

Cliente Enel Green Power S.p.A.

Oggetto Rinnovamento delle caratteristiche funzionali e prestazionali dello sbarramento di Vulci sul fiume Fiora

Considerazioni sui tenori naturali di alcuni metalli nei sedimenti del bacino idrico della diga di Vulci

Ordine A.Q. n. 8400060505 del 03.12.2013 – attingimento n. 4000306374 del 18.05.2015 – CESI B5010714

Note AG14ESC032 – Lettera di trasmissione B5017998

PAD B5017411 (2128548) - USO RISERVATO

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI. L'attestazione che le convalide sono avvenute nel rispetto delle procure di firma e delle procedure aziendali in vigore, è data dalla presenza del n. di protocollo e matricola apposti sotto i nominativi dell'Autore, Verificatore ed Approvatore e dal timbro PAD Bnnnnn) apposto sul lato sinistro del documento.

N. pagine 33 **N. pagine fuori testo** 96

Data 27/08/2015

Elaborato ESC - Garavaglia Roberto, ESC - Gatto Cesare
B5017411 3260 AUT B5017411 1793913 AUT

Verificato ESC - Pertot Cesare
B5017411 3840 VER

Approvato ESC - Ghilardi Marina (Project Manager)
B5017411 114978 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
 I-20134 Milano - Italy
 Tel: +39 02 21251
 Fax: +39 02 21255440
 e-mail: info@cesi.it
 www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
 C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
 P.I. IT00793580150
 N. R.E.A. 429222

© Copyright 2015 by CESI. All rights reserved

Indice

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL SITO.....	5
3.1	Inquadramento geografico e geomorfologico.....	5
3.2	Inquadramento geologico.....	7
3.2.1	Assetto generale.....	7
3.2.2	Assetto locale.....	8
3.3	Inquadramento idrogeologico.....	9
3.4	Pressioni antropiche.....	12
4	RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE ANALITICA E CONFRONTO CON I LIMITI NORMATIVI.....	14
4.1	Caratterizzazione chimica dei sedimenti fluviali.....	14
4.2	Caratterizzazione chimica dei sedimenti da rimuovere.....	17
4.3	Caratterizzazione chimica dei terreni al sito di riutilizzo.....	19
5	CONSIDERAZIONI SUL CONTESTO GEOCHIMICO DELL'AREA DEL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME FIORA E SUL CONTENUTO NATURALE DI ALCUNI METALLI NEI SEDIMENTI DEL BACINO IDRICO DI VULCI.....	21
5.1	Bibliografia.....	30
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	32

Allegato 1 – Nautilus Società Cooperativa - *Rapporti di Prova – Sedimenti fluviali* tot. pagg. 71

Allegato 2 – Technosoil s.r.l. - *Stratigrafia di sondaggio* tot. pagg. 3

Allegato 3 – R&C - *Rapporti di Prova – Materiali da rimuovere* tot. pagg. 17

Allegato 4 – R&C - *Rapporto di Prova – Terreno al sito di riutilizzo* tot. pagg. 5

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	27/08/2015	B5017411	Prima emissione

1 PREMESSA

La diga di Vulci intercetta le acque del fiume Fiora e alimenta la centrale di Vulci (VT); è situata nei territori dei comuni di Montalto di Castro e di Canino, in località Vulci. L'utilizzazione del serbatoio consiste nella regolazione giornaliera delle portate del Fiume Fiora per produrre energia elettrica nella centrale di Vulci.

Nell'ambito delle attività di rinnovamento delle caratteristiche funzionali e prestazionali dello sbarramento, gestito dalla società Enel Green Power del gruppo Enel S.p.A., si rende necessaria la rimozione di alcuni sedimenti depositati a monte della diga. A tale proposito, è stato predisposto un Piano di Utilizzo (Rapporto CESI B3001335) dei sedimenti da rimuovere, ai sensi del Decreto 161/2012 (Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo).

Il Piano prevede la rimozione di un volume di sedimenti pari a circa 7500 m³ ubicati immediatamente a monte della diga che saranno utilizzati in situ, circa 250 m a monte dello sbarramento, per riprofilatura e rimodellamento dell'area individuata.

Con il provvedimento prot. DVA-2014-0037301 del 13/11/2014, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha disposto l'esclusione dalla procedura di valutazione di impatto ambientale per il progetto "*Rinnovamento delle caratteristiche funzionali e prestazionali dello sbarramento di Vulci sul fiume Fiora*" prescrivendo, tra l'altro, di "*approfondire lo studio dei potenziali rischi di contaminazione da metalli delle acque e del suolo e dei relativi effetti sulla salute pubblica, in considerazione dei risultati delle analisi chimiche effettuate sui sedimenti e dell'uso per fini irrigui di parte della portata del canale di derivazione*".

Nel presente documento vengono prese in considerazione:

- le caratteristiche geochimiche del bacino imbrifero del fiume Fiora,
- l'origine e la formazione dei sedimenti trasportati dal fiume,
- la composizione e le caratteristiche chimiche e fisiche dei sedimenti presenti nell'alveo del fiume,
- la composizione chimica dei materiali da rimuovere,
- la composizione chimica dei terreni presso il sito di utilizzo dei materiali che verranno rimossi,

in riferimento al contenuto di metalli pesanti.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

CESI. Rapporto B2027228. *Diga di Vulci nei comuni di Canino e Montalto di Castro (VT) – Rinnovo delle caratteristiche funzionali e prestazionali dello sbarramento sul fiume Fiora. Studio Preliminare Ambientale per la verifica di assoggettabilità alla procedura di V.I.A. del 06/09/2012.*

CESI. Rapporto B3001335. *Diga di Vulci in Comune di Montalto di Castro (VT) – piano di utilizzo dei Sedimenti ai sensi del Decreto 161/2012 del 03/05/2013.*

CESI. Rapporto B3025182. *Progetto di gestione dell'invaso di Vulci (VT) del 01/10/2013.*

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. *Verifica di assoggettabilità ai sensi dell'art.20 del D.Lgs: 152/2006 e ss.mm.ii. - Progetto "Rinnovo delle caratteristiche funzionali e prestazionali dello sbarramento di Vulci sul fiume Fiora". Prot. DVA-2014-0037301 del 13/11/2014.*

3 INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL SITO

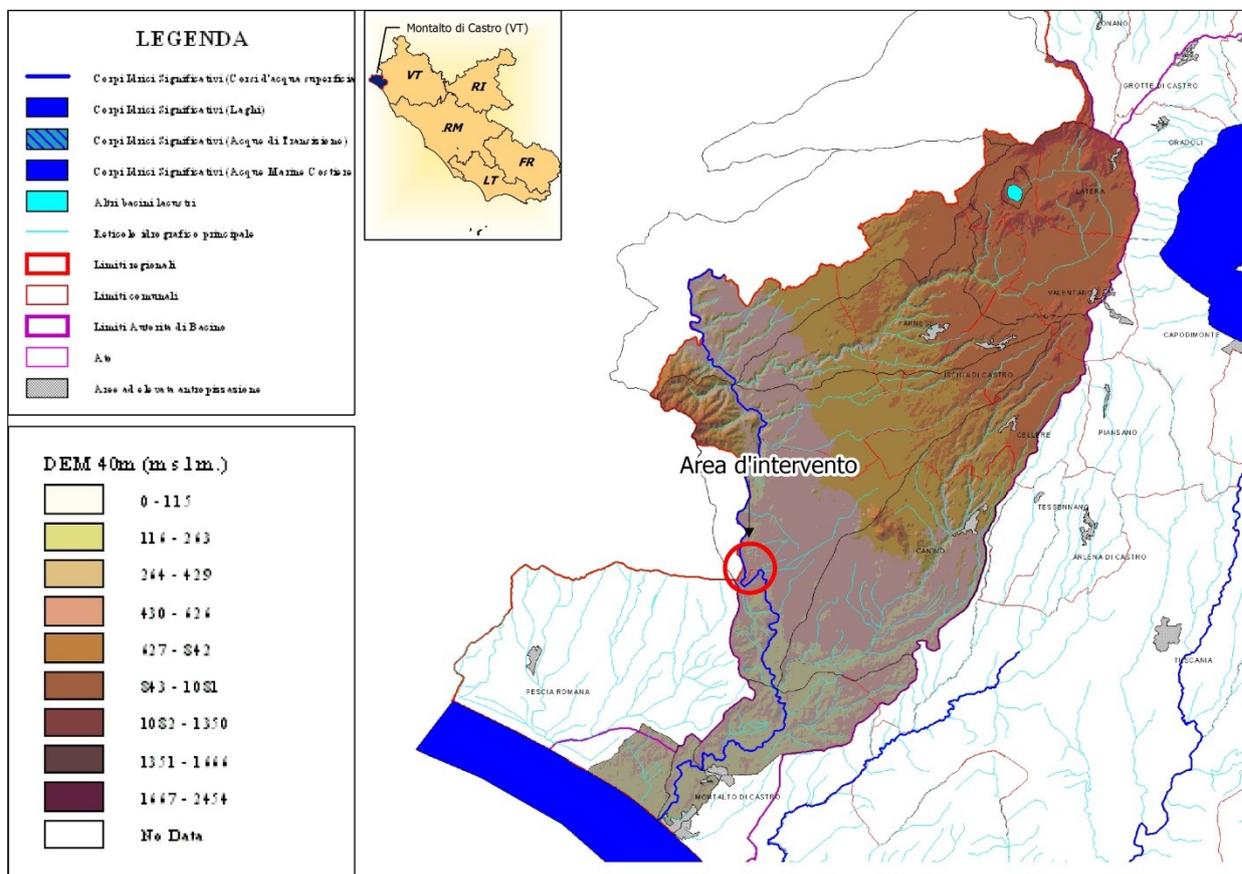
3.1 Inquadramento geografico e geomorfologico

Il fiume Fiora drena un vasto bacino idrografico (circa 825 Km²) che ha origine alle pendici del gruppo dell'Amiata e dopo un percorso di circa 80 Km sfocia nel Mar Tirreno all'altezza di Montalto di Castro (VT).

Dalla vetta dell'Amiata fino al Poggio Torlonia, il bacino ha carattere montuoso, dove si trovano le quote più elevate: infatti dal Monte Amiata lo spartiacque passa verso Sud-Est attraverso vari poggi, generalmente con vette che vanno dagli 800 ai 1.000 m di quota. La valle del fiume Lente è caratterizzata dal leggero pendio e dall'assenza di monti, la valle dell'Olpeta presenta estese pianure delimitate ad Est dai colli che contornano in parte il lago di Bolsena. L'alveo del Fiora, poco a valle del fosso Strozavolpe, comincia ad incidere profondamente la campagna, formandovi un solco con pareti molto ripide, come verso il Ponte dell'Abbadia.

Il contesto geomorfologico è contraddistinto, pertanto, da un tratto di fascia costiera del litorale laziale settentrionale e dalla retrostante fascia collinare e poi montuosa. I rilievi, infatti, presentano quote progressivamente crescenti verso l'entroterra. Allontanandosi dalla linea di costa verso l'interno, infatti, il terreno assume un andamento collinare divenendo, oltre i 10 Km e sino ad un massimo di 50 Km, montuoso in direzione da NO a SE.

Nella figura seguente si riporta la carta morfologica del bacino idrografico del Fiora.



(Fonte: Piano Regionale di Tutela delle Acque)

Figura 3.1 – Carta morfologica del bacino idrografico del Fiora

Il bacino di Vulci è situato nell'omonima località, nei comuni di Montalto di Castro e Canino (VT) e ricade all'interno di un Sito d'Importanza Comunitaria (SIC) "Sistema fluviale Fiora – Olpeta" (cod. IT6010017) e di una Zona di Protezione Speciale (ZPS) "Selva del Lamone e Monti di Castro" (cod. IT6010056).

