico e questo porta a dovere eseguire un'elaborazione statistica dei dati raccolti. Considerando l'estrema variabilità delle concentrazioni d'inquinanti ritrovabili nelle matrici delle aree minerarie dismesse, la popolazione dei dati raccolti nella maggior parte dei casi avrà una distribuzione lognormale.

Il valore rappresentativo da assumere è:

- Il valore medio per le acque sotterranee (Allegato 4.4.2 Stato Chimico- D.Lgs. 152/99) e per suolo e sottosuolo quando il numero d'analisi è inferiore a 10
- Il 75% percentile per le acque superficiali (Allegato 1-3.2.3 Classificazione- D.Lgs. 152/99) ed eluati, suolo e sottosuolo quando il numero d'analisi è maggiore di 10.

5.3 Analisi delle tecnologie possibili adottabili

Un'area mineraria dismessa costituisce una specifica tipologia di sito potenzialmente inquinato, in cui numerosi fattori influiscono sulle interazioni tra contaminanti e ambiente e, in definitiva, ogni sito rappresenta un caso a se che deve essere analizzato e valutato per le sue caratteristiche specifiche.

In ogni modo è possibile individuare dei criteri generali per la selezione delle migliori tecnologie d'intervento applicabili per la bonifica e, sulla base di una classificazione schematica, produrre tabelle e matrici che portano ad una scelta d'intervento ragionata.

L'approccio ad un intervento di bonifica e/o messa in sicurezza di un sito minerario dismesso, analogamente al caso di un qualunque sito inquinato, necessita di una metodologia d'analisi ben definita: l'applicazione di una procedura standard permette, infatti, di raggiungere delle conclusioni ragionate e controllabili e, in conclusione, impedisce, o limita, soluzioni magari intellettualmente stimolanti ma di difficile applicazione o limitata efficacia.

Già all'avvio della fase progettuale dovrà essere presentata una stima dei costi ed un programma delle attività; questi dovranno essere presentati in via definitiva e verificati in ogni modo prima dell'avvio della fase esecutiva.

5.3.1 Analisi delle alternative d'intervento

Definiti gli obiettivi di bonifica è necessario analizzare e valutare tutte le possibili alternative di intervento per lo specifico problema. L'approccio alle scelte d'intervento deve essere sviluppato secondo tre passi successivi che, da una visione completa e generale, portano all'individuazione dei migliori metodi applicabili in termini ambientali, tecnologici ed economici.

Identificazione delle azioni di risposta generiche

In questa fase devono essere descritte, in modo sintetico ma completo, tutte le diverse tecnologie di bonifica applicabili al sito minerario dismesso, senza alcun fattore discriminante. Il risultato sarà una lista di tecnologie con le quali è possibile raggiungere gli obiettivi di bonifica, e che sarà opportuno suddividere per matrici ambientali trattabili e per volumi dei materiali, al fine di semplificare l'analisi.

Selezione delle tecnologie applicabili

Tutte le tecnologie evidenziate al primo punto sono ora valutate secondo criteri di:

- Disponibilità (capacità tecnologica d'avere effetto sui contaminanti presenti)
- Realizzabilità (capacità di realizzare, applicare e gestire il sistema tecnologico)
- Prestazioni (efficacia e affidabilità a breve e lungo termine)
- Aspetti ambientali ed igienici

- Aspetti istituzionali (autorizzazioni e controlli)
- Accettabilità sociale e compatibilità ambientale
- Costi (in termini relativi e qualitativi)

La valutazione delle specifiche caratteristiche d'ogni tecnologia di bonifica può essere agevolmente rappresentata con delle matrici.

Individuazione del sistema tecnologico applicabile

La matrice e le considerazioni effettuate al secondo punto, consentono di definire una ristretta rosa di tecnologie applicabili, che devono ora essere ulteriormente approfondite, con informazioni qualitative e quantitative. A conclusione del processo d'analisi, sarà selezionata la migliore tecnologia di bonifica applicabile al sito in oggetto per raggiungere gli obiettivi di bonifica prefissati. In relazione allo specifico problema sarà possibile l'individuazione di più tecnologie che assemblate restituiranno il risultato migliore e che costituiscono il sistema tecnologico applicabile.

Quest'ultima fase determina anche il tipo d'intervento da applicare al sito: è possibile, infatti, progettare interventi di messa in sicurezza permanente o di bonifica. Nel primo caso lo stato di contaminazione del sito permane anche dopo l'intervento, ma il movimento e la diffusione dei contaminanti dal sito verso l'ambiente esterno sono limitati dall'isolamento del sito stesso.

Gli interventi di messa in sicurezza possono applicarsi in via definitiva (messa in sicurezza permanente) nel caso l'analisi delle metodologie escluda la possibilità di un intervento di bonifica. Oppure, in situazione di emergenza, possono essere complementari alla bonifica ed avere una limitata durata temporale (messa in sicurezza di emergenza).

Gli interventi di bonifica, invece, sono rivolti all'eliminazione delle sostanze inquinanti presenti nel sito o, almeno, alla riduzione delle stesse sostanze a livelli non più pericolosi.

In un sito minerario dismesso, la quasi totalità dei contaminanti è direttamente legata ai minerali estratti e, localmente, ai materiali utilizzati negli impianti di trattamento. Di conseguenza, nella gran parte dei casi, si tratta di sostanze inorganiche, generalmente metalli pesanti.

I possibili sistemi e tecnologie di trattamento di suoli inquinati da un'attività mineraria dismessa, al fine di messa in sicurezza o bonifica sono schematizzati di seguito.

Monitoraggio post opera

Un aspetto di grandissima importanza nella messa in sicurezza o bonifica di siti minerari dismessi è il monitoraggio post-operam. La principale caratteristica dei siti minerari è, infatti, il gran volume di materiali in gioco, che limita notevolmente, a causa dei costi troppo elevati, l'applicabilità d'alcuni metodi di bonifica. E' quindi possibile che il risultato della procedura sopra descritta porti spesso ad avvantaggiare sistemi di messa in sicurezza permanente piuttosto che di bonifica. Tali metodi non prevedono la rimozione dei contaminanti, ma solo il loro isolamento dall'ambiente circostante; ciò determina l'indispensabilità del monitoraggio post opera, al fine di controllare le condizioni del sistema ed evitare l'eventuale diffusione dei contaminanti per difetti di realizzazione o deterioramento dei sistemi.

