

REGIONE
TOSCANA



**Giunta Regionale
Dipartimento delle Politiche
Territoriali ed Ambientali
Area Rifiuti e bonifiche**

***STUDIO COMPLESSIVO ESTESO ALLE AREE
INTERESSATE DAI FENOMENI DI
INQUINAMENTO IN ATTO PRESSO LA MINIERA
DI CAMPIANO IN COMUNE DI MONTIERI.***

RAPPORTO DI SINTESI

GEOSCIENCE S.R.L. - Firenze

Lo studio è stato svolto nel periodo febbraio 2002 – settembre 2002 da:

Geoscience S.r.l. – Firenze

- Dott. Geol. Guglielmo Chiocciola – Dott. Geol. Francesco Bianchi
- Dott. Geol. Bruno Filippo Stea – Dott. Geol. Gianluca Pansini
- Dott. Ing. Nicola Croce
- Dott. Chim. Andrea Freschi

Responsabile del Contratto per la Regione Toscana:

- Dott. Ing. Giovanni Barca

Commissione per il collaudo interno alla Regione Toscana:

- Dott. Ing. Alfredo Cianci
- Dott. Geol. Silvano Monzali
- P.I. Laura Etri

Si ringraziano per la collaborazione

il Geom. Bruno Corsini e l'Amministrazione Comunale di Montieri

Pubblicazione a cura di:

Regione Toscana – Giunta Regionale
Dipartimento delle Politiche Territoriali ed Ambientali
Area Rifiuti e Bonifiche

Premessa.

La miniera di Campiano è ubicata nel Comune di Montieri nell'area delle Colline Metallifere. In ragione della naturale mineralizzazione, l'area è sempre stata interessata da attività mineraria per l'estrazione di metalli. In particolare il "filone" di minerale in corrispondenza della cosiddetta "faglia di Boccheggiano" è stato coltivato dalla fine del '800 all'inizio del '900 dalla "Miniera delle Merse". La Miniera di Campiano, che inizia la sua attività all'inizio degli anni '70, ha interessato lo stesso filone di pirite, sia pur a maggiori profondità. La coltivazione, eseguita con i più moderni mezzi, ha raggiunto la profondità di 800 metri dalla quota d'imbocco. La chiusura definitiva della miniera e la rinuncia alla "concessione" sono state definite con decreto del Ministero dell'Industria del Commercio e dell'Artigianato in data 19 dicembre 1995.

Il minerale di pirite estratto, oltre che commercializzato, era utilizzato per la produzione d'acido solforico nello stabilimento Solmine ubicato nel comune di Sarlino. La coltivazione della Miniera di Campiano, attuata per "sottolivelli a camere e successiva ripiena", è continuata fino alla cessazione dell'attività avvenuta nel 1994. La miniera è stata definitivamente "chiusa e sigillata" nel 1996, salvo un drenaggio di sfioro, realizzato in fase di dismissione dell'attività. Nel periodo d'esercizio della stessa miniera, al fine di garantire lo sfruttamento del giacimento e la sicurezza dei lavoratori, venivano artificialmente estratte, depurate ed immesse nelle acque superficiali le acque sotterranee rinvenute durante gli scavi. Queste presentavano caratteristiche di particolare acidità ed alto contenuto di metalli (Fe, As, Pb ..). Le acque sotterranee non più emunte artificialmente, dal momento della "chiusura della miniera, tendendo a ristabilire il loro livello piezometrico originario, hanno iniziato a fuoriuscire dall'imboccatura della galleria, dall'aprile 2001. Tali acque hanno una temperatura media di circa 38° C, pH acido e presentano in soluzione metalli. I metalli in soluzione, al mutare delle caratteristiche di pH, hanno iniziato a precipitare depositando un sedimento rossastro nel corso d'acqua ricevente (fosso Ribudelli che recapita poi nel fiume Merse). Al momento della fuoriuscita dell'acqua dalla miniera si registrava una concentrazione di circa 800 mg/l di ferro con pH 4.07 e una portata di 15 l/s; successivamente le caratteristiche delle acque hanno subito alcune oscillazioni, anche importanti, ma mantenendosi poi in un range di valori non troppo dissimili da quello iniziale. Si è registrata comunque una diminuzione di portata fino a 7-8 l/s.

Dal momento in cui si è riscontrata la situazione di compromissione ambientale del fiume Merse, la Regione Toscana, le Amministrazioni Provinciali di Siena e Grosseto e le Amministrazioni comunali di Montieri (GR) e Chiusdino (SI), a fronte del monitoraggio operato dall'Agenzia regionale per la protezione ambientale (ARPAT) hanno immediatamente promosso incontri di verifica identificando nella Soc. Mineraria Campiano (oggi Singea - gruppo ENI) il soggetto deputato all'esecuzione degli interventi di messa in

sicurezza d'emergenza. Nei confronti di tale società è stata emessa, secondo un percorso identificato in accordo tra tutte le Amministrazioni interessate, un'Ordinanza del Sindaco del Comune di Montieri, per la messa in sicurezza d'emergenza, alla quale la Soc. Mineraria Campiano non ha ottemperato ricorrendo avverso l'atto. A fronte di ciò è stato promosso in data 26 luglio 2001, fra le Amministrazioni di cui sopra, uno specifico "Accordo di programma per l'attuazione degli interventi urgenti e la predisposizione di un progetto definitivo di bonifica conseguente allo sversamento nel Fiume Merse delle acque che provengono dalla ex miniera di Campiano nel Comune di Montieri ". Per la realizzazione di quanto previsto in tale accordo la Regione ha subito reso disponibile un primo stanziamento di 1.250.000.000. di vecchie lire.

Le opere relative al progetto di messa in sicurezza d'emergenza sono consistite nella realizzazione di un impianto provvisorio di depurazione. I lavori consegnati in data 03/08/01, sono stati conclusi entro il termine previsto dal contratto del 03/09/2001. Il sistema di trattamento realizzato è volto essenzialmente ad eliminare l'immissione dei metalli pesanti nel Fiume Merse. Le acque di uscita dalla ex miniera hanno, infatti, evidenziato un elevato tenore in metalli (Arsenico, Cadmio, Cromo, Ferro, Manganese, Rame, Zinco) e solfati, nonché valori di pH comunque inferiori a 5. Il processo di trattamento si basa essenzialmente sulla precipitazione dei metalli mediante flocculazione utilizzando soda e polielettrolita specifico. Viene inoltre addizionata acqua ossigenata in modo da ossidare il ferro e quindi renderlo più facilmente separabile. L'impianto è dotato di una successiva fase di disidratazione meccanica e di sedimentazione dei fanghi prodotti.

I dati analitici sulle acque in uscita dall'impianto, forniti dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT), indicano abbattimenti del ferro superiori al 99%, e abbattimenti degli altri metalli (arsenico, cadmio, cromo, nichel, piombo, rame, zinco, alluminio, bario) compresi tra 90% e 99%. Particolarmente significativo risulta l'abbattimento di arsenico che si attesta a valori superiori al 95%. Il monitoraggio della gestione dell'impianto costantemente effettuato dal Dip.to Prov.le ARPAT di Grosseto mediante tre prelievi settimanali delle acque in ingresso ed in uscita, nonché lungo i corpi ricettori (Fosso Ribudelli e Fiume Merse), consente di confermare quanto suddetto. L'impianto di trattamento realizzato permette l'intercettazione, grazie al fenomeno controllato di flocculazione, di un quantitativo di fango di circa 300-350 tonnellate/mese producendo benefici ambientali del tutto evidenti.

Le spese sostenute per la realizzazione dell'impianto, nonché per la sua gestione a tutto il 31/01/2003, ammontano complessivamente a circa 2.363.094 €. Queste, si ricorda, sono interamente a carico del bilancio regionale.

La gestione dell'impianto, in particolare a causa dello smaltimento dei fanghi che giornalmente si producono, si è presentata particolarmente onerosa, con costi medi di circa 100.000 €/mese. Risulta quindi di particolare rilievo identificare una soluzione al problema.

A tale scopo l'Accordo di Programma prevedeva di eseguire uno Studio complessivo esteso alle aree interessate dai fenomeni di inquinamento in atto presso la miniera di Campiano in Comune di Montieri, finalizzato alla definizione di un piano di caratterizzazione, per la bonifica del sito, comprensivo di un inquadramento idrogeologico e dell'analisi del processo inquinante, delle eventuali conseguenti necessità di depurazione delle acque che fuoriescono dalla Miniera, delle modalità di smaltimento dei fanghi conseguenti alla depurazione, nonché delle possibilità di riutilizzo delle acque stesse e

delle sinergie attivabili con il servizio idrico integrato. La Regione Toscana ha pubblicato in data 24 ottobre 2001 il bando di gara. Le procedure di gara si sono concluse il 25/01/2002 con l'aggiudicazione a Geoscience Srl- Firenze dell'incarico. Il relativo contratto è stato firmato il 18/02/2002. Come previsto dall'incarico lo Studio è suddiviso in quattro fasi, ciascuna seguita da una verifica da parte della Regione Toscana.

Il programma tecnico eseguito nelle singole fasi è così riassumibile.

- q **Fase 1 “RACCOLTA E SISTEMATIZZAZIONE DATI”** nella quale sono stati recuperati i rapporti tecnici, le pubblicazioni, le informazioni, estese a tutti i campi di interesse che hanno concorso a formare il quadro descrittivo del fenomeno di inquinamento prodotto nel Fiume Merse dal drenaggio acido della Miniera di Campiano. I dati esistenti sono stati inoltre integrati da quelli ricavati da una nuova campagna di indagine.
- q **Fase 2 “ANALISI DATI RACCOLTI ED INDIVIDUAZIONE DELLE CAUSE DELL’ INQUINAMENTO”** Lo scopo della seconda fase è stato quello di elaborare i dati raccolti nella prima fase.
- q **Fase 3 “IPOTESI DI MASSIMA DELLE STRATEGIE GENERALI DI INTERVENTO”.** In questa fase si è delineato il quadro delle possibilità di intervento sviluppate a seguito della ricostruzione del modello concettuale.
- q **Fase 4 “PIANO DI CARATTERIZZAZIONE”** consegnata alla fine di settembre 2002, nella quale oltre al quadro complessivo delle conoscenze acquisite è stato redatto un programma di indagine per approfondire la fattibilità delle soluzioni già proposte al termine della fase 3.

Lo studio è stato terminato il 30 Settembre 2002, tutto ciò conformemente al programma dei lavori specificato dal Capitolato Speciale di Appalto.

Il Collegio di Vigilanza, previsto dall'Accordo di Programma, ha valutato positivamente in data 16/10/2002 lo Studio presentato da Geoscience. Ciò consente oggi il passaggio alle successive attività di progettazione dell'intervento nel rispetto dell'Accordo di Programma e delle norme di legge.

In accordo fra tutti gli altri Enti firmatari è stato dato inoltre avvio, come previsto dalla Legge regionale 25/1998 “Norme per la gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti inquinati” integrata dalla L.R. 29/2002, al procedimento per il recupero delle spese sostenute a carico della Società Mineraria Campiano.

*L'Assessore all'Ambiente e Tutela del Territorio,
Protezione Civile, Politiche per la Montagna*

Tommaso Franci

INDICE

1	Sommario	pag.	2
2	Fenomeno inquinante	“	5
3	I soggetti obbligati agli interventi di bonifica	“	5
4	Interventi in corso nell’area mineraria, secondo il DM 471/99	“	6
5	Sintesi dell’assetto Geologico e Geominerario	“	7
6	Sintesi idrogeologica	“	8
7	Indagine storica	“	9
8	Caratterizzazione generale del sito	“	11
9	Indagini chimico-fisiche nell’area	“	17
10	Formulazione di un modello concettuale preliminare	“	22
11	Apporto delle ceneri ematitiche alla formazione dei drenaggi acidi	“	24
12	Le soluzioni possibili	“	25
13	Conclusioni	“	32
	Elenco Tavole	pag.	33

1 Sommario.

Si hanno notizie di attività minerarie nell'Alta Valle del Fiume Merse a partire dal XV° secolo, ma solo nella seconda metà dell'ottocento le attività di estrazione furono impostate su di un piano industriale; nell'anno 1889 le attività principali passarono alla Montecatini S.A. e furono poste sotto Concessione Mineraria negli anni trenta. Nel 1974 avvenne il passaggio delle Concessioni Minerarie Boccheggiano e Montieri a favore della Solmine SpA, successivamente nel 1988 vi fu il trasferimento alla Nuova Solmine SpA ed infine nel 1994 subentrò la Mineraria Campiano SpA; le attività di estrazione nella miniera di Campiano furono terminate nell'Agosto 1994, e la miniera fu definitivamente dismessa con la costruzione di apposite chiusure minerarie nel 1996.

Dalla rampa di Accesso della Miniera Campiano, sita in località Ribudelli, nel mese di Aprile 2001 è iniziata a fuoriuscire acqua con portata stimata di circa 16,0 lit/sec. Le acque in uscita dalla miniera erano limpide, poi scorrendo in superficie, dopo un breve percorso, a seguito di processi di ossidazione e diluizione, determinavano lo sviluppo di fanghi di colore giallo-arancio, con un forte inquinamento del Torrente Ribudelli e poi del Fiume Merse. Dopo due mesi dall'inizio dello sversamento l'impatto sul fiume era tale per cui il pH delle acque del Fiume Merse era diminuito di oltre 2 unità, fenomeno rilevato anche qualche km a valle della confluenza del Torrente Ribudelli.

Il fatto che la miniera diventasse effluente era già stato ipotizzato in fase di chiusura mineraria, tant'è che all'interno della Rampa di Accesso era stato realizzato uno stramazzone alto 1,0 m e nel portale di chiusura era stata lasciata una canaletta di scarico collegata al Torrente Ribudelli.

La portata iniziale dalla Rampa di Accesso nel tempo è diminuita fino a stabilizzarsi a ~ 8-8,5 lit/sec. Le caratteristiche fisico-chimiche delle acque effluenti dalla miniera sono tipiche di un drenaggio acido. Si definiscono drenaggi acidi di miniera, nella letteratura inglese *Acid Mine Drainage A.M.D.*, le acque che hanno $\text{pH} < 5,0$

ed alti contenuti di metalli pesanti, in particolare ferro, rame, zinco ed arsenico. L'acqua acida effluente dalla miniera all'origine è limpida, poi con lo scorrimento in superficie viene parzialmente tamponata per diluizione dalle acque neutre dei corsi d'acqua, e da luogo ad una grande quantità di fanghi costituiti da idrossidi e solfati dal caratteristico colore giallo/arancio. I drenaggi acidi si formano in miniere attive o dismesse per il processo di ossidazione dei solfuri, determinato dalla circolazione di acque superficiali ossigenate e di aria, che provocano lo sviluppo di acido solforico e la conseguente solubilizzazione dei metalli.

La costruzione di una miniera realizza la circolazione di aria e di acque con ossigeno disciolto sui corpi mineralizzati per cui favorisce i processi di ossidazione dei solfuri fino a conseguenze estreme con produzione di drenaggi acidi con pH molto basso (che in talune condizioni è descritto da valori negativi) e contenuti di metalli pesanti incredibilmente alti. Questo processo si realizza anche in condizioni naturali, ma con velocità di reazione molto lenta e produce acque ferruginose dal caratteristico colore rossastro per la presenza di ossidi idrati di ferro in sospensione; queste hanno pH prossimo alla neutralità e bassi contenuti di metalli pesanti. Lo studio ha stabilito in maniera inequivocabile che la causa del fenomeno inquinante è da imputare ai drenaggi acidi di miniera.

La presenza di acque acide nella Miniera Merse è evidente nei rapporti di miniera già dal 1897. Nella Miniera di Campiano, nel 1977, alla quota + 38 m s.l.m., fu incontrata una grossa venuta d'acqua termo-minerale che determinò l'allagamento della miniera per alcuni mesi ed il contemporaneo svuotamento della Miniera Merse soprastante. Nel periodo dal 1977 al 1982 questa venuta assunse progressivamente il carattere di drenaggio acido e la portata si ridusse fino a stabilizzarsi a ~ 8,0 lit/sec.

Nel 1982 fu osservato che la Miniera Merse era nuovamente allagata, per cui se ne concluse che il collegamento idraulico fra le due miniere si era interrotto. Per prevenire rischi nella

Miniera Campiano, fu drenata la Miniera Merse tramite una galleria ed una serie di sondaggi drenanti sub-orizzontali impostati da una galleria della Miniera Campiano sita alla quota di + 300 m slm, aventi l'obiettivo di intercettare il Pozzo Serpieri. Questo non fu mai centrato, però furono intercettate zone permeabili che comunque permisero lo svuotamento della Miniera Merse. Le acque provenienti dalla Miniera Merse avevano il carattere di drenaggi acidi; i dati raccolti con lo studio indicano in maniera chiara che la genesi dei drenaggi acidi si realizza in questa miniera. Negli anni successivi fu constatato che la qualità delle acque edotte dal livello +38 m slm, a seguito di una minore miscelazione con le acque acide della miniera Merse, aveva subito un miglioramento qualitativo.