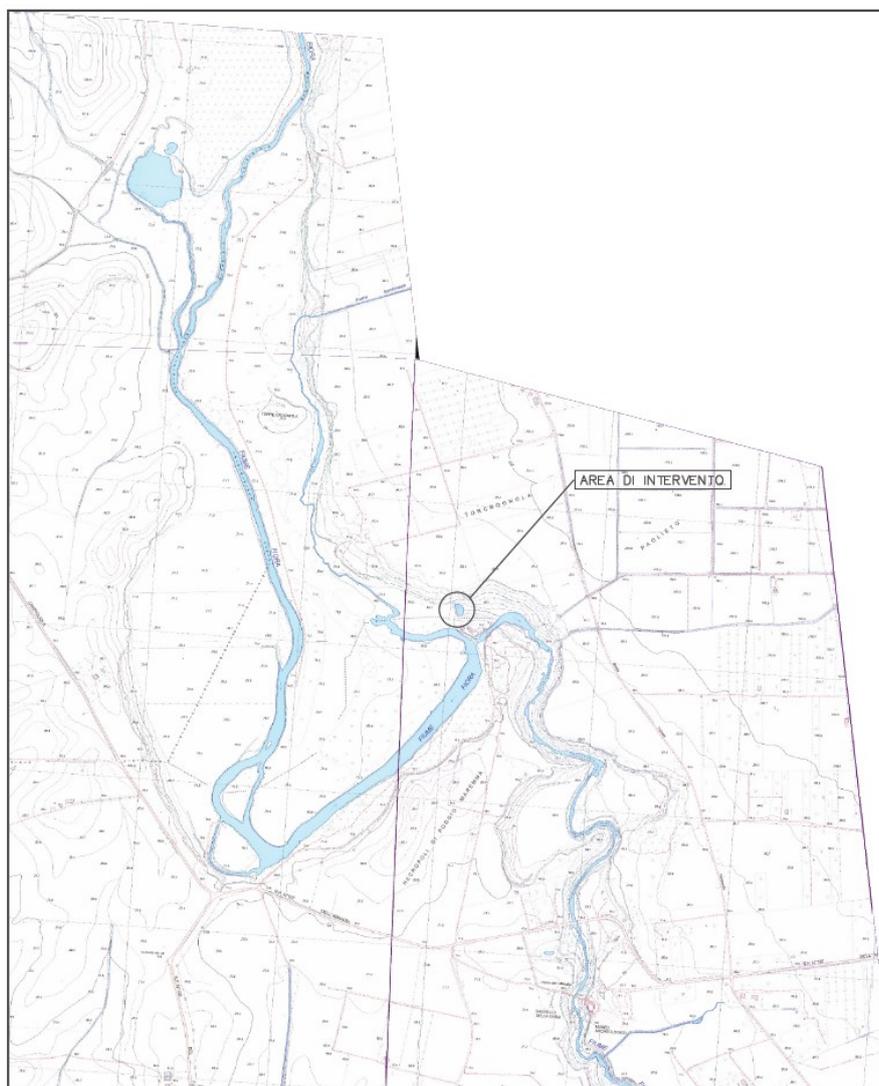


Figura 3.2 – Corografia generale del bacino di Vulci

Il bacino, della capacità originaria di 14×10^6 m³, risulta in gran parte interessato da sedimenti. Tale interrimento iniziò a manifestarsi e a progredire rapidamente sin dai primi anni successivi alla costruzione e, allo stato attuale, ricopre interamente la zona d'invaso a monte della diga, all'incirca sino alla quota del ciglio di sfioro.

L'area a monte dello sbarramento è generalmente ricoperta da vegetazione erbacea ed è utilizzato talvolta per il pascolo.

A seguito di tale interrimento, il deflusso delle acque del fiume Fiora avviene normalmente lungo un nuovo alveo, che descrive un'ampia ansa verso Sud in sponda orografica destra. Il percorso di deflusso si dirige quindi verso lo scaricatore di superficie,

che è una struttura indipendente, separata dal corpo diga e ubicata da questa a 100 m circa di distanza, in direzione Ovest-Nord-Ovest.

3.2 Inquadramento geologico

3.2.1 *Assetto generale*

La geologia dell'area vasta è caratterizzata principalmente da formazioni dovute all'attività di tre importanti complessi vulcanici: quello Vulsino, quello Vicano, e quello Cimino.

Verso la Maremma, si rinvengono in larga maggioranza formazioni di tipo sedimentario, con argille, sabbie, conglomerati, depositate in corrispondenza dei grandi cicli marini del Pliocene e del Pleistocene. Nella restante porzione, notevolmente più ampia della precedente, si rilevano le formazioni vulcaniche, ignimbriti, lave, tufi e piroclastiti.

Le formazioni geologiche presenti nel bacino del Fiora sono principalmente di due generi: sedimentario e vulcanico.

La porzione settentrionale del bacino idrico è impostata su litologie prevalentemente argillose, marnose e calcareo-marnose, afferenti alla "Formazione del Flysh" estesamente affiorante nell'area. Subordinatamente sono presenti materiali calcarei mesozoici (più antichi) e i più recenti sedimenti di età pliocenica.

Verso nord questi sedimenti risultano ricoperti dalle vulcaniti del Monte Amiata di età plio-pleistocenica.

Procedendo verso il settore centro meridionale del bacino idrico, si osservano sabbie e conglomerati del Pliocene. Quindi, sulla sinistra del Fiora, si rileva la presenza in affioramento delle vulcaniti appartenenti al complesso vulcanico dei Vulsini del Pleistocene. Nella destra del Fiora si osservano in affioramento i Calcari Cavernosi del Trias, cui seguono, sia alla destra che alla sinistra del Fiora, travertini del Pleistocene con intercalazioni di materiali piroclastici. Quindi seguono alluvioni antiche, limi e sabbie vulcaniche con tufiti, argille e marne dell'Olocene inferiore – Pleistocene superiore ed argille e argille sabbiose grigie alternate o passanti a conglomerati e sabbie del Pliocene medio e inferiore.

L'alveo del fiume Fiora è occupato da estesi depositi alluvionali recenti ed attuali costituiti da ciottolami, sabbie e sabbie argillose alluvionali, di ruscellamento e di colmata, melme lacustri attuali e recenti.

Gli scisti e quarzoscisti del Permiano rappresentano il substrato su cui poggiano tutte le altre formazioni.

Nella figura seguente si riporta una schema geologico semplificato del bacino del fiume Fiora.

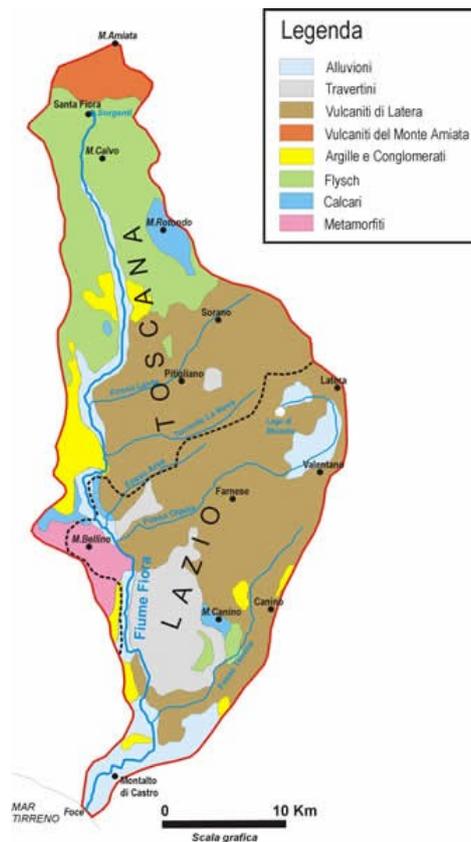


Figura 3.3 – Schema geologico semplificato del bacino del fiume Fiora

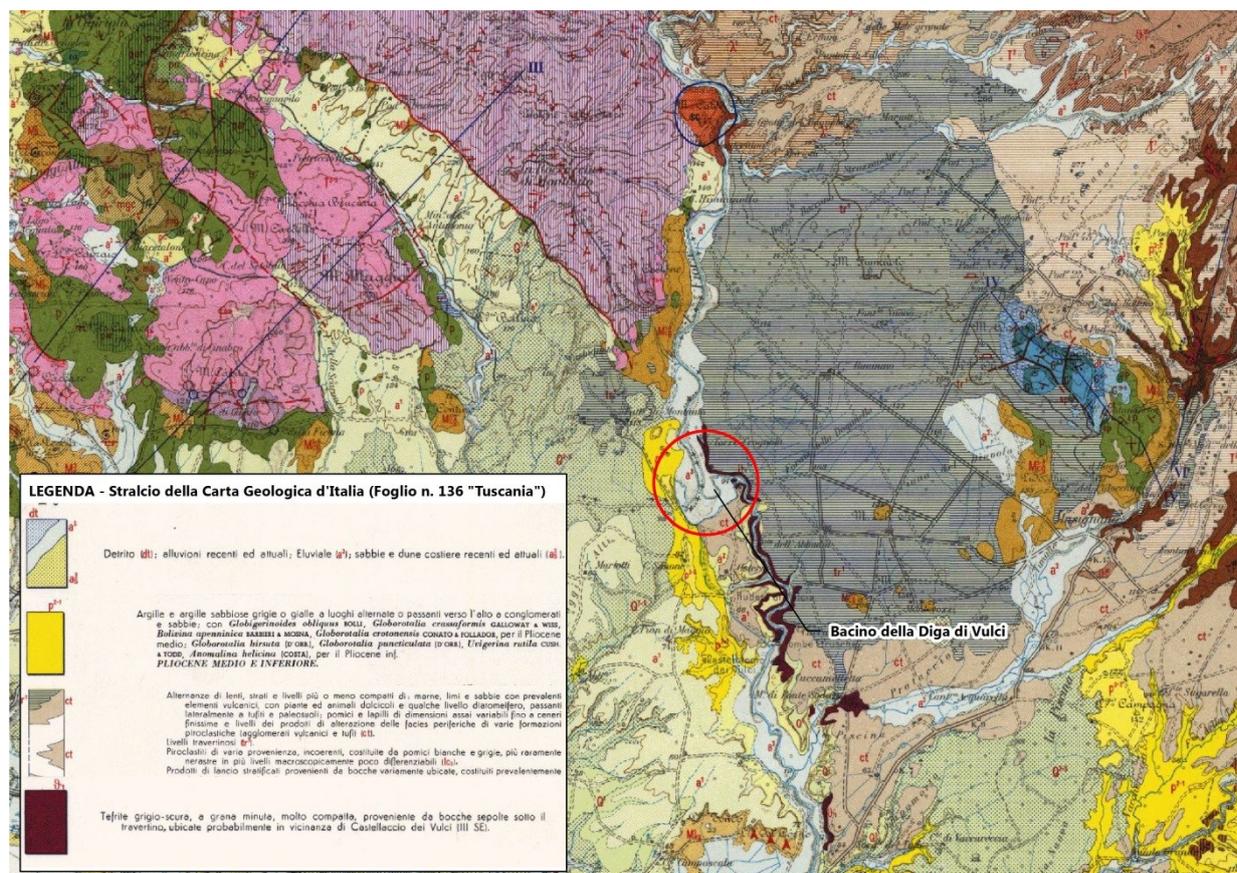
3.2.2 Assetto locale

La diga di Vulci è posizionata all'interno di una forra meandriforme incisa dal fiume Fiora in materiali vulcanici, a margine di un'estesa piana alluvionale che si apre a tergo dell'opera; in particolare essa è impostata su un substrato litoide costituito da vulcaniti, a chimismo tefritico e struttura vacuolare.

I sondaggi geognostici effettuati nel 1992¹, hanno evidenziato che, al di sotto del corpo diga, la roccia tefritica ha uno spessore variabile dai 9 ai 14 metri, mentre una decina di metri verso monte lo spessore tende leggermente a diminuire (7-10 m). La colata tefritica ricopre depositi limosi e limoso-sabbiosi. A monte della diga l'invaso è colmato fino alla quota del ciglio di sfioro da depositi limosi saturi (spessore riscontrato nei sondaggi a 12-15 m di profondità) su cui si è impiantata una vegetazione di tipo prativo e palustre. Tali depositi sono costituiti da materiale prevalentemente alluvionale fine caratterizzato da limi sabbiosi, limi argillosi, argille e argille limose.

Nella figura seguente si riporta uno stralcio della Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 129 "Santa Fiora" e Foglio n. 136 "Tuscania".