Il monitoraggio deve essere quindi progettato insieme al sistema di messa in sicurezza, che ne determina le caratteristiche, e deve interessare tutte le matrici ambientali potenzialmente contaminabili. Deve quindi derivare direttamente dalla caratterizzazione del sito e dall'analisi di rischio, e deve, in ultima analisi, evidenziare l'evoluzione del sito sia in assenza d'interventi che durante l'applicazione degli stessi e costituire un sistema d'allarme per la prevenzione dei danni ambientali.

Per questi motivi non si può prescindere dalla progettazione e dalla realizzazione di un sistema di monitoraggio anche in caso d'intervento di bonifica che verificherà la qualità dell'intervento.

5.3.2 Bonifica con misure di sicurezza e ripristino ambientale

Nel caso in cui, a seguito dell'analisi comparata delle metodologie di intervento, gli obiettivi di bonifica determinati dall'analisi di rischio non possono essere raggiunti, l'autorità competente (Comune, Regione) può autorizzare interventi di bonifica e ripristino ambientale con misure di sicurezza, che saranno associati a specifiche prescrizioni sull'area e ad un sistema di monitoraggio delle matrici ambientali che analizzi le variazioni dei contaminanti. Nel caso il sistema accerti che uno o più contaminanti raggiungono i valori previsti dall'analisi di rischio l'autorità competente potrà modificare o eliminare le prescrizioni sull'area o su parte di essa.

Con questi interventi di mitigazione del rischio si tende a ridurre la concentrazione dei contaminanti a dei valori che, seppure superiori a quelli individuati dall'analisi di rischio, rappresentano in ogni modo un miglioramento delle condizioni ambientali. Alcune delle tecniche applicabili a siti minerari dismessi, caratterizzati quindi da grandi estensioni e volumi di materiali, sono descritte di seguito. Si tratta di sistemi che derivano direttamente dal trattamento dei contaminanti organici, ma sono state applicate localmente per determinati inorganici. Il livello di conoscenza specifica è ancora limitato, per cui è necessario prevedere studi di dettaglio e prove pilota per verificare l'applicabilità.

Messa in sicurezza permanente

Metodi di contenimento statico

Sono sistemi applicati a suoli inquinati circoscritti entro aree ben definite. Tendono all'isolamento dall'ambiente esterno.

Sistemi di isolamento superficiale

Descrizione: questi metodi sono rivolti all'isolamento superficiale del sito mediante barriere impermeabili multistrato o altri materiali, che impediscono la percolazione delle acque superficiali.

Vantaggi: semplicità d'applicazione e costi limitati.

Svantaggi: il sistema è applicabile solo a siti ben confinati (bacini impermeabili ecc.). E' indispensabile un continuo controllo dell'efficienza e delle condizioni d'uso.

Sbarramenti

Descrizione: gli sbarramenti tendono ad incapsulare il sito mediante paratie

impermeabili che raggiungono il substrato impermeabile ed una copertura, anch'essa impermeabile, che impedisce l'infiltrazione d'acque meteoriche o di dilavamento. I materiali utilizzati per le paratie possono essere una miscela di terreno e bentonite, cemento e bentonite, materiali plastici, geomembrane, oppure è possibile realizzare barriere con tecnologie tipo il jet-grouting o mescolare con additivi (bentonite in genere) il terreno in corrispondenza della barriera progettata, oppure ancora con l'infissione di palancole metalliche. In caso non sia presente o raggiungibile il substrato impermeabile, è possibile costruirlo dalla superficie.

Vantaggi: semplicità d'applicazione e costi limitati. Numerose soluzioni tecniche diverse consentono di affrontare e risolvere specifiche situazioni.

Svantaggi: possono essere applicati per spessori non troppo elevati. La ricostruzione del fondo impermeabile può essere notevolmente costosa.

Metodi di contenimento dinamico

Si tratta di sistemi generalmente applicati al contenimento ed al controllo d'acque sotterranee inquinate.

Dreni orizzontali e trincee

Descrizione: sono delle trincee scavate nel terreno, riempite di materiale filtrante ed associate ad un sistema di tubi per convogliare le acque inquinate al trattamento.

Vantaggi: semplicità d'applicazione e costi limitati.

Svantaggi: possono essere utilizzati solo per falde molto superficiali. Richiede un impianto di trattamento delle acque.

Barriere idrauliche con pozzi d'estrazione (pump and treat)

Descrizione: il metodo utilizza una serie di pozzi disposti secondo un allineamento che permettono l'estrazione delle acque inquinate ed il loro trasferimento all'impianto di trattamento.

Vantaggi: sistema ben conosciuto e relativamente economico.

Svantaggi: richiede un'ottima conoscenza dell'acquifero ed una progettazione accurata per assicurare l'estrazione di tutta l'acqua inquinata. Richiede un impianto di trattamento delle acque.

Pozzi d'estrazione e ricarica

Descrizione: con questa tecnologia l'acqua inquinata estratta dai pozzi a valle, dopo il trattamento, viene reintrodotta nel terreno a monte, ottenendo un "lavaggio" combinato delle acque e dei suoli.

Vantaggi: efficacia maggiore del pump and treat.

Svantaggi: richiede un'ottima conoscenza dell'acquifero ed una progettazione accurata per assicurare l'estrazione di tutta l'acqua inquinata. Richiede un impianto di trattamento delle acque.

Barriere permeabili

Descrizione: il sistema consiste nella realizzazione di barriere permanenti, semi-permanenti o mobili, trasversalmente al flusso degli inquinanti nel suolo. Le caratteristiche specifiche delle barriere consentono l'immobilizzazione o la rimozione degli inquinanti.

Vantaggi: non è necessario estrarre e trattare off-site l'acqua.

Svantaggi: è possibile operare esclusivamente nelle zone sature. Richiede un'ottima conoscenza dell'acquifero ed una progettazione accurata.