Le acque di quota +38 e di quota + 300 m slm erano edotte fino in superficie tramite impianti di pompaggio, il “mix” delle acque di quota +38 e di quota + 300 m slm risulta che avesse caratteristiche simili alle acque attualmente effluenti. Le acque edotte erano fatte decantare in apposite vasche e poi erano scaricate nel Torrente Ribudelli; anche allora causavano un grave livello di inquinamento come accertato dalla USL n° 25 negli anni 1988/89. Esiste una forte analogia fra le situazioni osservate all'epoca con quanto osservato nell'estate 2001. Per ovviare a questo inconveniente la Nuova Solmine costruì un impianto di trattamento, che rimase attivo negli anni dal 1991 al 1993. Successivamente la Pretura di Massa Marittima ritenne che le acque di eduazione dalla Miniera Campiano fossero da classificare come *".....Considerando che la legge 319/76 fa riferimento a scarichi da insediamenti produttivi, si ritiene non applicabile nel caso in cui a) le acque sotterranee non siano interessate in alcun modo nel processo produttivo dell'impresa, e b) che esse vengano restituite in superficie senza modificazioni della loro composizione qualitativa"*, per cui non erano assoggettabili alla Legge n° 319 del 1976, ciò anche sulla base di un parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici inviato al Comitato Interministeriale nel 1984. Conseguentemente a questa sentenza il depuratore fu chiuso.

Era stato ipotizzato che anche i materiali di ripiena delle camere di coltivazione, costituiti da sterili di miniera e ceneri di pirite, potessero essere la causa dei drenaggi acidi perché le acque di allagamento della miniera erano acide e ricche di metalli pesanti. Riteniamo questa ipotesi infondata perché le zone di ripiena con detti materiali sono in condizioni di stagnazione idrica, cioè prive di apporto di acque ossigenate *juvenili*, per cui potrebbero addirittura instaurarsi condizioni non più ossidanti, ma addirittura riducenti.

La soluzione di bonifica del fenomeno inquinante da ritenersi ideale è un intervento che dopo la realizzazione non determini costi correnti di gestione e/o manutenzione. A questo scopo nello studio sono state analizzate sei possibili opzioni di soluzione.

In quest'ottica, lo studio non ha ritenuto raccomandabile come ipotesi definitiva quella, oggi attuata in via di somma urgenza, che prevede il trattamento chimico-fisico delle acque effluenti dalla Miniera di Campiano, perché questa comporta costi da 1,0 a 5,0 €/mc a seconda della tecnologia impiegata che possono lievitare fino ad oltre 6,0 €/mc nel caso si volessero ottenere acque compatibili per successivi usi civili. Lo studio ha ritenuto fattibili soluzioni modulari che prevedono interventi sulla genesi dei drenaggi acidi e sull'efflusso; le opzioni fattibili sono sostanzialmente due:

1. chiusura idraulica (tombamento) delle Miniere Merse e Campiano ed esecuzione di opere di prevenzione e mitigazione, con l'obiettivo di realizzare un miglioramento qualitativo dei drenaggi acidi della Miniera Merse e prevenire situazioni di crisi connesse a periodi di alta piovosità.
2. iniezione delle acque effluenti dalla Rampa di Accesso della Miniera Campiano nel Sondaggio Chiusdino 4, perforato da Enel-Greenpower per esplorazione geotermica e risultato non produttivo, con esecuzione di opere di prevenzione e mitigazione con l'obiettivo di realizzare il miglioramento qualitativo dei drenaggi acidi della Miniera Merse e prevenire situazioni di crisi connesse a periodi di alta piovosità.

I costi di investimento stimati per la realizzazione della bonifica dell'inquinamento generato dalla Miniera di Campiano secondo le ipotesi operative qui sopra enunciate, sono:

- a) Chiusura idraulica miniere Merse e Campiano, ecc. ₪ 5.046.000
- b) Iniezione nel sondaggio Chiusdino 4, ecc. ₪ 10.240.000

La soluzione "a" - Chiusura idraulica (tombamento) delle Miniere Merse e Campiano, ecc., affronta il problema da diversi aspetti e prevede un periodo di monitoraggio di cinque anni durante i quali dovranno essere controllati gli effetti prodotti dall'intervento.

L'affidabilità nel tempo della iniettabilità nel Pozzo di Ciciano, prevista nella soluzione "b", dovrà essere verificata con un modello numerico molto complesso che dovrà essere

appositamente concepito e per il quale non esistono sperimentazioni di riferimento.

In conclusione Geoscience raccomanda l'adozione della soluzione "a" perchè è ritenuta quella che ha minori incognite, maggiore affidabilità nel tempo ed ha un livello di flessibilità tale che permetterà di fronteggiare meglio gli eventuali imprevisti.

Il soggetto obbligato alla realizzazione degli interventi di bonifica connessi all'efflusso di acque acide dalla Rampa di Accesso della Miniera di Campiano sita in Località Ribudelli è la Mineraria Campiano SpA in quanto ultimo intestatario delle attività connesse alle Concessioni Minerarie Montieri e Boccheggiano. Questa responsabilità è specificata nei decreti di rinuncia parziale e definitiva emanati dal Ministero dell'Industria negli anni dal 1994 al 1997.

2 Il fenomeno inquinante

La fuoriuscita si manifesta dalla rampa di accesso della miniera Campiano in località Ribudelli, attraverso una canaletta di scarico, appositamente costruita in sede di chiusura della miniera, collegata al fosso Ribudelli, poche centinaia di metri prima della confluenza nel fiume Merse. La qualità delle acque in uscita era prevedibile, in virtù delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque edotte durante l'attività della miniera.

Il trabocco di acque dalla rampa di Ribudelli si manifesta nell'aprile 2001, con una portata iniziale di 16 l/s, poi scesa a 8-8,5 l/s; le caratteristiche fisico chimiche di queste acque sono quelle tipiche di un drenaggio acido di miniera, con pH pari a 4 unità ed un elevato contenuto di solfati e metalli (in particolare ferro, rame, zinco ed arsenico). Lo scarico nel fiume Merse provocava un'intensa colorazione rosso arancio delle acque e la formazione di una grande quantità di fanghi conseguenti alla precipitazione dei sali disciolti. Dopo due mesi l'impatto sul fiume era tale per cui il pH delle acque del Merse era diminuito di oltre 2 unità, fenomeno rilevato anche qualche km a valle della confluenza del torrente Ribudelli.

3 I soggetti obbligati agli interventi di bonifica

La fuoriuscita di acque acide dalla Miniera Campiano si manifesta dalla Rampa di Accesso che è posta all'interno della Concessione Mineraria di Boccheggiano (Tav.1). La Concessione è stata rinunciata parzialmente nel 1994 e definitivamente nel 1995. L'ultima Società intestataria della concessione, e quindi responsabile dell'attività estrattiva nella miniera, risulta essere la società Mineraria Campiano Spa (in liquidazione).

Il Decreto di accettazione della riduzione dell'area della **Concessione Mineraria Boccheggiano** del 01/08/1994 recita:

Art.3 comma a)1 – *la Società concessionaria è tenuta ad inviare entro il 31 dicembre di ogni anno al Distretto delle Miniere di Grosseto un rapporto sul procedimento dei lavori e di recupero ambientale nell'intera area della*

Concessione e sui risultati ottenuti, nonché sull'andamento generale della propria industria;

Art.3 comma f) – *ad effettuare tutte le operazioni necessarie al recupero delle zone alterate delle aree del giacimento, da realizzarsi durante ed al termine della coltivazione, a sicura garanzia della stabilità del riequilibrio ecologico.*

Il Decreto di accettazione della rinuncia dell'area della **Concessione Mineraria Boccheggiano Ridotta** del 25/10/1995 recita:

Art.2 – *L'area della concessione è dichiarata libera e disponibile per ogni effetto di legge. Sono fatti salvi i lavori di chiusura mineraria prescritti dal Distretto Minerario di Grosseto e gli eventuali lavori di ripristino ambientale che vengano richiesti da Enti ed Organismi competenti nel rispetto delle vigenti normative*

Le acque acide iniziarono a fuoriuscire nell'Aprile 2001 attraverso un'apposita canaletta posta alla base della chiusura della rampa di accesso alla miniera; da qui le acque fluivano nel fiume Merse attraverso il fosso Ribudelli, causando un evidente aumento della colorazione del fiume e la deposizione di fanghi di colore giallo-arancio.

L' ARPAT di Grosseto nei mesi di Maggio e Giugno eseguì analisi chimico-fisiche delle acque effluenti e del Fiume Merse, e con nota del 15 Giugno 2001, Prot. n° 3435, informò l'Amministrazione Comunale di Montieri del fenomeno di inquinamento in atto, e la sollecitò " *ad attivarsi mediante opportuni atti amministrativi affinché i responsabili della attività estrattiva mettessero in atto quanto prima interventi mirati a minimizzare l'impatto ambientale dovuto alle acque in uscita, come ad esempio un trattamento chimico-fisico che consentisse di cogliere gli obiettivi sopra indicati*".

Conseguentemente alla nota dell' ARPAT, l'Amministrazione Comunale di Montieri emise l'Ordinanza n..40 del 28/06/2001 con cui si ordinava alla società Mineraria Campiano Spa di eseguire interventi di messa in sicurezza d'emergenza nella sua qualità di soggetto obbligato ai lavori di ripristino ambientale sulla

base del succitato Art.2 del D.M. 25/10/1995 con cui veniva accettata la rinuncia alla Concessione Mineraria Boccheggiano, e pertanto nella sua qualità di soggetto responsabile dell'inquinamento.

La Mineraria Campiano SpA non attivò gli interventi di messa in sicurezza nei tempi previsti dall'Ordinanza Comunale come accertato da apposito verbale del 16.07.2001 e questo comportamento provocò l'avvio del procedimento per l'esercizio dei poteri sostitutivi da parte dei competenti Enti Pubblici.

La Pubblica Amministrazione ha individuato il soggetto obbligato alla bonifica nella Mineraria Campiano SpA. Questa determinazione ci sembra corretta dal punto di vista tecnico.

Il ns. studio ha appurato che i drenaggi acidi oggetto dell'inquinamento del Fiume Merse si generano nella Miniera Merse e fluiscono verso la Rampa di Accesso tramite un sistema drenante costituito da sondaggi sub-orizzontali e da una galleria posta alla quota + 300 m slm della Miniera di Campiano.

Conseguentemente per realizzare la bonifica del fenomeno di inquinamento in atto si dovranno fare interventi di prevenzione, di mitigazione e sugli effetti anche alla Miniera Merse.

La Miniera Merse è costituita da due settori, il Settore Nord appartiene alla ex Concessione Mineraria Montieri, il Settore Sud appartiene alla ex Concessione Mineraria Boccheggiano, per la quale valgono i seguenti decreti.

La superficie della **Concessione Mineraria Montieri** fu ridotta con il Decreto di accettazione della riduzione dell'area in concessione del 01/08/1994, detto decreto recita:

Art.3 comma a)1 – la Società concessionaria è tenuta ad inviare entro il 31 dicembre di ogni anno al Distretto delle Miniere di Grosseto un rapporto sul procedimento dei lavori e di recupero ambientale nell'intera area della Concessione e sui risultati ottenuti, nonché sull'andamento generale della propria industria;

Art.3 comma f) – ad effettuare tutte le operazioni necessarie al recupero delle zone alterate delle aree del giacimento, da realizzarsi

durante ed al termine della coltivazione, a sicura garanzia della stabilità del riequilibrio ecologico.

La **Concessione Mineraria Montieri Ridotta** fu rinunciata con il Decreto di accettazione della rinuncia dell'area in concessione ridotta del 12/06/1997, detto decreto recita:

Art.1 – E' accettata a decorrere dalla data del presente decreto, la rinuncia della(omissis)..... Sono fatti salvi gli eventuali lavori di ripristino ambientale che vengano richiesti da Enti ed Organismi competenti nel rispetto delle vigenti normative.

E' interessante osservare che il Decreto di Rinuncia della Concessione Montieri é del 1997, a differenza del Decreto di rinuncia della Concessione Boccheggiano che é del 1995.

Ne consegue che la Mineraria Campiano SpA è obbligata all'esecuzione degli interventi di bonifica che dovranno essere fatti presso la Miniera Merse della ex Concessione Montieri alla stessa stregua di quanto dovuto nella ex Concessione Boccheggiano.

4 Interventi in corso nell'area mineraria, secondo il DM 471/99

Il depuratore di Ribudelli

La Regione Toscana é intervenuta sulla fuoriuscita d'acqua di Ribudelli con la costruzione di un impianto di depurazione provvisorio che ha iniziato a funzionare nel settembre 2001. L'impianto costruito si basa sull'uso di soda caustica per aggiustare il pH, di acqua ossigenata per l'ossidazione dei cationi metallici e sull'aggiunta di un polielettrolita per favorire la flocculazione e precipitazione dei cationi metallici, che vengono raccolti in un'apposita vasca di decantazione. I fanghi, costituiti da una frazione secca intorno al 20% vengono quindi inviati ad una discarica autorizzata.

Il vantaggio di questo tipo di impianto é una percentuale di abbattimento dei metalli superiore al 90%, con una quantità di fanghi da smaltire relativamente bassa. Lo svantaggio é costituito dal fatto che gli anioni, in particolare i solfati presenti in quantità notevole, rimangono in

soluzione ed inoltre viene incrementata la presenza di sodio. L'impianto ripercorre l'esperienza già fatta dalla Nuova Solmine nel periodo 1989-1992, con la costruzione di un impianto simile, poi modificato per utilizzare la calce.

Dopo un periodo di messa a punto iniziale, il depuratore lavora a regime da circa 10 mesi; i costi di esercizio, legati soprattutto al costo degli additivi chimici ed al trasporto e smaltimento in discarica controllata dei fanghi, sono molto elevati, nell'ordine di 5 euro/mc.

Questo intervento si configura come un'azione di messa in sicurezza d'emergenza, attuata in esercizio dei poteri sostitutivi per l'inadempienza del Soggetto Obbligato.

L'ARAT di Grosseto ha effettuato il monitoraggio della fuoriuscita di acqua di Ribudelli, dello scarico del depuratore, del fosso Ribudelli e di alcuni punti ubicati sul fiume Merse a monte ed a valle della confluenza del fosso Ribudelli, per verificare la situazione l'efficacia dell'intervento di messa in sicurezza d'emergenza.

Le caratteristiche fisico-chimiche della venuta di Ribudelli, dopo una oscillazione avvenuta nei primi due mesi, si sono stabilizzate sui valori più alti, in termini di acidità e contenuto di metalli. Queste acque sono classificabili come un drenaggio acido, ed hanno un chimismo simile a quello delle acque miscelate che venivano edotte durante l'attività della miniera di Campiano.

Analogamente a quanto avveniva in quegli anni (v. studio della USL 25 Val di Cornia di Piombino), la fuoriuscita ha avuto un impatto sul fiume Merse, con un abbassamento del pH ed un aumento del contenuto di metalli, progressivamente peggiorati con il procedere della stagione estiva del 2001, fino a raggiungere i valori massimi di inquinamento nell'agosto 2001.

La costruzione del depuratore ha apportato un indubbio beneficio sulla qualità delle acque, riportando l'acidità ed il contenuto di metalli ai valori precedenti. Viceversa il contenuto di solfati, su cui il sistema di depurazione non interviene, e di sodio additivato nel processo di depurazione, rimangono elevati.

Si ritiene comunque che nel complesso gli effetti dell'intervento eseguito siano ampiamente positivi.

Gli interventi di recupero nelle aree di discarica

Nei dintorni di Boccheggiano si hanno circa 15 siti minerari (con varia priorità di intervento), con quasi 160 ha di zone interessate da attività minerarie, per la metà occupate da discariche di diverse tipologie.

In due siti, la discarica-piazzali-depuratore della miniera di Campiano ed il bacino di decantazione di sterili del Gabellino, sono in corso interventi di bonifica e ripristino ambientale, da parte della società Mineraria Campiano. In sei siti, miniera Bagnolo, laveria Rigagnolo, miniera Mollignoni, Botroni, Baciolo e Ballarino, sono in corso di approvazione i Progetti Preliminari di bonifica, prodotti dal Consorzio B.A.S.I. – Ambiente Aquater per conto della Immobiliare Metanopoli.

In totale sono quindi otto i siti in cui sono state attivate le procedure del D.M. 471/99. Per quanto riguarda il Soggetto Obbligato, nonostante tutti questi siti siano all'interno di Concessioni Minerarie rinunciate tutte riconducibili alla medesima società esercente, la Società Mineraria Campiano, questa interviene solo in due siti, mentre negli altri interviene la Società proprietaria.