¹ ISMES – ASP/6308 – RAT-CCI-0092/94 – Diga di Vulci – Indagini sulla muratura della diga, nella roccia di fondazione e nei sedimenti a monte dello sbarramento



(Foglio n. 136 "Tuscania")

Figura 3.4 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia – scala 1:100.000

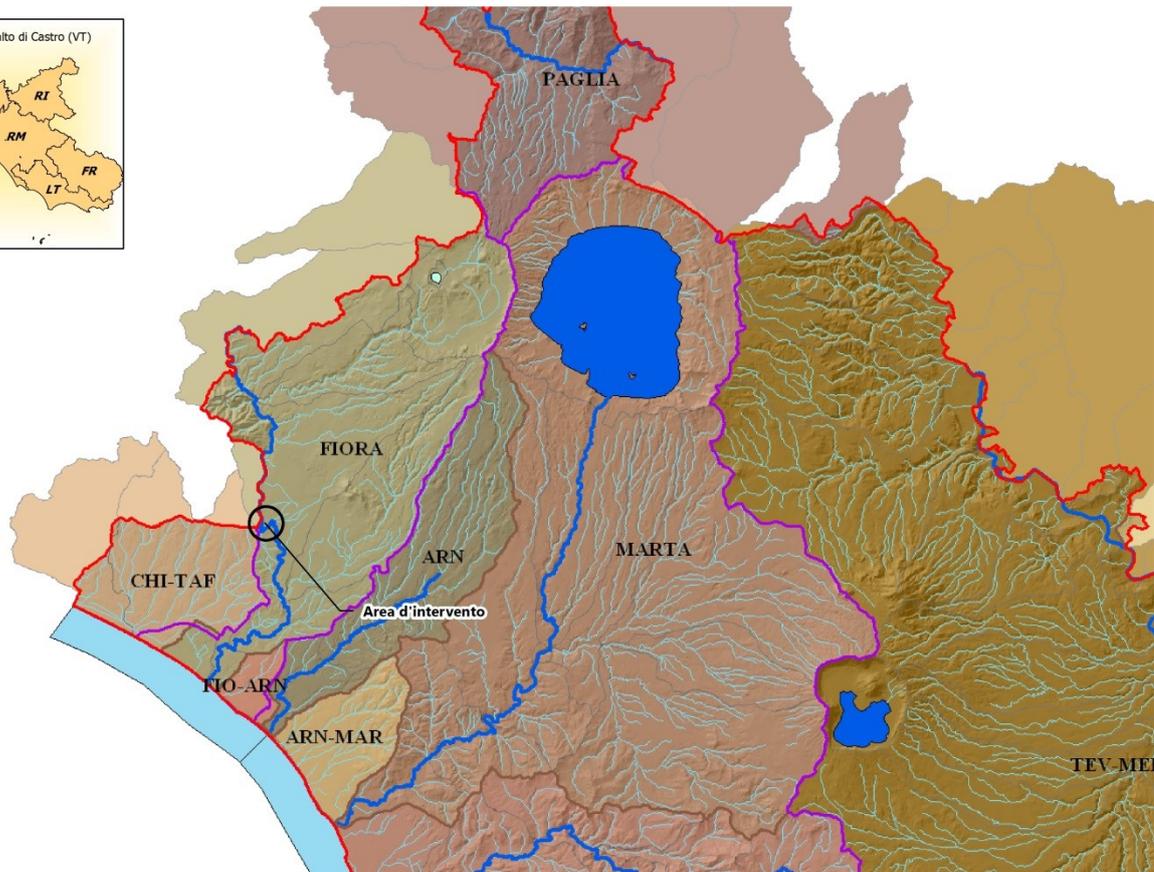
3.3 Inquadramento idrogeologico

Il corpo idrico superficiale di maggiore interesse nell'area in esame è rappresentato dal fiume Fiora che, nascendo dal versante meridionale del Monte Amiata, sfocia nel Mar Tirreno, dopo aver effettuato un percorso di circa 80 Km in direzione N-S.

La circolazione idrica superficiale è fondamentalmente alimentata nel periodo estivo da acquiferi di natura vulcanica posti ad alta quota. I più importanti sono costituiti da due grossi complessi acquiferi vulcanici molto fratturati e permeabili che, avendo una notevole capacità di accumulo, danno luogo a un discreto rilascio di acqua durante la stagione estiva. Tali acquiferi sono stati individuati come corpi idrici significativi dalla Regione Toscana e sono identificabili con i nomi "Acquifero del Monte Amiata" e "Acquifero delle Vulcaniti di Pitigliano".

Riguardo l'assetto idrogeologico a scala di bacino, nell'ambito del Piano Regionale di Tutela delle Acque (PRTA)² della Regione Lazio, l'area in esame ricade all'interno del bacino idrografico del "Fiora", avente un'estensione totale pari a circa 41 ettari (Figura 7).

² Adottato con DGR n. 266 del 2 maggio 2006 e approvato con DCR n. 42 del 27 settembre 2007



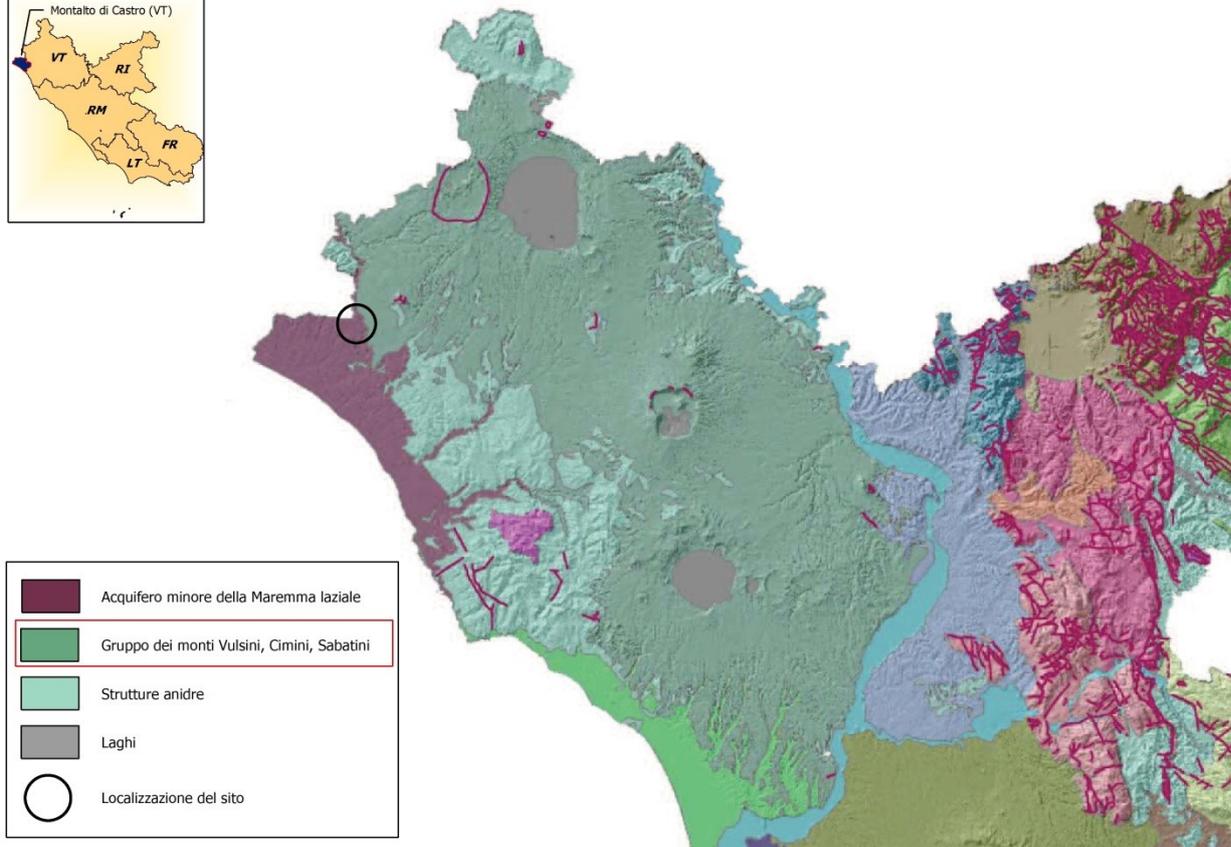
(Fonte: Piano Regionale di Tutela delle Acque)

Figura 3.5 – Stralcio della Carta dei Bacini Idrografici della Regione Lazio

Diversi sono i corpi idrici sotterranei significativi che risultano di pertinenza di questo bacino idrografico. In particolare il PRTA annovera, per l'area in oggetto, i seguenti acquiferi:

1. Gruppo dei Monti Vulsini, Cimini, Sabatini;
2. Acquifero minore della Maremma laziale.

Nella figura seguente si riporta Carta delle Strutture Idrogeologiche della Regione Lazio, elaborata nell'ambito del Piano Regionale di Tutela delle Acque. La struttura idrogeologica denominata *Acquifero minore della Maremma laziale*, rappresenta l'acquifero d'interesse per il sito in esame (Figura 8).

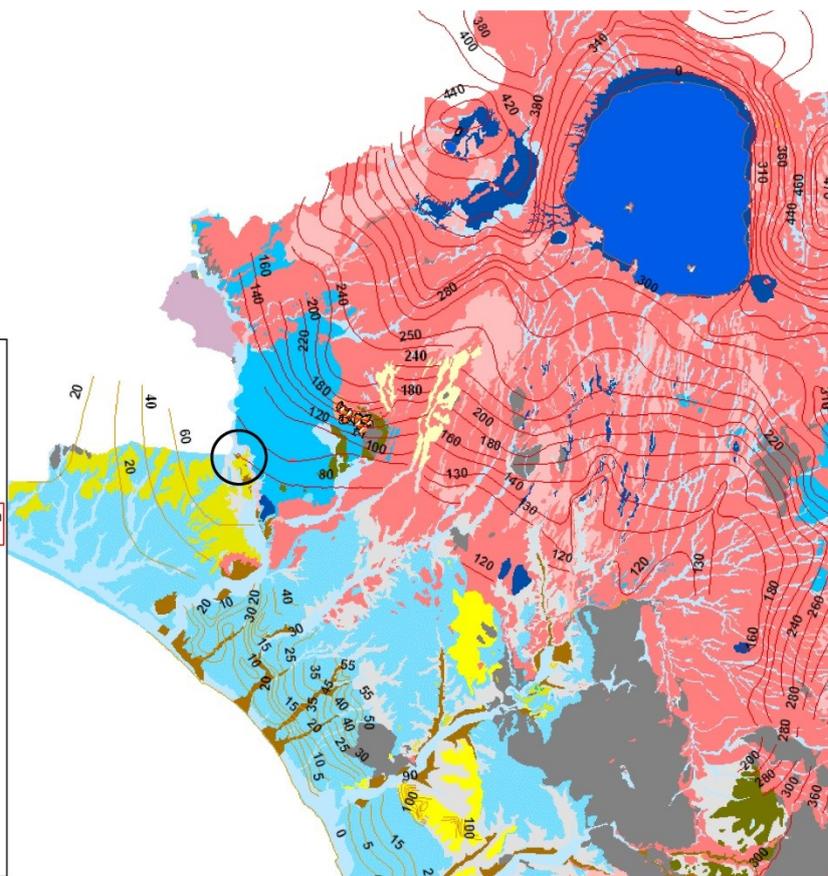


(Fonte: Piano Regionale di Tutela delle Acque)

Figura 3.6 – Stralcio della Carta delle Strutture Idrogeologiche della Regione Lazio

Dalle informazioni reperite nel PRTA, tale acquifero, appartenente alla più ampia struttura idrogeologica del Gruppo dei monti Vulsini, Cimini, Sabatini, è caratterizzato da una circolazione idrica estremamente variabile in funzione sia della granulometria dei depositi sia dei pur limitati scambi con le strutture idrogeologiche adiacenti.

L'andamento delle linee isofreatiche, a scala di bacino, indica una direzione generale di deflusso idrico sotterraneo orientata dall'entroterra verso il mare, mediamente da NE verso SO, come mostrato nella Figura seguente.



(Fonte: Piano Regionale di Tutela delle Acque)

Figura 3.7 – Stralcio della Carta Idrogeologica della Regione Lazio

3.4 Pressioni antropiche

L'uso del suolo nell'area di indagine è rappresentato prevalentemente dalla presenza di colture intensive e sistemi colturali e particellari complessi, che insieme coprono l'80% dell'area di studio.

