

## **MONITORAGGIO AREE GEOTERMICHE**

### **ATTIVITÀ 2001 - 2003**

*Il presente rapporto illustra le attività svolte da ARPAT nel biennio durante il quale l'Agenzia ha continuato, con le sole risorse proprie e senza alcun contributo pubblico, il controllo della qualità dell'aria, il biomonitoraggio integrato avanzato, lo studio modellistico sulle ricadute umide e secche, l'attività dello sportello informativo, ed ha iniziato, ex novo, l'analisi lichenologica con la collaborazione dell'Università di Siena.*

*La Regione Toscana, a seguito del trasferimento delle competenze nella materia geotermica dallo Stato alla stessa Regione, nello stesso periodo, ha incaricato ARPAT del controllo sulle emissioni delle centrali geotermoelettriche sulla base di apposita convenzione attuativa della Deliberazione del Consiglio Regionale del 30.01.2002 (scheda n.18 del P.R.T.A.). L'Agenzia, già nel corso del 2001, aveva iniziato a predisporre l'organizzazione e la pianificazione dei controlli delle emissioni provenienti dalle centrali geotermoelettriche: gli operatori del gruppo addetto a tale attività sono stati infatti assunti nell'ottobre 2001, sono stati formati ed hanno effettuato l'attività di controllo nel corso del 2002 e del 2003.*

*Tale attività, non di routine, di elevata complessità, sia nella fase di campionamento che in quella di analisi dei contaminanti, ha richiesto, per la specificità, per i problemi di sicurezza e per la necessità di interagire con la Società Enel Green Power, tempi di formazione ed avvio abbastanza lunghi.*

*Il lavoro fin qui svolto rappresenta, ancora una volta, un contributo valido per una migliore conoscenza e valutazione dell'impatto ambientale che la geotermia esercita sul territorio e costituisce uno strumento utile per il decisore politico per le prospettive future delle attività di sfruttamento geotermoelettrico, anche sulla base dei risultati emersi nel controllo della centrale Bagnore 3, centrale che è dotata, come è noto, di impianto funzionante AMIS di abbattimento per Acido solfidrico e Mercurio.*

*Piancastagnaio, 13 Dicembre 2003*

*Alessandro Lippi, Direttore Generale ARPAT*

## INDICE

<b>1</b>	<b><i>PREMESSA</i></b> .....	<b>5</b>
1.1	Valutazione sui contaminanti.....	6
<b>2</b>	<b><i>MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA</i></b> .....	<b>8</b>
2.1	Matrice aria.....	8
2.2	Valori di riferimento e prima sintesi.....	8
2.3	Analisi per singola postazione .....	13
2.4	Ulteriori attività di monitoraggio della qualità dell'aria .....	22
<b>3</b>	<b><i>MODELLISTICA DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI</i></b> .....	<b>26</b>
3.1	Obiettivi .....	26
3.2	I dati di origine e i metodi di analisi.....	26
3.2.1	I dati meteorologici .....	26
3.2.2	I dati chimici .....	27
3.2.3	I dati delle centrali .....	28
3.2.4	L'organizzazione dei dati .....	30
3.2.5	Le tecniche di analisi .....	34
3.3	I risultati.....	35
3.3.1	Analisi dei parametri meteorologici.....	35
3.3.2	Analisi dei parametri chimici.....	37
3.3.3	Analisi congiunta dei parametri meteorologici e chimici .....	42
3.4	Valutazioni .....	49
3.5	Prime conclusioni.....	50
<b>4</b>	<b><i>ATTIVITÀ DI CONTROLLO DELLE EMISSIONI DEGLI IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DAI FLUIDI GEOTERMICI</i></b> .....	<b>51</b>
4.1	Pianificazione dei controlli.....	52
4.2	Organizzazione, metodologia e procedure dei controlli.....	54
4.3	Caratteristiche delle centrali.....	55
4.4	Impianti controllati.....	56
4.5	Risultati.....	59
4.6	Valori di emissione inquinanti .....	61
4.7	Considerazioni .....	70

## **5 BIOMONITORAGGIO INTEGRATO AVANZATO SUL TERRITORIO DELL'AMIATA: VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE ATTRAVERSO LA BIODIVERSITÀ LICHENICA ..... 71**

5.1	Premessa .....	71
5.2	Licheni e geotermia.....	71
5.3	Obiettivi dell'indagine .....	73
5.4	Metodologia d'indagine.....	74
5.5	Protocollo operativo.....	74
5.6	Selezione delle dieci stazioni di dettaglio .....	75
5.7	Protocollo operativo.....	76
5.8	Interpretazione dei dati.....	76
5.9	Analisi dei risultati.....	77
5.9.1	Area geotermica di Piancastagnaio .....	77
5.9.2	Area geotermica di Bagnore .....	78
5.10	Conclusioni .....	78

## **6 BIOMONITORAGGIO INTEGRATO AVANZATO SUL TERRITORIO DELL'AMIATA: VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE ATTRAVERSO BIOSENSORI COSTITUITI DA SPECIE ERBACEE, ARBOREE E ARBUSTIVE..... 81**

6.1	Introduzione.....	81
6.2	Scelta nuove stazioni.....	83
6.3	Scelta nuovi biosensori .....	83
6.4	Campionamento - conservazione - preparazione dei biosensori vegetali.....	83
6.5	Manutenzione ordinaria bimestrale .....	84
6.6	Analisi chimiche .....	85
6.7	Interpretazione dei risultati delle analisi chimiche dei biosensori vegetali .....	89
6.8	Analisi dell'andamento dei livelli di concentrazione degli elementi .....	92
6.9	Conclusioni .....	106
6.10	Bibliografia citata e consultata .....	107
6.11	Sistema qualità .....	108
	Oggetto.....	108
	Gestione della Rete di Monitoraggio Biologico.....	109
	Disposizioni .....	109
6.12	Relazione del controllo di qualità.....	110

## **ARPAT**

Verifica della metodologia seguita per il campionamento dei biosensori.....	111
Verifica della metodologia seguita per la conservazione e preparazione dei campioni .....	111
Verifica della quantità e tipologia degli elementi chimici ricercati .....	111
Verifica delle metodologie utilizzate per le analisi chimiche.....	111
Verifica della metodologia seguita per le analisi statistiche dei risultati.....	112
 <b>7 SPORTELLLO INFORMATIVO .....</b>	<b>113</b>

## 1 PREMESSA

L'impatto ambientale determinato dallo sfruttamento dell'energia geotermica, sebbene sia stato considerato trascurabile fino agli anni '60, è stato poi oggetto, da diverso tempo, di indagini approfondite e costanti. Le risorse endogene a bassa entalpia utilizzate per la produzione di energia elettrica, sebbene contengano composti inquinanti, comportano un impatto ambientale generalmente più modesto rispetto a quello delle tradizionali centrali termoelettriche.

Lo sfruttamento di un campo geotermico può avere conseguenze negative per l'ambiente circostante in dipendenza del tipo di campo, delle modalità gestionali di sfruttamento, delle caratteristiche geologiche e morfologiche dell'area e delle condizioni meteo-climatiche locali, in particolare direzione ed intensità dei venti.

Tale attività produce sulle diverse matrici effetti che hanno come bersaglio finale gli organismi viventi, effetti dovuti all'aumento delle concentrazioni di elementi e composti taluni anche di rilevanza tossicologica. Anche se l'origine di questi inquinanti e composti è del tutto "naturale", la messa in produzione di un campo geotermico accelera il trasporto verso la superficie terrestre di fluidi con flussi di massa enormemente superiori a quelli rilevabili nelle manifestazioni naturali.

Ai fluidi geotermici, infatti, sono sempre associati dei gas incondensabili che, dopo l'utilizzazione in centrale, vengono scaricati nell'atmosfera. I gas incondensabili, costituiti essenzialmente da biossido di Carbonio ( $\text{CO}_2$ : 85,4%), ma anche da Acido solfidrico ( $\text{H}_2\text{S}$ : range 1-2%), Metano ( $\text{CH}_4$ : 0,4%) e Idrogeno ( $\text{H}_2$ : 0,1%), vengono scaricati direttamente in atmosfera assieme ad una piccola percentuale di elementi quali Mercurio (Hg) e Radon (Rn), tutti dotati di tossicità più o meno elevata. Gli eventuali impatti sulla salute dei cittadini esposti dipendono dalle concentrazioni di questi inquinanti e dai livelli di esposizione.

Tutti gli studi effettuati sono concordi nel ritenere che l'impatto ambientale dell'inquinamento atmosferico legato agli inquinanti della fase incondensabile emessa dagli impianti geotermoelettrici (Hg,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{NH}_3$ ) si estende per un raggio di alcuni chilometri – e nel caso del Mercurio subisce un complesso fenomeno di veicolazione – mentre quello associato alle ricadute del drift (e conseguentemente agli inquinanti in esso contenuti) si esercita nel raggio di alcune centinaia di metri dalle centrali e/o di poche decine di metri dai pozzi produttivi.

## **1.1 Valutazione sui contaminanti**

I riferimenti che ARPAT, nel corso delle indagini espletate sulla qualità dell'aria nella zona amiatina, ha adottato per una valutazione dei livelli di esposizione, come indicato in precedenza, sono quelli emanati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità.

Lo sfruttamento della risorsa geotermica comporta alcune forme di impatto ambientale, quali una modesta sottrazione di suolo e di vegetazione per la realizzazione di piazzole per pozzi e centrali, con effetti anche sul paesaggio, determinati, per lo più, dalla realizzazione di chilometri di vaporedotti, ma anche dalla presenza stessa di pozzi e centrali.

Per quanto riguarda l'area del Monte Amiata, in particolare, tenuto conto che si tratta di un'area interessata da anomalia geochemica, e da oltre un secolo di intensa attività minerometallurgica per l'estrazione del cinabro e la produzione di Mercurio – attività cessata negli anni '70 – e da diffusa circolazione idrotermale e geotermica, ai fini della valutazione del rischio effettivo è necessario considerare l'esposizione complessiva derivante sia da cause naturali che dalle emissioni degli impianti geotermoelettrici.

ARPAT ha rivolto una attenzione particolare ai problemi legati all'impatto ambientale delle centrali geotermoelettriche dell'ENEL (poi divenuta ERGA e, oggi, Enel GreenPower) sul territorio, privilegiando studi ed indagini sull'area amiatina, dove le caratteristiche dei fluidi geotermici sono "peggiori", per un maggior contenuto percentuale di incondensabili, rispetto alle altre zone tradizionali (Larderello).

ARPAT, come è noto, all'inizio della propria attività ha commissionato al Prof. Eros Bacci dell'Università di Siena un'indagine sullo stato dell'arte della geotermia in ambito internazionale, ed al Prof. Lorenzo Vallerini, dell'Università di Firenze, uno studio sull'impatto paesistico territoriale; inoltre ha, negli anni, effettuato monitoraggi sulle acque (che vanno ad aggiungersi a quelli elaborati a suo tempo dalla Azienda USL di Siena), sull'aria ambiente, sulle deposizioni al suolo umide e secche, ha condotto, infine, indagini modellistiche e di impatto acustico, ha effettuato il biomonitoraggio integrato avanzato.

I risultati delle indagini sono stati consegnati alla Regione Toscana e dagli Enti locali e sono stati oggetto di pubblicazione e di seminari di lavoro e di informazione.

L'attività pregressa più recente, inclusa la modellistica, i controlli sull'inquinamento acustico ed i controlli della qualità dell'aria, salvo alcune interruzioni a causa di inconvenienti alla strumentazione (riparazione/sostituzione di apparecchiature di produzione esclusiva nord-americana), si è svolta secondo i programmi annunciati.