5 Sintesi dell'assetto Geologico e Geominerario dell'area

L'area di indagine corrisponde alla parte più alta dei bacini idrografici del fiume Merse ed, in misura minore del fiume Farma. L'assetto geologico strutturale dell'area è caratterizzato dalla presenza di un'importante faglia, detta "faglia di Boccheggiano", che attraversa l'area con direzione O-E per poi piegare bruscamente verso SE nella zona della miniera Merse (Tav.2).

Questa struttura, costituita da una faglia una faglia normale con pendenza media di 45° immergente verso N e NE, pone a contatto i flysch argilloso-calcarei, che costituiscono il blocco ribassato posto a NE ("tetto" della faglia), con le filladi di Boccheggiano, che

costituiscono il blocco ribassato posto a SO (“letto” della faglia).

Il blocco rialzato ha un assetto con immersione costante verso SE, che comporta la progressiva comparsa di rocce carbonatiche e flyscidi, sovrastanti il basamento. Esso é inoltre interessato da un fascio di faglie dirette minori con direzione prevalente NO-SE.

Verso E, nella zona delle Vene di Ciciano, si ha una struttura simile, con un’importante faglia diretta che immerge verso NE, che sul blocco rialzato comporta la comparsa di rocce carbonatiche, che giacciono inferiormente ai flysch argilloso-calcarei, e sul blocco rialzato determina la formazione di un bacino neogenico.

La faglia di Boccheggiano é marcata da un filone quarzoso localmente mineralizzato con colonne ed ammassi di pirite e solfuri misti. Questi giacimenti hanno dato luogo alle miniere Merse, Campiano ed, in minor misura, Bagnolo.

Mineralizzazioni a pirite prevalente si sviluppano inoltre al contatto tra le rocce calcareo-evaporitiche e le filladi, ed all’interno di quest’ultime, coltivate nelle miniere valle Buia, Rigagnolo, Molognoni, Botroni, Baciolo e Ballarino.

Nella parte alta del filone di Boccheggiano (Miniera Merse) si aveva una potenza media di 15 m, con uno spessore di cappellaccio limonitico variabile tra 5 e 15 m. La mineralizzazione era costituita da pirite localmente cuprifera e calcopirite.

Inferiormente il filone si assottiglia fino ad uno spessore medio di 5 m, e risulta scarsamente mineralizzato.

A partire circa dal livello mare il filone risulta nuovamente mineralizzato, inizialmente per 5-6 m di spessore, quindi dalla profondità di – 80 m slm circa aumenta il suo spessore fino 20-30 m, con mineralizzazione massiccia. Questo ispessimento coincide con la presenza nel blocco a tetto della faglia di Boccheggiano di evaporiti costituite da alternanze di anidriti e dolomie. La mineralizzazione é costituita da pirite massiva con grosse plaghe di solfuri misti, prevalentemente di zinco (sfalerite), e minerali di contatto (“Skarn”).

6 Sintesi idrogeologica

Le uniche rocce dell’area caratterizzate da una discreta permeabilità sono le coltri di calcare cavernoso, che costituiscono la parte superiore della sequenza anidritico-dolomitica triassica. Queste rocce carbonatiche sono sede di un acquifero con buone caratteristiche idrauliche nella zona del Gabellino, mantenuto in condizioni di parziale svuotamento per effetto della galleria di scolo della miniera di Boccheggiano, e nella zona delle vene di Ciciano, un’ampia zona sorgentizia nell’alveo del fiume Merse, molto limitatamente sfruttata per l’approvvigionamento idrico di Chiusdino.

Nella zona del Poggio di Montieri affiorano invece arenarie quarzose feldspatiche, che hanno una discreta permeabilità per frattura e sono sede di numerose sorgenti perenni utilizzate per l’approvvigionamento idrico di Montieri e di alcune frazioni limitrofe.

Per quanto attiene in particolare l’area delle miniere Merse e Campiano, la permeabilità delle rocce argilloscistose e filladiche presenti é scarsa o nulla, per cui queste rocce non sono generalmente sede di acquiferi e la circolazione idrica é limitata alla presenza di fratture, in particolare nelle filladi in vicinanza della faglia di Boccheggiano.

Nell’area pertanto l’infiltrazione a livello di bacino di acque superficiali é molto scarsa. Inoltre l’assetto giaciturale delle filladi, con inclinazione costante verso SO, per cui la scarsa infiltrazione viene indirizzata prevalentemente in questa direzione. L’assetto giaciturale delle argilliti é invece caotico e frammentato, senza quindi una ben precisa direzione di circolazione delle acque di infiltrazione.

Con i lavori minerari in corrispondenza della faglia di Boccheggiano é stato rinvenuto un acquifero termale profondo che riteniamo sia da associare ai livelli evaporitici carsificati presenti all’interno delle filladi.

Un fattore importante in grado di determinare un incremento dell’infiltrazione di acqua superficiale é la presenza di zone di coltivazione prossime alla superficie con franamenti, di antichi pozzini di scavo, e lo sviluppo di livelli

di coltivazione, sia nella zona Nord che in quella Sud della Miniera Merse, che hanno raggiunto la base del cappellaccio di ossidazione in affioramento. La presenza di un'infiltrazione veloce delle acque piovane é testimoniata dai minatori, che si rendevano conto da dentro la miniera dell'inizio di precipitazioni.

La presenza inoltre in sottosuolo di un'imponente rete di gallerie di miniera e camere di coltivazione, posti a quote inferiori al livello idrostatico naturale, modifica la circolazione idrica sotterranea, causando miscelamenti di acquiferi differenti, creando vie preferenziali di scorrimento e serbatoi di accumulo.

7 Indagine storica

Nell'area di Boccheggiano le attività minerarie sono dettagliatamente documentate dalle Relazioni del Servizio Minerario a partire dal 1888, ma é noto che l'estrazione di minerali di rame in alcune aree é iniziata già nel sec XV.

Dopo l'entrata in vigore del R.D.Leg.vo 29/07/1927 n.1443, e quindi l'istituzione del Registro delle Concessioni Minerarie, tutte le attività minerarie presenti nelle aree di una Concessione costituiscono un'unica miniera, mentre i singoli impianti prendono il nome di Sezione. Così ad esempio il termine miniera Campiano si riferisce alla sezione Campiano della Miniera Boccheggiano. Per semplicità in questo studio si é usata la terminologia d'uso più comune, e non quella formale amministrativa.

Le Concessioni Minerarie che interessavano l'area di Boccheggiano sono mostrate nella Tav.1; le tre principali erano denominate Montieri, Valle Buia e Boccheggiano, le prime due a Nord del fiume Merse e la terza a Sud.

All'interno di queste aree si sono sviluppate numerose miniere. Una sintesi schematica della storia delle miniere Campiano e Merse é mostrata nelle tabelle 1 e 2.

Tabella 1 – Storia della Miniera Campiano e della Concessione Boccheggiano

	Attività Operative	Società Esercente
1970	Inizio lavori di costruzione miniera Campiano	Montecatini
1974	Cambiamento società esercente	Solmine
1977	La rampa d'accesso intesecca la faglia di Boccheggiano al livello +38 m slm: venuta d'acqua che provoca l'allagamento della miniera; il pompaggio dell'acqua provoca il contemporaneo svuotamento della miniera Merse	Solmine
1979	Inizio prove di produzione	Solmine
1982	La vecchia miniera Merse é nuovamente allagata, per cui si inizia scavo galleria di drenaggio livello +300 m slm	Solmine
1983	Inizio produzione effettiva	Solmine
1984	Inizio immissione ripiena costituita solo da sterili di coltivazione	Solmine
1988	Cambiamento società esercente	N. Solmine
1989	Inizio immissione ripiena comprendente una percentuale di ceneri ematitiche	N. Solmine
1992	Immissione in miniera di fanghi di depurazione	N. Solmine
1992	Istanza di riduzione della superficie Concessione Boccheggiano	N. Solmine
1993	Cambiamento società esercente	Min. Campiano
1994	Immissione ripiena costituita solo da sterili di coltivazione	Min. Campiano
1994	Cessazione attività estrattiva	Min. Campiano
1994	Istanza di rinuncia della Concessione Boccheggiano	Min. Campiano
1994	Decreto di riduzione della Concessione Boccheggiano	Min. Campiano
1995	Chiusura Fornelli 3, 10 e Fornello della ripiena	Min. Campiano
1995	Decreto di rinuncia della Concessione Boccheggiano	Min. Campiano
1996	Cessazione eduazione acqua	Min. Campiano
1997	Chiusura Pozzi 1 e 2 ed imbocco rampa principale	Min. Campiano
2001	Inizio trabocco acque	Min. Campiano

Tabella 2 – Storia della Miniera Merse e della Concessione Montieri

XV sec	Si ha notizia di ricerca di minerali di rame	
1888	Inizio lavori documentati dal Servizio Minerario	
1889	Cambiamento Soc. Esercente	Montecatini
1891	La miniera si sviluppa su 7 livelli, di cui 6 con uscita a giorno.	Montecatini
1901	Grossa venuta di acqua a 43° dal livello 320 con allagamento della miniera	Montecatini
1910	Miniera chiusa ed allagata.	Montecatini
1952	Iniziati lavori di ripresa della miniera.	Montecatini
1954	Miniera in esercizio	Montecatini
1955	La coltivazione si sviluppa nelle parti alte della miniera fino a quota +542 m slm	Montecatini
1961	Incendi ripetuti nella zona Nord	Montecatini
1963	Definitiva chiusura della miniera	Montecatini
1974	Cambiamento Soc. Esercente	Solmine
1977	Durante l'allagamento della costruenda miniera Campiano viene riaperta la galleria di scolo a quota +418 m slm ed inizia il pompaggio ed il monitoraggio del Pozzo Serpieri: la miniera Merse viene progressivamente svuotata	Solmine
1982	La miniera Merse é nuovamente allagata.	Solmine
1988	Cambiamento Soc. Esercente	N. Solmine
1992	Istanza di riduzione della superficie Concessione Montieri	N. Solmine
1993	Cambiamento Soc. Esercente	Min. Campiano
1994	Istanza di rinuncia della Concessione Montieri	Min. Campiano
1994	Decreto di riduzione della Concessione Montieri	Min. Campiano
1995	Chiusura imbocchi pozzo Serpieri e galleria di scolo Miniera Merse	Min. Campiano
1997	Decreto di rinuncia della Concessione Montieri	Min. Campiano

Le aree in Concessione sono interamente all'interno del territorio del Comune di Montieri. L'analisi del Piano di Fabbricazione vigente ha mostrato che le aree in concessione hanno in parte una destinazione d'uso industriale mineraria, ed in parte sono aree agricole e boschive.

Le attività minerarie di escavazione si sono svolte in sotterraneo, con reticoli di gallerie che si sviluppano per decine di km.

L'escavazione mineraria é iniziata dalle zone di affioramento delle mineralizzazioni, dove sono presenti le coltivazioni più antiche, e si é sviluppata fino ad oltre 300 m di profondità (circa quota 90 m slm) nelle miniere di Ballarino e fino a 750 m di profondità nella miniera Campiano (circa quota – 257 m slm) Lo sviluppo in sotterraneo delle miniere é estremamente esteso (Tav.3).

L'impatto sul territorio (Tav.4) dell'attività é stato molto pesante:

- la coltivazione mineraria, sebbene abbia operato spesso con ripiena, ha prodotto oltre 20 discariche esterne contenenti solfuri, con oltre 500.000 tonn di materiale. I suoli che si sviluppano sulle discariche minerarie sono generalmente acidi e con presenza di metalli a livelli fito-tossici, per cui sono rivegetate lentamente e con difficoltà.
- le attività di concentrazione del minerale hanno comportato la costruzione di 2 impianti di laveria ed 1 bacino di raccolta sterili.
- le gallerie e camere di coltivazione superficiale hanno provocato, e provocano tuttora, il formarsi di franamenti e zone di collasso.
- La necessità di drenare le acque sotterranee mediante un abbassamento della falda, ha comportato la costruzione di numerose gallerie di scolo, il cui deflusso non é mai stato interrotto. Ad esempio la galleria di

scolo di Boccheggiano, lunga oltre 9 Km e costruita tra il 1950 ed il 1960, ha comportato un abbassamento della falda da quota 345 m a quota 90 m, e tuttora scarica nel bacino del torrente Carsia 100-200 l/s.

- Accanto a questa serie di impatti deve essere ascritta la potenziale capacità, insita nelle attività minerarie in cui vengono coltivati solfuri metallici, di sviluppare acque acide, note come “drenaggi acidi di miniera” (“*Acid Mine Drainage*”), che è universalmente riconosciuto come il principale processo inquinante legato all’attività mineraria.

8 Caratterizzazione generale del sito

L’analisi del processo inquinante in atto nella miniera di Campiano necessita di una ricostruzione delle interazioni tra processi idrodinamici ed idrochimici, dove i primi sono gli aspetti di dinamica delle acque superficiali e degli acquiferi sotterranei e la loro reciproca interazione, ed i secondi sono i processi chimico-fisici che si verificano in un ambiente di miniera in presenza di circolazione idrica.

Dal momento che le miniere della zona sono attualmente inaccessibili e che non esiste un sistema di piezometri di controllo, questa ricostruzione si basa soprattutto sull’analisi di serie storiche di dati, relativi alle portate in eduazione dalle diverse venute idriche incontrate nelle miniere Merse e Campiano, ed ai certificati di analisi delle acque di miniera e di superficie, eseguiti dalle Soc. minerarie, dalle USL e da ARPAT.

Nella miniera Merse vengono citate due venute di acque, una di acque fredde di infiltrazione superficiale, indicata negli schemi di miniera di inizio secolo come una diffusa serie di venute dall’alto, ed una di acque calde che scaturiscono dal basso, da fratture connesse alla faglia di Boccheggiano.

Il chimismo di queste acque non è documentato, ma le Relazioni annuali del Servizio Minerario attestano però le difficoltà di eduazione per la

presenza di acque acide e calde già nel 1897. Le analisi delle acque della galleria di scolo della Miniera Merse e quelle presenti nel pozzo Serpieri negli anni dal 1975 al 1983, mostrano che queste acque hanno un chimismo caratterizzato da una salinità molto elevata, un contenuto in ferro tra 300 e 3000 ppm ed elevata concentrazione di metalli, ed inoltre un contenuto di solfati estremamente elevato, variabile tra 1.000 e 10.000 ppm.

Quindi era noto prima della costruzione della Miniera Campiano che le acque di riempimento della miniera Merse erano un “drenaggio acido di miniera”. Testimonianze di minatori affermano che le acque di infiltrazione in miniera avevano la capacità di corrodere rapidamente i binari delle *decauville*, ed erano fortemente irritanti sulla pelle. La miniera aveva inoltre tendenza a fenomeni di incendio della pirite, che ne hanno portato alla seconda definitiva chiusura nel 1962, fenomeni direttamente connessi con il veloce svilupparsi dell’ossidazione di questo minerale.

Nei primi anni settanta inizia lo scavo in sotterraneo della miniera Campiano, con la costruzione di un’imponente rampa di accesso. Durante lo scavo, nel gennaio 1977, alla quota +33 m slm, da un foro spia viene incontrata una venuta di 9 l/s, con temperatura di 56 °C, proveniente dal filone mineralizzato; una testimonianza di minatori presenti indica in oltre 38 atm la pressione misurata in questo acquifero. Dopo aver ripreso lo scavo da un livello più alto in leggera contropendenza, alla quota +38 m slm viene incontrata, durante il passaggio dal filone alle filladi di letto, una venuta stimata inizialmente in 120 l/s, con temperatura di 56 °C. La venuta allaga rapidamente la miniera tanto che si riesce a riprendere il controllo della situazione solo quando il livello è già salito a quota 329 m slm.

Le caratteristiche di queste acque, che sono mutate nel tempo per le interazioni con le acque della miniera Merse, testimoniano la presenza di un acquifero termale con salinità medio-alta, pH vicino alla neutralità, chimismo solfato-calcico leggermente clorurato, con ridotto carico di

metalli (Fig.1 e 2). Questo tipo di acquiferi é compatibile con una circolazione in rocce evaporitiche.