L'area di localizzazione della Diga di Vulci è interessata da Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti che si estendono su 196 ha, quasi il 3% dell'area considerata.

Le Colture intensive rappresentano la classe di uso prevalente all'interno del territorio esaminato ed occupano circa il 63% dell'area (4.390 ha).

I Sistemi colturali e particellari complessi coprono circa il 17% del territorio (1.163 ha), mentre percentuali di uso del suolo inferiori sono rappresentate da: Prati stabili (516 ha), Boschi a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o farnetto e/o rovere e/o farnia) (463 ha) ed Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione (circa 250 ha).

Per un maggiore dettaglio sull'uso del suolo dell'area si rimanda al documento "Diga di Vulci nei comuni di Canino e Montalto di Castro (VT) – Rinnovamento delle caratteristiche funzionali e prestazionali dello sbarramento sul fiume Fiora. Studio Preliminare Ambientale per la verifica di assoggettabilità alla procedura di V.I.A." (Rapporto CESI B2027228, 2013).

Prima della costruzione della diga di Vulci il territorio era probabilmente caratterizzato da agricoltura non intensiva e da attività di pascolo.

Dal Piano Regionale di Tutela delle Acque (PRTA) della Regione Lazio si evince che la popolazione residente nel bacino del fiume Fiora è pari a circa 15.452 abitanti e sono presenti circa 306 unità locali industriali.

La superficie agricola totale (SAT) è pari a 38.798 ha, di cui 28.057 ha risulta utilizzata (SAU). Nel bacino si annoverano 6 captazioni di pozzi ad uso idropotabile e 6 captazioni di sorgenti ad uso idropotabile. Non è segnalata alcuna captazione di acque superficiali. L'area è caratterizzata da 4 impianti di depurazione urbani e da 3 impianti di depurazione industriali. Sono inoltre presenti 9 aree dedicate ad attività estrattive. Non sono invece segnalate aree sensibili o vulnerabili.

Dall'analisi dei carichi inquinanti diffusi nei bacini, presentata nel PRTA, emerge che i maggiori impatti che si registrano nel bacino del fiume Fiora sono imputabili alla presenza della popolazione residente e delle attività agricole e zootecniche:

- impatto antropico diffuso – abitanti equivalenti totali sulla superficie del bacino e proporzione di abitanti equivalenti zootecnici
- carichi trofici potenziali – azoto e fosforo di origine prevalentemente agricola e zootecnica.

Relativamente agli scarichi puntuali in acque superficiali, si riporta di seguito la relativa scheda di bacino, presentata nel Piano Regionale di Tutela delle Acque.

Corpo idrico principale: Fiume Fiora	Dati	Totale
Totale Generale del Bacino (Urbano+civile+industriale) [1+2]	n Tot SCARICHI	9
	n AE TRATTATI	15.079
	REFLUO MC/anno	890.830
Carico organico ed autofizzante sversato dopo trattamento	BOD5 Kg/anno	46.137
	N Kg/anno	38.972
	P Kg/anno	6.495

Corpo idrico principale	Dati	Totale
Fiume FIORA (Comuni: Canino, Cellere, Latera, Valentano) [1]	n SCARICHI URB+CIVILI	6
	n AE TRATT (URB+CIV)	12.161
	REFLUO MC/anno	884.080
Carico organico ed autofizzante sversato dopo trattamento	BOD5 Kg/anno	39.746
	N Kg/anno	31.303
	P Kg/anno	5.217

Corpo idrico principale	Dati	Totale
[2]	n SCAR INDUST	3
	n AE TRATT INDUSTRI	2.918
	REFLUO MC/anno	6.750
Carico organico ed autofizzante sversato dopo trattamento	BOD5 Kg/anno	6.390
	N Kg/anno	7.669
	P Kg/anno	1.278

Elenco dei Comuni che scaricano totalmente o parzialmente nel Bacino

Canino, Cellere, Farnese, Ischia di Castro, Latera, Valentano

Criticità nel Bacino Fiora: Comuni >2.000 abit. non depurati- Ischia di Castro (VT) anche se risultano esserci scarichi civili per 1497 a.e.

(Fonte: Piano Regionale di Tutela delle Acque)

Tabella 3.1 – Scheda di bacino del fiume Fiora (scariche puntuali in acque superficiali)

4 RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE ANALITICA E CONFRONTO CON I LIMITI NORMATIVI

4.1 Caratterizzazione chimica dei sedimenti fluviali

La caratterizzazione del materiale sedimentato nel bacino e lungo l'asta fluviale è stata eseguita effettuando prelievi del sedimento lungo l'asse monte-valle del bacino.

I prelievi sono stati eseguiti in data 05/10/2012; le operazioni di prelievo dei campioni e le successive analisi di laboratorio sono state eseguite su incarico del Gestore che ha successivamente messo a disposizione di CESI i relativi risultati analitici.

Nel bacino sono stati prelevati mediante benna manuale tre campioni di sedimento opportunamente distribuiti all'interno del bacino (identificati come "diga monte", "diga centro", "diga valle"). Inoltre sono stati prelevati due campioni nel tratto dell'asta fluviale a monte del bacino ("fiume monte 1" e "fiume monte 2") e due nel tratto a valle ("fiume valle 1" e "fiume valle 2"). Di seguito sono riportate le coordinate dei punti di campionamento.

punto di prelievo	Coordinate WGS84	
	Latitudine	Longitudine
diga monte	42°26'19.60"	11°37'34.54"
diga centro	42°26'23.37"	11°37'36.93"
diga valle	42°26'25.29"	11°37'36.57"
fiume monte 1	42°26'10.77"	11°37'02.78"
fiume monte 2	42°26'03.35"	11°37'05.28"
fiume valle 1	42°26'27,17"	11°37'39,65"
fiume valle 2	42°26'27,93"	11°37'41,97"

Tabella 2 – Coordinate dei punti di campionamento dei sedimenti

L'ubicazione dei punti di campionamento è riportata nella Figura seguente.



Figura 4.1 - Ubicazione dei punti di campionamento dei sedimenti

Sui campioni prelevati, oltre ad altre caratterizzazioni, sono state effettuate la determinazione quantitativa del contenuto di contaminanti, tra cui i metalli) e il test di cessione secondo la metodica standard UNI EN 12457-2.

I risultati delle determinazioni analitiche del contenuto totale, espressi come sostanza secca, sono riportati nei Rapporti di Prova dell'Allegato 1.

Nella Tabella seguente i risultati vengono sintetizzati e messi a confronto con i valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) specificati dal D.lgs. 152/2006 relativi alla destinazione d'uso "verde pubblico, privato e residenziale" (colonna A, Tabella 1, Allegato 5 alla Parte Quarta).

Elemento o composto/i (mg/kg)	fiume monte 1	fiume monte 2	diga monte	diga centro	diga valle	fiume valle 1	fiume valle 2	CSC D.lgs 152/06 colonna A
Antimonio	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	10
Arsenico	1	3,4	13,1	23,2	25,1	39,9	56,1	20
Berillio	0,17	0,93	2,51	2,84	3,09	1,65	2,61	2
Cadmio	<0,005	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2
Cobalto	0,6	2,5	8,2	8,7	8,9	5,3	9	20
Cromo totale	1,3	3,1	<0,05	<0,05	31,6	11,1	27,2	150
Cromo VI	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2
Mercurio	0,015	0,014	0,484	0,579	1,105	0,133	1,822	1
Nichel	1,5	4,1	24	26,2	25,7	11,7	22,9	120
Piombo	1,5	9	21,2	25,9	26,9	8,1	19,5	100
Rame	0,9	2,5	14,3	22,3	20,1	9,4	18	120
Selenio	0,01	0,03	0,21	0,25	0,27	0,1	0,25	3
Stagno	0,01	0,1	0,13	0,16	0,27	0,07	0,08	1
Tallio	0,07	0,35	0,85	1,06	1,16	0,35	0,79	1
Vanadio	2,5	22,2	39,3	42,3	48,7	28,2	40,6	90
Zinco	2	9	44	37	60	29	35	150

Tabella 4.1 – Sintesi dei risultati analitici sui campioni di sedimenti

Il contenuto totale di metalli nei campioni di sedimenti evidenzia superamenti delle CSC per i parametri: Arsenico, Berillio, Mercurio, Tallio.

Gli stessi campioni sono stati anche sottoposti a test di cessione in acqua demineralizzata. I risultati delle determinazioni analitiche sugli eluati sono riportati nei Rapporti di Prova dell'Allegato 1.

Le caratteristiche chimico-fisiche che le acque devono avere per essere utilizzabili in specifici contesti sono soggetti alle disposizioni del D.Lgs. 152/2006 (allegati tecnici - qualità delle acque per determinati usi).

Il Decreto 2 maggio 2006 " *Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue, ai sensi dell'articolo 99, comma 1, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152*" (che riprende sostanzialmente il precedente decreto 185/2003) stabilisce anche i requisiti di qualità chimico-fisici e microbiologici che devono avere le acque reflue recuperate a destinazione irrigua. Il decreto sui reflui è l'unica norma che definisce limiti imperativi all'impiego delle acque in ambito irriguo.

Nella Tabella seguente i risultati vengono sintetizzati e messi a confronto con i Valori Limite specificati dal Decreto 2 maggio 2006.

Elemento o composto (µg/l)	fiume monte 1	fiume monte 2	diga monte	diga centro	diga valle	fiume valle 1	fiume valle 2	Valori Limite
Antimonio	0,00573	0,00658	0,01073	0,01096	0,01211	0,00216	0,00659	---
Arsenico	0,0153	0,011	0,0082	0,0124	0,0151	0,034	0,0827	0,02
Bario	0,0623	0,5688	0,335	0,6851	0,1213	0,041	0,6669	10
Cadmio	<0,000005	0,000018	0,000013	0,00022	0,000011	<0,000005	0,000049	0,005
Cromo totale	0,0007	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,1
Mercurio	0,000114	0,00011	0,000079	0,000086	0,000176	0,000274	0,0003	0,005
Molibdeno	0,00053	0,00072	0,00561	0,00421	0,00588	0,00194	0,00287	---
Nichel	0,0023	0,0034	0,005	0,0094	0,0108	0,0026	0,0082	0,2
Piombo	0,00053	0,00006	<0,00005	0,00007	0,0002	<0,00005	<0,00005	0,1
Rame	0,011	0,0124	0,0171	0,021	0,0125	0,009	0,0203	1
Selenio	0,0007	0,0006	0,001	0,0009	0,0007	0,0004	0,009	0,01
Zinco	0,0103	0,0087	0,0089	0,008	0,0082	0,0137	0,0135	0,5

Tabella 4.2 – Sintesi dei risultati analitici sui campioni di sedimenti

Per quanto riguarda i metalli, i campioni di sedimenti del fiume Fiora sottoposti a test di cessione evidenziano nell'eluato superamenti dei Valori Limite previsti per impiego irriguo delle acque solo relativamente all'Arsenico.

4.2 Caratterizzazione chimica dei sedimenti da rimuovere

La caratterizzazione del materiale da rimuovere a monte della diga è stata presentata nel documento CESI B3001335 *Diga di Vulci in Comune di Montalto di Castro (VT) – piano di utilizzo dei Sedimenti ai sensi del Decreto 161/2012* e viene qui ripresa.

Sono stati analizzati campioni del sedimento a diverse profondità, da una carota prelevata, per mezzo di sondaggio, in un punto rappresentativo dell'area di scavo prevista.

L'ubicazione del punto di campionamento è riportata nella Figura seguente.



Figura 4.2 - Ubicazione del punto di campionamento dei sedimenti da rimuovere

Sull'intera lunghezza della carota sono stati prelevati 4 campioni rappresentativi di diverse profondità dei sedimenti da rimuovere:

- 1.3 ÷ 1.4 m: campione 1° strato
- 3.5 ÷ 5.5 m: campione 2° strato
- 8.0 ÷ 10.0 m: campione 3° strato
- 12.9 ÷ 14.0 m: campione 4° strato

A profondità superiori a 14 metri dal piano campagna, il sondaggio ha reperito il substrato roccioso tefritico; la relativa stratigrafia è riportata nell'Allegato 2.