Stabilizzazione/inertizzazione

Descrizione: il sistema prevede l'iniezione nel terreno (in-situ) o il miscelamento (on-site) di sostanze in grado di immobilizzare gli inquinanti e formare un materiale con bassissimo grado di lisciviabilità. Le miscele o i materiali da iniettare dipendono dal contaminante presente e possono agire sia chimicamente sia fisicamente.

Vantaggi: può essere un sistema poco costoso nel caso utilizzo di materiali industriali di scarto (fly ash, fanghi rossi bauxitici ecc.). Può essere particolarmente semplice da applicare.

Svantaggi: il sistema incrementa, talora notevolmente, il volume complessivo del materiale.

Bonifica

Gli interventi di bonifica di un sito contaminato possono essere suddivisi in funzione della movimentazione e destinazione finale del materiale trattato:

- Interventi in-situ (senza movimentazione o rimozione di materiali dal sito);
- Interventi on-site (con movimentazione e rimozione dei materiali ma nell'ambito del sito stesso);
- Interventi off-site o ex-situ (con movimentazione e rimozione dei materiali fuori dal sito stesso).

Questa classificazione assume particolare importanza nel caso di un sito minerario dismesso dove, in genere, i volumi di materiale in gioco sono molto grandi e quindi il costo di movimentazione del materiale stesso limita l'applicabilità dei metodi off-site ed anche on-site.

La descrizione dei principali metodi di bonifica per inquinanti inorganici quali quelli normalmente presenti in un sito minerario dismesso, seguirà questa classificazione.

Metodi di bonifica in-situ

Bonifica biologica (Bioremediation)

Descrizione: il sistema prevede la stimolazione di particolari popolazioni microbiche presenti nel sito per la modifica delle caratteristiche dei contaminanti. E' un processo effettuabile in-situ.

Commento: nonostante la bioremediation non possa degradare i contaminanti inorganici, può essere utilizzata per modificare la valenza di stato di alcuni inorganici e determinare adsorbimento, immobilizzazione,

precipitazione, accumulo e concentrazione degli inorganici in micro o macro organismi. L'utilizzo di microrganismi non indigeni deve essere attentamente valutato.

Attenuazione naturale

Descrizione: è basata su processi naturali ed è finalizzata a contenere l'espansione della contaminazione, a ridurre la concentrazione dei contaminanti attraverso semplice diluizione o dispersione, e la mobilità degli stessi attraverso il processo d'adsorbimento

Commento: è un processo effettuabile in-situ ed in situazioni ambientali dove i sistemi "ingegnerizzati" sono di difficile applicazione (zone impervie ecc.).

Soil flushing

Descrizione: il metodo consiste nell'iniezione di un fluido di lavaggio (generalmente acqua arricchita con opportuni reagenti chimici) nel terreno inquinato e nella successiva estrazione e trattamento del fluido saturo. Generalmente si associano dei sistemi di contenimento, allo scopo di evitare la dispersione dei contaminanti. L'acqua di lavaggio può essere opportunamente modificata per aumentare le capacità estraenti, ma ciò può comportare un notevole aggravio dei costi.

Vantaggi: consente la rimozione contemporanea di più contaminanti.

Svantaggi: il lavaggio o la lisciviazione dei terreni richiedono una buona permeabilità e producono un refluo che deve essere trattato o smaltito. Nel caso si usino degli additivi potrebbe essere necessario un trattamento successivo del suolo. E' possibile la formazione di canali sub-superficiali che ne riducono l'efficacia.

Elettrocinesi

Descrizione: il sistema consiste nell'impiantare nel suolo inquinato degli elettrodi che, sotto differenza di potenziale, inducono un flusso elettrosmotico dell'acqua verso i catodi. Gli ioni dei contaminanti si muovono insieme all'acqua che è estratta in corrispondenza dei catodi e trattata in impianto esterno.

Vantaggi: sistema efficace con alte concentrazioni di metalli e su terreni a bassa e bassissima permeabilità. Più elementi contaminanti sono rimossi contemporaneamente.

Svantaggi: in terreni sabbiosi l'efficacia è in relazione alla minore spaziatura degli elettrodi, con aggravio dei costi. La tecnologia non è ancora stata completamente sperimentata e la sua efficacia può essere notevolmente influenzata dalle eterogeneità del suolo. Richiede un'approfondita conoscenza del sistema chimico-fisico e potrebbe richiedere l'esecuzione di sperimentazioni pilota.

Fitodepurazione

Descrizione: consiste nell'utilizzo di specie vegetali capaci di contenere e stabilizzare i metalli nei loro tessuti e nell'apparato radicale. Le tecniche specifiche

generalmente usate sono, la fitoestrazione (i metalli sono concentrati nella parte aerea della pianta che può essere bruciata con recupero dei metalli stessi), la fitostabilizzazione (la pianta cattura e stabilizza i metalli contenuti nel suolo inquinato) e la rizofiltrazione (le radici delle piante assorbono i metalli dalle acque inquinate).

Vantaggi: metodo passivo a bassa tecnologia e relativamente economico.

Svantaggi: può essere utilizzato con efficacia solo negli strati più superficiali del terreno, per concentrazioni d'inquinanti non eccessive (non devono essere tossiche per le stesse piante). Particolari condizioni atmosferiche (siccità, alluvioni ecc.) possono ridurre l'efficacia. Esiste il rischio di favorire l'ingresso dei contaminanti nella catena alimentare. In generale richiede tempi lunghi. La fitodepurazione è stata sperimentata con successo in terreni contaminati da piombo: l'efficacia su altri metalli richiede ulteriori ricerche e sperimentazioni.

Vetrificazione

Descrizione: il sistema utilizza elettrodi ad alto voltaggio per il riscaldamento di resistenze infisse nel terreno. Si provoca quindi la fusione del terreno inquinato e la fissazione in una massa vetrificata delle sostanze inorganiche. Può essere applicata in-situ per basse profondità (dell'ordine di qualche metro), ma anche on-site ed off-site.

Vantaggi: elevata efficienza.

Svantaggi: richiede accurato controllo e, se necessario, trattamento dei residui gassosi che possono liberarsi durante il trattamento. Costo elevato.