## **ARPAT**

Su incarico della Giunta Regionale, ARPAT ha messo a punto – nel 2001 e nel 2002 – il programma di attività del "Progetto Geotermia", portandolo all'attenzione della Regione Toscana, delle Province di Siena, Grosseto e Pisa e delle Comunità Montane Amiata Senese, Amiata Grossetana e della Val di Cecina.

Sempre negli anni 2001-2002, sono proseguite le attività di cui alle convenzioni con la società Strategie Ambientali di Roma ed è stata stipulata una nuova convenzione con il Prof. Stefano Loppi dell'Università di Siena, riguardanti, rispettivamente, la prosecuzione del biomonitoraggio integrato avanzato e l'analisi lichenologica, ad integrazione del monitoraggio chimico della qualità dell'aria, attività avviata fin dal 1997.

## 2 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

### 2.1 Matrice aria

L'ambito territoriale relativo al programma di attività svolta negli ultimi mesi dell'anno 2000 fino all'anno 2002 comprende sia Comuni dell'area amiatina, sia 2 postazioni dell'area tradizionale di Larderello.

Seguendo l'articolazione prevista sono state effettuate campagne di misura della concentrazione aerodispersa di Mercurio ed Acido solfidrico nelle seguenti postazioni:

- Podere Marchese, Comune di Piancastagnaio (SI), periodo 21.09.2000÷27.11.2000;
- Fonte Natali, Comune di Piancastagnaio (SI), periodo 18.12.2000÷9.04.2001;
- Via Grossetana, Comune di Piancastagnaio (SI), periodo 21.08.2001÷13.09.2002;
- Podere Lavinacci, Comune di Piancastagnaio (SI), periodo 16.05.2002÷1.07.2002;
- Monte Cerboli, Comune di Pomarance (PI), periodo 11.04.2001÷25.04.2001;
- Sasso Pisano, Comune di Castelnuovo Val di Cecina (PI), periodo 26.04.2001÷10.05.2001;
- Larderello, Comune di Pomarance (PI), periodo 1.06.2001÷8.06.2001
- Bagnore, Comune di Santa Fiora (GR), periodo 19.04.2000 ÷ 14.03.2002;
- Arcidosso, Comune di Arcidosso (GR), periodo 05.05.2000 ÷ 27.09.2000.

### 2.2 Valori di riferimento e prima sintesi

L'Acido solfidrico, sostanza dotata di un particolare odore, possiede anche un valore di soglia olfattiva molto bassa; tale valore è inteso come livello di concentrazione al di sopra del quale il 50 % dei soggetti esposti percepisce il caratteristico odore dell'inquinante. In funzione della sensibilità individuale dei soggetti esposti la soglia olfattiva dell'Acido solfidrico varia in un ampio intervallo di concentrazioni. Alcuni soggetti particolarmente sensibili sono, infatti, in grado di percepirne l'odore già a livelli di concentrazione dell'ordine dei  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . E' comunque accettato dalle Comunità scientifiche che alla concentrazione di  $7.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  l'odore dell'ac. Solfidrico viene percepito dalla quasi totalità dei soggetti esposti e che, se tale livello di concentrazione è superato per un periodo di tempo superiore ai 30 minuti, possono manifestarsi disturbi sensoriali su una parte degli individui esposti. Pertanto nel commento dei risultati acquisiti il termine di confronto utilizzato come soglia olfattiva è il valore di  $7.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ritenuto il più appropriato, in quanto a tale concentrazione la maggior parte dei soggetti esposti, anche se non la totalità, è comunque in grado di percepire l'odore caratteristico dell'Acido solfidrico.



Al solo scopo di valutazione, un buon riferimento per i livelli di Mercurio ed Acido solfidrico ammissibili nell'aria può essere la pubblicazione *“Air quality guidelines for Europe ; second edition”* (WHO regional publications. European series ; No. 91- Copenhagen) del 2000.

Nella prefazione di questa guida è affermato:

*“Lo scopo della guida è di fornire una base per proteggere la salute pubblica dagli effetti nocivi degli inquinanti dell'atmosfera e di eliminare o ridurre l'esposizione a quegli inquinanti che sono conosciuti o potrebbero essere pericolosi per la salute umana o il proprio benessere. La pubblicazione è pensata per fornire una guida e le informazioni di base alle autorità (inter)nazionali o locali per decisioni riguardanti la determinazione e la gestione dei rischi. Nello stabilire che livelli di inquinanti sotto i quali l'esposizione – per tutta la vita o per un dato periodo di tempo – non costituisce un significativo rischi di salute pubblica, la guida fornisce una base per la definizione di standard o valori limite per inquinanti in aria (pag IX)”*

A pagina 5 è inoltre affermato:

*“Si accetta che l'inalazione di un inquinante in aria in concentrazioni e per tempi di esposizione inferiori a un valore guida non avrà effetti avversi sulla salute e, nel caso di composti odoriferi, non creerà un disturbo con effetti indiretti sulla salute. Questo è in accordo con la definizione di salute: uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non la sola assenza di malattia o infermità. Nondimeno, il rispetto di raccomandazioni che riguardano i valori guida non garantiscono l'esclusione assoluta di effetti a livelli sotto tali valori. Per esempio, gruppi molto sensibili come quelli minati da malattie concorrenti o altre limitazioni fisiologiche possono mostrare effetti alle concentrazioni vicine a quelle, o coincidenti, riportate nelle linee guida. Effetti sulla salute alle concentrazioni guida o vicine a queste, possono anche derivare da esposizione combinata a vari agenti chimici o dall'esposizione al medesimo agente da percorsi multipli”*

La guida si basa sull'introduzione del LOAEL (Lowest-observed-adverse-effect level) che è la più bassa concentrazione di una sostanza che è in grado di causare un qualunque effetto sulla salute umana. Per determinare il valore guida LOAEL viene diviso per un fattore di incertezza.

Il Mercurio e l'Acido solfidrico vengono trattati nel capitolo 6 “Inorganic pollutants”, al punto 6.6 e 6.9. Per quanto riguarda l'Acido solfidrico vengono fatte le seguenti affermazioni:

*“I pericoli causati da alte concentrazioni di Acido solfidrico sono relativamente ben conosciuti, ma le informazioni sull'esposizione umana a concentrazioni molto basse è scarsa. Molto*

*probabilmente, a concentrazioni inferiori a  $1,5 \text{ mg/m}^3$  (1 ppm), anche per esposizioni di lungo periodo, ci sono, nel significato tossicologico, molto pochi rischi per la salute rilevabili. La maleodoranza dell'Acido solfidrico è una sorgente di disturbo per gran parte della popolazione a concentrazioni inferiori a  $1,5 \text{ mg/m}^3$ , ma dai dati esistenti non si può concludere se questo provoca alcun effetto sulla salute. È ovvia la necessità di studi epidemiologici sui possibili effetti a lungo termine dell'esposizione a bassi livelli di Acido solfidrico. È necessario anche individuare un soddisfacente indicatore biologico di esposizione. Il LOAEL dell'Acido solfidrico è  $1,5 \text{ mg/m}^3$ , a cui provoca irritazione degli occhi. Considerando la brusca salita della curva dose-risposta evidenziata da casi di gravi danni agli occhi a  $70 \text{ mg/m}^3$ , è raccomandato un fattore di incertezza di 100, il quale porta ad un valore guida di  $0,15 \text{ mg/m}^3$  come media di 24 ore. Deve essere ricordato un singolo report di modifiche nella "haem" sintesi a concentrazioni di Acido solfidrico di  $1,5 \text{ mg/m}^3$ . Per evitare forti lamentele da disturbo odorigeno tra la popolazione esposta, le concentrazioni di Acido solfidrico non dovrebbero superare  $7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  come media di 30 minuti."*

Vengono, quindi, identificati due valori guida:

- $7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  come media su 30 minuti per l'inquinamento olfattivo;
- $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  come media giornaliera per prevenire l'irritazione degli occhi.

È comunque da sottolineare l'osservazione dell'OMS che l'informazione sugli effetti sanitari a lungo termine a basse concentrazioni è insufficiente, e che sono necessari studi epidemiologici per colmare questa lacuna.

Per il Mercurio, invece, queste sono le valutazioni dell'OMS:

*"In aree lontane dall'industria, i livelli atmosferici di Mercurio sono circa  $2-4 \text{ ng/m}^3$ , e in aree urbane di circa  $10 \text{ ng/m}^3$ . Questo significa che la quantità giornaliera assorbita nel flusso sanguigno dal Mercurio presente nell'atmosfera è di circa 32-64 ng in aree rurali, e di circa 160 ng nelle aree urbane. Comunque questa esposizione al Mercurio dall'aria esterna è marginale confrontata all'esposizione dall'amalgama dentale, dato che l'assorbimento medio giornaliero stimato di vapori di Mercurio da riparazioni dentali varia tra 3000 e 17000 ng. I livelli medi di Mercurio in aria, a parte "punti caldi" locali, sono tipicamente dell'ordine di  $0,005-0,010 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , e così sono marginali rispetto all'esposizione da amalgama dentale. L'esposizione al Mercurio dall'aria esterna a questi livelli non è considerato probabilmente avere un effetto diretto sulla salute umana. La specie di Mercurio predominante in aria,  $\text{Hg}^0$  come gas, specie che non è né mutagena né cancerogena. L'esposizione atmosferica a metil-Mercurio è di 2 o 3 ordini di grandezza inferiore a quella derivante dalla dieta e sarà, in questo contesto,*

*considerata insignificante. È così possibile derivare solo un numero guida per l'inalazione di Mercurio inorganico, includendo vapori di Mercurio e Mercurio divalente. Il LOAEL per i vapori di Mercurio è di circa 15–30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Applicando un fattore di incertezza di 20 (10 per l'incertezza sulla sensibilità variabile all'interno di popolazione a più alto rischio, un fattore 2 per estrapolare dal LOAEL a un probabile NOAEL), è stato stabilito un valore guida di 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale. Per prevenire possibili effetti sulla salute nel prossimo futuro, comunque i livelli atmosferici di Mercurio dovrebbero essere tenuti i più bassi possibili.”*

Come valore guida viene quindi indicato 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale. Viene comunque sottolineata l'importanza di mantenere i livelli di Mercurio in aria i più bassi possibili, per limitare la formazione di metil-Mercurio, che è classificato come “*possibile cancerogeno per l'uomo*” (classe 2B della classificazione IARC) e agisce attraverso la catena alimentare. Il Mercurio metallico, pur avendo caratteristiche di neurotossicità, in aria è invece classificato dallo IARC come “*non classificabile rispetto alla cancerogenicità per l'uomo*” (classe 3).

L'OMS identifica inoltre come livelli di fondo ambientale tipici una concentrazione di Mercurio di 2-4  $\text{ng}/\text{m}^3$  nelle aree rurali, e di circa 10  $\text{ng}/\text{m}^3$  nelle aree urbane.

Per maggiori approfondimenti si rinvia alla pubblicazione OMS, reperibile liberamente all'indirizzo internet <http://www.who.dk/document/e71922.pdf>.

Considerando la definizione di “salute” dell'OMS (*uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale e non semplicemente l'assenza di malattie o infermità*) appare evidente che l'inquinamento odorigeno è sicuramente un fattore che in qualche modo influisce sulla salute (secondo la definizione OMS) degli abitanti dell'area in indagine.

Pur con le incertezze del calcolo, è evidente che nelle postazioni di Piancastagnaio, annualmente in almeno metà delle ore, la soglia olfattiva indicata dall'OMS viene superata.

È doveroso ricordare che nell'area dell'Amiata Senese sono presenti comunque altre sorgenti naturali di  $\text{H}_2\text{S}$ , ed in questa analisi non è ancora stato possibile scorporare questo contributo ai livelli misurati, anche se in molte postazioni è stato evidenziato come sia l'emissione delle centrali geotermiche il contributo fondamentale ai livelli misurati.

Anche per il Mercurio il presente studio ha evidenziato l'importanza dello sfruttamento dell'energia geotermica sui livelli ambientali in aria.