I risultati delle determinazioni analitiche del contenuto totale, espressi come sostanza secca, sono riportati nei Rapporti di Prova dell'Allegato 3.

Nella Tabella seguente i risultati vengono sintetizzati e messi a confronto con i valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) specificati dal D.lgs. 152/2006 relativi alla destinazione d'uso "verde pubblico, privato e residenziale" (colonna A, Tabella 1, Allegato 5 alla Parte Quarta).

Elemento o composto/i (mg/kg)	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato	CSC D.lgs 152/06 colonna A
Antimonio	14.4	<1	23.6	<1	10
Arsenico	24.6	17.7	35.4	13.1	20
Berillio	4.9	4.1	3.9	2	2
Cadmio	< 0.05	< 0.05	<0.05	<0.05	2
Cobalto	13.9	14.7	14.4	11.7	20
Cromo totale	31.3	30.6	33.1	23.8	150
Cromo VI	0.3	0.107	<0.1	0.178	2
Mercurio	5.4	13.5	20.4	4.36	1
Nichel	33	34	37	29.7	120
Piombo	26.9	23.8	23.5	13.2	100
Rame	33	36	37	23.9	120
Selenio	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	3
Stagno	1.5	1.32	1.23	0.552	1
Tallio	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1
Vanadio	60.6	55.9	51.4	43.6	90
Zinco	89	91	92	71	150

Tabella 4.3 – Sintesi dei risultati analitici sui campioni dei sedimenti da rimuovere

Il contenuto totale di metalli nei campioni di sedimenti da rimuovere evidenzia superamenti delle CSC per i parametri: Arsenico, Berillio, Mercurio, Stagno.

4.3 Caratterizzazione chimica dei terreni al sito di riutilizzo

I materiali provenienti dalla rimozione dei sedimenti a monte della diga saranno riutilizzati per riprofilatura in un'area in sponda sinistra, 250 m circa a monte della diga, e all'interno dell'area di invaso.

La caratterizzazione del terreno superficiale presso il sito proposto per la deposizione dei materiali rimossi è stata presentata nel documento CESI B3001335 *Diga di Vulci in Comune di Montalto di Castro (VT) – piano di utilizzo dei Sedimenti ai sensi del Decreto 161/2012* e viene qui ripresa.

Sono stati prelevati 5 incrementi di suolo superficiale, secondo una griglia con maglia di 50x50 metri, i quali sono stati successivamente riuniti a formare un campione composito.

I risultati delle determinazioni analitiche del contenuto totale, espressi come sostanza secca, sono riportati nei Rapporti di Prova dell'Allegato 4.

Nella Tabella seguente i risultati vengono sintetizzati e messi a confronto con i valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) specificati dal D.lgs. 152/2006 relativi alla destinazione d'uso "verde pubblico, privato e residenziale" (colonna A, Tabella 1, Allegato 5 alla Parte Quarta).

Elemento o composto/i (mg/kg)	sito di utilizzo	CSC D.lgs 152/06 colonna A
Antimonio	<1	10
Arsenico	18.1	20
Berillio	4.6	2
Cadmio	< 0.05	2
Cobalto	12.8	20
Cromo totale	20.3	150
Cromo VI	<0.1	2
Mercurio	6.5	1
Nichel	26.5	120
Piombo	25.4	100
Rame	23.9	120
Selenio	<0.3	3
Stagno	1.2	1
Tallio	<0.1	1
Vanadio	54.9	90
Zinco	71	150

Tabella 4.4 – Sintesi dei risultati analitici sul suolo superficiale al sito di utilizzo

Anche presso il sito proposto per il riutilizzo dei sedimenti rimossi a monte della diga, il contenuto totale di metalli supera le CSC per i parametri: Berillio, Mercurio, Stagno. Il tenore di Arsenico è prossimo alla CSC.

5 CONSIDERAZIONI SUL CONTESTO GEOCHIMICO DELL'AREA DEL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME FIORA E SUL CONTENUTO NATURALE DI ALCUNI METALLI NEI SEDIMENTI DEL BACINO IDRICO DI VULCI

Il fiume Fiora drena un vasto bacino idrografico (circa 825 Km²) che ha origine alle pendici del gruppo dell'Amiata e dopo un percorso di circa 80 Km sfocia nel Mar Tirreno all'altezza di Montalto di Castro (VT).

Le formazioni geologiche presenti nel bacino del Fiora sono prevalentemente di natura sedimentaria e vulcanica.

In particolare, nella porzione settentrionale, il bacino è impostato su litologie prevalentemente argillose, marnose e calcareo-marnose, afferenti alla "Formazione del Flysh" estesamente affiorante nell'area. Questi materiali sono stati interessati, direttamente o indirettamente, dall'attività magmatica plio-pleistocenica del complesso del Monte Amiata, dando luogo a diffuse mineralizzazioni a solfuri metallici (principalmente nel bacino del Fiora: Hg, Sb, As).

Tali mineralizzazioni hanno interessato anche i calcari cavernosi del Trias, affioranti solo sulla destra del Fiora nella porzione centro meridionale del bacino. Sulla sinistra del Fiora, invece, si rileva la presenza in affioramento delle vulcaniti appartenenti al complesso vulcanico dei Vulsini. Anche i sedimenti neogenici ed in particolare le estese formazioni sabbiose del Pliocene, risultano talvolta impregnate da mineralizzazioni a solfuri metallici. Tracce di tali mineralizzazioni sono state rinvenute anche nelle vulcaniti quaternarie del Monte Amiata (Dall'Aglio, 1966).

Gli scisti e quarzoscisti del Permiano rappresentano il substrato su cui poggiano tutte le altre formazioni.

La presenza delle mineralizzazioni, caratterizzate in tale area principalmente da cinabro (HgS) e stibina (Sb₂S₃), è connessa al complesso intrusivo-effusivo acido della Provincia Tosco-Laziale e alle forti anomalie geotermiche o ai campi geotermici che vi si manifestano (Locardi, 1976). In particolare, le mineralizzazioni sono localizzate al contatto tra le rocce carbonatiche del "Calcere Cavernoso" e le sovrastanti Unità flyshoidi (Lucci, 2012).

Tali aree sono state oggetto di un'intensa attività estrattiva legata alla coltivazione di miniere di solfuri metallici. L'interesse per le coltivazioni minerarie e per la metallurgia estrattiva in tali aree sono fatte risalire all'epoca preromana (Strappa, 1997).

L'intenso sfruttamento minerario nel territorio ha portato, per quei metalli oggetto di coltivazione, alla formazione di aureole di dispersione geochimica legate soprattutto all'azione di mobilizzazione operata dalle acque superficiali sui materiali in posto e sul materiale di risulta dell'attività mineraria.

Questo è attualmente osservabile, per esempio, nell'area compresa tra la foce del Mignone e il promontorio dell'Argentario, in corrispondenza della quale sono presenti concentrazioni anomale di Hg nei sedimenti marini superficiali (Baldi e Bargagli, 1982). In questo caso gli autori individuano la sorgente del minerale mercurifero (cinabro) nei sedimenti vulcanici del Monte Amiata apportati dal Fiora. Com'è possibile osservare nella figura seguente, l'area è caratterizzata da due anomalie geochimiche di cinabro (HgS) riconducibili al complesso del M. Amiata nel settore settentrionale e agli apporti terrigeni

del fiume Mignone derivanti dal complesso tolfetano, nel settore meridionale. Alcuni autori (Barghigiani et al., 1996) hanno evidenziato come l'anomalia mercurifera settentrionale sia stata ulteriormente potenziata nel corso del tempo da secoli di attività estrattiva del cinabro (dall'epoca etrusca all'inizio degli anni 80' del novecento).

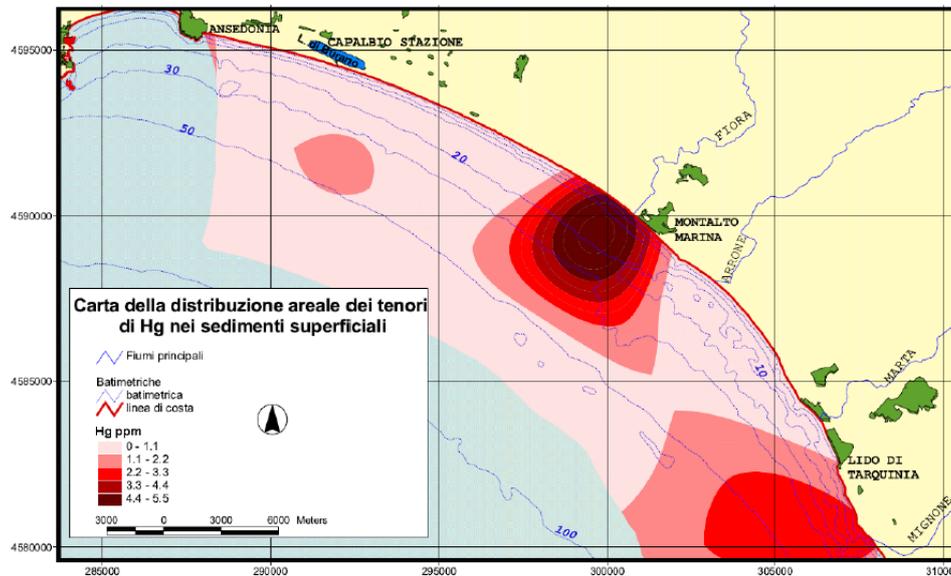
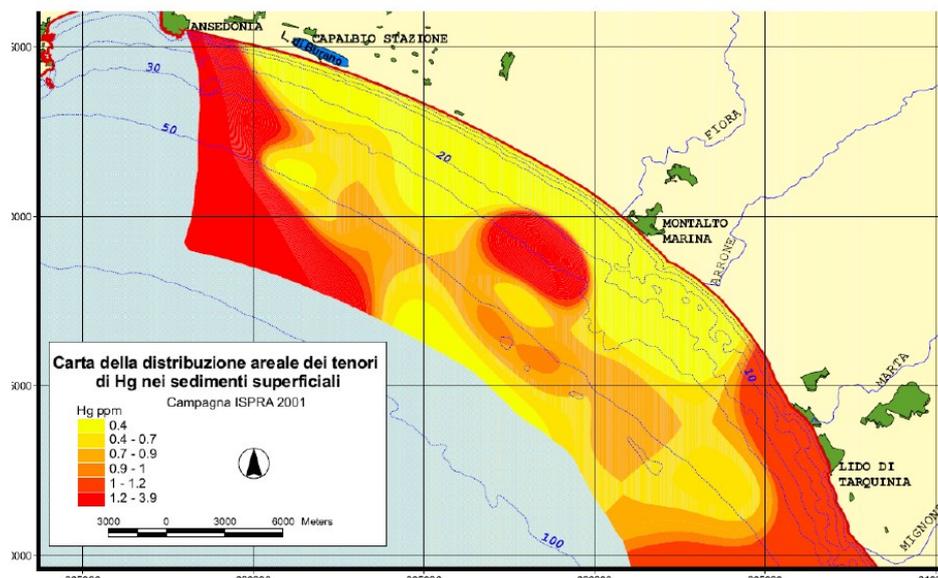


Figura 10 – Distribuzione areale di Hg nei sedimenti marini superficiali (Baldi e Bargagli, 1982, modificato)