Metodi di bonifica on-site e off-site

Landfarming

Descrizione: il landfarming è un metodo di bonifica biologica on/off-site che prevede la stesa del terreno contaminato su un letto sabbioso provvisto di un fondo impermeabile per la protezione del sottosuolo. Il terreno è periodicamente dissodato per migliorare la miscelazione tra i microrganismi, l'ossigeno, i nutrienti ed i contaminanti.

Commento: il sistema è stato inizialmente utilizzato nell'industria petrolifera ed è ben conosciuto sui alcuni contaminanti organici. L'applicazione a contaminanti inorganici è oggetto di studio e potrebbe essere associata alla bioremediation.

Soil washing

Descrizione: i contaminanti presenti nel suolo possono essere separati dal suolo mediante lavaggio con acqua ad alta pressione. Il lavaggio on/off-site del terreno contaminato è effettuato con impianti mobili o semi-mobili. L'acqua di lavaggio può essere opportunamente modificata per aumentare le capacità estraenti, ma ciò può comportare un notevole aggravio dei costi.

Vantaggi: sistema collaudato e versatile. Consente la rimozione contemporanea di più contaminanti.

Svantaggi: come il soil flushing, che si adopera in-situ, il lavaggio o la lisciviazione dei terreni richiedono una buona permeabilità e producono un refluo con elevata percentuale di finissimi ed alta concentrazione di contaminanti che deve essere trattato o smaltito.

Trattamenti mineralurgici

Descrizione: derivano direttamente dall'ingegneria mineraria, e determinano la separazione di una ridotta quantità di materiale ad alta concentrazione di contaminanti (concentrato) e di un prevalente materiale a basso o bassissimo contenuto degli stessi (sterile).

Vantaggi: grande esperienza sulle metodologie su tutti i tipi di inorganici. Possibilità che il concentrato possa avere un valore commerciale e quindi contribuire alla riduzione dei costi di bonifica. Possibilità di riutilizzo degli sterili nel campo ingegneristico.

Svantaggi: richiedono la disponibilità d'impianti di trattamento e della movimentazione dei materiali.

Vetrificazione

Descrizione: analogamente al sistema da utilizzare in-situ gli elettrodi ad alto voltaggio sono immessi nel terreno scavato ed il processo produce, dopo il raffreddamento, una massa vetrosa amorfa che immobilizza i metalli. Oltre agli elettrodi possono essere utilizzati anche sistemi più tradizionali quali i forni fusori.

Vantaggi: elevata efficienza, possibilità di un'efficace controllo dei residui.

Svantaggi: richiede accurato controllo e, se necessario, trattamento dei residui gassosi che possono liberarsi durante il trattamento. Costo elevato.

Riduzione/Ossidazione chimica

Descrizione: il processo converte contaminanti tossici in composti non pericolosi o, in ogni caso, a minore tossicità. Gli agenti riducenti/ossidanti sono comunemente ozono, perossido d'idrogeno, ipocloriti e cloro. Spesso si utilizza una combinazione di più reagenti o un'associazione con radiazioni ultraviolette.

Vantaggi: tecnologia ben sperimentata.

Svantaggi: la decontaminazione può essere incompleta o determinare la formazione di composti ancora pericolosi in determinate condizioni di processo. In caso di alte concentrazioni di contaminanti l'elevato consumo di reagenti determina alti costi.

TECNOLOGIA	TERRENI PROFONDI	TERRENI INSATURI	TERRENI SATURI	ACQUE
MESSA IN SICUREZZA				
Contenimento statico				

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
PROTOCOLLO OPERATIVO DEL PROGETTO PRELIMINARE

Isolamento superficiale		X		
Sbarramenti	X	X	X	
Contenimento dinamico				
Dreni orizzontali e trincee			X	X
Pump and treat	X		X	X
Estrazione e ricarica	X		X	X
Barriere permeabili	X		X	X
Stabilizzazione/inertizzazione	X	X	X	
BONIFICA				
Soil flushing/washing	X	X		
Elettrocinesi	X		X	
Fitodepurazione		X	X	X
Vetrificazione		X		
Trattamenti mineralurgici		X	X	
Riduzione/Ossidazione chimica		X	X	X

Tabella 8: Applicabilità di tecnologie di trattamento a siti minerari dismessi

TECNOLOGIA	RESIDUI PRODOTTI	AFFIDABILITÀ E MANUTENZIONE	TEMPI DI INTERVENTO	ACCETTABILITÀ SOCIALE	COSTI
MESSA IN SICUREZZA					
Contenimento statico					
<i>Isolamento superficiale</i>	N	-	+	±	+
<i>Sbarramenti</i>	N	±	+	±	±
<i>Contenimento dinamico</i>					
<i>Dreni orizzontali e trincee</i>	L	-	non appl.	±	+
<i>Pump and treat</i>	L	±	non appl.	±	+
<i>Estrazione e ricarica</i>	L	±	non appl.	±	±
<i>Barriere permeabili</i>	N	+	non appl.	+	-
<i>Stabilizzazione/inertizzazione</i>	S	±	±	±	±
BONIFICA					
<i>Soil flushing/washing</i>	L/S	±	±	±	±
<i>Elettrocinesi</i>	L	-	±	±	-
<i>Fitodepurazione</i>	N	±	-	+	+
<i>Vetrificazione</i>	S/G	+	-	-	-
<i>Trattamenti mineralurgici</i>	S/L	+	±	±	±
<i>Riduzione/ossidaz. chimica</i>	L	+	+	±	±

Legenda: N = no; S = si; L = liquido; S = solido; G = gas; + = migliore; ± = medio; - = peggiore

Tabella 9: Caratteristiche comparate delle tecnologie di trattamento applicabili a siti minerari dismessi

5.4 Descrizione delle tecnologie proposte e degli interventi

Sulla base delle fasi precedenti si procede ad una scelta delle tecnologie più aderenti agli obiettivi di bonifica sito specifici, elaborando per ognuna delle scelte progettuali una proposta d'intervento dettagliata. Nel caso di tecnologie che abbiano un'applicabilità già riconosciuta per la tipologia di contaminazione, si procederà alle fasi successive.