Le concentrazioni medie di questo inquinante si presentano su livelli superiori a quelli tipici di un ambiente rurale, e superiori anche a quelli presenti in ambiente urbano. Non è però ancora

possibile da questo studio desumere quanto derivi dall'attività naturale e dalla natura geologica dell'Amiata, e quanto dalle attività antropiche di sfruttamento dell'energia geotermica.

La prima sintesi che emerge dai risultati dei controlli, riferibili al periodo Settembre 2000 - Settembre 2002, nelle postazioni prescelte sono:

- a) in tutte le postazioni monitorate le concentrazioni dell'Acido solfidrico e del Mercurio sono risultate inferiori, e per alcune postazioni anche in misura significativa, ai rispettivi valori di riferimento indicati dall'OMS per la tutela sanitaria alle esposizioni a lungo termine negli ambienti di vita;
- b) i risultati confermano che l'attività di coltivazione dei fluidi geotermici costituisce una generatrice d'impatto in grado d'indurre modificazioni dello stato di qualità dell'aria. Nell'area tradizionale di Larderello tali modificazioni riguardano, in definitiva, esclusivamente l'Ac. solfidrico, perché i fluidi geotermici appartenenti a tale campo sono caratterizzati da bassi contenuti di Mercurio, com'è possibile verificare sulla base dei dati relativi a tali postazioni. Diversamente per l'area dell'Amiata, l'apporto dovuto all'attività di coltivazione dei fluidi geotermici comporta emissioni sia di Acido solfidrico, sia di Mercurio;
- c) in entrambe le due aree di studio, ulteriori sorgenti, in parte naturali in parte antropiche, concorrono unitamente all'attività di coltivazione dei fluidi geotermici ad indurre modificazioni dello stato di qualità dell'aria relativamente ai due inquinanti. Nell'area tradizionale di Larderello il contributo è riconducibile quasi esclusivamente alle sorgenti naturali (emergenze spontanee di gas), che, anche in questo caso, esercitano la loro azione essenzialmente a carico dell'Ac. solfidrico. Nell'area Amiatina sono invece presenti sorgenti sia naturali (emergenze spontanee di gas e d'acque termali calde), sia antropiche, alle quali sono associabili, ovviamente con apporti diversificati, rilasci sia di Ac. solfidrico, sia di Mercurio. Anche nello scenario amiatino l'attività di coltivazione dei fluidi geotermici sembra costituire la sorgente più significativa in termini di flusso di massa dei due inquinanti. Gli impianti della passata attività minero-metallurgica del cinabro, in particolari condizioni climatiche (forte irraggiamento ed alte temperature del suolo), possono contribuire ad un inquinamento significativo, anche se localizzato, da Mercurio nei bassi strati dell'atmosfera;

- d) ai livelli di concentrazione atmosferica di Ac. solfidrico nelle due aree è associabile un fenomeno d'inquinamento "olfattivo". I risultati delle misure, recenti e passate, dimostrano che l'inquinamento olfattivo, tenuto anche conto del basso valore della soglia olfattiva di tale inquinante, è un fenomeno che assume particolare rilievo per quanto attiene gli aspetti legati alla qualità della vita (disturbi sensoriali). A tale fenomeno concorrono sia le sorgenti naturali, sia l'attività di coltivazione dei fluidi geotermici, che ha contribuito ad innalzare sensibilmente i livelli del fondo naturale. In particolare l'area tradizionale di Larderello è caratterizzata da periodi di durata del fenomeno più lunghi rispetto a quelli dell'area amiatina, dove, per contro, si registrano invece i più alti valori di concentrazione oraria di Ac. solfidrico.

## 2.3 Analisi per singola postazione

Di seguito sono esposte le osservazioni sui risultati del controllo disaggregati per singole postazioni.

### **PIANCASTAGNAIO, postazione Podere Marchese**

**– periodo di osservazione 21/09/2000 ÷ 27/11/2000.**

La postazione è localizzata in aperta campagna, a sud ovest del paese. Nel mese di Settembre 2000 presso la postazione, e nelle zone contermini, è avvenuta la fuoriuscita di vapore geotermico, che ha determinato danni strutturali anche all'abitazione. La centrale più vicina alla postazione è PC2, situata a circa 700 metri in direzione est.

La elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $40,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa i 1/3 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $9,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo d'osservazione è  $311,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 25 giorni su complessivi 67, pari quindi al 37,3 %, il valore della concentrazione media giornaliera di Acido solfidrico è risultato superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 351 ore su 1556 complessive, pari quindi al 22,6% del tempo di stazionamento del sistema di monitoraggio, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

inducendo nella postazione condizioni di palese percezione del caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo.

In merito all'andamento temporale dei valori le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico sono tipiche delle ore del mattino.

**Mercurio.** Un guasto alla strumentazione non ha reso possibile l'effettuazione del controllo.

### **PIANCASTAGNAIO, postazione di Fonte Natali**

**– periodo di osservazione 18.12.2000 ÷ 9/04/2001.**

La postazione è localizzata alla periferia sud ovest del centro abitato. E' la postazione più vicina alla centrale PC2. La presenza del rilievo altimetrico lungo tutta la fascia nord della postazione, anche se a distanza maggiore di 10 m dal sistema di misura, può aver prodotto interferenza nel rilevamento dei parametri meteo D.V. e V.V. limitatamente alle componenti da nord e nord ovest.

La elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $54,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa i 1/3 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $344,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 52 giorni su complessivi 110 di monitoraggio, pari al 47,3%, la concentrazione media giornaliera di Acido solfidrico è risultato superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 681 ore su 2546 complessive, pari al 26,7%, di monitoraggio, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La postazione monitorata ha condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale si rileva che le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico sono tipiche delle ore del mattino e notturne.

**Mercurio.** Il periodo di osservazione è stato 22.03.2001 ÷ 9.04.2001. La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $6,4 \text{ ng}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/150 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS ed inferiore alla concentrazione media rilevata in aree urbane pari a  $10 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è 15,0 ng/m<sup>3</sup>.

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è 78,8 ng/m<sup>3</sup>.

In merito all'andamento temporale dei valori, anche in questa postazione il Mercurio assume un andamento sovrapponibile a quello dell'Acido solfidrico, con accentrimento dei valori più elevati nelle ore del mattino e notturne.

Il confronto con le precedenti campagne di misura non evidenzia differenze significative.

Per l'Acido solfidrico la *massima concentrazione media giornaliera*, ossia il termine statistico di confronto con il riferimento consigliato dall'OMS per la tutela sanitaria alle esposizioni a lungo termine, è in linea con quello della precedente campagna (54,1 µg/m<sup>3</sup> contro 50,1 µg/m<sup>3</sup>). Anche la *media delle concentrazioni medie giornaliere del periodo* (11,3 µg/m<sup>3</sup> contro 12,6 µg/m<sup>3</sup>) e la *massima concentrazione oraria relativa al periodo* (334,0 µg/m<sup>3</sup> contro 339,1 µg/m<sup>3</sup>) sono in linea con i precedenti rilevamenti.

Per il Mercurio il valore della *media delle concentrazioni medie giornaliere del periodo*, ossia il termine statistico di confronto con il riferimento consigliato dalla OMS per la tutela sanitaria alle esposizioni a lungo termine, risulta praticamente uguale rispetto a quello della precedente campagna (dai 6,4 ng/m<sup>3</sup> contro 6,8 ng/m<sup>3</sup>), mentre la *massima concentrazione media giornaliera* è inferiore, passando dai 18,8 ng/m<sup>3</sup> della precedente campagna ai 15,0 ng/m<sup>3</sup> dell'attuale. Significativa è invece la diminuzione del valore relativo alla *massima concentrazione oraria del periodo* che passa da 126,1 ng/m<sup>3</sup> della precedente campagna a 78,8 ng/m<sup>3</sup> dell'attuale.

### **PIANCASTAGNAIO (Siena), postazione di Via Grossetana**

**– periodo di osservazione 21/08/2001 ÷ 13/09/2002.**

La postazione è localizzata nel centro urbano, in zona nord dell'abitato di Piancastagnaio, in corrispondenza della sede della Comunità Montana.

Per quanto attiene le “condizioni espositive”, i risultati dei controlli eseguiti nella postazione evidenziano il sostanziale rispetto dei valori di riferimento di tutela sanitaria, raccomandati dalla OMS per gli inquinanti monitorati.

L'elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è 74,1 µg/m<sup>3</sup>, corrispondente a circa 1/2 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $16,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $373,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 40 giorni su complessivi 52 di monitoraggio, pari al 40,3%, la concentrazione media giornaliera di ac. Solfidrico è stata superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 501 ore su 1243 complessive monitorate, pari al 76,9%, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nell'area della postazione monitorata si hanno condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale dei valori le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico sono tipiche delle ore del mattino, nella fascia oraria 9÷13, e delle ore serali e notturne.

**Mercurio.** La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $2,9 \text{ ng}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/350 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $10,2 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $57,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

In merito alla distribuzione temporale dei valori, il Mercurio assume un andamento sovrapponibile a quello dell'Ac. solfidrico (fenomeno del parallelismo), con accentramento dei valori più elevati nelle ore del mattino e nelle ore serali e notturne.

### **PIANCASTAGNAIO (Siena), postazione località Lavinacci**

**– periodo di osservazione 16/05/2002 ÷ 1/07/2002.**

La postazione è localizzata in aperta campagna, a ovest sud ovest del paese. Il 22 Aprile del c.a. presso la postazione si è verificata la fuoriuscita di gas geotermico, che ha coinvolto anche le abitazioni, provocando anche danni strutturali agli edifici. In prossimità della postazione (a distanza di ~ 100 in direzione est) era presente un pozzo geotermico (PC3) mai entrato in esercizio. Sul pozzo da diversi mesi si stavano svolgendo interventi per la chiusura mineraria, chiusura completata agli inizi del mese di luglio c.a.. Le centrali geotermoelettriche più vicine alla postazione sono PC2 e PC3.

Per quanto attiene le “condizioni espositive”, i risultati dei controlli eseguiti nella postazione evidenziano il sostanziale rispetto dei valori di riferimento di tutela sanitaria, raccomandati dalla OMS per l'inquinante monitorato.

L'elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:



**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $104,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa i 2/3 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $31,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $587,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 34 giorni su complessivi 41 di monitoraggio, pari al 83%, la concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è stata superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 501 ore su 1243 complessive monitorate, pari al 43,6%, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nell'area della postazione monitorata si hanno condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti. Si sono avuti anche situazioni, transitorie e momentanee, di elevati livelli espositivi durante la i lavori di chiusura mineraria del pozzo PC3.

In merito all'andamento temporale dei valori le concentrazioni più elevate di ac. Solfidrico sono tipiche delle ore della fascia oraria 8÷15 e delle ore serali-notturne.

**Mercurio.** Le misure non sono state effettuate in quanto inizialmente lo strumento era in riparazione. Dopo la riparazione, lo strumento è stato volutamente tenuto spento per evitare danni derivanti dalle continue interruzioni sulla linea elettrica che forniva la corrente al mezzo mobile. I pochi dati disponibili evidenziano comunque un andamento temporale sovrapponibile a quello dell'Ac. solfidrico.

### **MONTECERBOLI (Pomaranche), postazione di Via S. Giovanni Bosco**

**– periodo di osservazione 11/04/2001 ÷ 25/04/2001.**

La postazione è localizzata nel centro abitato.

La elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/5 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $181,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 12 giorni su complessivi 13 di monitoraggio, pari al 92%, il valore della concentrazione media giornaliera di ac. Solfidrico è risultato superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 218 ore, su 320 complessive, pari quindi al 68,1% del tempo di stazionamento del sistema di monitoraggio, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ , inducendo nella postazione condizioni di palese percezione del caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale dei valori, le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico si osservano prevalentemente nelle ore del mattino e in quelle serali e notturne, mentre nelle ore pomeridiane si ha, generalmente, una tendenza alla diminuzione.