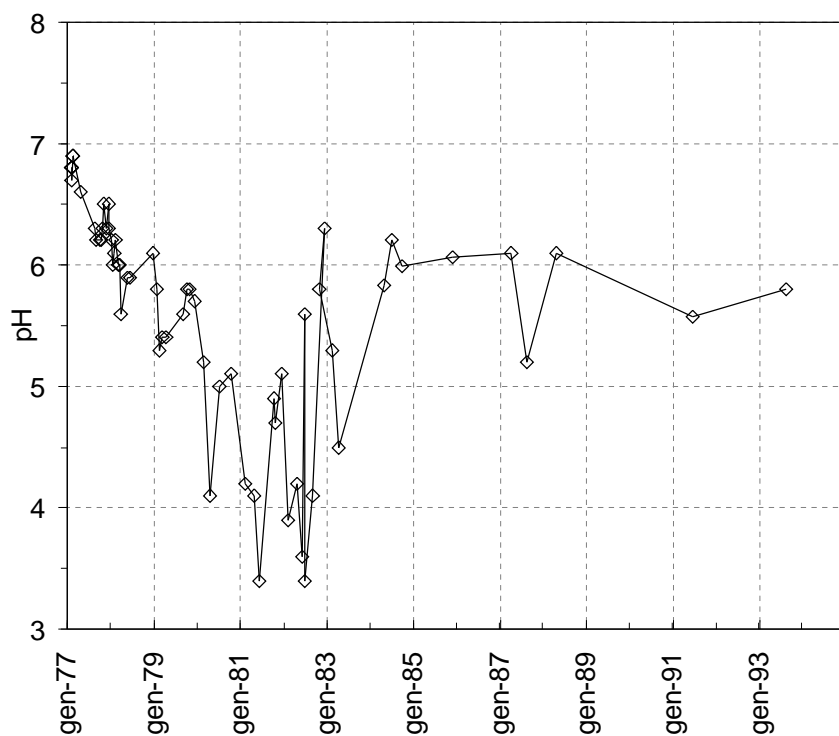


Fig.1 – Variazione del pH delle acque della venuta dal livello +38 m slm.

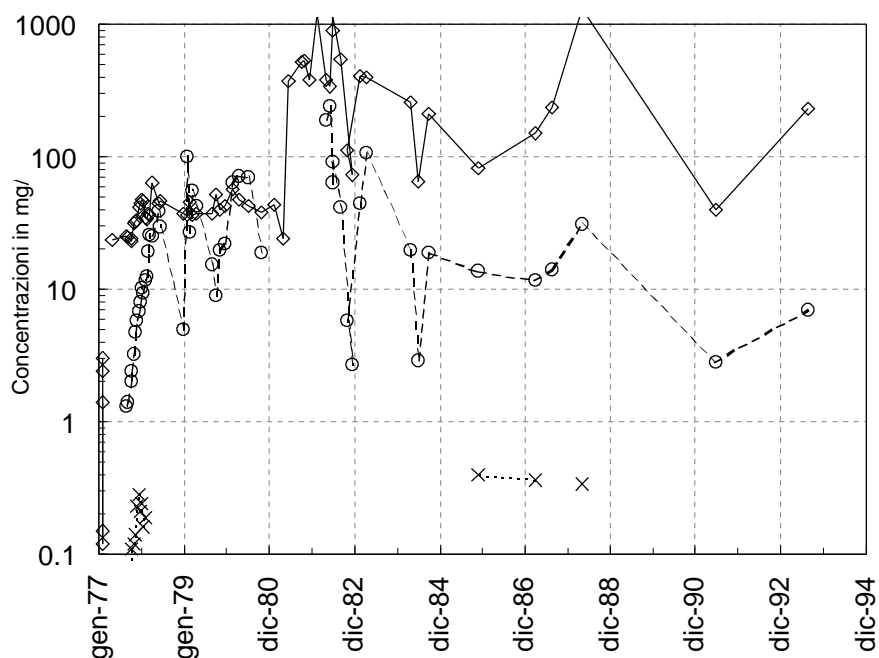


Fig.2 – Variazione del contenuto di Fe (rombi), di Zn (cerchi) e di Arsenico (croci) delle acque della venuta dal livello +38 m slm.

Durante l'allagamento fu osservato che contemporaneamente la Miniera Merse si stava svuotando, attestando in tal modo la presenza di un buon collegamento idraulico tra le due miniere attraverso la faglia di Boccheggiano. La portata della venuta si ridusse progressivamente da oltre 100 l/s a 10-20, con variazioni che sembrano risentire delle variazioni delle precipitazioni (Tav.5).

Il chimismo delle acque in eduazione da questo livello mostra un andamento peculiare con una progressiva graduale diminuzione, nel corso degli anni, del pH, un aumento del Fe e di altri metalli.

La diminuzione del pH raggiunge un minimo nel 1981, durante il quale l'acqua edotta dal livello +38 m slm ha una salinità elevata (cond. elet. >4000 ms/cm), un pH compreso tra 3,5 e 4,0, ed una concentrazione di Fe superiore a 500 ppm e di Zn superiore a 100 ppm; ciò comprova che le acque acide presenti nella miniera Merse hanno progressivamente spiazzato l'acquifero termale, comportando lo sviluppo di un mescolamento in profondità. In seguito si è avuta un'inversione progressiva del fenomeno, pur senza ritornare alle caratteristiche di partenza.

Questa tendenza al miglioramento si spiega con il fatto che nel 1982 la miniera Merse si era nuovamente riempita. Per evitare rischi di allagamento nella sottostante miniera Campiano venne quindi costruita una galleria di drenaggio al livello +300 m slm, che dalla rampa di accesso procedeva in direzione SO verso la vecchia miniera Merse, il cui livello più profondo è il +320 m slm.

Giunti prossimità della faglia di Boccheggiano, da questa galleria venne perforata una serie di fori di drenaggio e venne costruito un apposito impianto di eduazione. Questo secondo punto di ingresso di acqua iniziò ad operare nel dicembre 1983 creando una ulteriore via di collegamento tra le gallerie delle due miniere.

Da questo momento in poi la portata in eduazione dal livello +38 m slm si ridusse gradualmente,

anche se con alcune oscillazioni, per stabilizzarsi intorno ad 8-10 l/s, che può essere considerata come la portata sostenibile dell'acquifero termale.

Per quanto concerne le acque edotte dal +300 m slm, si hanno analisi chimiche a partire dal dicembre 1983, ma dati sulla portata in eduazione solo dal novembre 1984.

La portata in eduazione mostra un andamento molto variabile. Dopo un periodo iniziale di scarica, si ebbe un periodo di stasi con scarico scarso o nullo, per cui il serbatoio della miniera Merse venne completamente svuotato; successivamente l'eduazione proseguì in modo molto variabile con incrementi repentini da 0 fino a 20 l/s. Si ritiene che questo comportamento fosse legato alla presenza di sifoni od al formarsi di diaframmi a seguito di frane o setti di fanghi; conseguentemente l'acquifero nella miniera tendeva a ricaricarsi fino al raggiungimento di un certo carico idrostatico, dopodiché iniziava il deflusso in maniera repentina. La miniera Merse ha quindi subito un continuo fenomeno di svuotamento/riallagamento.

Per quanto concerne le caratteristiche composizionali delle acque edotte dal livello +300 m slm, queste sono da subito assimilabili ad un drenaggio acido. Ciò è ben evidenziato dal grafico delle variazioni del pH nel tempo, che si mantenne sostanzialmente costante intorno al valore di 2,5, e del contenuto di metalli, con una concentrazione di Fe di 1.000-2.000 ppm, di Zn di 100-200 ppm e di As di 3-6 ppm (Fig. 3 e 4).

Con lo sviluppo in profondità della rampa della miniera Campiano e quindi della zona di coltivazione, le ulteriori venute incontrate sono limitate a falde sospese in pressione. Le portate sono modeste e si esauriscono rapidamente. Le Fig. 4 e 5 mostra la variazione del pH nelle acque incontrate con lo sviluppo della coltivazione della miniera. Si nota che si è sempre trattato di acque vicine alla neutralità, con contenuti di Fe compresi tra 0,1 e 20 ppm, ed un chimismo solfato calcico, con aumento dei cloruri nelle acque più profonde.

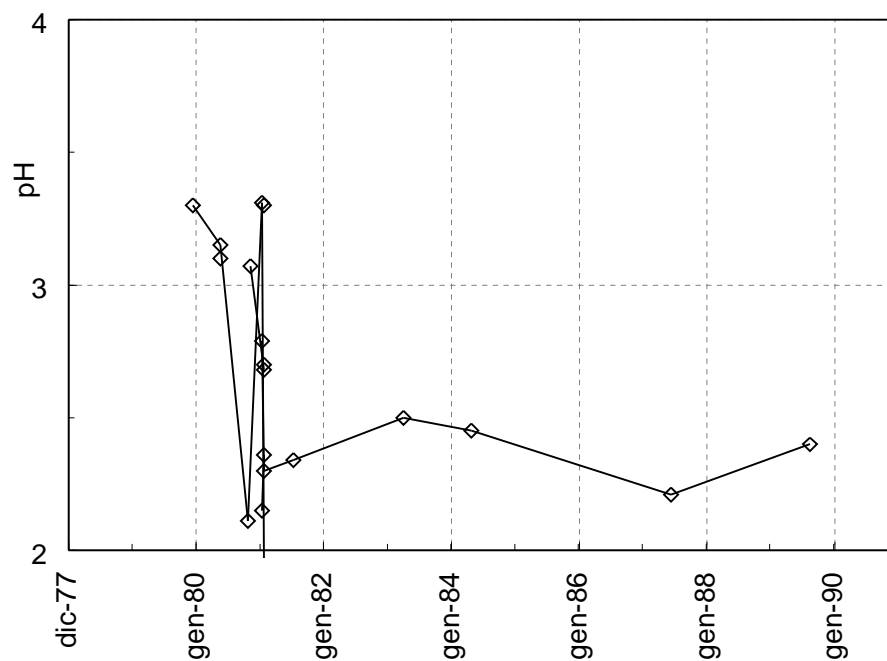
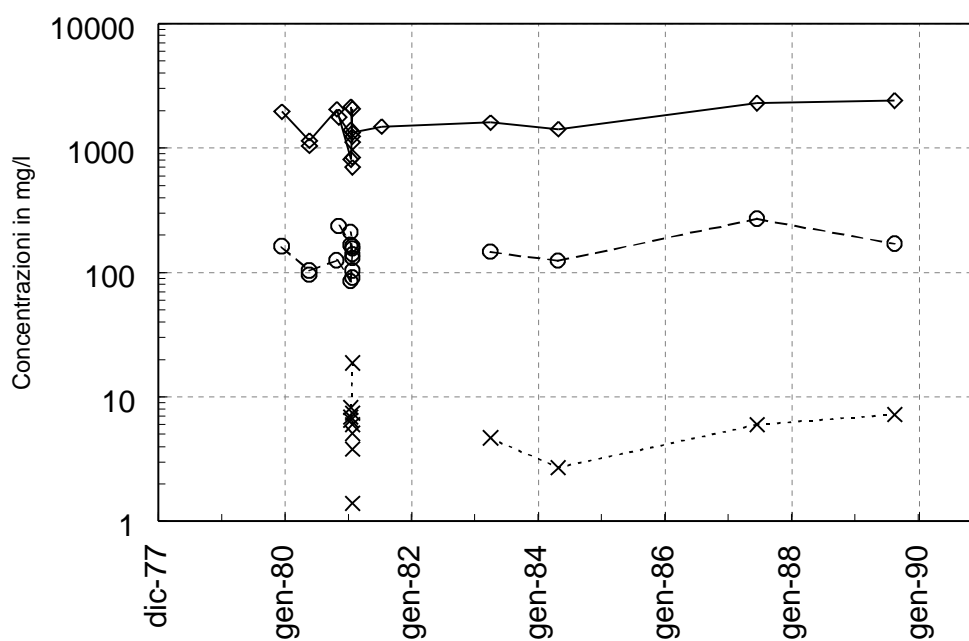


Fig.3 – Variazione del pH delle acque incontrate nella miniera Campiano al livello +300 m slm.



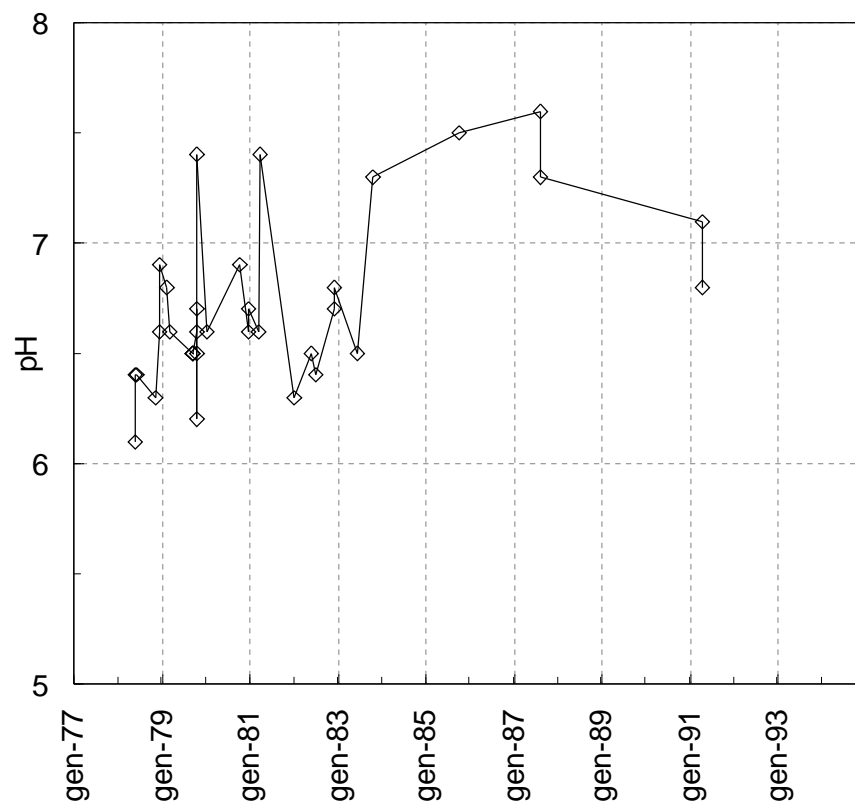


Fig. 5 – Variazione del pH delle acque incontrate nella miniera Campiano a quote inferiori al livello +38.

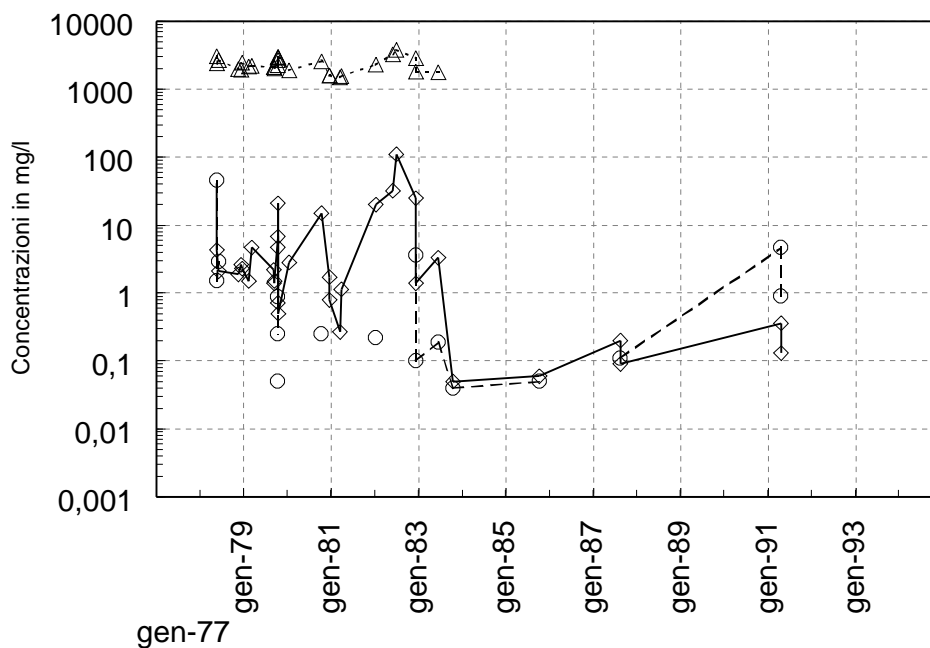


Fig.6 – Variazione della conducibilità elettrica (triangoli), del contenuto di Fe (rombi) e di Zn (cerchi) delle acque incontrate nella miniera Campiano a quote inferiori al livello +38 m slm

Le diverse acque in eduzione dalla Miniera Campiano venivano miscelate prima dello scarico all'esterno, formando quindi un "mix". Il chimismo di questa miscela ha caratteristiche di drenaggio acido, con pH medio di 3,5-4,0, salinità molto elevata (cond. el. >5000 ms/cm), elevati tenori di solfati, Fe, Zn ed As, sia pure con notevoli oscillazioni.

Nel periodo 1996-2001 si ha l'allagamento incontrollato delle due miniere, che avviene a partire da una situazione di iniziale svuotamento sia della miniera Merse che dell'acquifero termale.