È ammesso d'ufficio l'utilizzo di tipologie e metodologie d'intervento in passato già approvate nel corso d'attività di redazione dei progetti e di realizzazione d'interventi di bonifica e risanamento ambientale ricadenti negli ambiti delle presenti Linee Guida, salvo provare l'effettiva omogeneità dei casi in specie a realtà già riscontrate.

Negli ambiti delle presenti Linee Guida, se le caratteristiche di nuovi siti in esame e la natura degli inquinanti presenti, sono omogenei ad altri casi già riscontrati, è ammesso che le procedure di approvazione delle fasi progettuali siano snellite una volta che sia dimostrato che il sito in esame e gli inquinanti presenti possono essere ricondotti ad un caso già sviluppato, progettato e con attività eseguite con il raggiungimento degli obiettivi definiti.

Nel caso che la proposta progettuale integri tecnologie sperimentali, di cui non si abbiano precedenti applicazioni, gli interventi proposti dovranno essere verificati attraverso l'esecuzione di test pilota sul campo che confermino gli eventuali risultati di laboratorio.

Sarà possibile definire dei protocolli di intervento tra la Regione e gli esecutori che definiscano gli interventi tipo per casi omogenei e definiscano allo stesso tempo metodiche e tecniche di esecuzione precedentemente definite efficaci.

Non sarà necessario ripercorrere gli Iter Procedurali ed approvativi in tutti i loro passi ma resterà necessario, caso per caso, avviare le procedure d'approvazione per fasi e definire quali tipologie d'intervento sono studiate, proposte e sviluppate.

Rimane salvo quanto già detto circa le attività d'esecuzione, che dovranno in ogni modo attenersi a quanto previsto nei paragrafi delle presenti Linee Guida in particolare dedicati alle attività in itinere ed ex-post.

5.5 Test sul campo

Nel caso le condizioni del sito, i materiali inquinanti o la combinazione di questi due elementi non ricadano in casi di specie già esaminati anche al di fuori delle presenti Linee Guida (e le cui attività abbiano portato al raggiungimento degli obiettivi definiti in fase di progetto), occorrerà che tutte le fasi d'approvazione e d'esecuzione seguano gli iter approvativi definiti nei paragrafi dedicati delle presenti Linee Guida.

Qualora il progettista o l'Esecutore proponga l'adozione di interventi sperimentali ed innovativi, ovvero dei quali non sia stata ancora dimostrata l'efficacia in casi concreti, sarà necessario procedere ad una simulazione sul campo, Test Sito Specifico, degli effetti di tali interventi mantenendo parametri e scenari conservativi.

Sarà anche necessario che il progettista o l'esecutore valutino il vantaggio economico della tecnologie proposte rispetto a tecnologie già consolidate dalla prassi corrente.

L'esecuzione delle prove pilota, in campo o in laboratorio, può essere programmata anche su tempi lunghi sino alla scelta del Progetto definitivo, in modo da ottenere una

valutazione affidabile anche sull'evoluzione temporale della metodologia sottoposta a verifica.

5.6 Compatibilità di impatto ambientale degli interventi

Il progetto preliminare deve contenere la definizione dell'impatto che gli interventi di bonifica e ripristino ambientale, di messa in sicurezza e le misure di sicurezza hanno sull'ambiente circostante e sulla salute pubblica; quest'analisi deve comprendere gli effetti generati dal trasporto dei materiali prelevati del sito e dalle attività impiantistiche di supporto agli interventi di bonifica svolti sul sito.

Qualora la tipologia d'intervento scelta preveda la realizzazione di opere o impianti che, secondo la normativa vigente, devono essere sottoposte a Valutazione di Impatto Ambientale la procedura di approvazione della fase progettuale è sospesa fino all'acquisizione della pronuncia di compatibilità.

5.7 Progettazione per Fasi

Al fine dell'approvazione da parte dell'autorità competente della presentazione per Fasi dei progetti definitivi, il Progetto preliminare deve motivare dettagliatamente dal punto di vista tecnico, di sicurezza ambientale e di tutela della salute pubblica la richiesta di modifica progettuale. Le sezioni progettuali precedentemente definite (II.1-8) devono a tal fine individuare le tecnologie proposte per ogni Progetto Definitivo di Fase, approfondendo singolarmente le sezioni progettuali II.4, II.5, II.6.

Le tecnologie proposte per ogni singolo Progetto definitivo di Fase devono essere valutate in considerazione degli interventi svolti nelle aree adiacenti; l'analisi del rischio deve essere condotta sia per ogni subarea progettuale che per l'insieme degli interventi proposti.

La progettazione per fasi può riguardare interventi di bonifica che si succedono temporalmente sulla medesima area. In tale caso a seguito della realizzazione degli interventi di bonifica previsti da una fase deve essere presentato ed approvato un ulteriore progetto definitivo per la fase successiva che dettagli gli interventi integrativi da realizzare per il raggiungimento degli obiettivi di bonifica.

La progettazione deve chiaramente esplicitare la tempistica complessiva, le relazioni tra i diversi interventi e i piani gestionale dell'insieme degli interventi.

6. Protocollo operativo del Progetto Definitivo

Sulla base delle verifiche e delle proposte progettuali elaborate nelle fasi precedenti, l'Esecutore a seguito dell'approvazione del Progetto Preliminare predispose il Progetto Definitivo, PD.

Nel PD devono essere determinati in dettaglio i lavori da realizzare ed il relativo costo previsto, ad un livello di definizione tale da consentire che ogni elemento sia identificabile in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. Il PD è corredato da:

- Piano di manutenzione delle opere di bonifica, di messa in sicurezza permanente, di ripristino ambientale
- Piano di manutenzione delle misure di sicurezza e degli strumenti di controllo
- Definizione degli interventi necessari ad attuare le eventuali prescrizioni e limitazioni all'uso del sito richieste dall'autorità competente.

Si articola nelle seguenti sezioni:

1. Descrizione di dettaglio della tecnologia scelta e degli interventi proposti
2. Interventi da realizzare per l'attuazione delle prescrizioni e delle limitazioni all'uso del sito
3. Piano dei controlli e monitoraggi post-operam

6.1 Dettaglio delle tecnologie scelte per gli interventi proposti

Nel Progetto Definitivo si devono determinare, in dettaglio, gli interventi da realizzare per le tecnologie di bonifica e ripristino ambientale e la messa in sicurezza permanente adottate nel sito, le eventuali misure di sicurezza, il relativo costo previsto e la tempistica di realizzazione delle fasi d'intervento.