**Mercurio.** La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $1,0\text{ ng}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/1000 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $2,1\text{ ng}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $24,2\text{ ng}/\text{m}^3$ .

Nella postazione il Mercurio assume un andamento perfettamente sovrapponibile a quello dell'Acido solfidrico, lasciando presupporre una loro origine comune. I valori di tale inquinante misurati nella postazione sono in linea con quelli indicati in letteratura per il fondo naturale.

**SASSO PISANO (Castelnuovo Val di Cecina), postazione S.P. 49 della Leccia**  
**– periodo di osservazione 26/04/2001 ÷ 10/05/2001.**

La postazione è localizzata in zona periferica del centro abitato, in vicinanza d'impianti geotermoelettrici e di emergenze naturali di gas geotermico.

La elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $37,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/5 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $24,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $94,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 13 giorni su complessivi 13 di monitoraggio, pari al 100%, il valore della concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è risultato superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 284 ore, su 320 complessive, pari quindi al 88,8% del tempo di stazionamento del sistema di monitoraggio, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

inducendo nella postazione condizioni di palese percezione del caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale dei valori, le concentrazioni più elevate di ac. Solfidrico si osservano prevalentemente nelle ore del mattino e, più raramente, in quelle serali e notturne; generalmente nelle ore pomeridiane si verifica una tendenza alla diminuzione.

**Mercurio.** La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è 0,6 ng/m<sup>3</sup>, corrispondente a circa 1/1700 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è 0,8 ng/m<sup>3</sup>.

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è 3,0 ng/m<sup>3</sup>.

Anche in questa postazione Mercurio ed Acido solfidrico assumono un andamento perfettamente sovrapponibile tra loro, lasciando così presupporre un'origine comune. I valori di tale inquinante misurati nella postazione risultano in linea con quelli indicati dalla letteratura come "valori del fondo naturale".

#### **LARDERELLO (Pomarance, Pisa), postazione presso Poliambulatorio**

**– periodo di osservazione 1/06/2001 ÷ 21/06/2001.**

La postazione è localizzata nel centro urbano, in corrispondenza della sede del Poliambulatorio. In vicinanza della postazione è presente una emergenza naturale di gas geotermico, situata all'interno dello stabilimento Enel GreenPower.

Continue interruzioni sulla linea elettrica che forniva la corrente al mezzo mobile, iniziate a partire dal 9.06.2001, hanno determinato un funzionamento saltuario della strumentazione, con conseguente decisione di invalidare i dati acquisiti nel periodo 9.06. ÷ 21.06.2001.

Per quanto attiene le “condizioni espositive”, i risultati dei controlli eseguiti nella postazione evidenziano il sostanziale rispetto dei valori di riferimento di tutela sanitaria, raccomandati dalla OMS per gli inquinanti monitorati.

L'elaborazione statistica dei dati analitici valicati disponibili, riferiti al periodo 2.06. ÷ 8.06.2002, evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La massima concentrazione media giornaliera misurata nel periodo di osservazione è 39,2 µg/m<sup>3</sup>, corrispondente a circa 1/4 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è 26,2 µg/m<sup>3</sup>.

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è 160,6 µg/m<sup>3</sup>.

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 6 giorni su complessivi 6 di monitoraggio, pari al 100%, la concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è stata superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 146 ore su 148 complessive monitorate, pari al 98,7%, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nell'area della postazione monitorata si hanno condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale dei valori, le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico si distribuiscono prevalentemente nelle ore del mattino e nelle ore serali e notturne.

**Mercurio.** La media delle concentrazioni medie giornaliere del periodo di osservazione è  $0,4 \text{ ng}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/2500 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $0,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $8,0 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

In merito alla distribuzione temporale dei valori, il Mercurio assume un andamento sovrapponibile a quello dell'Ac. solfidrico (massimi coincidenti), con accentramento dei valori più elevati prevalentemente nelle ore notturne.

#### **BAGNORE (S. Fiora, Grosseto), postazione di Via dei Prati**

**– periodo di osservazione 19/04/2000 ÷ 14/03/2002.**

La postazione è localizzata in zona urbana, in vicinanza d'impianti geotermoelettrici e di emergenze naturali di gas geotermico.

Per quanto attiene le “condizioni espositive”, i risultati dei controlli eseguiti nella postazione in oggetto evidenziano il sostanziale rispetto dei valori di riferimento di tutela sanitaria raccomandati dalla OMS per l'inquinante monitorato.

La elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $13,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/10 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo d'osservazione è  $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $104,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 4 giorni su complessivi 72 di monitoraggio, pari al 5,6%, il valore della concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è risultato superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),

per ben 219 ore, su 1632 complessive, pari quindi al 13,4% del tempo di stazionamento del sistema di monitoraggio, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inducendo nella postazione condizioni di palese percezione del caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

### **ARCIDOSO (Grosseto), postazione di Via S. Filippo**

**– periodo di osservazione 05/05/2000 ÷ 27/09/2000.**

La postazione è localizzata in zona periferica del paese, in corrispondenza di una vallata comunicante nella zona a monte con l'area circostante la zona d'installazione della centrale geotermoelettrica Bagnore 3.

Per quanto attiene le “condizioni espositive”, i risultati dei controlli eseguiti nella postazione in oggetto evidenziano il sostanziale rispetto dei valori di riferimento di tutela sanitaria raccomandati dalla OMS per l'inquinante monitorato.

La elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $28,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/5 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $87,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

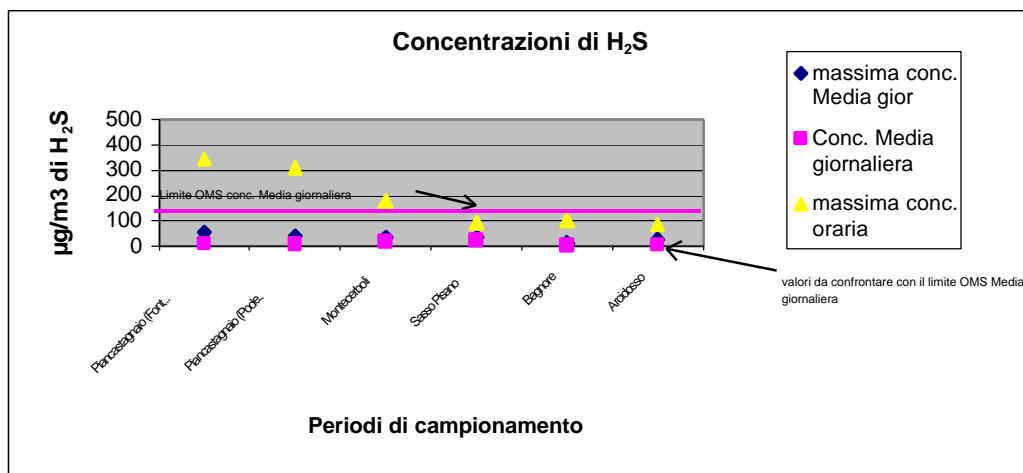
Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 9 giorni su complessivi 29 di monitoraggio, pari al 31%, il valore della concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è risultato superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 213 ore, su 665 complessive, pari quindi al 32% del tempo di stazionamento del sistema di monitoraggio, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inducendo nella postazione condizioni di palese percezione del caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

Relativamente alle postazioni di Bagnore e Arcidosso, i risultati sopra esposti sono riferiti a campagne di monitoraggio effettuate con sistemi di misura diversi, rispettivamente dal

dipartimenti ARPAT di Grosseto e di Siena, in periodi non coincidenti. Dall'analisi dei risultati si evidenzia una buona correlazione dei valori ottenuti con i due sistemi.

Nel grafico sottostante sono riportate le concentrazioni dell'inquinante H<sub>2</sub>S nelle varie postazioni monitorate; come si può notare le concentrazioni dell'inquinante sono ampiamente al di sotto dei valori di riferimento indicati dall'OMS.



## 2.4 Ulteriori attività di monitoraggio della qualità dell'aria

L'ambito territoriale dell'attività svolta nel periodo 1.10.2002-06.07.2003 comprende i due comuni dell'area amiatina senese, Piancastagnaio ed Abbadia San Salvatore e il comune di Montieri in provincia di Grosseto con la postazione presso il centro abitato di Travale.

Le campagne di misura della concentrazione aerodispersa di Mercurio ed Acido solfidrico sono relative alle postazioni di:

- via Grossetana, comune di Piancastagnaio (SI), periodo 1.10.2002-19.02.2003
- via Remedi, comune di Abbadia San Salvatore (SI), periodo 18.03.2003-12.05.2003
- Travale, comune di Montieri (GR), periodo 9.06.2003-6.07.2003

### Analisi per singola postazione

Di seguito sono esposte le osservazioni sui risultati del controllo disaggregati per singole postazioni.

#### PIANCASTAGNAIO (Siena), postazione di Via Grossetana

– periodo di osservazione 1.10.2002 ÷ 19/02/2003.

La postazione è localizzata nel centro urbano, in zona nord dell'abitato di Piancastagnaio, in corrispondenza della sede della Comunità Montana.

Per quanto attiene le “condizioni espositive”, i risultati dei controlli eseguiti nella postazione evidenziano il sostanziale rispetto dei valori di riferimento di tutela sanitaria, raccomandati dalla OMS per gli inquinanti monitorati.

L'elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La massima concentrazione media giornaliera misurata nel periodo di osservazione è  $58,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/3 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $305,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 56 giorni su complessivi 142 di monitoraggio, pari al 39,4%, la concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è stata superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 741 ore su 3408 complessive monitorate, pari al 21,7%, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nell'area della postazione monitorata si hanno pertanto ricorrenti condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

**Mercurio.** Un guasto alla strumentazione non ha reso possibile l'effettuazione del controllo. Per tale inquinante i dati disponibili sono quelli rilevati nelle precedenti campagne.

#### **ABBADIA S. SALVATORE (Siena), postazione Via Remedi**

**– periodo di osservazione 18/03/2003 ÷ 12/05/2003.**

La postazione è localizzata in periferia sud del centro abitato. Non sono presenti ostacoli che possono interferire con il rilevamento dei parametri meteorologici

L'elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La massima concentrazione media giornaliera misurata nel periodo di osservazione è  $49,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/3 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.

La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $11,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $341,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 24 giorni su complessivi 45 di monitoraggio, pari al 53,3%, la concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è stata superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 282 ore su 1072 complessive monitorate, pari al 26,3%, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nell'area della postazione monitorata si hanno pertanto ricorrenti condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale dei valori le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico sono tipiche delle ore della fascia oraria 8÷13 e delle ore serali-notturne.

**Mercurio.** La *media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $7,3 \text{ ng}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/135 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dall'OMS.

La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $19,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

La *massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $78,42 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

Nella postazione il Mercurio presenta un andamento temporale con valori massimi distribuiti prevalentemente nelle ore centrali del giorno (fascia oraria 12÷18), non sempre quindi in correlazione con l'andamento dell'Acido solfidrico. Un simile andamento lascia pertanto ipotizzare che più fonti di pressione (emissioni diffuse prodotte dai residui della pregressa attività minero-metallurgica del cinabro ed emissioni delle centrali geotermoelettriche) concorrono a modificare lo stato di qualità dell'aria relativamente a tale inquinante.

#### **TRAVALE, Comune di Montieri (Grosseto), postazione c/o lo Campo Sportivo**

**– periodo di osservazione 25/06/2003 ÷ 6/07/2003.**

Il mezzo mobile ha stazionato presso la postazione dal 8.06.2003 al 6.07.2003. Per guasti accaduti in modo sequenziale ai vari strumenti di misura ed al sistema d'acquisizione, la disponibilità di dati validi, registrati in modo continuativo ed utilizzabili ai fini della valutazione dello stato di qualità dell'aria, sono limitati al periodo d'osservazione sopra riportato.