Nella metà di aprile 2001 il riempimento si completa ed inizia il trabocco di acqua dalla canaletta appositamente costruita all'uscita della rampa di Ribudelli della miniera Campiano, che costituisce lo sfioro del sistema idrico.

Le caratteristiche composizionali delle acque attualmente in uscita hanno caratteristiche molto simili a quelle del "mix", come mostrato nei seguenti diagrammi.

Le Fig. 7 e 8 mostrano la buona corrispondenza tra le acque di scarico negli anni di esercizio della miniera e le acque di trabocco attuali. Da notare che appena il pH aumenta, immediatamente si ha una diminuzione del contenuto di metalli.

Per quanto concerne la concentrazione di solfati, di calcio, magnesio e cloruri, non si ha un'analoga corrispondenza con le variazioni del pH.

La Fig. 8 mostra che il pH della venuta attuale, stabilizzato dopo un iniziale variazione, sul valore di 4, è leggermente superiore al valore che si aveva nel periodo di coltivazione.

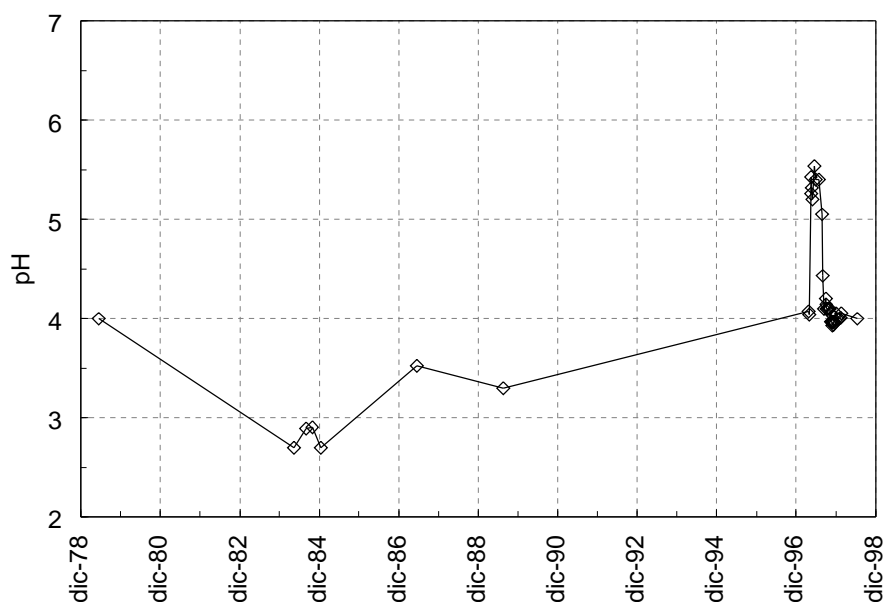


Fig. 7 – Variazione del pH del mix di acque in scarico dalla miniera Campiano.

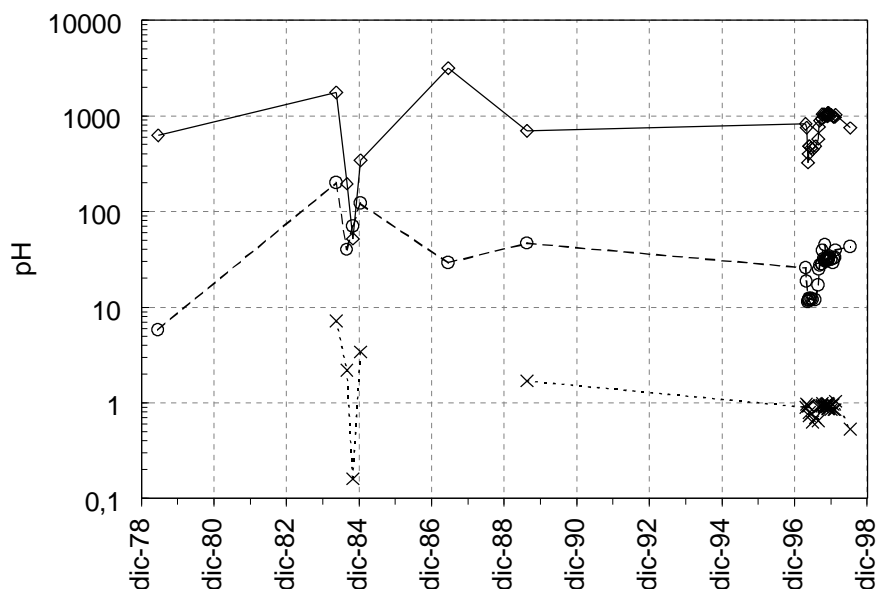


Fig.8 – Variazione del contenuto di Fe (rombi), di Zn (cerchietti) e di arsenico (crocette) del mix di acque in scarico dalla miniera Campiano .

In definitiva si può concludere che le acque attualmente in scarico da Campiano hanno caratteristiche simili a quelle al “*mix*” che veniva edotto nel periodo di coltivazione della Miniera. Questo “*mix*” ha tutte le caratteristiche di un drenaggio acido, anche se il miscelamento con acque di un acquifero termale ne riduce il carico inquinante, la cui intensità é ben espressa dai dati sulle acque presenti nel pozzo Serpieri della miniera Merse.

9 Indagini chimico-fisiche nell’area

Per avere un quadro della situazione esistente, la Geoscience ha eseguito una propria campagna di rilevamento e campionamento delle acque superficiali, delle sorgenti e delle venute da gallerie di miniera ed accumuli di sterili di coltivazione. Le acque campionate, 58 campioni, sono state sottoposte ad analisi chimiche speditive relative a 10 componenti. Sono state inoltre eseguite oltre 100 misure di pH,

temperatura e conducibilità elettrica direttamente in situ con strumenti portatili.

La campionatura é avvenuta nel mese di marzo 2002, al culmine di una stagione caratterizzata da un clima particolarmente secco (precipitazioni autunnali molto al di sotto della media, precipitazioni invernali quasi nulle), pertanto molti corsi d’acqua erano in secca, mentre i fiumi principali avevano una portata molto bassa. Questa situazione ha reso possibile l’ispezione diretta degli alvei e l’individuazione di molti gemitii anomali altrimenti non individuabili. I campioni prelevati venivano trasportati in un mini-laboratorio appositamente allestito a Boccheggiano, dove si eseguivano analisi quantitative con tecniche speditive (reagenti e/o metodi riflettometrici) previo filtraggio del campione con membrana da 0,45 mm. Queste analisi non hanno la precisione e l’accuratezza delle analisi di laboratorio, ma essendo rapide e veloci, consentono di eseguire molte determinazioni in breve tempo: il loro scopo é di fare uno “*screening*” di un’area anche

assai vasta, modificando ed aggiornando il piano di campionamento con cadenza anche giornaliera.

Sulla base dei risultati conseguiti con questa campagna di analisi, é stato impostato un piano di campionamento ulteriore su 11 siti, per una più precisa caratterizzazione chimica e batteriologica. I campioni sono stati quindi analizzati in laboratorio su oltre 20 componenti chimici e sulla presenza di ferro-batteri.

Come noto, la misura del pH é risultata particolarmente significativa per discriminare le caratteristiche idrochimiche dei vari corpi idrici: si direbbe che il pH é il tracciante della presenza di inquinamento.

Sono state riconosciute circa 4 famiglie di acque presenti:

- Gruppo di sorgenti di Boccheggiano;
- Sorgenti e venute della fascia Mersino-Poggio di Vallebuia-Botro Rosso-Fontino di Boccheggiano;
- Acque calde profonde della faglia di Boccheggiano;
- Drenaggi acidi.

Gruppo di sorgenti di Boccheggiano

In corrispondenza di gallerie della miniera di Molognoli, alla quota di 520-530 m s.l.m. si hanno almeno tre venute con portata di 1-2 l/s ciascuna, in parte captate dall'acquedotto di Boccheggiano. Nelle vicinanze, ma sul lato opposto della collina di Boccheggiano si ha la sorgente non captata di Fonteverde, posta a circa 540 m s.l.m., con portata di 1 l/s. Queste venute sgorgano dal contatto tra il Calcere Cavernoso poggiante su filladi e scisti, e spesso attraversano ampie zone di con ossidi ed idrossidi di Fe.

Si tratta di acque con salinità bassa (cond. elet. 350-850 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH neutro, temperatura di 13-14 °C), legate ad una circolazione superficiale sulla sommità della struttura di Boccheggiano. Il contenuto di Fe varia tra un min di 0,2 nella

sorgente Fonteverdi, lontano da zone minerarie, ad 1-3 ppm nelle venute dalle gallerie, dove infatti si ha abbondante precipitazione di idrossidi di Fe. La concentrazione di Fe risente talora dell'effetto delle precipitazioni, in quanto sono note discrete variazioni. Le acque captate per uso potabile devono essere conseguentemente deferrizzate.

Sorgenti e venute della fascia Mersino-Poggio di Vallebuia-Botro Rosso-Fontino di Boccheggiano

In una fascia di territorio che partendo dal torrente Mersino nel tratto a monte del fosso di Cagnano, attraverso il Poggio di Vallebuia ed il Botro Rosso, comprende il tratto del fiume Merse tra i cantieri di Rigagnolo e la Miniera Merse, affiorano molte venute di acque ferruginose, che producono un'intensa colorazione rosso-ruggine. Le filladi che affiorano in questa fascia sono interessate da mineralizzazione a pirite diffusa in vene e fratture; talora sono presenti ampie zone con cappellacci di ossidazione, in particolare nella zona delle miniere Vallebuia e Rigagnolo.

In quest'area si hanno numerosi gemitii con formazione di abbondanti depositi di ossidi ed idrossidi di Fe che conferiscono a fossi e torrenti una caratteristica colorazione rossa, dovuta alla presenza di idrossidi di Fe in sospensione e come deposito di fondo: ciò é particolarmente evidente anche in un tratto del f. Mersino, in una zona priva di lavori minerari significativi. Spesso le venute sono accompagnate da fuoriuscita di gas (notoriamente CO₂ e H₂S), soprattutto nella parte alta del Botro Rosso vicino allo sbocco delle gallerie di ribasso della Miniera Vallebuia.

Le principali caratteristiche di queste acque sono un pH debolmente acido (5,8/6,0), una salinità medio-bassa (conducibilità elettrica 500-1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), un discreto contenuto di Fe (50-100 mg/l) ed una leggera presenza di metalli (0,5/2,0 mg/l di rame + zinco).

Acque calde profonde della faglia di Boccheggiano

Le acque di questo acquifero termale, descritto nel cap.2 di questo rapporto, non affiorano, ma le loro caratteristiche sono note da dati di miniera. Un'acqua leggermente termale defluisce dalla miniera di Bagnolo, alla quota di 460 m slm con portata di 0,5 l/s.

Si tratta di acqua con salinità media (c. e. 2.330 $\mu\text{s}/\text{cm}$), pH 6,6 e temperatura di 20 °C, che potrebbero riflettere un miscelamento di acque termali, dal momento che la coltivazione è avvenuta lungo la faglia di Boccheggiano, circa 2 km a NO di Campiano, con acque di miniera.

Drenaggi acidi

In corrispondenza di molte discariche di sterili di coltivazione e di alcuni ammassi di residui pirometallurgici ("Roste") sono presenti venute generalmente modeste di acque di aspetto limpido, ma con formazione di depositi di colore arancione/giallo, diversi dal semplice accumulo di ossidi ed idrossidi tipico di sorgenti

ferruginose. La colorazione gialla dei depositi è evidente nella fossetta ubicata davanti alla vecchia galleria di scolo della miniera Merse, e lungo il Botro dei Pitordini, sul lato Sud della medesima miniera, ove l'intero deflusso del fosso, quando presente a seguito di precipitazioni, è un drenaggio acido.

Queste acque si individuano prevalentemente con il pH-metro, perché risultano caratterizzate da un pH molto acido (compreso tra 2 e 4), un elevato contenuto di Ferro (spesso superiore a 100 mg/l) ed un elevato contenuto di metalli (tra 2 e 30 mg/l di rame + zinco).

In totale sono stati censiti e campionati circa 13 siti con presenza di drenaggi acidi, alcuni non strettamente collegati a zone minerarie note ma con presenza assai probabile di sterili di coltivazione o di laveria.

Queste acque sono senz'altro classificabili come drenaggi acidi. A questo gruppo di acque appartengono le acque presenti nella miniera Merse, pozzo Serpieri e nella miniera di Campiano.

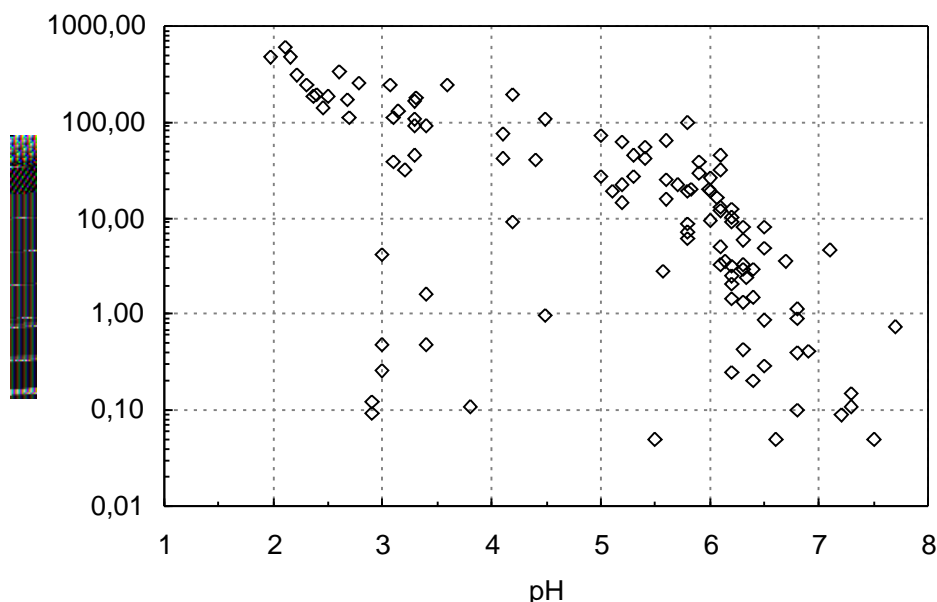


Fig. 9 – Diagramma di correlazione tra pH e concentrazione di alcuni metalli (analisi su 146 campioni di acque di miniera).

Il pH di queste acque varia tra 1,87 e 4,5 cui é spesso correlato, in proporzione inversa, il contenuto di metalli, come mostrato da diagramma di Fig.9 ricavati sulle analisi esistenti sulle acque delle miniere Merse e Campiano. Il diagramma mostra la stretta correlazione tra la concentrazione di metalli ed il pH, confermando che il valore di quest'ultimo é il tracciano dell'inquinamento causato dalla presenza di drenaggi acidi di miniera. La naturalità del fenomeno di generazione dei drenaggi acidi é un problema scientifico oggetto di studi ed analisi. Le nostre osservazioni di campagna ci hanno suggerito l'esistenza di una importante differenza tra i tipi idrochimici che permettono di inquadrare meglio l'origine dei fenomeni.

Le sorgenti e venute naturali, e i deflussi da alcune gallerie di miniera dell'area hanno caratteristiche tipiche di acque che abbiamo descritto in precedenza come acque ferruginose, accompagnate da abbondante carico in sospensione e depositato sul fondo di idrossidi di Fe ed Al (Tav.6).

Viceversa da tutti gli ammassi di sterili di miniera, di laveria o residui piro-metallurgici, e da alcune miniere provengono invece i drenaggi acidi, ben differenziabili anche per un'intensa colorazione giallo-arancio.

Le seguenti Fig. 10, 11 e 12, ottenute esclusivamente dai dati relativi alla campionatura Geoscience, chiariscono ulteriormente questa interpretazione.

Nel primo diagramma viene rappresentato il contenuto di Fe in relazione al pH. La differenziazione tra le due famiglie idrochimiche é molto netta, anche se esistono alcune venute acide con ridotta presenza di Ferro. Da notare la posizione del "mix" di Campiano, che ha un'acidità intermedia ma una concentrazione molto elevata in Fe.

Nel secondo diagramma viene rappresentato il contenuto di Cu+Zn in relazione al pH. La differenziazione tra le due famiglie idrochimiche é nuovamente molto netta, con una ridotta fascia di sovrapposizione.