Il progetto definitivo definisce nel dettaglio anche il piano d'investigazione post-operam, gli interventi necessari per verificare le stime dell'analisi del rischio e garantire la protezione della salute pubblica, dell'ambiente naturale e del territorio urbanizzato su cui potrebbe esercitarsi l'impatto del sito.

S'indicheranno nel dettaglio le misure e le azioni con cui sarà verificata l'efficacia degli interventi proposti. L'efficacia degli interventi potrà essere verificata mediante i seguenti criteri:

- raggiungimento nel suolo dei valori di concentrazione limite considerati accettabili, in funzione dei valori di fondo determinati sulle varie matrici ambientali;
- raggiungimento nel suolo delle concentrazioni residue indicate mediante analisi di rischio come obiettivo dei progetti accompagnati da misure di sicurezza
- isolamento dei rifiuti stoccati dalle matrici ambientali e contenimento della migrazione dell'inquinamento
- controllo delle stime effettuate con l'analisi di rischio per quanto riguarda la migrazione delle sostanze inquinanti e la protezione dei bersagli individuati
- campionamento, analisi e controllo nel tempo, della qualità delle componenti

ambientali, quali acque sotterranee

- stabilità nel tempo e qualità degli interventi realizzati di bonifica e ripristino ambientale e di messa in sicurezza permanente e delle misure di sicurezza

6.2 Prescrizioni e limitazioni all'uso del sito

Il progetto definitivo descriverà, nel dettaglio, gli interventi che si rendono necessari per attuare le prescrizioni definite dall'autorità competente, qualora siano state approvate per suolo e sottosuolo concentrazioni residue superiori ai valori di concentrazione limite accettabili e si debbano adottare misure di sicurezza

Devono essere riportate le limitazioni d'uso richieste, per la destinazione d'uso prevista dagli strumenti urbanistici per il sito; queste indicazioni devono essere mantenute nei successivi progetti di edificabilità.

Il Progetto Definitivo dovrà contenere almeno gli elaborati descrittivi e grafici descritti in tabella 9.

Relazioni tecniche descrittive	Elaborati Grafici	Scala
1 Definizione in ogni dettaglio degli interventi di bonifica e ripristino ambientale, degli interventi di messa in sicurezza permanente e delle misure di sicurezza, e congruenza con le eventuali attività e/o processi in corso nell'area	Schemi degli interventi ed impianti per la bonifica, il ripristino ambientale e la messa in sicurezza permanente	1:500 1:1.000
2 Piano temporale e piano di gestione degli interventi	Schemi di dettaglio di sistemazione cantiere	1:500 1:1.000
3 Calcoli e dimensionamento dei principali impianti e strutture	Schemi di dettaglio degli interventi e degli impianti per le misure di sicurezza	1:500 1:1.000
4 Costo previsto per gli interventi; computo metrico estimativo ed elenco dei prezzi unitari	Schemi costruttivi di dettaglio dei sistemi di messa in sicurezza da realizzare durante gli interventi	1:500 1:1.000
5 Criteri di protezione dei lavoratori e della popolazione.	Schemi dei controlli da attuare nel corso delle attività di bonifica e/o durante l'installazione delle misure di sicurezza.	
6 Dettaglio dei controlli da attivare post-operam per verificare il raggiungimento degli obiettivi di bonifica	Schemi dei controlli post-operam	
7 Dettaglio delle azioni e degli interventi da eseguire per garantire il raggiungimento dei risultati degli interventi di bonifica e ripristino ambientale, di messa in sicurezza permanente e delle misure di sicurezza	Risultati delle analisi di laboratorio condotte durante gli interventi o al termine delle esecuzione degli interventi di bonifica e ripristino ambientale	
8 Piano dettagliato di manutenzione delle opere e delle misure di sicurezza	Piano di gestione dei materiali, suolo, acqua, rifiuti, prodotti durante le attività di bonifica e ripristino ambientale	

Tabella 10: Elaborati del Progetto Definitivo

7. Esecuzione interventi, collaudo e certificazione

7.1 Piano delle procedure di verifica e controllo

Il collaudo dell'intervento dovrà valutare la rispondenza tra il progetto definitivo e la sua realizzazione in termini di sistemi, tecnologie, strumenti e mezzi utilizzati per la bonifica e il ripristino ambientale, per la messa in sicurezza permanente e per le misure di sicurezza, sia durante la loro esecuzione sia al termine delle attività mediante un monitoraggio post-operam.

I controlli da eseguire per la verifica dei risultati dell'intervento di bonifica dovranno riguardare tutte le diverse matrici ambientali interessate dal fenomeno d'inquinamento.

Le procedure di controllo dovranno indicare le modalità ed i tempi d'esecuzione dei controlli, gli standard analitici da utilizzare, le modalità di rappresentazione dei risultati.

Come elemento di giudizio finale sarà prodotta dall'ente competente, una certificazione di avvenuta bonifica e ripristino ambientale o di avvenuta messa in sicurezza permanente. La certificazione conterrà anche i risultati del controllo delle misure di sicurezza, mediante osservazione dei risultati ottenuti dal monitoraggio e controllo, in termini di concentrazioni degli inquinanti utilizzati, degli obiettivi della bonifica e ripristino ambientale e di protezione della salute pubblica e dell'ambiente

7.2 Modalità di verifica progettuale in corso d'opera

In corso d'opera, avvallandosi di una attenta attività di monitoraggio, si dovrà procedere alla verifica della effettiva efficacia della tipologia d'intervento scelta. Tale iniziativa consente di modificare durante la fase di realizzazione, qualora ciò sia fattibile, scelte non idonee o comunque non più preferibili ad altre. Alla luce di nuovi elementi, non prevedibili in fase progettuale, la verifica in progress del progetto proposto consente, quindi, di adattare meglio le scelte fatte alla realtà territoriale oggetto di studio.