La postazione è localizzata in periferia del centro abitato, presso il campetto di calcio. Non sono presenti ostacoli che possono interferire con il rilevamento dei parametri meteorologici

L'elaborazione statistica dei dati analitici evidenzia quanto segue:

**Acido solfidrico.** La *massima concentrazione media giornaliera* misurata nel periodo di osservazione è  $11,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , corrispondente a circa 1/13 del valore guida di tutela sanitaria consigliato dalla OMS.



*La media delle concentrazioni medie giornaliere* del periodo di osservazione è  $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

*La massima concentrazione oraria* misurata nel periodo di osservazione è  $49,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Relativamente all'inquinamento olfattivo, in termini di andamento temporale, risulta che:

- per 6 giorni su complessivi 13 di monitoraggio, pari al 46,2%, la concentrazione media giornaliera di Ac. solfidrico è stata superiore al valore di riferimento della soglia olfattiva ( $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
- per ben 87 ore su 299 complessive monitorate, pari al 29,1%, le concentrazioni orarie hanno superato il limite dei  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nell'area della postazione monitorata si hanno pertanto ricorrenti condizioni di palese esposizione al caratteristico odore dell'inquinante, con possibili stati di disturbo olfattivo negli individui esposti.

In merito all'andamento temporale dei valori le concentrazioni più elevate di Ac. solfidrico sono rilevabili principalmente al mattino e durante le ore serali-notturne.

**Mercurio.** Un guasto alla strumentazione ed al sistema d'acquisizione non ha consentito di avere a disposizione una popolazione di dati, organizzati in modo continuativo, fruibili per la valutazione dello stato di qualità dell'aria. I dati disponibili evidenziano, comunque, che il Mercurio in aria ha livelli di concentrazione superiori a quelle del fondo naturale (massima concentrazione oraria misurata =  $19,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ ), con un trend temporale dei valori in correlazione con l'andamento dell'Acido solfidrico.

### **3 MODELLISTICA DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI**

#### **3.1 Obiettivi**

L'obiettivo del progetto è di raggiungere una descrizione dettagliata della qualità dell'aria e delle ricadute al suolo degli inquinanti atmosferici prodotti dalle centrali geotermiche esistenti, tramite l'elaborazione modellistica, anche per fornire una migliore e più dettagliata valutazione delle ricadute e dell'idonea localizzazione delle stazioni di rilevamento.

La prima fase del lavoro (annuale) prevedeva, in particolare, l'acquisizione e l'organizzazione dei dati storici, chimici e meteorologici del quadriennio 1997-2000 disponibili sul territorio e utili al raggiungimento dell'obiettivo finale.

A partire da questi dati, coerentemente organizzati, sono poi stati analizzati gli scenari meteorologici anche al fine di costruire il quadro meteo-climatico a piccola scala. Questi risultati sono poi stati analizzati con metodi statistici avanzati insieme ai dati chimici rilevati, al fine di individuare i fattori più importanti per la qualità dell'aria nei comuni maggiormente interessati dall'attività delle centrali geotermiche, ovvero Abbadia San Salvatore e Piancastagnaio.

#### **3.2 I dati di origine e i metodi di analisi**

##### **3.2.1 I dati meteorologici**

I dati meteorologici sono stati gentilmente forniti dal Servizio Agrometeorologico dell'ARSIA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo-forestale) di Pisa, che gestisce una rete fissa di centraline meteorologiche, e dalla società ERGA.

Sono stati inoltre utilizzati anche i dati meteorologici acquisiti dal mezzo ARPAT per il monitoraggio degli inquinanti chimici, che eseguiva in parallelo le misure chimiche e meteorologiche nelle varie postazioni.

Nella tabella 1 sono riassunte le postazioni Arsia e ERGA utilizzate nell'analisi, mentre le loro posizioni, anche rispetto alla centrali e ai punti di monitoraggio possono essere individuate nella figura 1 presente negli allegati.

GESTORE	NOME STAZIONE	COMUNE	COORDINATE GAUSS-BOAGA	
			X	Y
ARSIA	Castiglione d'Orcia	Castiglione d'Orcia	1709731	4759315
ARSIA	Piancastagnaio	Piancastagnaio	1721331	4746315
ARSIA	Radicofani	Radicofani	1723231	4758915
ARSIA	Pentolina	Chiusdino	1677031	4788015
ERGA	Pc8	Piancastagnaio	1708550	4755123
ERGA	Poggio Batterina	Seggiano	1720537	4747221
<b>TABELLA 1 – Stazioni meteorologiche</b>				

Sono stati richiesti e ottenuti i dati relativi alle medie orarie per il quadriennio 1997-2000. Naturalmente, a causa di guasti e per la manutenzione, le annate non sono complete per nessuna stazione, ma, a parte la stazione di Radicofani, coprono ampiamente più del 50% dei valori.

I dati principalmente utilizzati nelle analisi successive sono quelli relativi alla velocità e alla direzione del vento, in quanto quelli più direttamente collegabili alla dispersione delle emissioni delle centrali geotermiche. Questo ha escluso dall'analisi principale la stazione ARSIA di Piancastagnaio, priva del goniometro.

Gli altri dati meteorologici (temperatura, umidità, pressione, radiazione solare netta e diffusa, piovosità) sono comunque stati acquisiti e analizzati, e risulteranno utili per le successive analisi.

Per i parametri di direzione e velocità del vento, gli strumenti di analisi e di raccolta dati eseguono delle medie su questi valori per fornire il valore orario. Le medie eseguite possono essere di tipo vettoriale o scalare. Le analisi preliminari eseguite hanno confermato una migliore correlazione tra i dati chimici e i valori meteorologici mediati con metodi vettoriali, che sono stati quindi utilizzati nelle analisi riportate.

### 3.2.2 I dati chimici

Sin dal 1997 ARPAT, come è noto, si è dotata di un mezzo mobile per il rilevamento degli inquinanti emessi dalle centrali geotermiche, in particolare per il Mercurio (metallico) e l'Acido solfidrico (H<sub>2</sub>S).

Nella tabella 2 sono indicate le postazioni di rilevamento che sono state utilizzate nelle seguenti analisi, e che sono meglio individuate nelle figure 2 e 3.

COMUNE	POSTAZIONE	x(gb)	y(gb)	h
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	1718603	4750277	880
ABBADIA S. S.	Scuole elementari	1718468	4751018	832
PIANCASTAGNAIO	Castello Aldobrandesco	1720027	4747657	783
PIANCASTAGNAIO	Fonte Natali	1719706	4747498	755
PIANCASTAGNAIO	Vecchio Mattatoio	1720424	4747951	718
<b>TABELLA 2 – Punti di monitoraggio ARPAT</b>				

In queste posizioni sono state eseguite le campagne di misura riassunte nella tabella 3.

I dati utilizzati nell'analisi si riferiscono ai valori medi orari nel quadriennio 1997-2000, periodo durante il quale la strumentazione ha assicurato una ottima percentuale di dati validi, a parte un guasto all'analizzatore del Mercurio che ha comportato un fermo prolungato nel 1999.

Nelle relazioni dell'aprile 1999 e del maggio 2001 i risultati delle precedenti indagini sono già stati oggetto di analisi. Si rimanda a queste relazioni per maggiori informazioni sulle tecniche di monitoraggio e sul funzionamento degli analizzatori.

### 3.2.3 I dati delle centrali

I dati di emissioni delle centrali sono stati fino adesso misurate dalla stessa ERGA, mentre è in questi mesi in fase di avvio il controllo delle emissioni da parte di ARPAT.

Le centrali le cui emissioni maggiormente influiscono sulla qualità dell'aria nei comuni di Piancastagnaio e Abbadia San Salvatore sono riportate nella seguente tabella 4 (e evidenziate nelle figure 1 e 4).

È stato inoltre chiesto a ERGA di fornire i periodi di inattività prolungata di queste centrali, che sono riassunti nella tabella 5. I dati sono poi stati utilizzati nell'analisi al fine di quantificare l'influenza delle singoli centrali sulla qualità dell'aria.

Comune	Posizione	da	a
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	13/11/97	02/12/97
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	02/02/98	16/02/98
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	05/08/98	18/08/98
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	23/06/98	08/07/98
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	20/10/99	23/12/99
ABBADIA S. S.	Loc. S. Andrea	25/03/00	07/06/00
ABBADIA S. S.	Scuole elementari	31/07/97	18/08/97
ABBADIA S. S.	Scuole elementari	05/02/99	25/03/99

PIANCASTAGNAIO	Castello Aldobrandesco	28/06/97	31/07/97
PIANCASTAGNAIO	Castello Aldobrandesco	01/11/97	12/11/97
PIANCASTAGNAIO	Castello Aldobrandesco	21/04/98	04/05/98
PIANCASTAGNAIO	Castello Aldobrandesco	21/07/98	02/08/98
PIANCASTAGNAIO	Castello Aldobrandesco	13/10/98	28/10/98
PIANCASTAGNAIO	Fonte Natali	19/01/98	02/02/98
PIANCASTAGNAIO	Fonte Natali	09/06/98	23/06/98
PIANCASTAGNAIO	Fonte Natali	24/11/98	14/12/98
PIANCASTAGNAIO	Fonte Natali	25/05/99	04/08/99
PIANCASTAGNAIO	Fonte Natali	16/06/00	29/06/00
PIANCASTAGNAIO	Vecchio Mattatoio	02/10/97	15/10/97
PIANCASTAGNAIO	Vecchio Mattatoio	23/08/00	21/09/00
<b>TABELLA 3 – Campagne di monitoraggio ARPAT</b>			

Comune	CENTRALE	x(gb)	y(gb)	h
Piancastagnaio	PC2	1720677	4747106	662
Piancastagnaio	PC3	1720802	4745910	454
Piancastagnaio	PC4	1721014	4748663	565
Piancastagnaio	PC5	1720892	4748430	587
Piancastagnaio	BELLAVISTA	1721938	4747710	552
Santa Fiora	BAGNORE3	1709153	4746491	840
<b>TABELLA 4 – Posizioni centrali geotermiche</b>				

Centrale	Data fermata	Ora fermata	Data rientro	Ora rientro
Pc4	03/12/96	6.43	02/01/97	7.40
Bagnore3	01/01/97	0.00	01/12/98	23.59
Pc4	03/01/97	0.43	03/01/97	4.33
Pc4	03/01/97	4.48	17/01/97	6.00
Pc5	20/01/97	4.19	14/02/97	10.19
Pc3	27/01/97	10.48	10/02/97	9.07
Pc4	28/01/97	0.14	29/01/97	1.40
Bellavista	14/02/97	9.36	02/06/97	7.12
Pc3	24/02/97	12.57	02/03/97	6.00
Pc5	03/06/97	10.04	04/06/97	12.00
Bellavista	05/06/97	7.12	25/07/97	5.02
Pc2	07/07/97	1.12	19/07/97	3.36
Bellavista	26/07/97	2.24	27/07/97	4.48

Pc2	06/07/98	7.40	10/08/98	0.14
Pc5	14/07/98	5.16	15/07/98	9.21
Bagnore3	25/12/98	2.24	16/01/99	13.55
Bellavista	10/01/99	0.00	16/01/99	1.12
Bagnore3	18/01/99	0.14	20/01/99	5.16
Bagnore3	08/06/99	13.40	09/06/99	11.31
Pc2	09/07/99	4.48	17/08/99	6.43
Pc3	20/09/99	7.55	23/09/99	6.00
Pc5	24/09/99	1.26	27/09/99	1.55
Pc5	28/09/99	11.31	29/09/99	5.16
Bagnore3	08/11/99	0.00	12/11/99	0.14
Pc4	28/02/00	3.21	10/03/00	11.16
Pc2	17/07/00	8.24	21/08/00	4.04
Bellavista	21/08/00	0.00	30/08/00	23.59
<b>TABELLA 5 – Periodi fermata delle centrali ENEL GreenPower</b>				

Per evidenziare i possibili contributi delle centrali sulle postazioni di misura, nella tabella 6 sono riportate le distanze, il dislivello e gli angoli di direzione del vento che, in assenza di perturbazioni del campo dei venti, congiungono le centrali con le postazioni chimiche di misura.