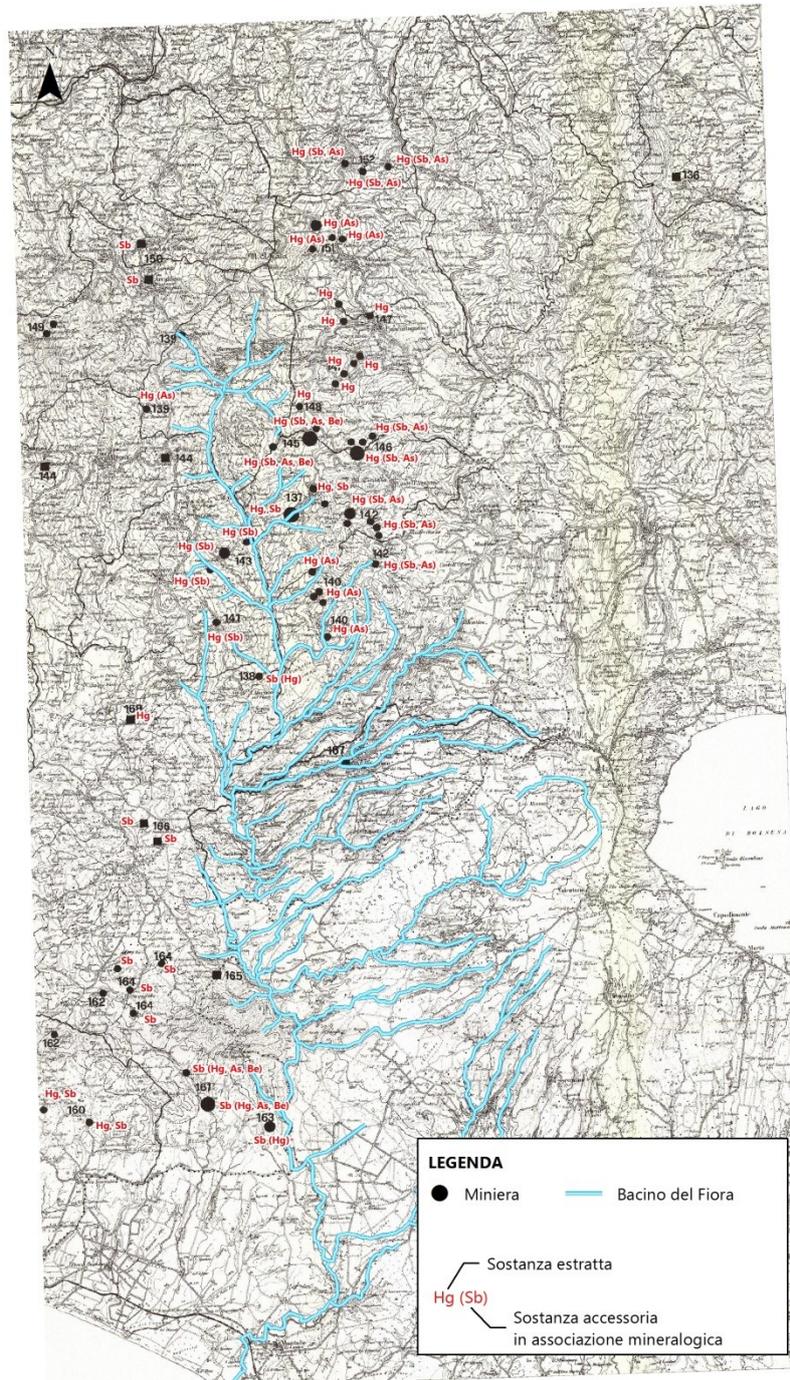


(Maggi et al., 2009)

Figura 5.1 – Rielaborazione cartografica delle concentrazioni nei sedimenti marini superficiali

Le concentrazioni superficiali riportate da Baldi e Bargagli (1982) risultano mediamente superiori rispetto alla successiva campagna ISPRa (2011), riportata da Maggi et al. (2009). La ragione di tale differenza quantitativa è da ricercare, oltre che nel differente protocollo analitico utilizzato, anche nell'influenza esercitata dalle miniere di cinabro presenti nella Toscana meridionale, le cui attività sono cessate nel 1980.

Nella figura seguente si riporta la collocazione delle principali miniere ricadenti nell'area del bacino idrografico del Fiora.



(Regione Toscana – Inventario de Patrimonio Minerario e Mineralogico in Toscana, 1991)

Figura 5.2 – Collocazione geografica delle principali miniere di Hg e Sb nell'area del Fiume Fiora

Com'è possibile osservare dalla figura sopra riportata, le principali sostanze estratte sono rappresentate da Mercurio e Antimonio, con sostanze accessorie costituite da Arsenico e Berillio.

La Diga di Vulci è localizzata lungo l'asta del fiume Fiora e il suo invaso risulta caratterizzato da materiali detritici alluvionali di ruscellamento e di colmata, derivanti dal disfacimento dei litotipi affioranti nel bacino imbrifero retrostante e depositati dal corso d'acqua lungo il suo percorso. Tali sedimenti, essendo dipendenti dalla natura litologica dei litotipi da cui il suolo si è formato e dai processi pedogenetici connessi, sono rappresentativi del contesto geochimico dell'area vasta, in quanto presentano un contenuto mineralogico che deriva dal marker geochimico della roccia/soilo di provenienza. Infatti, il sedimento fluviale è un sedimento di ampio uso in geochimica per definire le abbondanze degli elementi chimici nell'ambiente di superficie e per ricostruire la loro distribuzione. Ciò deriva dal fatto che, per sua natura il sedimento fluviale rappresenta, da un punto di vista geochimico, un "campione medio" rappresentativo dei processi attivi di erosione di rocce e suoli presenti nel bacino fluviale a monte del sito di campionamento, nonché dei successivi meccanismi di trasporto e sedimentazione. Nelle alluvioni fluviali, i minerali pesanti, per le loro particolarità, tendono ad arricchirsi notevolmente in questi depositi rispetto alle rocce che inizialmente li contenevano (Dall'Aglio, 1966).

Pertanto, i tenori di alcuni metalli (Sb, As, Be, Hg, Sn) risultati eccedenti i relativi limiti normativi nei materiali presenti nell'invaso della Diga di Vulci, che saranno oggetto di attività di escavazione, sono da attribuire a cause di origine naturale connesse con le caratteristiche geochimiche di alcuni litotipi presenti nell'area amiatina e in particolare legate alla presenza di mineralizzazioni a solfuri metallici ed al loro intenso sfruttamento.

In particolare, riguardo l'antimonio questo è presente nelle mineralizzazioni sotto forma di stibnite (Sb_2S_3); sono inoltre presenti in associazione a tali mineralizzazioni, minerali di antimonio quali:

- cervantite: $Sb^{3+}Sb^{5+}O_4$ (Casoli, 1977);
- kermesite: Sb_2S_2O (Meli, 2000);
- metastibnite: Sb_2S_3 (Bardi, 2007);
- sénarmontite: Sb_2O_3 (Meli, 2000);
- valentinite: Sb_2O_3 (Meli, 2000);
- chapmanite: $Sb^{3+}Fe^{3+}(SiO_4)_2(OH)$.

Il mercurio è presente sotto forma di cinabro (HgS), come sopraccitato.

L'arsenico si rinviene frequentemente in associazione a tali mineralizzazioni, sotto forma di orpimento (As_2S_3), arsenopirite ($FeAsS$) o realgar (As_4S_4).

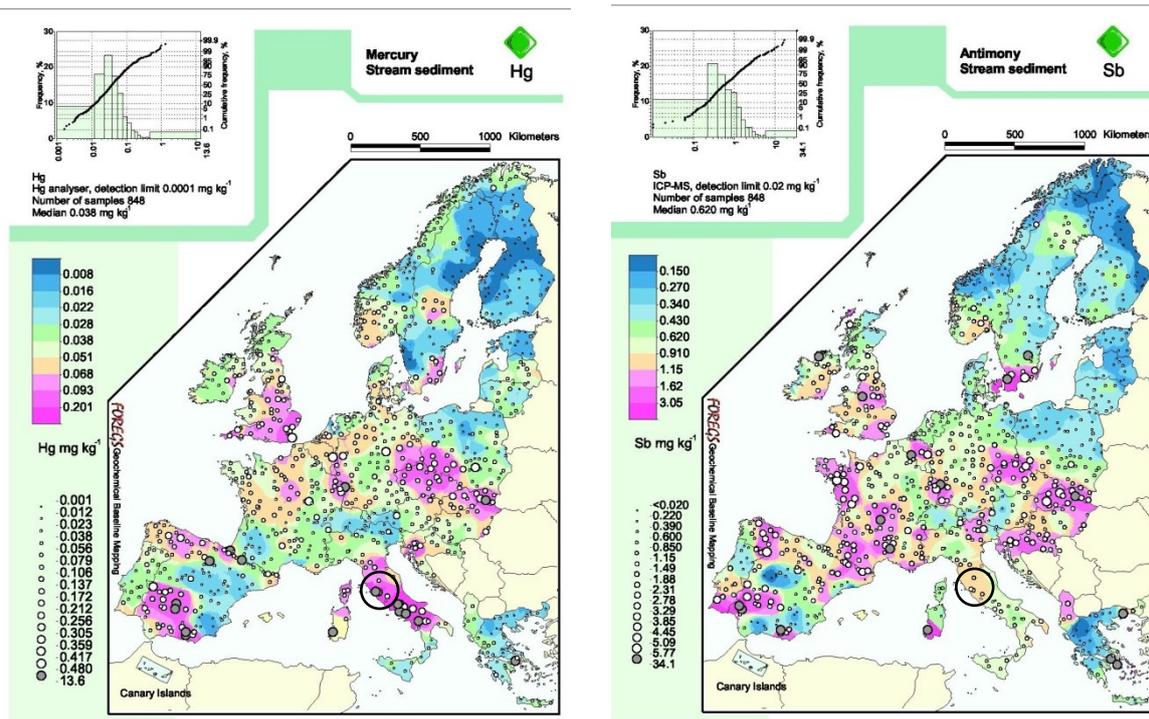
Riguardo al berillio, esso è contenuto nelle vulcaniti acide della "serie toscana" come pure nelle vulcaniti vulsine, con tenori che si discostano poco dal valore di 10 ppm (Locardi, 1987). In particolare, nelle vulcaniti affioranti nell'area di Pitigliano (GR) si rinvencono minerali appartenenti al gruppo della cancrenite-sodalite, quali:

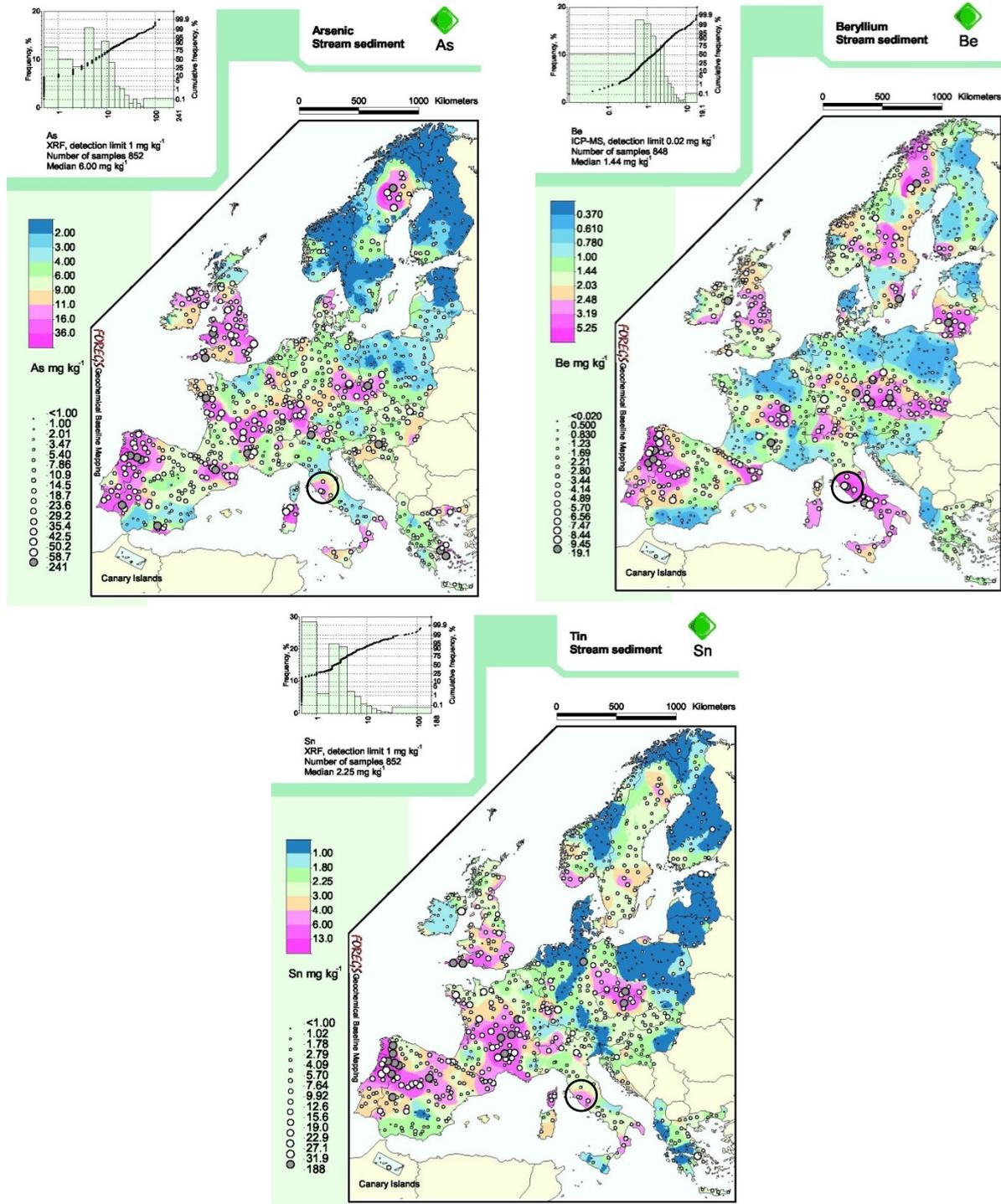
- franzinite $(Na,K)_6Ca_2(Al_6Si_6O_{24})(SO_4)_2 \cdot 0,5H_2O$ (Merlino, 1977a);
- liottite $(Na,K)_{16}Ca_8(Al_6Si_6O_{24})_3(SO_4)_5Cl_4$ (Merlino, 1977b);
- pitiglianoite $Na_6K_2(Al_6Si_6O_{24})(SO_4) \cdot 2H_2O$ (Merlino, 1991);