7.3 Monitoraggio

Avviata la fase di bonifica, di messa in sicurezza o di messa in sicurezza permanente è opportuno prevedere una scrupolosa attività di monitoraggio. Sulla base dei risultati ottenuti con l'analisi dei rischi l'intervento di controllo sulle matrici ambientali ma anche di verifica dei risultati attesi potrà essere focalizzato, soprattutto, su quelle componenti e su quelle parti di territorio che richiedono una maggiore attenzione.

Nella realizzazione di tutte le fasi progettuali e di esecuzione risulta fondamentale l'attività di monitoraggio e controllo di tutte le matrici ambientali coinvolte, al fine di verificare in continuo la bontà delle scelte effettuate e nello stesso tempo minimizzare i rischi di eventi imprevedibili che possano compromettere il risultato della bonifica. Dovrà essere previsto un sistema di monitoraggio che, attraverso il confronto continuo tra le previsioni e le situazioni reali, documentate dall'analisi integrata dei dati, permetta di individuare situazioni non previste o indesiderate, agendo quindi, in questo senso, come sistema di allarme.

Di conseguenza la qualità dell'ambiente dovrà essere conosciuta prima dell'inizio dei lavori e, pertanto, le caratteristiche delle falde profonde e superficiali, le caratteristiche dell'aria (intesa soprattutto come caratteristiche meteorologiche e contenuto di polveri) ed il livello di concentrazione degli elementi presenti nel suolo e sottosuolo devono essere rilevati con campagne adeguate in modo da ricostruire nella maniera più attendibile possibile la situazione prima dell'intervento e confutare periodicamente le eventuali variazioni derivanti dalle opere di bonifica.

E' evidente che prelievi e analisi dovranno essere effettuate periodicamente e consentire agli enti competenti la verifica e la certificazione sulla conformità degli interventi progettati.

7.4 Approvazione ed Audit

L'approvazione delle misure di messa in sicurezza d'emergenza, dei piani di caratterizzazione, del progetto preliminare avverrà tramite conferenza dei servizi ai sensi dell'articolo 14 della legge 7 agosto 1990, n. 241, e successive modifiche ed integrazioni, convocata dal Ministero dell'Ambiente articolata in Conferenza istruttoria alla quale sono chiamati a partecipare i Ministeri e gli enti locali interessati, l'ARPA competente per territorio e tutte le altre amministrazioni competenti per le autorizzazioni, le concessioni, i concerti, le intese, i nulla osta, i pareri e gli altri atti di assenso e una Conferenza decisoria alla quale oltre il Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio partecipa il Ministero della Salute, il Ministero delle Attività produttive e la Regione. L'approvazione dei progetti definitivi avviene con le medesime fasi e viene ratificata con decreto del Ministro dell'Ambiente di concerto con il Ministro della Salute ed il Ministro delle attività produttive, d'intesa con la Regione.

In sede d'esecuzione l'ente competente dovrà verificare la conformità delle opere eseguite con quanto previsto e approvato nel progetto definitivo.

La conformità dovrà riguardare anche gli aspetti di carattere analitico, relativi alla rispondenza delle concentrazioni degli inquinanti nelle varie matrici ambientali interessate alle concentrazioni considerate accettabili e definite in sede di progettazione.

7.5 Certificazione della Amministrazione Provinciale

La documentazione concernente il Piano della caratterizzazione, il Progetto preliminare, il Progetto definitivo, comprensivo delle misure di sicurezza, dei monitoraggi da effettuare, delle limitazioni d'uso e delle prescrizioni eventualmente dettate, sono trasmessi alla Provincia ai fini dell'effettuazione dei controlli sulla conformità degli interventi ai progetti approvati.

Il completamento degli interventi di bonifica e ripristino ambientale e la conformità degli stessi al progetto approvato sono accertati dalla Provincia mediante apposita certificazione. Il completamento degli interventi di messa in sicurezza permanente e la conformità degli stessi al progetto approvato non può comunque essere accertato se non decorsi cinque anni dall'effettuazione del primo controllo ai sensi del comma 4.

Per gli interventi di messa in sicurezza permanente con ripristino ambientale e bonifica e ripristino ambientale con misure di sicurezza, la Provincia è altresì tenuta ad effettuare, controlli e verifiche periodiche sull'efficacia delle misure di sicurezza

adottate e degli interventi di messa in sicurezza permanente, anche al fine di accertare, con cadenza almeno biennale, che le caratteristiche del sito sottoposto ai predetti interventi siano corrispondenti alla destinazione d'uso prevista e non comportino rischi per la salute e per l'ambiente, tenuto anche conto delle conoscenze tecniche e scientifiche nel frattempo intervenute.

Il completamento degli interventi di bonifica e ripristino ambientale e la conformità degli stessi al progetto approvato sono accertati dalla Provincia mediante apposita certificazione.

Nel caso di interventi di messa in sicurezza e/o bonifiche con misure di sicurezza e ripristino ambientale, la Provincia dovrà effettuare controlli e verifiche periodiche sull'efficacia delle misure di sicurezza adottate e degli interventi di messa in sicurezza permanente, anche al fine di accertare, che le caratteristiche del sito sottoposto ai predetti interventi siano corrispondenti alla destinazione d'uso prevista e non comportino rischi per la salute e per l'ambiente.

8. Sicurezza dei lavoratori

Per quanto riguarda la sicurezza dei lavoratori, vale quanto espressamente richiamato dal D.M. 471/99.

L'applicazione di un intervento di bonifica/messa in sicurezza permanente e ripristino ambientale di un sito inquinato deve garantire che non si verifichino emissioni di sostanze o prodotti intermedi pericolosi per la salute degli operatori che operano sul sito, sia durante l'esecuzione delle indagini, dei sopralluoghi, del monitoraggio, del campionamento e degli interventi.

Per ogni sito in cui i lavoratori sono potenzialmente esposti a sostanze pericolose, sarà previsto un piano di protezione con lo scopo di indicare i pericoli per la sicurezza e la salute che possono esistere in ogni fase operativa ed identificare le procedure per la protezione dei dipendenti. Il piano di protezione sarà definito in conformità a quanto previsto dal D. Leg.vo 626/94 e quant'altro previsto dalla normativa vigente.