### 3.2.4 L'organizzazione dei dati

Una parte importante del lavoro eseguito ha riguardato l'organizzazione e l'allineamento dei dati meteorologici e chimici, nonché i dati di fermata delle centrali.

Oltre a rendere i dati omogenei tra di loro, questa attività ha riguardato anche la validazione dei dati meteorologici che sembravano non perfettamente congruenti, mentre la validazione dei dati chimici è stata eseguita preliminarmente in occasione dei già citati lavori di rassegna dei risultati. Nella maggior parte delle analisi statistiche i dati sono poi stati analizzati in maniera aggregata per postazione, senza cioè considerare i differenti anni e le differenti campagne di misura. Molte delle analisi statistiche utilizzate nelle analisi successive, necessitavano di un preliminare trattamento dei dati. In particolare molti metodi utilizzano valori organizzati in "classi" piuttosto che in valori assoluti. Un esempio di questa suddivisione in classi è l'aggregazione dei dati meteorologici di direzione del vento nei 16 settori (ognuno ampio 22.5°)

comunemente utilizzati nella rosa dei venti. Questa aggregazione permette, inoltre, di poter disporre di un numero sufficiente di dati in ciascuna classe per eseguire delle analisi significative. La corrispondenza tra settore numerico (classe) e direzione nella rosa dei venti è riportato nella tabella 7 in questa stessa pagina, alla quale è stata aggiunto il valore 20 corrispondente alla situazione di calma di vento (velocità del vento < 2 m/s).

<b>Classe</b>	<b>Settore</b>
20	Calma
1	N
2	NNE
3	NE
4	ENE
5	E
6	ESE
7	SE
8	SSE
9	S
10	SSW
11	SW
12	WSW
13	W
14	WNW
15	NW
16	NNW
<b>TABELLA 7 – Corrispondenza classi di vento e rosa dei venti</b>	

**ARPAT**

POSTAZIONE	CENTRALE																	
	<i>PC2</i>			<i>PC3</i>			<i>PC4</i>			<i>PC5</i>			<i>BELLAVISTA</i>			<i>BAGNORE3</i>		
	d(m)	q°	Dh(m)	d(m)	q°	Dh(m)	d(m)	q°	Dh(m)	d(m)	q°	Dh(m)	d(m)	q°	Dh(m)	d(m)	q°	Dh(m)
Piancastagnaio Castello Aldobrandesco	852	131	-121	1911	146	-329	1409	44	-218	1160	48	-196	1912	89	-231	10936	264	57
Piancastagnaio Fonte Natali	1047	113	-93	1929	157	-301	1752	49	-190	1508	53	-168	2242	86	-203	10601	265	85
Piancastagnaio Vecchio Mattatoio	882	165	-56	2076	170	-264	925	40	-153	670	45	-131	1533	101	-166	11365	263	122
Abbadia S.S. Loc. S. Andrea	3789	148	-218	4889	154	-426	2901	125	-315	2941	130	-293	4209	129	-328	10180	248	-40
Abbadia S.S. Scuole elementari	4493	152	-170	5616	156	-378	3468	134	-267	3546	133	-245	4794	135	-280	10357	244	8
<b>TABELLA 6 – Posizioni relative tra centrali Erga e punti di monitoraggio</b>																		



Analogamente la classificazione per il vento è stata eseguita secondo la tabella 8.

Classe	Intervalli				
0	0	<=	velocità (m/s)	<	2
1	2	<=		<	4
2	4	<=		<	6
3	6	<=		<	8
4	8	<=		<	10
5	10	<=		<	15
6	15	<=		<	20
7	20	<=			
20	Dati mancanti				
TABELLA 8 – Classi di intensità del vento					

Nel caso di dati mancanti, è stata assegnata per identificazione una classe fittizia (20) per identificare comunque il dato.

La tabella 6, in funzione delle classi di direzione, si modifica nel seguente modo (tabella 9);

<b>POSTAZIONE</b>	<b>CENTRALE</b>					
	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>	<b>PC4</b>	<b>PC5</b>	<b>BELLAVISTA</b>	<b>BAGNORE3</b>
	settore	settore	settore	settore	settore	settore
Piancastagnaio Castello Aldobrandesco	6-7	7	2-3	2-3	4-5	12-13
Piancastagnaio Fonte Natali	5-6	7-8	2-3	3	4-5	12-13
Piancastagnaio Vecchio Mattatoio	7-8	8	2-3	2-3	5	12-13
Abbadia S.S. Loc. S. Andrea	7	7-8	6	6	6	11-12
Abbadia S.S. Scuole elementari	7	7-8	6-7	6-7	6-7	11-12
<b>TABELLA 9 – Direzione del vento tra punti di monitoraggio e centrali Erga</b>						

Per alcune analisi anche i dati chimici del Mercurio e dell'Acido solfidrico sono stati suddivise in 30 classi (1 = la classe contenente i valori di concentrazione più bassi).

I metodi più significativi per eseguire queste classificazioni si sono rivelati quello proporzionale al valore e quello proporzionale alla numerosità della classe.

Nel primo metodo (proporzionale al valore) un dato set di dati chimici (valori di H<sub>2</sub>S o Hg relativo a una postazione di misura) viene suddiviso in 30 classi equispaziate ottenute dalla divisione dell'intervallo tra il valore minimo e quello massimo rilevato in 30 classi equispaziate.

Nel secondo metodo (proporzionale al numero) i dati chimici vengono suddivisi in 30 classi (corrispondenti a concentrazioni crescenti) che hanno lo stesso numero di campioni in ogni intervallo.

Le analisi eseguite indicano in genere un miglior comportamento della classificazione secondo questa seconda metodologia (come è da attendersi data la numerosità bilanciata tra le classi), ma in genere i risultati sono indipendenti dal metodo di classificazione.

### **3.2.5 Le tecniche di analisi**

Tutte le analisi statistiche sono state eseguite indipendentemente su ogni set di dati chimici (valori di  $H_2S$  o  $Hg$  relativi ad una postazione di misura) e i corrispondenti dati meteorologici e di funzionamento delle centrali, utilizzando le medie orarie.

Per non appesantire inutilmente il seguente rapporto, dei metodi di analisi utilizzati si darà solo una breve descrizione, rimandando a testi di statistica per l'approfondimento delle metodiche. Per le stesse ragioni non verranno presentati nell'analisi dei risultati tutti i risultati analitici delle analisi eseguite, rimandando per approfondimenti al contatto diretto con il redattore del presente rapporto (dr. Raffaello Nottoli).

Preliminarmente è stata eseguita una analisi statistica di base per identificare i valori medi, le correlazioni tra i vari parametri, la numerosità degli stessi e quindi l'opportunità o meno di utilizzare i parametri meteorologici di una postazione di rilevamento per l'analisi.

A integrazione di queste analisi di base, sono state eseguiti dei test per la verifica della significatività della suddivisione in classi dei parametri (al fine di evitare distorsioni nei risultati).

I risultati più interessanti dell'analisi statistica sono stati ottenuti ricorrendo all'analisi avanzata basata sulla modellizzazione dei segmenti (segmentation modeling). Questa tecnica permette di dividere una popolazione di dati (nel nostro caso i valori chimici misurati) in "segmenti" (equivalenti nel nostro caso alle "classi" o ad aggregazione di classi) che differiscono "statisticamente" tra di loro.

I risultati della modellizzazione dei segmenti sono poi stati sottoposti ad ulteriori analisi, al fine di verificarne l'attendibilità.

Per tutte le precedenti analisi è stato utilizzato il programma di statistica SPSS versione 6.0.1.

### 3.3 I risultati

#### 3.3.1 Analisi dei parametri meteorologici

Le caratteristiche morfologiche dell'area in esame presentano evidenti caratteristiche di complessità per lo scenario del campo dei venti. Questo è evidente dall'analisi delle seguenti tabelle 10 e 11, dove sono riportati, rispettivamente, i confronti tra le postazioni delle stazioni meteorologiche ERGA di Piancastagnaio e Seggiano rispetto alle percentuali di direzione del vento nei vari settori, e i valori medi della direzione e della velocità del vento in tutte le stazioni meteorologiche utilizzate per le analisi.

	BATTERINA			PC8			DIFFERENZA
	Media	Std err	Std dev	Media	Std err	Std dev	Media
N	3.2	0.04	6.9	4.2	0.08	13.4	-1.0
NNE	2.2	0.03	5.0	0.9	0.02	4.2	1.3
NE	2.5	0.03	5.4	1.2	0.03	4.7	1.4
ENE	4.2	0.05	8.4	3.2	0.05	8.9	1.0
E	7.3	0.09	14.2	8.9	0.1	17.4	-1.6
ESE	6.7	0.08	13.3	12.9	0.12	21.5	-6.2
SE	5.6	0.06	10.7	7.7	0.08	15.0	-2.1
SSE	6.3	0.08	12.6	4.2	0.06	10.5	2.1
S	7.1	0.09	14.2	2.5	0.04	7.5	4.6
SSW	6.0	0.08	13.3	1.9	0.03	5.7	4.2
SW	2.8	0.04	7.0	1.9	0.04	6.2	1.0
WSW	2.3	0.03	5.4	1.6	0.03	4.9	0.8
W	5.3	0.07	11.4	2.0	0.03	5.9	3.3
WNW	7.7	0.08	13.7	4.4	0.06	10.6	3.3
NW	10.6	0.11	18.6	13.8	0.14	24.5	-3.2
NNW	6.8	0.08	14.0	11.2	0.12	21.3	-4.4
CALMA	12.2	0.16	26.0	16.5	0.19	33.1	-4.3
<b>TABELLA 10 – Medie di direzione del vento</b>							

Nella tabella 11, la mediana indica il valore che è superiore alla metà dei dati orari misurati, e inferiore all'altra metà, mentre la "Moda" è il valore che ricorre con maggiore frequenza.