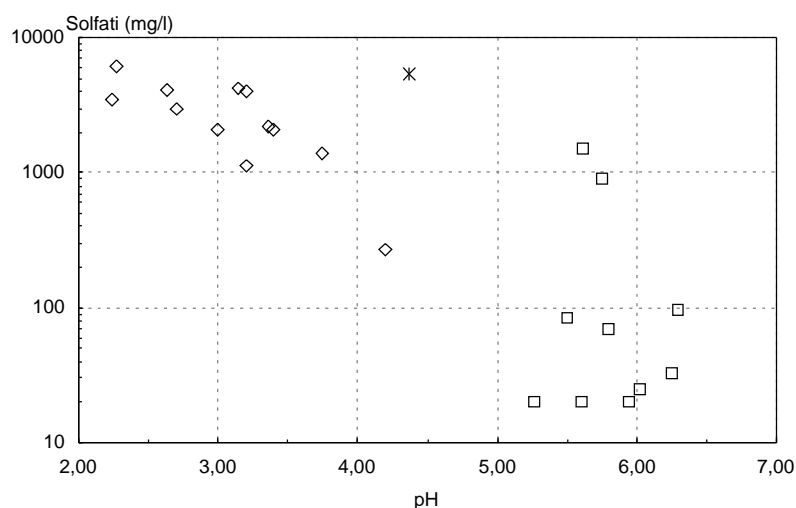


Fig. 10 – Diagramma di correlazione tra pH e concentrazione di solfati che differenzia le acque ferruginose (quadrati) dai drenaggi acidi (rombi); la crocetta indica le acque di trabocco della miniera di Campiano.

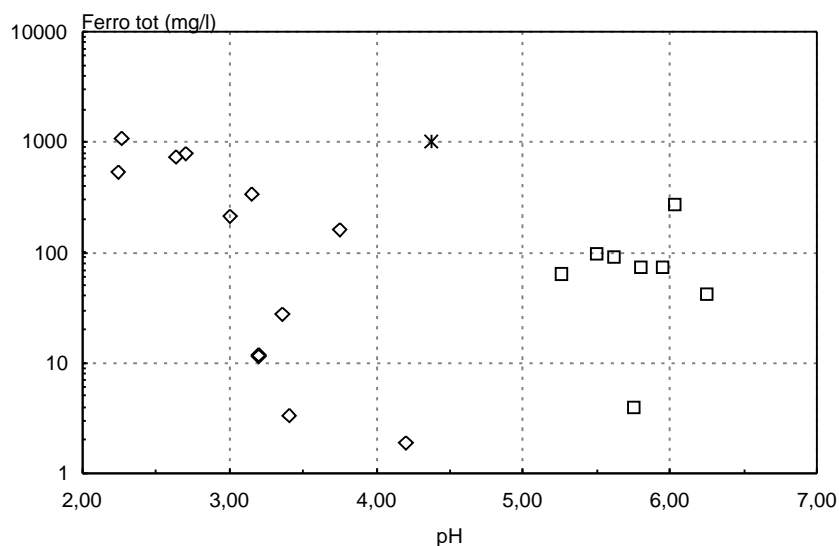


Fig. 11 – Diagramma di correlazione tra pH e concentrazione di Ferro che differenzia le acque ferruginose (quadrati) dai drenaggi acidi (rombi); la crocetta indica le acque di trabocco della miniera di Campiano.

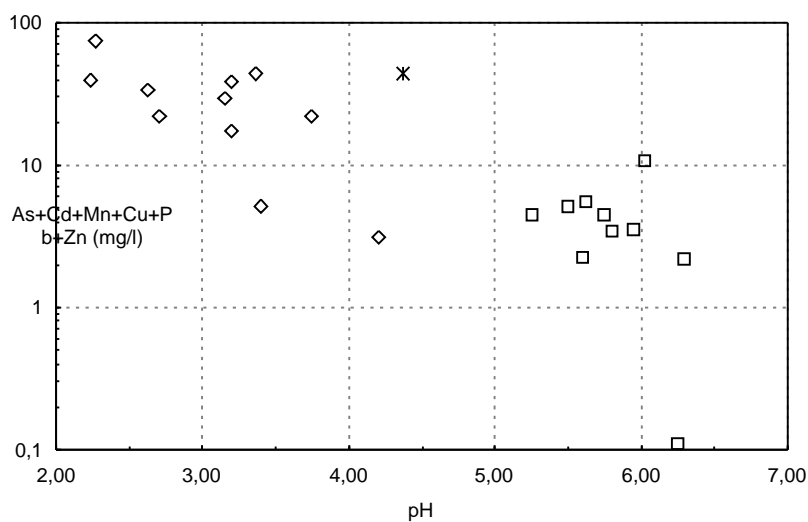


Fig. 12 – Diagramma di correlazione tra pH e concentrazione di alcuni metalli (As+Cd+Mn+Cu+Pb+Zn) che differenzia le acque ferruginose (quadrati) dai drenaggi acidi (rombi); la crocetta indica le acque di trabocco della miniera di Campiano.

Sulla base delle osservazioni suddette é stata decisa una campionatura con analisi di laboratorio, eseguita in una stagione successiva a precipitazioni consistenti; i risultati hanno

sostanzialmente confermato il quadro precedentemente delineato, anche se hanno mostrato che l'Arsenico ha un comportamento più complesso.

10 Formulazione preliminare del modello concettuale del processo inquinante

Le acque che fuoriescono dalla rampa di accesso di Ribudelli hanno un chimismo che é il risultato di una serie di processi che avvengono nelle gallerie e nelle camere di coltivazione di un'area mineraria i cui unici punti di controllo attuale sono la canaletta di scarico della rampa stessa ed il Pozzo Serpieri della vecchia miniera Merse.

La formulazione del modello concettuale é quindi stata fatta principalmente sfruttando l'analisi dei dati storici precedentemente descritti e le indagini idrochimiche eseguite dalla Geoscience.

I dati storici raccolti evidenziano la presenza di acque acide nella miniera Merse, che risulta quindi un importante focolaio inquinante. Acque acide simili, anche se generalmente con caratteristiche chimiche meno estreme, sono state quindi campionate praticamente in tutti i siti dove sono presenti discariche di miniera.

E' stata verificata una buona corrispondenza diretta tra l'aumento della concentrazione di metalli in soluzione e la diminuzione del pH, che si può considerare come un tracciante. La diminuzione del pH e l'aumento del contenuto di metalli si associa ad un fortissimo incremento del contenuto di solfati.

Le acque che fuoriescono dalla rampa di Ribudelli della miniera Campiano sono il prodotto di una miscela tra un drenaggio acido ed un acquifero termale.

Questa serie di caratteristiche permettono di individuare nell'ossidazione della pirite, ed in minor misura di altri solfuri, il fenomeno inquinante principale. Questo fenomeno avviene nella maggioranza delle miniere di solfuri a livello mondiale, e risulta il fenomeno di maggiore impatto ambientale legato alle miniere.

Si tratta di un fenomeno naturale, la cui velocità viene catalizzata dalla presenza di alcuni fattori:

- presenza di gallerie di miniera e camere di coltivazione in zone sovrastanti la falda freatica;
- presenza di circolazione idrica e di aria;

- scarsità di carbonati ed altri minerali che hanno un effetto tampone sull'acidità;
- presenza di ceppi batterici estremofili.

La coltivazione mineraria produce quindi le condizioni adatte alla generazione di drenaggi acidi di miniera, favorendo anche processi di miscelazione con altri acquiferi e causando la fuoriuscita di queste acque in zone precedentemente non interessate da questo tipo di processi.

Le acque di miniera non possono essere considerate come acque naturali, come invece lo sono le acque ferruginose tanto diffuse nell'area.

Nel caso della miniera Campiano é vero infatti che le acque presenti nella miniera Merse erano già di per sé un drenaggio acido con caratteristiche estreme, ma la costruzione della miniera Campiano ha influito sull'assetto idraulico ed idrochimico dell'area provocando un profondo spiazzamento di un acquifero termale con immissione di acque acide; uno scarico di acque acide ad una quota inferiore al livello statico dell'acquifero ed in un'area più a valle, ed ha inoltre provocando il propagarsi dell'ossidazione della pirite in profondità nella miniera Merse per effetto di un ripetuto alternarsi di riempimenti e svuotamenti.

I drenaggi acidi: processo di formazione

I drenaggi acidi si formano dal processo di ossidazione dei solfuri determinato dalla circolazione dell'aria e delle acque meteoriche ricche di ossigeno. E' di grande importanza quindi analizzare le caratteristiche dell'infiltrazione dell'acqua nell'area, che appare controllata dai lavori minerari.

La Miniera Merse è costituita da gallerie e camere di coltivazione, attualmente allagate fino alla quota di 414 m slm. Nelle gallerie e le camere di coltivazione poste a quota sovrastante si verifica circolazione d'aria attraverso gli antichi pozzini di produzione, e gli inghiottitoi creati per il franamento di camere di coltivazione o di gallerie (Tav.7).

Attraverso i pozzini di coltivazione e gli inghiottitoi si infila verso la miniera anche

l'acqua di ruscellamento superficiale, in quantità stimate da un minimo di 75.000 mc/anno ad un massimo di 200.000 mc/anno, equivalenti a 2,4 e 6,4 lit/sec medi annui. Inoltre nelle coltri di alterazione superficiale delle rocce fluisce lentamente acqua che viene intercettata dalla faglia e dai vecchi lavori di miniera.

Un'altra via di afflusso di acque nella Miniera Merse è costituito dalle infiltrazioni dal Fiume Merse nella galleria di 418 m s.l.m. che passa sotto l'alveo alla profondità di appena 8,0 m.

In conclusione si ritiene che il processo di generazione acida è in atto nella miniera Merse, e che esso viene continuamente alimentato dalle acque di infiltrazione superficiale.

Impatto ambientale dei drenaggi acidi

L'area in esame si sviluppa nella parte alta del bacino del fiume Merse, ed in parte del fiume Farma. Il tratto iniziale del bacino del fiume Merse, dalle sorgenti fino alla loc. Gabellino, non è interessato da attività mineraria e comprende una zona con rilievi prevalentemente calcarei ed una zona pianeggiante, il Piano del Gabellino, che corrisponde al fondo di più doline contigue coalescenti, sviluppatesi sul substrato carbonatico. In quest'area il deflusso idrico è molto scarso per la forte infiltrazione.

A valle del Gabellino inizia la zona con deflusso perenne del fiume, che scorre in una valle stretta ed incisa con substrato roccioso impermeabile. In questo tratto il fiume attraversa numerosi impianti minerari e corpi di discarica, e riceve l'apporto dei torrenti principali Rigagnolo e Botro Rosso. Questi torrenti sono alimentati da deflussi da gallerie di miniera e sorgenti ferruginose con un'intensa colorazione rossa per la presenza abbondante di idrossidi di ferro ed alluminio in sospensione. Le caratteristiche delle acque del fiume Merse subiscono una brusca modificazione composizionale ed assumono un'intensa colorazione rossa alla confluenza del fosso Rigagnolo, in corrispondenza del cantiere della laveria di Rigagnolo, ossia dell'inizio dell'area oggetto di coltivazioni minerarie (Tav.8).

A valle della miniera Merse, il fiume riceve l'apporto del torrente Mersino che, a seguito delle dimensioni del bacino imbrifero, ha una

portata comparabile con quella del Merse ma ha un chimismo ed un carico di fanghi solo debolmente influenzato dalla presenza di discariche ed impianti minerari. Questo comporta una diluizione naturale dei due apporti per cui a valle della confluenza anche l'aspetto del fiume Merse migliora.

La situazione muta nuovamente alla confluenza del torrente Ribudelli, il cui apporto è stato condizionato in passato dallo scarico delle acque di eduazione della miniera Campiano (sottoposto a depurazione solo per un breve periodo), e che ha costituito la via di immissione nel fiume delle acque fuoriuscite dalla rampa di accesso di Campiano prima della costruzione del depuratore di somma urgenza di Ribudelli, da aprile ad agosto 2001. Il tratto a valle della confluenza del torrente Ribudelli è infatti condizionato dalla presenza di anse e zone a minor gradiente idraulico in cui si sono accumulati fanghi costituiti da aggregati colloidali di idrossidi di Fe ed Al.

Il trabocco delle acque dalla rampa di Ribudelli del mese di Aprile 2001 fu improvviso per cui per un certo tempo le acque sorgive si dispersero nel Fiume Merse. L'immissione diretta di queste acque attraverso il fosso Ribudelli, monitorata da ARPAT Grosseto, determinava un netto peggioramento della qualità delle acque del fiume, la presenza di una intensa colorazione arancio-ruggine e la deposizione di fanghi rosso-arancio contenenti fino a 382 mg/kg di Ferro, 1,24 mg/kg di Arsenico, 0,25 mg/kg di Piombo, 24,4 mg/kg di Alluminio (per maggiori dettagli vedi le analisi riportate alla Tabella 3 di pag. 9/33 del Doc. 10 della Fase III).

Gli effetti sul Merse erano più importanti di quanto ipotizzabile con la semplice miscelazione delle acque di miniera con le acque del fiume perchè nella miscela si innescavano processi chimici complessi, un'ipotesi dei quali è la seguente:

- a) la diluizione tra le due acque tende ad alzare il pH, per cui il ferro ferrico in soluzione per idrolisi forma idrossidi di Fe che precipitano formando i conosciuti fanghi giallo-arancio.
- b) questo processo libera ioni H^+ , che tendono a riportare acida la soluzione. il recettore tende a a sua volta a divenire un drenaggio

acido, con tendenza a riportare in soluzione anche gli idrossidi ed i solfati idrati già precipitati.

11 Apporto dei residui di lavorazione, ceneri di pirite, alla formazione dei drenaggi acidi

La coltivazione della miniera Campiano è avvenuta per franamento a sottolivelli, sviluppato per camere di larghezza max di 60 m e profondità max in quota di 120 m; le camere venivano successivamente riempite a sacco con breccia sciolta recuperata dalle gallerie in sterile e dalle discariche esterne (v. *Gistri D. & Masotti A.* 1992 - Attività Minerarie e chimico-metallurgiche della Nuova Solmine e loro impatto ambientale. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, 42, pp. 307326), a partire dal 1988-89 miscelate in rapporto di 3 a 1 con ceneri ematitiche provenienti dall'arrostimento della pirite effettuata nello stabilimento di Scarlino.

La fascia coltivata si è sviluppata dal livello di testa posto a -20 m slm, fino al livello più profondo, posto a -257 m slm, senza aver raggiunto l'esaurimento del giacimento (Tav.9). La fascia coltivata costituisce nell'insieme un parallelepipedo di circa 650 m in orizzontale per 250 m in verticale, con spessore variabile, giacente parallelamente alla faglia di Boccheggiano, e quindi con inclinazione sulla verticale di circa 45°. In questa massa sono state aperte oltre dieci camere, solo parzialmente riempite perché ancora durante il periodo di manutenzione della miniera di Campiano (negli anni 1994-1996), doveva essere assicurata la ventilazione con circolazione forzata.

La presenza delle ceneri ematitiche nella ripiena, in una quantità stimata in oltre 67,000 mc, e, successivamente, anche di una quantità di fanghi di depurazione (ma anche prima della costruzione del depuratore, le acque edotte dalla miniera di Campiano venivano fatte passare attraverso un sistema di vasche di decantazione il cui sedimento veniva reimmesso nella ripiena, come documentato in uno studio della USL 25 Val di Cornia di Piombino del 1993), ha iniziato a destare allarme già all'atto della chiusura della miniera per i rischi di cessione di metalli, in particolare arsenico, da questi materiali.

A questo proposito già nella Relazione di C.T. n. fasc. 96/6706 conferita dalla Procura della Repubblica di Grosseto al Prof. M. Sanna ed al Dr. M. Floccia, veniva specificato che: *“(omesso).....considerate le caratteristiche proprie delle venute d'acqua in miniera già all'origine, contenenti elevate concentrazioni di metalli pesanti, il contributo dato dalla lisciviazione delle ceneri potrebbe determinare solo un lieve incremento delle concentrazioni di metalli pesanti già in esse presenti”*.

Premesso che la legittimità dello stoccaggio in miniera delle ceneri ematitiche non è oggetto dell'incarico di questo studio, riteniamo che una serie di considerazioni portino a ritenere che il loro contributo all'inquinamento delle acque che fuoriescono dalla rampa di Ribudelli sia trascurabile.

In primo luogo le analisi del “mix” di acque edotte dalla miniera di Campiano eseguite dalla USL 25 Val di Cornia di Piombino nel 1988 (e quindi immediatamente prima dell'inizio dell'uso delle ceneri per la ripiena), indicano che quelle acque erano già un drenaggio acido di miniera, con caratteristiche qualitativamente simili a quelle del “mix” che fuoriesce attualmente dalla rampa di Ribudelli.