INDICE ANALITICO

A	
Analisi di rischio.....	3; 19; 23; 39; 41; 42; 64
Area Vasta.....	6; 23; 29
Attenuazione naturale.....	49
B	
Barriere.....	47
idrauliche.....	47
permeabili.....	52; 53
Bioremediation.....	49
Bonifica.....	49
biologica.....	49
con misure di sicurezza	42; 43; 46; 59; 60
C	
Centri di Pericolo.....	6
Clark.....	6
CORINE.....	29
D	
Deroga.....	7
limiti tabellari.....	7; 32; 41; 43
Discariche.....	8
debolmente mineralizzate.....	8
mineralizzate.....	7; 8; 17; 41
sterili.....	8; 17; 20; 24; 27; 31; 34; 51
Dreni orizzontali.....	47; 52; 53
E	
EDTA.....	33
F	
Esecuzione degli interventi ...	11; 17; 57
F	
Fitodepurazione.....	50; 52; 53
Fondo geochimico.....	7; 27; 38
G	
Gestione delle Informazioni.....	19
GIUDITTA.....	43
I	
Indice di Pericolosità.....	22
Inertizzazione.....	48
investigazione di dettaglio.....	40
L	
Landfarming.....	50
M	
Messa in sicurezza d'emergenza.....	17
Messa in sicurezza permanente.....	46
Metodi.....	46
di bonifica in-situ.....	49
di bonifica on-site e off-site.....	50
di contenimento statico.....	46
Monitoraggio post opera.....	45
P	
Piano di Caratterizzazione ...	11; 12; 18; 19; 38; 39; 43
Pozzi d'estrazione.....	47
Progettazione per Fasi.....	39; 55
Progetto.....	39
definitivo.....	56

preliminare.....	39	Soil washing	51
R		Stabilizzazione.....	17; 48; 52; 53
RBCA	43	T	
Riutilizzo dei materiali	8	Test	9; 39; 54
S		Trincee	47
Sbarramenti.....	47; 52; 53	V	
Sistemi di isolamento superficiale	46	Valori di Fondo	6
Soil flushing	49; 52; 53	Verifiche sul campo	19
		Vetrificazione	50; 51; 52; 53

BIBLIOGRAFIA

- ANPA (2001) - "Criteri per la predisposizione dell'Anagrafe dei Siti da Bonificare (D.M. 471/99) Contenuti e Struttura Dati"
- Beretta G.P. (1992) - "Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee". Pitagora Editrice, Bologna, 1992
- Beretta G.P. (1994) – "Linee-guida per l'esecuzione di indagini e prospezioni idrogeologiche per il monitoraggio delle acque sotterranee". In : Guida al disinquinamento degli acquiferi : indagini, metodologie ed esempi di intervento. Vol. 1, Pitagora Editrice, Bologna
- Beretta G.P. (2001) – "Gestione dei dati analitici in fase di caratterizzazione, bonifica e certificazione dei siti contaminati." Atti della Giornata di studio sulla Bonifica di siti contaminati: aspetti giuridici e gestionali. Provincia di Milano, 16 novembre 2001, Milano
- Dessì R. et Alii (1999) – « Environmental characterisation and rehabilitation proposal of Montevecchio Mine district » - Volume III pg. 2541-2550, REWAS '99 Global symposium on recycling, waste treatment and clean technology – edited by I. Gaballah, J. Hager, R. Solozabal
- Segreteria tecnica dell'Accordo di Programma per la Chimica di P.Marghera (2001) – "Protocollo Operativo per la caratterizzazione dei siti ai sensi del D.M. 471/99 e dell'accordo di programma per la chimica di Porto Marghera". Città di Venezia, Dir. Gen. Ambiente e Sicurezza del Territorio
- EMSA, PROGEMISA, Università di Cagliari (1999) – "Studio di Fattibilità del Parco Geominerario Storico ed Ambientale della Sardegna". Regione Autonoma della Sardegna – Assessorato alla Difesa dell'Ambiente
- International Organization of Standardization (1993) - "Water quality – Sampling – Part 11: Guidance on sampling of groundwaters". ISO 5667-11, Genève, Switzerland
- Paspaliaris I. et Alii (2001) – Innovative industrial technologies for the rehabilitation of land contaminated from polymetallic sulphide mining and processing operation- ROLCOSMOS" – EUROTHEN 2001 Proceedings of the fourth Annual Workshop" edited by I. Paspaliaris, M. Taxiarchou, A. Adjemian, G. Katagalagianakis
- Protano G. et Alii (1999) – "la Cartografia geochemica della Toscana meridionale. Criteri di realizzazione e rilevanza ambientale attraverso gli esempi di Hg, As, Sb, Pb e Cd". Memorie descrittive della Carta geologica d'Italia Volume LV, pp. 109-140
- Repubblica Italiana (1997) – "Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi fisica dei suoli". D.M. Ministero per le Politiche Agricole del 1 agosto 1997, G.U. n.173 del 2 settembre 1997, Roma, 1997
- Repubblica Italiana (1999a) – "Approvazione dei "metodi ufficiali di analisi chimica del suolo". D.M. del 13 settembre 1999, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, G.U. del 21 ottobre 1999, n. 248 Serie generale, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma
- Repubblica Italiana (1999b) – "Regolamento recante criteri, procedure e modalità di messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n.22 e successive modificazioni e integrazioni". D.M. del 25 ottobre 1998, Ministero dell'Ambiente, G.U. del 15 dicembre 1999, n. 293 Serie generale, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma
- UNI – Ente Italiano di Unificazione (1998) – "Rifiuti liquidi, granulari, pastosi e fanghi. Campionamento manuale e preparazione ed analisi eluati". UNI 10802, Milano
- UNICHIM – Manuale 196/1 (2002) – "Suoli e Falde Contaminati; Analisi di rischio sito-specifica, Criteri e parametri " UNICHIM Associazione per l'Unificazione dell'Industria Chimica, Milano
- U.S. Environmental Protection Agency (1994) – "Subsurface characterization and monitoring techniques: A desk reference guide. Volume 1: Solid and groundwater". EPA/695/R-93/003a, Office of Research and Development, Washington D.C.