POSTAZIONE	PARAMETRO	Media	Mediana	Moda
ARSIA – Castiglion d'Orcia	direzione vento – settore prevalente	143	135	45
ARSIA – Castiglion d'Orcia	direzione vento settore prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	7	7	3
ARSIA – Castiglion d'Orcia	velocità del vento – settore prevalente	2	1.5	1
ARSIA – Pentolina	direzione vento – settore prevalente	166	180	45
ARSIA – Pentolina	direzione vento settore prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	8	9	3
ARSIA – Pentolina	velocità del vento – settore prevalente – 10 m	1	1	0
ARSIA – Pentolina	velocità del vento – settore prevalente – 3 m	2	1.4	1
ARSIA – Radicofani	direzione vento – settore prevalente	166	135	292
ARSIA – Radicofani	direzione vento settore prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	8	7	13
ARSIA – Radicofani	velocità del vento – settore prevalente	3	3	3
ENEL – Batterina	direzione media	32	13	8
ENEL – Batterina	direzione media prevalente	152	161	0
ENEL – Batterina	direzione prevalente	153	162	14
ENEL – Batterina	direzione vento – settore prevalente	39	25	12
ENEL – Batterina	direzione vento media – in 16 classi 22.5 gradi	2	1	1
ENEL – Batterina	direzione vento media prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	7	7	2
ENEL – Batterina	direzione vento prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	2	1	1
ENEL – Batterina	direzione vento settore prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	7	7	2
ENEL – Batterina	direzione vento vettoriale	157	165	48
ENEL – Batterina	direzione vento vettoriale – in 16 classi 22.5 gradi	7	8	3
ENEL – Batterina	velocità del vento – vettoriale	3	1.8	0
ENEL – Batterina	velocità massima del vento	6	4.5	0
ENEL – Batterina	velocità media del vento	3	2.1	1
ENEL – Batterina	velocità media del vento – settore prevalente	3	2.2	0
ENEL – Batterina	velocità minima del vento	1	0.4	0
ENEL – Piancastagnaio	direzione media	26	9	8
ENEL – Piancastagnaio	direzione media prevalente	147	171	0
ENEL – Piancastagnaio	direzione prevalente	149	173	14
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento – settore prevalente	20	13	8
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento media – in 16 classi 22.5 gradi	2	1	1
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento media prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	6	4	2
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	1	1	1
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento settore prevalente – in 16 classi 22.5 gradi	6	4	2
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento vettoriale	155	188	8
ENEL – Piancastagnaio	direzione vento vettoriale – in 16 classi 22.5 gradi	7	6	2
ENEL – Piancastagnaio	velocità del vento – vettoriale	3	2.3	0
ENEL – Piancastagnaio	velocità massima del vento	6	4.8	0
ENEL – Piancastagnaio	velocità media del vento	3	2.5	0
ENEL – Piancastagnaio	velocità media del vento – settore prevalente	4	2.6	0
ENEL – Piancastagnaio	velocità minima del vento	2	0.7	0
<b>TABELLA 11 – Analisi dei parametri meteorologici</b>				

Come si osserva dalla tabella, la media vettoriale può variare tra le postazioni di qualche decina di gradi tra una postazione e l'altra, mentre per la mediana e la moda queste differenze possono essere anche di molto superiori.

L'aggregazione dei dati di direzione del vento in classi corrispondenti alla rosa dei venti riduce di molto queste differenze, riportando le differenze medie rilevate tra le varie postazioni meteorologiche entro 1 classe.

Nelle analisi statistiche sono stati utilizzati i dati meteorologici che sembravano meglio caratterizzare l'area sotto indagine, e che presentavano il minor numero di dati mancanti, ovvero i dati meteorologici della postazione PC8 di Piancastagnaio, posta in corrispondenza della centrale PC2.

### 3.3.2 Analisi dei parametri chimici

Gli inquinanti presi in esame sono l'Acido solfidrico ( $H_2S$ ) e il Mercurio metallico (Hg).

Se non specificamente indicato, i valori di concentrazioni nelle tabelle sono in  $\mu g/m^3$  per l'Acido solfidrico e in  $ng/m^3$  per il mercurio.

Nelle tabelle seguenti per comodità le postazioni di misura verranno indicate con un sigla, la cui corrispondenza è riassunta nella tabella 12.

Posizione	Codice
Abbadia S.S. – S.Andrea	ABSA
Abbadia S.S – Scuole Elementari	ABSE
Piancastagnaio – Castello	PICA
Piancastagnaio – Fonte Natali	PIFN
Piancastagnaio – Vecchio Mattatoio	PIVM
<b>TABELLA 12 – Postazioni di monitoraggio</b>	

Un primo dato interessante da osservare è la correlazione tra i livelli di Mercurio e Acido solfidrico misurati (tabella 13).

Se la sorgente di emissione (e le modalità di trasporto) dei due inquinanti fosse la stessa, questo valore si avvicinerebbe a 1 (massima correlazione), mentre tenderebbe a 0 se le sorgenti - trasporto differissero in maniera importante.

È evidente dalla tabella che, nelle postazioni della scuola elementare di Abbadia S.S. e del Castello di Piancastagnaio, i due inquinanti hanno comportamenti/origine sostanzialmente differenti confermando i diversi meccanismi di diffusione degli stessi.

Posizione	Correlazioni H <sub>2</sub> S - Hg
Abbadia S.S. – S.Andrea	0.84
Abbadia S.S – Scuole Elementari	0.27
Piancastagnaio – Castello	0.67
Piancastagnaio – Fonte Natali	0.93
Piancastagnaio – Vecchio Mattatoio	0.97
<b>TABELLA 13 – Correlazioni tra H<sub>2</sub>S e Hg</b>	

Per la postazione delle scuole elementari, la causa era già stata evidenziata nelle precedenti relazioni di Arpat, ovvero all'emissione delle centrali si aggiunge un ulteriore contributo (importante) dovuto all'area mineraria (posta a ovest del centro abitato).

Per la postazione del Castello di Piancastagnaio la spiegazione è più complessa. L'effetto è probabilmente dovuto sia – ancora – a un effetto delle sorgenti minerarie, sia a un distorsione del campo dei venti data la presenza del Castello, con diversa influenza tra i due inquinanti.

Nella seguente tabella 14 sono riportati i risultati dell'analisi statistica conoscitiva.

In questa tabella sono introdotti parametri statistici non di uso corrente. In particolare, sono utilizzati i livelli statistici percentili (indicati con  $L_n$  con n un numero), un livello statistico particolare ( $L_{0.1}$ ) e la mediana.

Con i livelli statistici percentili  $L_n$ , si individuano quei valori del parametro che sono superiori (o inferiori, dipende dalla convenzione usata, in questo lavoro viene usata la convenzione “superiori”) all'n percento del totale dei campioni. Ad esempio il valore  $L_{10}$  corrisponde a quel valore che è superiore al 10 % dei dati, e inferiore al restante 90 %. Il valore di  $L_{10}$  sarà quindi inferiore al percentile  $L_{20}$ , che a sua volta è inferiore a  $L_{30}$  etc. Il percentile  $L_{10}$  indica quindi un valore tra i più bassi misurati, ed è un buon indice per la stima del valore di fondo di quel determinato inquinante.

		<b>H<sub>2</sub>S</b>							<b>Hg</b>					
<b>Posizione</b>	<b>Anno</b>	<b>Media</b>	<b>esm</b>	<b>sd</b>	<b>Mediana</b>	<b>L<sub>10</sub></b>	<b>L<sub>olf</sub></b>	<b>n.dat</b>	<b>Media</b>	<b>esm</b>	<b>sd</b>	<b>Mediana</b>	<b>L<sub>10</sub></b>	<b>n. dati</b>
<b>Abbadia S.S. S.Andrea</b>	<b>1997</b>	14.6	1.5	30.9	3.1	1.4	26	427	9.5	0.7	15.0	2.7	1.9	432
	<b>1998</b>	14.4	1.4	29.3	2.4	1.5	31	910	10.4	0.9	18.5	2.9	1.6	951
	<b>1999</b>	17.7	1.2	35.5	4.4	0.8	39	1483	-----	-----	-----	-----	-----	0
	<b>2000</b>	12.6	0.7	28.2	2.7	1.1	28	1607	9.3	0.5	9.9	5.1	2.0	390
	<b>Complessivo</b>	13.9	0.4	30.2	3.0	1.1	30	4427	7.6	0.3	13.5	2.3	0.8	1773
<b>Abbadia S.S. Scuole Elementari</b>	<b>1997</b>	8.7	1.1	21.5	2.8	1.5	22	350	37.1	2.0	35.7	21.5	3.9	309
	<b>1999</b>	3.2	0.4	5.7	1.2	1.0	10	923	7.0	0.7	10.5	2.7	1.3	908
	<b>Complessivo</b>	5.7	0.4	14.0	1.8	1.0	15	1273	17.3	0.7	25.5	4.6	1.4	1217
<b>Piancastagnaio Castello</b>	<b>1997</b>	28.8	1.4	44.5	7.8	1.7	53	952	13.7	0.5	17.2	5.9	2.2	989
	<b>1998</b>	22.8	1.4	41.0	5.7	1.3	48	876	7.8	0.8	18.0	2.1	0.4	560
	<b>Complessivo</b>	25.9	1.0	42.9	7.0	1.5	50	1828	11.6	0.4	17.7	3.8	0.8	1549
<b>Piancastagnaio Fonte Natali</b>	<b>1998</b>	19.4	1.0	31.1	5.0	1.0	44	924	12.1	0.6	19.3	3.2	1.5	938
	<b>1999</b>	10.4	0.6	17.3	3.9	1.1	37	1607	5.7	0.2	6.8	3.1	1.3	1620
	<b>2000</b>	22.5	2.1	40.5	3.2	0.0	43	385	10.8	0.8	15.0	3.5	1.4	385
	<b>Complessivo</b>	15.0	0.5	26.7	4.4	1.0	39	2916	8.5	0.2	13.5	3.1	1.4	2943
<b>Piancastagnaio Vecchio Mattatoio</b>	<b>1997</b>	28.4	2.0	50.9	8.1	3.0	52	295	16.9	1.3	22.9	6.1	2.0	296
	<b>2000</b>	32.7	2.8	49.0	13.6	2.3	59	661	16.9	1.4	23.9	7.5	2.2	657
	<b>Complessivo</b>	34.1	1.9	58.6	9.3	2.4	55	956	18.4	0.9	27.7	6.3	2.1	953

TABELLA 14 – Analisi dei dati chimici

**esm** errore standard della media

**sd** deviazione standard

**L<sub>10</sub>** valore superato dal 90 % dei valori orari misurati ( il valore dei dati orari misurati che è superiore al 10% dei valori più bassi, e inferiore al restante 90 % dei valori misurati)

**L<sub>olf</sub>** percentile corrispondente al valore della soglia olfattiva assunta, e corrisponde alla percentuale dei valori orari misurati sopra la soglia olfattiva

**mediana** il valore che è superiore alla metà dei dati orari misurati, e inferiore all'altra metà (corrispondente a L<sub>50</sub>)

La mediana è definita come il valore che è superiore alla metà dei dati orari misurati, e inferiore all'altra metà, e corrisponde al livello statistico  $L_{50}$ .

Pur se il livello statistico si riferisce a rigore al valore dei campioni misurati, essendo i dati misurati orari, possono essere anche interpretati in termini di tempo, e quindi il valore  $L_{10}$  può essere inteso anche come quel valore che è superato per il 10 % delle ore, e inferiore nel restante 90% delle ore.

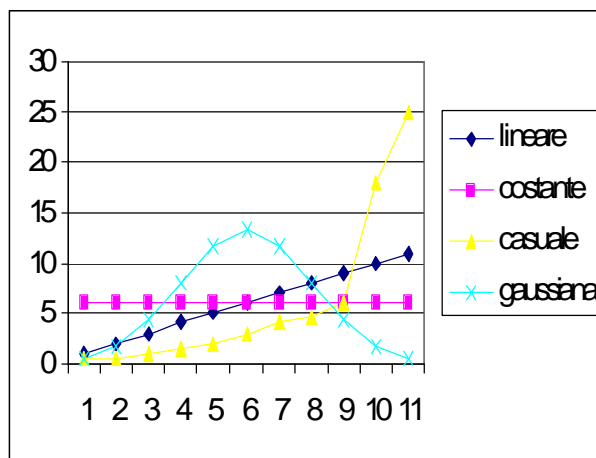
$L_{olf}$  indica invece il valore n del percentile corrispondente al valore della soglia olfattiva assunta, e corrisponde alla percentuale dei valori orari misurati sopra la soglia olfattiva, assunta pari a  $7,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Un valore nella tabella indica quindi che per l'n % dei valori misurati (corrispondente all'n % delle ore) i livelli di Acido solfidrico sono superiori al valore della soglia olfattiva.

L'introduzione di ulteriori parametri rispetto alla semplice media aritmetica, è sempre utile al fine di meglio determinare la curva di distribuzione dei livelli. Conoscere, infatti, solo la media di questa distribuzione, non fornisce in genere informazioni molto utili. Il seguente esempio cercherà di chiarire questo punto. Nella tabella 15 e nella figura sono riportate alcune distribuzioni ipotetiche di valori, tutte con la stessa media.