In secondo luogo le venute d'acqua principali nella miniera, ubicate a +300 m slm e +38 m slm (infatti le venute profonde sono piccole falde sospese rapidamente prosciugatesi), sono al di sopra della posizione delle camere di coltivazione riempite in parte con le ceneri, poste invece tra le quote di -20 m slm e -257 m slm. Per la lisciviazione delle ceneri, le acque dai punti di ingresso nella miniera dovrebbero prima discendere, poi penetrare nelle camere di coltivazione e quindi risalire a giorno. Questa ipotesi di circolazione è poco realistica per la complessità dei percorsi da realizzare. Inoltre l'unico motore che la potrebbe determinare, e cioè il gradiente di temperatura, è piccolo, limitato ai circa 20° di differenza tra le acque termali in ingresso dal livello +38 m slm (con temperatura di circa 50°) e le zone profonde della miniera (con temperatura di circa 70°). Si deve tenere presente, inoltre, che i residui di lavorazione hanno granulometria fine, per cui sono caratterizzati da bassa permeabilità.

Inoltre lo scarso rinnovo subito dalle acque in profondità nella miniera può portare a condizioni riducenti e quindi alla deposizione di fasi solide stabili, quali solfuri metallici, un fenomeno già osservato in atto in alcune miniere riallagate, e che controlla la formazione nelle mineralizzazioni delle cosiddette “zone di cementazione”, una fascia di solfuri arricchiti legati alla rideposizione al di sotto della superficie piezometrica, dei metalli lisciviati nella zona di ossidazione soprastante.

In terzo luogo, nella situazione che si è venuta a creare nelle camere di coltivazione, ai fini dello sviluppo di un eluato con caratteristiche di drenaggio acido (basso pH ed elevato contenuto di metalli) dobbiamo considerare la presenza anche degli “sterili di coltivazione”, generalmente con una percentuale variabile di solfuri, e delle pareti di minerale esposto (in giacitura diffusa o massiva), che potrebbero contribuire in maniera cospicua al fenomeno inquinante con processi di ossidazione della pirite, anche in presenza di acque neutre.

In quarto luogo si fa notare infine che nelle acque attualmente in fuoriuscita dalla rampa di Ribudelli vi è una insolita concentrazione di Alluminio e Manganese, due metalli che sono scarsamente presenti nelle ceneri, ma che provengono da tipiche reazioni di attacco da parte dei drenaggi acidi di miniera sui minerali delle rocce incassanti.

In conclusione riteniamo che le ripiene contenenti residui di lavorazione siano in zone di relativa stagnazione o con circolazione idrica molto limitata, quindi con scarsa potenzialità di contribuire al fenomeno inquinante.

La presenza di un focolaio sede di processi di generazione di drenaggi acidi di miniera, e quindi di acque acide fortemente arricchite in metalli, nella parte non satura della miniera Merse, idraulicamente collegata alla miniera Campiano, è viceversa un fenomeno inquinante in atto, indipendente dalla presenza delle ceneri, con ricaduta sulle matrici ambientali del bacino del fiume Merse.

Di seguito vengono formulate ipotesi di soluzione adattate al problema specifico, anche sulla base di un’analisi di quanto sperimentato in situazioni analoghe.

12 Le soluzioni possibili

I drenaggi acidi di miniera costituiscono una delle più importanti fonti di inquinamento dei suoli e dei corpi idrici superficiali e sotterranei, la consapevolezza dell'importanza di questo problema è recente; molte università hanno creato istituti di ricerca specializzati, mentre aziende private hanno sviluppato e brevettato specifiche tecnologie di trattamento.

Opzioni di intervento

Il processo inquinante che determina il drenaggio acido effluente dalla Rampa di Ribudelli della Miniera di Campiano può essere schematizzato in una successione di tre passaggi (*step*) sequenziali (Tav.10):

primo *step* = la presenza di una zona non satura nella miniera Merse, dove esistono aria ed acque ossigenate circolanti, innescano i processi di ossidazione dei solfuri presenti in abbondanza sia in posto che sotto forma di detriti e, conseguentemente, la formazione di drenaggi acidi con pH intorno a 2-2,5;

secondo *step* = le acque acide ricche di metalli in soluzione si miscelano con acque termali di origine profonda: ciò provoca un leggero miglioramento qualitativo, con pH intorno a 4, ma che comunque hanno ancora le caratteristiche di un drenaggio acido.

terzo *step* = le acque acide, dopo aver saturato le parti profonde della miniera, fuoriescono per trabocco dal punto di accesso più basso, la Rampa di Ribudelli, posto a quota 412 m slm.

Con lo studio si sono individuate delle opzioni di intervento di diversa tipologia da realizzare nei vari *step* del processo inquinante. Qui di seguito è riportata un’analisi di fattibilità e convenienza delle potenziali soluzioni.

Questa schematizzazione permette di capire meglio il significato di intervenire solo sugli effetti del processo inquinante, oppure di intervenire anche sulle cause.

Interventi sulle cause che generano il processo inquinante

Gli interventi sulle cause del fenomeno inquinante sono di due tipi

- **gli interventi di prevenzione**, presuppongono di eliminare le condizioni ed i fattori che favoriscono il fenomeno di generazione dei drenaggi acidi; si tratta quindi di opere volte ad impedire ad esempio la circolazione di aria e di acqua nella zona dove avviene la formazione del drenaggio acido, prevalentemente tramite rimodellamento ed impermeabilizzazione delle aree di assorbimento diretto;
- **gli interventi di mitigazione**, presuppongono di intervenire con additivi chimici sul fenomeno inquinante, in modo cioè ad ostacolare i processi di generazione acida; sostanzialmente si tratta di additivare materiali adatti a tamponare l'acidità delle acque presenti nelle zone di miniera.

Queste soluzioni sono fattibili, ma bisogna tenere conto della difficoltà di valutarne preventivamente l'efficacia; si tratta comunque di interventi di cui esiste una vasta casistica che danno risultati apprezzabili soprattutto sul periodo medio-lungo.

Interventi sui processi di mescolamento

Intervenire sul secondo *step* significa impedire il mescolamento delle acque acide con l'acquifero termale; ciò significa sostanzialmente la chiusura del collegamento idraulico fra la zona di formazione delle acque acide (miniera Merse) a quella di trabocco (miniera Campiano). Il collegamento tra le due miniere avviene attraverso i fori drenanti che alimentavano la galleria di drenaggio del livello +300 m slm, ed attraverso la faglia di Boccheggiano. Non si può intervenire sulla seconda via di collegamento, ma in teoria è possibile ostruire la galleria di drenaggio del +300 m slm. Tuttavia si ritiene questo intervento non esaustivo e di complessa realizzazione tecnica.

Interventi sugli effetti

Intervenire sul terzo *step* significa operare sugli effetti determinati della presenza di acqua acida; con lo studio sono stati individuate due soluzioni:

- bloccare la fuoriuscita chiudendo le gallerie e provocando l'innalzamento del livello idrostatico di circa 18 m;

- smaltire le acque acide per iniezione in un sondaggio profondo eseguito per esplorazione geotermica e dichiarato non produttivo.

Il tombamento della miniera presenta rischi di formazione di sorgenti di acque acide.

L'iniezione nel pozzo geotermico presenta rischi di intasamento della zona di assorbimento per una reazione chimica fra le acque acide e due componenti la roccia serbatoio, al momento non è possibile definire con certezza lo stato che avranno i prodotti di reazione a quelle condizioni di pressione e temperatura estreme.

Gli interventi sugli effetti danno risultati molto rapidamente in rapporto al tempo di realizzazione dei lavori e costituiscono degli interventi risolutivi. Gli interventi di trattamento necessitano di periodi di sperimentazione per ottimizzare il processo tecnologico alle caratteristiche del drenaggio effluente; gli altri interventi necessitano di lunghi periodi di monitoraggio per sopperire agli imprevisti che si potrebbero realizzare, in quanto le progettazioni di questo tipo di lavori hanno sempre delle lacune di informazione e non esistono delle metodologie standardizzate.

Queste proposte rappresentano delle soluzioni innovative che necessiteranno di alcune sperimentazioni in sede di studio di fattibilità.

Un altro tipo di interventi sugli effetti è costituito da processi di trattamento delle acque acide con reagenti, esistono varie tecnologie con costi variabili da 1,5 a 6,0 € al metro cubo di acqua trattata. Queste tecnologie sono in genere utilizzate durante il periodo di attività delle miniere o per far fronte ad emergenze che si realizzino in miniere abbandonate, in questo ultimo caso queste soluzioni sono adottate per periodi determinati in attesa di trovare delle soluzioni definitive.

In relazione al problema esistente a Campiano non riteniamo fattibile prevedere una soluzione che contempli il trattamento delle acque effluenti tramite reagenti perchè questo implica una spesa corrente elevata a tempo indefinito.

Proposte di soluzione

Tenuto conto della situazione precedentemente delineata, e sulla base delle esperienze maturate in situazioni simili, é stata elaborata una strategia di soluzione basata su interventi non limitati ad un singolo *step* del processo inquinante.

Questa strategia comprende interventi di prevenzione e mitigazione sulla miniera Merse atti a prevenire e/o impedire i processi di generazione di drenaggi acidi. Questi interventi hanno un effetto sul medio-lungo periodo, per cui debbono essere associati con interventi sugli effetti, che hanno tempi di reazione più brevi. Queste opere possono essere di diverso tipo.

La prima ipotesi di soluzione prevede la chiusura della galleria di quota + 300 nella Miniera di Campiano (Tav.11), nell'ipotesi che provochi un progressivo miglioramento dell'acqua in uscita dalla rampa di Ribudelli, con tendenza a ritornare simile a quella dell'acquifero termale profondo. Questa variazione qualitativa é possibile, ma probabilmente necessita di tempi lunghi, durante i quali sarebbe necessario mantenere in esercizio il depuratore. Inoltre vi sono difficoltà tecniche legate all'individuazione di gallerie profonde, e difficoltà di individuare un'area adatta per impostare il cantiere. Per queste ragioni riteniamo questa soluzione difficilmente fattibile.

La seconda ipotesi di soluzione prevede opere di chiusura stagna degli accessi delle miniere Merse e Campiano ed esecuzione di opere per prevenire situazioni di crisi connesse a periodi di alta piovosità. Questa soluzione blocca la fuoriuscita dalla Rampa di Accesso in tempi brevi, in modo quindi da poter sospendere il funzionamento del depuratore provvisorio di Ribudelli.

In base alla geometria delle miniere ed alla dinamica idrogeologica questa soluzione é fattibile ed è di tipo definitivo.

A seguito della chiusura stagna si avrà la risalita del livello idrostatico fino alla quota 425/430 m slm, in modo da riportare la situazione allo stato precedente alla costruzione della miniera Campiano.

Riteniamo possibile che eventi o periodi piovosi eccezionali possano determinare la risalita del livello di falda sopra la quota massima da noi valutata, per cui si possano creare fenomeni sorgivi di acque acide od il trabocco dalla Galleria di Scarico del Pozzo Serpieri. Per fronteggiare questi rischi è stato previsto un periodo di monitoraggio di circa cinque anni durante il quale si dovrà intervenire con tempestività per tamponare la risorgenza di acque acide e si dovranno raccogliere i dati per valutare il rischio di trabocco di acque acide dalla Galleria di Scarico del Pozzo Serpieri. Al termine del periodo di osservazione si potrà valutare l'indice di rischio con un modello numerico che tenga conto: delle fluttuazioni idrodinamiche registrate nel sistema di miniere rapportate agli eventi piovosi, dei massimi eventi piovosi con i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni determinati con analisi statistica e del trend di miglioramento qualitativo delle acque indotto dagli interventi di prevenzione e mitigazione.

Qualora l'indice di rischio dovesse rivelarsi non accettabile, dovrà essere realizzato un sistema di trattamento capace di funzionare per brevi periodi intervallati da periodi di inattività molto lunghi; per avere bassi costi di gestione sarà necessario implementare un sistema di trattamento passivo.

La terza ipotesi di soluzione prevede la re-iniezione delle acque effluenti dalla Rampa di Accesso della miniera Campiano nel sondaggio Chiusdino 4 ed esecuzione di opere per prevenire situazioni di crisi connesse a periodi di alta piovosità. Questa soluzione blocca la fuoriuscita dalla Rampa di Accesso in tempi brevi.

La re-iniezione consiste nella dispersione delle acque acide in un pozzo geotermico non produttivo ubicato alla quota di 371,50 m slm presso la frazione di Ciciano e distante dalla rampa di accesso di Ribudelli 7,1 km. Il pozzo è profondo 4.013,5 m, il sistema geotermico incontrato è interno ad un batolite granitico, mai affiorante, sovrastato da rocce metamorfiche impermeabili, la temperatura è di ~ 300 °C e la pressione a fondo foro è di ~ 60 bar. Il foro é tubato per oltre 2.000 m, quindi nel settore fra 2.400 e 4.000 m ci sono numerose fasce di fratturazione; la pressione della colonna d'acqua

nel foro comporta il superamento del modulo elastico della roccia, per cui si determina fratturazione indotta che crea un aumento della permeabilità. Complessivamente é stato verificato che il serbatoio di granito ha una capacità di assorbimento nel sondaggio Chiusdino 4 pari a ~ 500 mc/ora, equivalenti a ~ 140 l/s, cioè ~ 15 volte la quantità effluente dalla Rampa di Accesso. Il sistema di iniezione potrebbe quindi funzionare a gravità, per cui i costi di gestione sarebbero molto contenuti.

Nell'ipotesi che l'intervento sia fattibile dal punto di vista normativo, tecnicamente é realizzabile a costi preventivabili. Tuttavia permangono dubbi su alcuni aspetti di difficile previsione. Ad esempio i drenaggi acidi effluenti dalla Rampa di Accesso aggrediscono la frazione feldspatica del serbatoio di granito: a condizioni di pressione e temperatura ambientali (1,0 bar/20 °C) si forma la *gibbsite* che è un minerale di tipo argilloso. Questo minerale potrebbe determinare l'intasamento delle zone fratturate. Inoltre non si conosce la vita di esercizio del sondaggio, che potrebbe costituire una variabile ignota in grado di mettere a rischio questa soluzione.

Per verificare a priori l'efficacia dell'intervento si dovrà realizzare una complessa simulazione che analizzi le interazioni fra l'acqua acida e la roccia alla temperatura di 300°C ed alla pressione di 400 bar, e l'idrodinamica del campo geotermico in rapporto all'iniezione di un fluido estraneo.

Sulla base dei dati sin qui acquisiti, si ritiene che l'intervento sia fattibile, ma con una durata nel tempo di difficile previsione; ciò comporta che per ridurre il rischio di un blocco improvviso sono comunque necessarie le opere di prevenzione e mitigazione nella miniera Merse per ottenere contemporaneamente un miglioramento qualitativo delle acque nelle miniere.

Un piano di investigazioni di dettaglio dovrà essere attuato per verificare e dimensionare le proposte di soluzione ritenute fattibili per poi ottimizzare il progetto preliminare. Qui di seguito tratteremo le indagini da farsi in capitoli separati in relazione allo specifico tipo di intervento.

Indagini per la bonifica delle aree sovrastanti la Miniera Merse interessate da pozzini di coltivazione e sprofondamenti per attività sotterranee antiche

Le prime attività minerarie alla Miniera Merse furono sviluppate con pozzi verticali a grande diametro ("antichi pozzini") scavati nel corpo mineralizzato, dove il materiale veniva portato a giorno con un sistema di carrucole.

Successivamente, con l'industrializzazione dell'attività mineraria, la coltivazione fu sviluppata in sotterranea con gallerie e camere di coltivazione che seguivano l'andamento del filone mineralizzato. Lo sfruttamento del filone fu sviluppato dall'alto verso il basso per cui le attività di miniera più antiche sono a volte prossime alla superficie ed a quote più alte dell'alveo del Fiume Merse.

Le gallerie di accesso alla miniera sono tutte ostruite, alcune con portali in muratura, più spesso da una coltre di frana dopo il brillamento dell'imbocco; resta aperto soltanto il Pozzo Serpieri che è ingombro dai materiali che costituivano il vecchio montacarichi.

Non é noto nella miniera Merse quali gallerie e camere di coltivazione siano stati oggetto di ripiena. Le camere di coltivazione prossime alla superficie e forse anche qualche galleria aperta nella coltre alterata della roccia sono franate producendo in superficie inghiottitoi ed ampie aree di collasso.

Gli obiettivi dell'indagine sono:

- individuare e cartografare i pozzini, gli inghiottitoi, i franamenti estesi ed altre cavità che immettano nel sottosuolo,
- individuare e cartografare le zone di assorbimento del ruscellamento, ad esempio i pozzini, le zone di franamento che l'erosione e la sedimentazione hanno rimodellato e non sono evidenti,
- la natura dei materiali di ripiena dei pozzini e dei materiali dispersi sul suolo, in quanto dove questi sono costituiti da sterili di miniera, generano drenaggi acidi,
- la dinamica del ruscellamento e delle acque canalizzate affluenti dai terreni soprastanti in maniera da intercettarle prima che queste entrino nelle aree oggetto di bonifica;

- caratterizzare i materiali di origine locale per un eventuale riutilizzo per le impermeabilizzazioni e le rimodellazioni del suolo, per minimizzare i costi di investimento.