che possono contenere berillio. Inoltre, l'alto potere polarizzante degli ioni berillio rendono possibile il suo adsorbimento su argille e suoli. Infatti, i sedimenti argillosi pliocenici della provincia toscano-laziale contengono berillio fino a 8 ppm, contro le 2-3 ppm comunemente riscontrabili in argille di altre province. Le argille lacustri, originate dall'alterazione delle vulcaniti alcaline, raggiungono valori massimi di 30 ppm (Locardi, 1987). L'affinità geochimica del berillio con il fluoro, inoltre, rende possibile la sua concentrazione nei depositi di fluorite (Locardi, 1987), presenti nelle vicinanze del Fiora (Nord di Catabbio o Miniera Le Solforate-M.Civitella).

Riguardo lo stagno, esso è compatibile con i litotipi presenti nella porzione settentrionale del bacino del Fiora ed in particolare con le mineralizzazioni a solfuri misti. Inoltre, è segnalata la presenza di stagno nelle ganghe di alcune discariche minerarie, sotto forma di cassiterite (SnO_2).

A sostegno di ciò, i dati raccolti nell'ambito del progetto europeo Geochemical Baseline Mapping Programme promosso dal Forum of European Geological Surveys' Directors (FOREGS), evidenziano in quest'area un'anomalia geochimica, legata alla presenza di alcuni metalli nei sedimenti fluviali, com'è possibile osservare nella figura seguente.





(Fonte: FOREGS)

Figura 5.3 – Mappa della concentrazione di Hg, Sb, As, Be e Sn nei sedimenti fluviali d'Europa

A titolo esemplificativo, nel seguito si riporta un confronto tra i dati analitici derivanti dalla caratterizzazione dei materiali nell'area del bacino di Vulci e quelli relativi all'esecuzione di una campagna geochimica effettuata nella zona dei Monti Romani (area della miniera di Tafone) su campioni di top-soil prelevati in corrispondenza e nell'intorno dell'area della miniera (Protano e Riccobono, 1997). Gli autori sulla base di questa

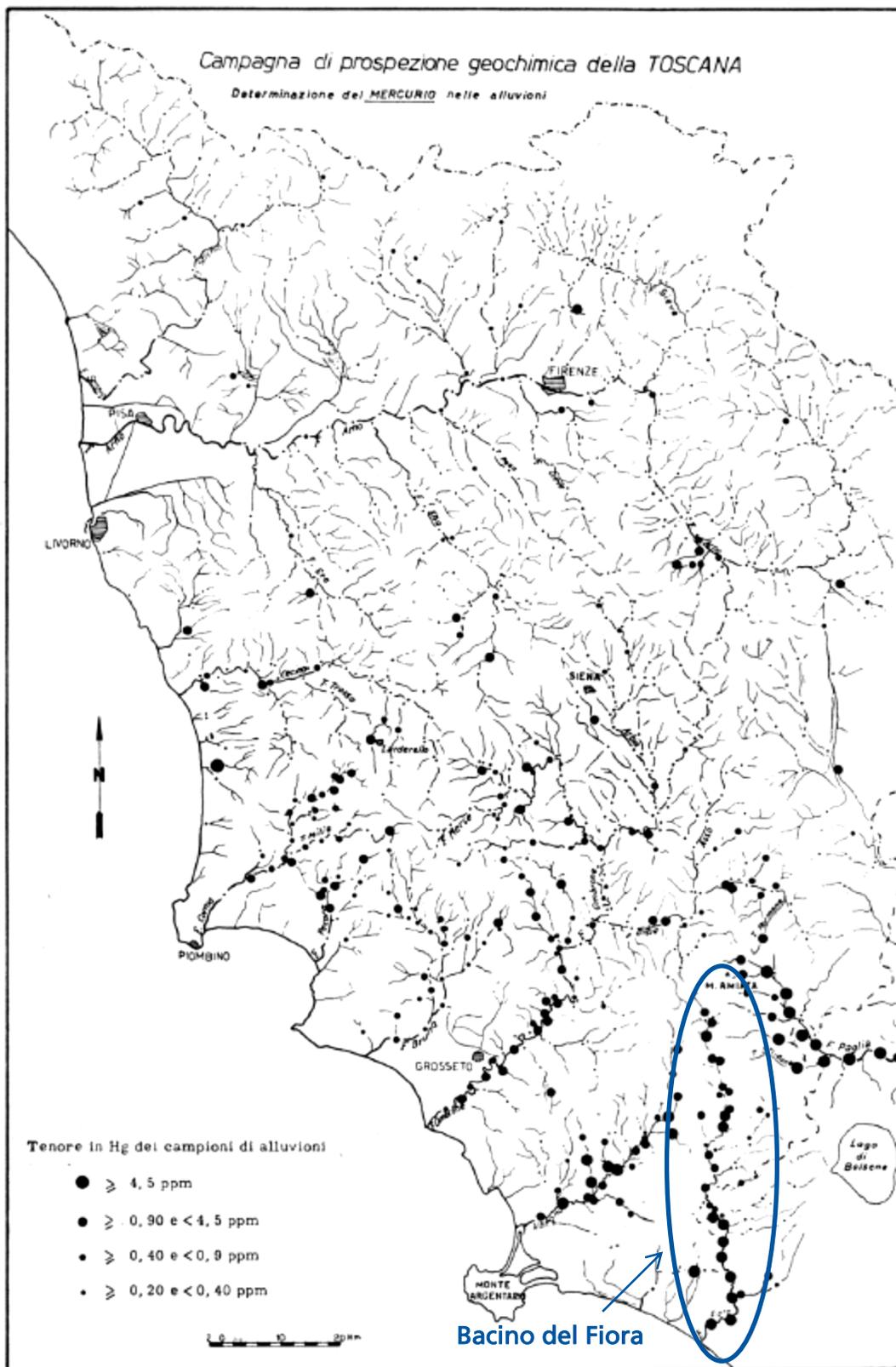
indagine hanno evidenziato la presenza di diffusi e marcati fenomeni di inquinamento per alcuni metalli (Sb, As, Hg) nell'area compresa tra i bacini del torrente Chiarone e Tafone (Protano e Riccobono, 1997); quest'ultimo, almeno nel tratto settentrionale del bacino, scorre a pochi chilometri a ovest dall'alveo del fiume Fiora e il relativo bacino idrico presenta le stesse caratteristiche geochimiche del Fiora. Lo studio evidenzia, nei top soil prelevati nell'intorno della miniera a cielo aperto, valori compresi tra 54 – 15.113 mg/Kg per Sb e tra 38 – 899 mg/Kg per As. Il mercurio si presenta in range compresi tra concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale (<0,01) e 72 mg/Kg. Tutti i campioni, ad eccezione di uno (conforme per Sn), presentano valori eccedenti le relative CSC (Tabella 1, Col. A, Allegato 5, Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs. 152/06). Nei top-soil prelevati in aree agricole nell'intorno dell'area mineraria, le concentrazioni risultano piuttosto costanti e risultano valori meno anomali, in particolare: valori compresi tra 13 – 52 mg/Kg per Sb e tra 27 – 47 mg/Kg per As; il mercurio è stato analizzato in solo campione che ha mostrato concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale (<0,01). Tutti i campioni, ad eccezione di uno (conforme per Sn), presentano valori superiori alle relative CSC (Tabella 1, Col. A, Allegato 5, Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs. 152/06).

Dal confronto con i risultati analitici ottenuti dai campioni di suolo prelevati all'interno del bacino idrico della diga di Vulci, di cui al precedente capitolo 4, si evince che i valori ottenuti per Sb (<1 - 24 mg/Kg) e As (13 – 35 mg/Kg) risultano compresi nel range dei valori ottenuti dallo studio di Protano e Riccobono (1997). Si precisa che il confronto è stato effettuato solo per alcuni analiti (Sb, As, Hg) dal momento i restanti metalli in esame (Be e Sn) non erano oggetto dell'indagine geochimica del 1997.

Ulteriori informazioni, relative alla distribuzione del mercurio, derivano da due studi condotti sui materiali alluvionali della Toscana meridionale.

Il primo, condotto dal Comitato nazionale per l'energia nucleare (CNEN) nel 1962 e pubblicato Dall'Aglio et al. (1966), evidenzia la distribuzione areale dei tenori di mercurio nelle alluvioni della Toscana mostrando una notevole correlazione tra gli stessi ed aree con la presenza di mineralizzazioni o processi termali. Al contrario tutte le zone in cui tali fenomeni risultano assenti, presentano i tenori più bassi riscontrati nella regione esplorata, qualsiasi siano le formazioni geologiche affioranti (Dall'Aglio, 1966). La distribuzione areale dei tenori di mercurio porta all'individuazione di alcune zone anomale, tra cui il bacino del fiume Fiora.

In particolare, la campagna d'indagine effettuata lungo la sponda del fiume Fiora ha evidenziato che la maggior parte dei campioni di sedimenti alluvionali prelevati mostra concentrazioni maggiori di 4,5 mg/Kg o concentrazioni comprese tra 0,9 e 4,5 mg/Kg, com'è possibile osservare nella figura seguente.

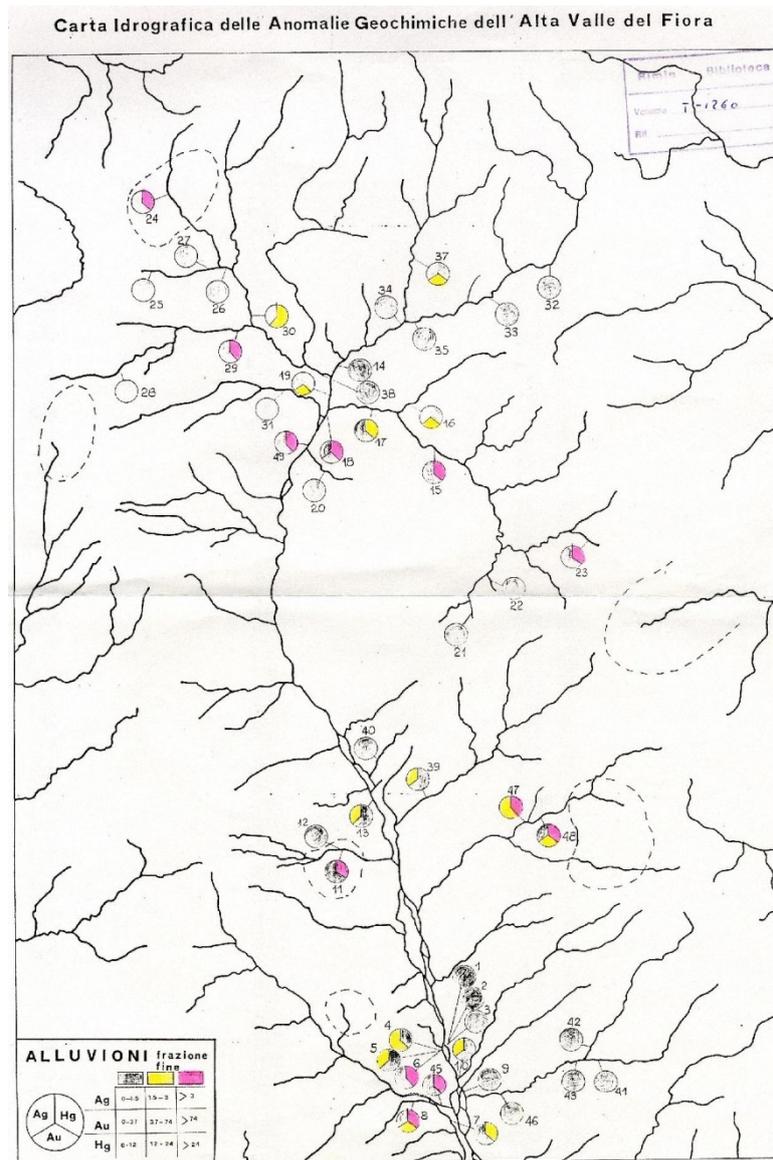


(Dall'Aglio et al., 1966, modificato)

Figura 5.4 – Distribuzione del tenore di Hg nelle alluvioni della Toscana meridionale

Risulta interessante sottolineare come la persistenza dell'anomalia risulta più marcata nelle aree più lontane dai grandi giacimenti amiadini (Dall'Aglio, 1966).