Per poter realizzare gli obiettivi di indagine qui sopra esposti si dovranno sviluppare le seguenti attività:

- Taglio e pulizia del bosco con perimetrazione temporanea dei pozzini non ripienati, degli inghiottitoi ed altre cavità che possano costituire un pericolo.
Per la realizzazione delle operazioni di taglio e pulizia del bosco saranno necessarie delle strade di arroccamento, eventualmente con tracciato ottimizzato perché possano essere riutilizzate anche per gli interventi di bonifica ed al contempo non favoriscano il ruscellamento verso le cavità nel sottosuolo. Le strade di arroccamento saranno totalmente ripristinate al termine dell'esecuzione dei lavori di bonifica con il progetto di ri-naturalizzazione dei luoghi.
- Esecuzione di un rilievo geologico e topografico di dettaglio che individui in maniera chiara ed univoca le caratteristiche del suolo, i pozzini, le aree di franamento, gli inghiottitoi, le linee di drenaggio, gli accumuli di detrito, edifici e ruderi, e tutto quant'altro sia riferibile alle attività minerarie.
Il rilievo dovrà essere esteso ad una fascia di dimensioni opportune, esterna all'area da bonificare.
Le vecchie cartografie della Miniera Merse erano riferite al sistema catastale per cui dovendo far paragone con queste, anche il nuovo rilievo dovrà essere sviluppato con questo sistema.
Il rilievo dovrà essere monumentato al suolo con un reticolo di caposaldi permanenti installati in punti dominanti e che sicuramente non saranno oggetto di lavori; il reticolo dei caposaldi dovrà coprire visivamente tutta l'area rilevata con battute inferiori a 200 metri.
Il rilievo dovrà essere restituito alla scala 1:500, o più grande a seconda delle necessità di utilizzo.
- Esecuzione di un'indagine geofisica finalizzata all'individuazione delle aree di

assorbimento delle acque di ruscellamento, di cavità ubicate in prossimità del suolo, dello spessore degli sterili di miniera e per ottimizzare i siti dove prelevare gli inerti per realizzare le impermeabilizzazioni ed il rimodellamento del suolo.

L'indagine dovrà essere eseguita con il metodo della tomografia elettrica o similare, e dovrà permettere la ricostruzione tridimensionale di un tratto di circa 1.200 ml della faglia di Boccheggiano, opportunamente esteso a monte ed a valle della struttura.

- Indagine per verificare le zone di maggiore assorbimento delle acque di ruscellamento già segnalate dall'indagine geofisica.
- Esecuzione di indagini sulla qualità degli sterili di miniera e degli inerti che dovranno essere impiegati per l'impermeabilizzazione e rimodellamento del suolo e di taratura delle indagini geofisiche. Nel caso in cui queste indagini abbiano profondità di 4÷5 metri potranno essere eseguite con l'apertura di trincee con un escavatore semovente tipo "ragno".
Ciascuna trincea al termine delle misurazioni e delle operazioni di campionamento sarà richiusa ed il suolo sarà reso nelle condizioni originali.
Con l'esecuzione delle trincee saranno prelevati dei campioni su cui saranno eseguite le analisi chimiche.
Le trincee ed i punti di campionamento saranno ubicati con precisione sulla planimetria catastale.
- I dati acquisiti ai punti precedenti saranno sintetizzati su sezioni parallele, e quindi collegati in modo da fornire una ricostruzione continua, in grado di permettere di visualizzare la situazione e di calcolare i volumi.

Indagini per il condizionamento delle acque in ingresso in miniera

Le rocce incassanti che circondano il corpo mineralizzato sono da considerare impermeabili mentre la coltre di alterazione ha una certa permeabilità e contiene un acquifero con capacità di accumulo molto limitata. Dove questo acquifero incontra la faglia viene drenato totalmente sia per la permeabilità del corpo mineralizzato che per i lavori di miniera. Riteniamo non possibile intercettare questo flusso ipogeo in maniera efficace ed economica.

Si può invece alcalinizzare queste acque perché poi contrastino la formazione dei drenaggi acidi, con sistemi di immissione passiva di reagenti.

Per ottimizzare gli interventi che poi dovranno produrre l'obiettivo anzidetto sono necessarie le seguenti indagini:

- Realizzazione di un modello che individui le zone dove la circolazione ipogea è maggiormente concentrata con i dati che saranno acquisiti con gli studi precedenti.
- Esecuzione di alcuni test di verifica del modello e raccolta di campioni di acqua, ove possibile.
- Analisi semplificata dei campioni di acqua, se raccolti. Saranno analizzati soltanto i parametri importanti che concorrono alla dissoluzione del materiale alcalinizzante e dei prodotti risultanti.
- Ottimizzazione del tipo di materiale da impiegare per la alcalinizzazione delle acque di falda che si infiltrano nelle miniere, in base a costo, efficacia, durata nel tempo e disponibilità in loco.
La sperimentazione sarà fatta deponendo il materiale alcalinizzante in vasche contenenti acqua ricostruita uguale a quella di falda, poi sarà seguito il processo di alcalinizzazione con test rapidi e semplificati per determinare i parametri di pH, durezza, alcalinità ed ossigeno disciolto.

Indagini per il tombamento delle miniere Merse e Campiano

L'intervento di tombamento delle miniere Merse e Campiano consiste nella chiusura idraulica di tutti i punti di comunicazione con l'esterno delle due miniere esistenti al di sotto del livello statico che secondo i dati fornitici si dovrebbe essere alla quota di 430 m slm.

I punti di comunicazione delle miniere con l'esterno al di sotto della quota di livello statico che noi abbiamo individuato sono: la Rampa di Accesso della Miniera di Campiano, la Galleria di Scolo della Miniera Merse, la Galleria di collegamento fra i settori Nord e Sud della Miniera Merse di quota 418 m slm ed il Fornello 10 della Miniera di Campiano.

Le caratteristiche di questi punti sono le seguenti:

- a) La Rampa di Accesso alla Miniera di Campiano nel tratto di interesse al presente progetto è una galleria alta alla sommità della volta 5,0 m e larga 5,0 m, rivestita con spritz beton mediamente armato, che discende verso la zona di coltivazione con la pendenza del 16-20%. Il portale è chiuso con un muro in calcestruzzo armato spesso 2,0 m fissato al rivestimento con una serie di chiodi; alla base del muro in posizione centrale, vi è una canaletta di forma trapezoidale alta 40 cm e larga alla base inferiore 40 cm. All'interno della Rampa di Accesso, alla distanza di 1,0 m c'è uno stramazzo in calcestruzzo armato alto 1,0 m, che ha la funzione di briglia di contenimento delle acque acide che da questo traboccano e che poi vengono evacuate verso l'esterno dalla canaletta detta al paragrafo precedente.
Sul portale, all'esterno della muraglia di chiusura, c'è una griglia realizzata con tondini di armatura incementati nel rivestimento e poi saldati, che chiude tutto il vano galleria.
- b) La Galleria di Scolo della Miniera Merse nel tratto di interesse al presente progetto è una galleria alta alla sommità della volta 2,0 m e larga 1,7 m, rivestita nel primo tratto con mattoni pieni murati a calce che risale verso la zona di coltivazione a debole pendenza. Il portale è chiuso con un muro in calcestruzzo dello spessore di 0,4 m, ed è attraversato alla base da alcuni tubi da Ø 20 cm disposti su due file da cui si scaricano le acque sorgenti nella galleria; queste sono acque prodotte dalla falda presente nella coltre di alterazione della roccia e non hanno carattere di drenaggio acido. All'interno della Galleria di Scolo c'è un ampio franamento che aveva chiuso quasi del tutto la sezione della galleria.
- c) Il Fiume Merse incrocia la faglia di Boccheggiano alla quota di 426 m slm; inferiormente vi è la Galleria di Collegamento fra i settori Nord e Sud della Miniera Merse alla quota di 418 m slm, per cui risulta che il setto di separazione è di soltanto 8,0 metri.
Il setto di separazione è costituito da Flysch che qui è molto fratturato e silicizzato.
Le testimonianze di minatori che hanno lavorato nella Miniera Merse negli "50, riportano che nel tratto di sotto-

attraversamento del Fiume Merse vi era un'infiltrazione di acqua dall'alto, dove era stata messa una protezione con delle lamiere.

Facendo risalire il livello della falda fino alla quota di 425/430 m slm è molto probabile che nel fiume si manifesti una sorgente di acque acide.

- d) Il Fornello 10 era stato realizzato per la ventilazione della Miniera di Campiano.

La sezione di scavo del fornello è del diametro di 3,0 m ed è stato impostato dalla quota di 430 m slm.

Il fornello dista ~ 20 m dal Fiume Merse che qui scorre alla quota di 416 m slm; subito dopo la perforazione furono registrati degli afflussi di acqua dal Fiume Merse. Per bloccare queste acque in ingresso e prevenire il rischio che il flusso potesse aumentare fino a diventare incontrollabile ed a causare dissesti alla SS 341 Massetana che corre fra il fiume ed il Fornello 10, fu realizzato il rivestimento con camicia di rivestimento in ferro incementata nel perforo fino alla profondità di circa 60 m.

Conseguentemente alla rinuncia della Concessione Mineraria Boccheggiano fu disposta la chiusura mineraria del Fornello 10 riempiendolo con ghiaie di cava e realizzando alla testa una soletta di 6,0 x 6,0 m spessa 3,0 m in calcestruzzo armato.

Facendo risalire il livello dell'acqua nelle miniere fino alla quota di 425/430 m slm è possibile che si creino sorgenti acide nel Fiume Merse.

Le suddette gallerie di miniera sono scavate in roccia argilloscistosa con bancate calcaree; questa roccia superficialmente presenta una coltre di alterazione che varia da pochi metri a qualche decina, ed inoltre in prossimità della faglia c'è un'ampia fascia silicizzata generalmente frantumata.

In questa situazione idrogeologica le chiusure idrauliche per essere veramente efficaci dovranno essere realizzate in zone dove la roccia è sana e può garantire la tenuta idraulica. Stante questa situazione le chiusure idrauliche dovranno essere realizzate ben all'interno delle gallerie.

Attualmente le gallerie di miniera non sono accessibili e per diventarlo richiederebbero

importanti opere di messa in sicurezza. Per realizzare le opere di chiusura idraulica abbiamo quindi ipotizzato di realizzarle dall'esterno tramite fori di sonda, una tecnologia innovativa che necessiterà di una fase di sperimentazione per ottimizzare i risultati. Le seguenti indagini sono necessarie per mettere appunto la tecnica di intervento:

- Esecuzione di un rilievo topografico per l'individuazione in sotterranea delle gallerie e posa in opera di capisaldi permanenti.
- Esecuzione di sondaggi verticali per definire il tracciato delle gallerie in sotterraneo con prelevamento di campioni indisturbati per valutare lo stato della roccia.
- Ispezione visiva della posizione dei sondaggi all'interno delle gallerie e dello stato di conservazione di queste tramite telecamera da foro.
- Posizionamento dei fori sul rilievo topografico ed eventuale revisione del tracciato delle gallerie.
- Ottimizzazione della tecnologia di chiusura idraulica delle gallerie con sperimentazione fatta in una galleria accessibile e dove possano essere evidenziati i risultati e le problematiche degli interventi.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella chiusura idraulica del Fornello 10, che per essere efficace dovrà essere fatta alla profondità di oltre 60 m, cioè a quota più bassa del rivestimento del foro.

In principio si dovrà realizzare una cementazione con boiaccia di cemento solfato-resistente. Importante per l'ottenimento del risultato prefisso sarà la metodologia di posa, la disposizione dei fori di iniezione e la pressione di posa in opera; per poter elaborare correttamente il progetto si dovrà conoscere con precisione il tipo ed il grado di addensamento del materiale che dovrà essere cementato, per questo riteniamo dovrà essere fatta l'indagine:

- Esecuzione di un sondaggio impostato dalla soletta in CLS armato di copertura del Fornello 10 che poi prosegua in materiale incoerente, probabilmente ghiaia, fino alla profondità di 70 m, dovranno essere raccolti campioni di materiale, il più

possibilmente indisturbati, nel tratto da 60 a 70 m.

Indagini per l'iniezione nel Sondaggio Chiusdino 4

Come già detto sopra questo tipo di soluzione è del tutto innovativa, non si hanno esperienze a cui riferirsi e crediamo che se questa venisse adottata sarebbe un'esperienza unica e non più riproducibile.

Le indagini necessarie per la redazione di un progetto preliminare dovranno essere innanzitutto relative alla costruzione della condotta di mandata dalla Rampa di Ribudelli al Pozzo di Ciciano

La condotta dovrà essere resistente alle acque acide trasportate, dovrà avere una perdita di temperatura inferiore a 0,5 °C/km ed avere sicurezza massima in rapporto a possibili perdite di fluido. In base ai prodotti esistenti sul mercato le soluzioni che riteniamo possibili sono:

- Tubo in acciaio rivestito internamente con cemento ceramico centrifugato ed esternamente con polietilene estruso con giunto tipo express; incamiciato con guaina di poliuretano espanso a cellula chiusa fasciato con nastro di polietilene installato in opera.
- Tubo in PVC.C PN 25 con giunto express incamiciato con guaina di poliuretano espanso a cellula chiusa a sua volta incamiciato con un tubo in PVC del tipo per fognature della serie leggera con giunto ad incollare. Questa condotta per sicurezza dovrà avere dei pozzetti di ispezione drenanti la camicia esterna in PVC, mediamente intervallati di 200 m.

Per ottimizzare la costruzione della condotta dovrà essere eseguito un rilievo topografico e geologico-tecnico di dettaglio della striscia di collegamento dal Piazzale di Ribudelli al Sondaggio Chiusdino 4, il rilievo dovrà essere riferito a manufatti permanenti e dove questi non fossero presenti dovranno essere installati dei capisaldi.

Per quanto attiene invece la re-iniezione nel sondaggio Chiusdino 4, non è possibile fare delle sperimentazioni analogiche per simulare i

meccanismi chimico-fisici perchè le condizioni a fondo pozzo, cioè + 300 °C e 400 Bar, sono estreme.

L'unica soluzione è una simulazione numerica, da eseguire in ambiente universitario.

Il sondaggio Chiusdino 4 è stato realizzato con perforazione e rivestimento "a cannocchiale"; internamente il foro è rivestito fino alla profondità di 2.990 m con un tubo da 9"5/8 in acciaio al carbonio API Standard cementato su due livelli. Questo tubo è aggredibile dalle acque acide effluenti dalla Rampa di Accesso, per cui nel sondaggio dovrà essere calata una nuova camicia di rivestimento.

I materiali per realizzare questo intervento esistono e la tecnologia è conosciuta per cui non saranno necessarie indagini o sperimentazioni specifiche.

13 Conclusioni

Il presente studio, attraverso una dettagliata analisi dei dati storici ed una campagna di indagini geochimiche, ha permesso di ricostruire un modello concettuale preliminare del processo inquinante.

In particolare lo studio ha permesso di evidenziare l'impatto inquinante dei drenaggi acidi di miniera, che si formano principalmente nella parte superficiale insatura della miniera Merse, idraulicamente collegata alla miniera Campiano attraverso la galleria di drenaggio del livello +300 m slm.

Sulla base della ricostruzione del processo inquinante sono state valutate alcune soluzioni ed è stata impostata un'ipotesi di intervento di bonifica e messa in sicurezza della miniera.

ELENCO FIGURE ALLEGATE

- Tav. 1** Ubicazione delle Concessioni Minerarie nella zona di Boccheggiano e delle principali miniere della zona.
- Tav. 2** Carta Geologica dell'area di Boccheggiano e Montieri.
- Tav. 3** Modello tridimensionale del sistema di miniere Merse e Campiano.
- Tav. 4** Impatto delle miniere di Boccheggiano sul bacino del fiume Merse e dei relativi sottobacini.
- Tav. 5** Andamento dell'eduzione di acqua dalle venute principali della miniera Campiano negli anni dal 1977 al 1994.
- Tav. 6** Ubicazione delle sorgenti e venute di acque ferruginose (cerchietti arancione) e dei drenaggi acidi (quadrantini rossi) nella zona mineraria di Boccheggiano.
- Fig. 7** Schema idraulico delle miniere Merse e Campiano.
- Fig. 8** Variazione di alcuni parametri chimico-fisici delle acque del fiume Merse nel tratto tra Il Gabellino e Le Vene di Ciciano.
- Tav. 9** Prospetto frontale della miniera di Campiano con ubicazione delle camere di coltivazione e delle zone riempite.
- Tav. 10** Rappresentazione schematica del processo inquinante e delle possibili opzioni di intervento.
- Tav. 11** Schema dei possibili interventi di chiusura stagna delle miniere Merse e Campiano.