La figura seguente, che riporta un dettaglio dei punti di campionamento dei sedimenti nell'Alta Valle del fiume Fiora, evidenzia la presenza di concentrazioni anomale con tenori in Hg >24 mg/Kg.



(Dall'Aglio et al., 1966)

Figura 5.5 – Carta idrografica delle anomalie geochimiche dell'alta valle del Fiora

Il secondo studio, condotto dall'Università di Firenze – Dipartimento di Scienze della Terra tra il 1987-1988, riguarda un'indagine geochimica su alcuni elementi metallici su rocce, acque superficiali e alluvioni del bacino dell'Alto Fiora (Chersicla, 1988).

Lo studio conferma quanto già evidenziato da Dall'Aglio et al. (1966), con un valore medio nella frazione fine delle alluvioni pari a 4,5 mg/Kg. Lo studio sottolinea che per ottenere tale valore medio non sono stati considerati tutti i valori analitici superiori a 50 mg/Kg (Chersicla, 1988). Inoltre, su alcune litologie affioranti nell'area del bacino dell'alto

Fiora, sono state definite le concentrazioni medie di mercurio in tali litologie. In particolare: nelle vulcaniti risulta una concentrazione media di Hg pari a 42 mg/Kg; nei calcari risulta una concentrazione media di Hg pari a 25 mg/Kg.

Pertanto, dal confronto con i risultati analitici ottenuti dai campioni di suolo prelevati all'interno del bacino idrico della diga di Vulci, di cui al precedente capitolo 4, si evince che i valori ottenuti per Hg (4 - 20 mg/Kg) risultano compresi nel range dei valori ottenuti dai succitati studi.

Detto quanto sopra, appare evidente che **le concentrazioni di alcuni metalli (Sb, As, Be, Hg, Sn) con valori eccedenti i relativi limiti normativi, osservate in alcuni campioni di sedimento provenienti dalla diga di Vulci, sono riconducibili al contesto geochimico del bacino idrografico del fiume Fiora ed all'intensa attività di estrazione mineraria storicamente ivi presente.**

5.1 Bibliografia

Baldi F., Bargagli R. (1982) – Chemical leaching and specific surface area measurements of marine sediments in the evaluation of mercury contamination near cinnabar deposits. *Mar. Environ. Res.*, 6, pagg. 69-82.

Barghigiani C., Ristori T., Lopez Arenas J. (1996) – Mercury in marine sediment from a contaminated area of the northern Tyrrhenian sea: < 20 µm grain size fraction and total sample analysis. *The science of the total environment 192*, pagg. 63-73.

Casoli C. (1977) – S. Martino sul Fiora: C'è scavo e scavo. *Ed. Minerama*, pagg.18-20.

Dall'Aglio M., Da Roit R., Orlandi C., Tonani F. (1966) – Prospezione geochimica del mercurio. Distribuzione del mercurio nelle alluvioni della Toscana. *L'Industria Mineraria, anno XVII*, pagg. 391-398.

Liotti L., (1991) – I minerali dei vulcani laziali a Pitigliano (Grosseto). *Rivista Mineralogica Italiana, 15 (3)*, pagg. 121-139.

Locardi E. (1976) – L'ambiente metallogenico del Lazio settentrionale. *Soc. Italiana di Mineralogia e Petrografia. Rendiconti, Vol XXXII (1)*, pagg. 3-13.

Locardi E., Battistella F. (1987) – *L'Industria Mineraria, n. 2*, pagg. 5-20.

Lucci F., Masella F. (2012) – La stibnite della Valle del Tafone (Manciano - GR). *// Cercapietre 1-2*, pagg. 56-63.

Maggi C., Nonnis O., Paganelli D., Tersigni S., Gabellini M. (2009). Heavy metal distribution in the relict sand deposits of the Latium continental shelf (Tyrrhenian Sea, Italy). *Journal of Coastal Research 56*, pagg. 1237-1241.

Meli R. (2000) – L'antica miniera antimonifera di S. Martino sul Fiora, Mancianese (Grosseto). *Rivista Mineralogica Italiana, 2/2000*, pagg. 111-113.

Merlino S., Orlandi P. (1977a) – Liottite, a new mineral in cancrinite-davyne group. *American Mineralogist*, Volume 62, 321-326.

Merlino S., Orlandi P. (1977b) – Franzinite, a new mineral phase from Pitigliano (Italy). *Neues Jahrbuch für Mineralogie Mh.*, pagg. 163-167.

Merlino S., Mellini M., Bonaccorsi E., Pasero M., Leoni L., Orlandi P. (1991) – Pitiglianoite, a new feldspathoid from southern Tuscany, Italy: chemical composition and crystal structure. *American Mineralogist*, Volume 76, pagg. 2003-2008.

Protano G., Riccobono F. (1997) – Environmental levels of Antimony, Arsenic and mercury in the Tafone mining area (Southern Tuscany, Italy). *Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Serie A*, 104, pagg. 75-83.

Regione Toscana – Dipartimento Ambiente (1991) – Inventario del Patrimonio Minerario e Mineralogico in Toscana. Aspetti naturalistici e storico-archeologici – Schede e bibliografia.

Strappa O. (1997) – Storia delle miniere di Mercurio del Monte Amiata. *L'Industria Mineraria*, pagg. 252-439.

Università degli Studi di Firenze. Dipartimento di Scienze della Terra – Indagine Geochimica su alcuni elementi metallici in rocce, acque ed alluvioni del bacino dell'alto Fiora. Tesi di Laurea di Chersicla A. (1988).

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dal punto di vista compositivo, i sedimenti fluviali del Fiora, i sedimenti da rimuovere a monte della diga e il terreno superficiale presso il sito di utilizzo risultano del tutto simili, con concentrazioni superiori alle CSC previste dal D.lgs. 152/06 (colonna A, Tabella 1, Allegato 5 alla Parte Quarta) per quei metalli che costituiscono le principali mineralizzazioni presenti nell'area del bacino imbrifero del fiume (Antimonio, Arsenico, Berillio, Mercurio, Stagno).

Le concentrazioni di metalli misurate sono dello stesso ordine di grandezza nei sedimenti a monte e a valle della diga, nei sedimenti da rimuovere e nel terreno superficiale al sito di utilizzo e rientrano nel range dei valori ottenuti negli studi e indagini di letteratura relative sedimenti alluvionali della Toscana meridionale e ad alcuni suoli nell'intorno del bacino imbrifero del fiume Fiora.

D'altra parte, il fiume Fiora è relativamente esente da impatti di tipo antropico e gli unici impatti che si registrano sono imputabili alla presenza della popolazione residente e delle attività agricole e zootecniche; non si conoscono scarichi di tipo industriale.

L'abbondanza riscontrata di metalli è quindi compatibile con la presenza naturale dovuta alla natura dei litotipi presenti nell'area del bacino imbrifero del fiume Fiora sotteso dalla diga di Vulci ed allo sfruttamento minerario condotto in tempi storici.

Ciò è coerente con il meccanismo della genesi dei sedimenti stessi, i quali originano dalle rocce presenti nelle aree a monte del bacino imbrifero, che sono state smantellate per disgregazione meteorica; i materiali fini così generati sono successivamente stati trasportati dal colluvio fino a raggiungere il fondo valle, per poi essere trasportati dai corsi d'acqua superficiali. In risposta alle variazioni del regime idrologico, il materiale solido trasportato dai corsi d'acqua tende a sedimentare e ad accumularsi, in maniera più marcata laddove la velocità delle acque risulta rallentata, come è il caso dei bacini lacustri.

I materiali da rimuovere, pertanto, non sono altro che i sedimenti trasportati a valle assieme alle acque del fiume Fiora e accumulatisi all'interno del bacino, come risultato di processi naturali; la loro origine e composizione sono del tutto naturali. Tali materiali, per la loro genesi, sono rappresentativi del contesto geochimico dell'area vasta.

Quanto al potenziale rischio di rilascio di metalli nelle acque, bisogna tenere in considerazione che:

- i materiali geologici da cui originano i sedimenti sono stati inizialmente lisciviati dall'acqua meteorica che ha provocato la disgregazione della roccia madre;
- dopo avere raggiunto i corsi d'acqua superficiali, gli stessi materiali sono stati trasportati e sono rimasti sempre in contatto con l'acqua;
- la durata dei processi dei due punti precedenti è stata estremamente lunga, di certo molto più lunga dei tempi di corruzione delle acque del fiume, e dell'ordine delle centinaia/migliaia di anni;
- durante tutto questo tempo i materiali hanno avuto modo di esplicare il loro potenziale di rilascio dei metalli;
- per quanto riguarda i metalli, i campioni di sedimenti del fiume Fiora sottoposti a test di cessione evidenziano nell'eluato superamenti dei Valori Limite previsti per impiego irriguo delle acque solo relativamente all'Arsenico (e questo solo nei campioni prelevati a valle della diga)
- le caratteristiche composizionali dei sedimenti rimossi non si differenziano da quelle dei sedimenti già naturalmente presenti nell'alveo del fiume, e quindi ci si

può attendere che analogo sia il loro potenziale di rilascio di metalli verso le acque;

- una volta rimossi e depositi presso il sito proposto per il loro riutilizzo, questi stessi materiali si troveranno in asciutta, ancorché esposti solo alle precipitazioni meteoriche e quindi alla sola azione liscivante delle acque di pioggia, intermittente nel tempo e la cui percolazione viene ridotta dalla evapotraspirazione.

Si può quindi affermare che il potenziale rischio di contaminazione da metalli verso le acque superficiali, in riferimento all'uso irriguo, non può essere diverso da quello che deriva, indipendentemente da ogni operazione di gestione delle sbarramento, dai sedimenti fluviali che già sono presenti nell'alveo del fiume, in una situazione del tutto naturale che non è altro che l'espressione di una facies geochimica che caratterizza tutta l'area vasta della Toscana meridionale.

Quanto al rischio sanitario nei confronti della salute pubblica, anche in questo caso si può affermare che esso non sarà differente da quello che già ora è insito nei terreni dell'area e in particolare del terreno superficiale presso il sito proposto per il riutilizzo dei sedimenti rimossi. In questa valutazione si deve tenere in considerazione anche il fatto che le aree non sono oggetto di un uso residenziale, quindi che la presenza di recettore umani esposti è solo occasionale e di breve durata, rendendo quindi trascurabile l'esposizione associata.

ALLEGATO 1

Nautilus Società Cooperativa

Rapporti di Prova – sedimenti fluviali

Tot. pagg. 71

ALLEGATO 2

Technosoil s.r.l.

Stratigrafia di sondaggio

Tot. pagg. 3

ALLEGATO 3

R&C

Rapporti di Prova – Materiali da rimuovere

Tot. pagg. 17

ALLEGATO 4

R&C

Rapporti di prova – Terreno al sito di riutilizzo

Tot. pagg. 5