Dati	lineare	costante	casuale	gaussiana
1	1	6	0.5	0.6
2	2	6	0.5	1.8
3	3	6	1	4.3
4	4	6	1.5	8.0
5	5	6	2	11.7
6	6	6	3	13.2
7	7	6	4	11.7
8	8	6	4.5	8.0
9	9	6	6	4.3
10	10	6	18	1.8
11	11	6	25	0.6
Media	6	6	6	6.0
Mediana	6	6	3	4.3
Dev.st.	3.3	0.0	8.0	4.7

TABELLA 15 – Distribuzioni a media uguale

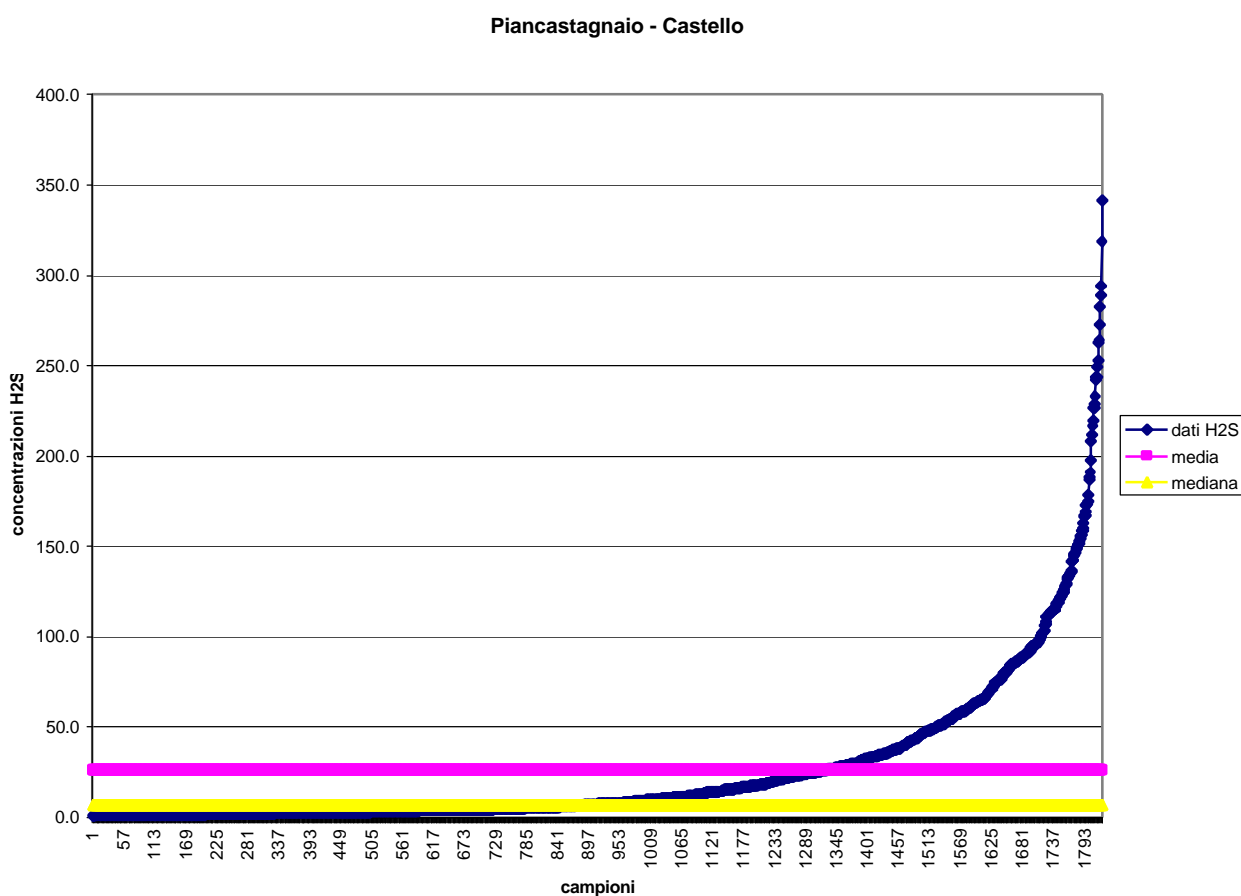




È evidente la differenza tra le distribuzioni, che emerge anche dall'analisi dei valori della deviazione standard (segnalante la dispersione dei dati intorno alla media), e della mediana.

In particolare, nella colonna casuale si può osservare come il valore medio sia fortemente influenzato da pochi valori notevolmente più alti della media.

Questa è in genere la situazione che viene osservata sui dati chimici rilevati nelle postazioni oggetto dell'indagine (si veda ad esempio la seguente figura che riporta i dati relativi all'H<sub>2</sub>S della postazione del Castello di Piancastagnaio, dove il 28% dei valori è superiore alla media).



Quale sia il miglior indicatore da utilizzare oltre alla media (indicatore comunque molto utile) dovrebbe essere conseguenza del confronto con gli standard di legge e/o sui possibili effetti sulla salute.

Se, infatti, l'inquinante ha un effetto soglia (ovvero sopra un determinato valore si evidenziano gli effetti sanitari), la media e la mediana hanno poco senso, mentre dovrebbero essere utilizzati indicatori che indichino i livelli massimi, e le percentuali di campioni sopra soglia. Se invece gli effetti sono dovuti ad effetti di accumulo, allora l'esposizione media diventa un buon indicatore.

Dalla tabella 14 si possono fare considerazioni di tipo qualitativo sui dati analizzati. Rispetto all'Acido solfidrico il valore di base (L<sub>10</sub>) si attesta intorno a 1 µg/m<sup>3</sup> in tutte le postazioni tranne

quella del Vecchio Mattatoio, dove il valore è quasi doppio. Anche sulla mediana e sulla media si osserva lo stesso comportamento. Per il superamento della soglia olfattiva, si va da un minimo del 15% di superamenti orari nella postazione scuole elementari, a un massimo del 55 % della postazione Vecchio Mattatoio.

Per il Mercurio le differenze sono meno marcate con le postazioni con i livelli maggiori che sono quelli delle Scuole Elementari e del Vecchio Mattatoio. Il valore di base è di circa 1,5 ng/m<sup>3</sup>.

### 3.3.3 Analisi congiunta dei parametri meteorologici e chimici

I valori riportati nella tabella 14 possono esser influenzati dal tempo di misura che è necessariamente limitato. Per ovviare a questo, si è preventivamente costruita una tabella (tabella 16) con la percentuale di presenza di vento in ogni settore, che indica quindi lo scenario meteorologico medio dell'area.

Successivamente, a partire dai valori medi misurati in ogni settore, è stata eseguita l'analisi riportata nelle tabelle 17 e 18, dove la prima sezione (media vento) riprende la tabella 16, la seconda (valori medi misurati) riporta le medie degli inquinanti rilevati in ogni settore di direzione del vento. Nella terza sezione (esposizione media annua) i valori medi misurati sono moltiplicati per la frazione di vento in quel settore. La somma dei valori per ogni settore fornisce perciò il “valore orario medio” annuo.

In pratica questo valore è quello che su una ipotetica campagna di misure di 1 anno “medio”, sarebbe il risultato della media aritmetica dei valori orari.

Questo valore medio calcolato a partire dai dati misurati e di direzione del vento può essere confrontato con la semplice media aritmetica misurata (tabelle 19 e 20) dalle quali si osserva come la media aritmetica delle misure abbia in genere sottostimato l'esposizione sia al Mercurio che all'Acido solfidrico. È da sottolineare comunque che nella precedente procedura sono comunque presenti distorsioni e errori, che si ripercuotono sui dati finali per cui è stimabile che fino a una differenza percentuale del 20% i dati possano essere considerati coincidenti.

Media Vento		
Settore	Direzione	%
1	N	4.3
2	NNE	0.9
3	NE	1.2
4	ENE	3.2
5	E	9.0
6	ESE	13.0
7	SE	7.8
8	SSE	4.3
9	S	2.6
10	SSW	1.9
11	SW	1.9
12	WSW	1.6
13	W	2.0
14	WNW	4.4
15	NW	14.0
16	NNW	11.3
20	CALMA	16.7
somma		100.0
<b>TABELLA 16 – Direzione media del vento</b>		

Media Vento			Valori medi misurati H <sub>2</sub> S					Esposizione media annua H <sub>2</sub> S				
Settore	Direzione	%	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm
1	N	4.3	13.9	5.8	11.9	9.3	25.1	0.59	0.25	0.51	0.40	1.07
2	NNE	0.9	11.0	2.7	16.4	9.8	21.8	0.10	0.03	0.15	0.09	0.20
3	NE	1.2	13.1	3.2	38.9	14.3	56.0	0.15	0.04	0.46	0.17	0.66
4	ENE	3.2	15.2	12.0	51.2	26.7	46.1	0.49	0.39	1.65	0.86	1.49
5	E	9.0	23.3	3.9	42.4	18.0	28.2	2.10	0.35	3.81	1.62	2.53
6	ESE	13.0	22.2	13.2	51.7	29.9	69.7	2.89	1.72	6.74	3.90	9.08
7	SE	7.8	25.7	24.6	34.9	24.3	31.7	2.00	1.91	2.71	1.89	2.47
8	SSE	4.3	14.0	14.3	44.9	29.0	63.0	0.60	0.61	1.91	1.23	2.68
9	S	2.6	15.7	11.5	44.6	13.3	38.4	0.40	0.30	1.15	0.34	0.99
10	SSW	1.9	15.0	4.9	30.1	16.5	50.4	0.28	0.09	0.57	0.31	0.96
11	SW	1.9	12.7	3.8	13.8	11.3	36.3	0.24	0.07	0.26	0.21	0.68
12	WSW	1.6	13.4	4.0	12.7	9.8	38.8	0.21	0.06	0.20	0.15	0.61
13	W	2.0	8.8	4.6	17.5	13.8	26.7	0.18	0.09	0.36	0.28	0.54
14	WNW	4.4	15.6	2.6	20.4	25.8	13.9	0.69	0.11	0.90	1.14	0.61
15	NW	14.0	25.2	3.4	23.4	21.2	10.9	3.53	0.47	3.27	2.97	1.52
16	NNW	11.3	8.5	3.4	33.0	16.0	45.2	0.97	0.38	3.74	1.81	5.11
20	CALMA	16.7	16.2	9.4	36.8	29.7	31.7	2.70	1.57	6.14	4.95	5.28
Medie			15.8	7.5	30.8	18.7	37.3	18.11	8.44	34.51	22.32	36.49
<b>TABELLA 17 – Calcolo dell'esposizione all'Acido solfidrico</b>												

Media Vento			Valori medi misurati Hg					Esposizione media annua Hg				
Settore	media	%	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm
1	N	4.3	8.3	42.6	7.7	5.9	13.6	0.4	1.8	0.3	0.3	0.6
2	NNE	0.9	5.6	18.6	7.4	5.2	11.7	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
3	NE	1.2	6.7	11.0	14.3	8.4	28.6	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3
4	ENE	3.2	10.1	28.3	11.2	15.2	23.3	0.3	0.9	0.4	0.5	0.8
5	E	9.0	13.1	11.4	12.8	11.8	15.4	1.2	1.0	1.1	1.1	1.4
6	ESE	13.0	18.2	12.6	22.9	17.2	37.7	2.4	1.6	3.0	2.2	4.9
7	SE	7.8	31.3	14.0	15.4	15.9	16.1	2.4	1.1	1.2	1.2	1.2
8	SSE	4.3	19.3	18.8	25.0	19.5	29.8	0.8	0.8	1.1	0.8	1.3
9	S	2.6	14.9	12.7	24.0	8.4	25.4	0.4	0.3	0.6	0.2	0.7
10	SSW	1.9	15.3	5.6	15.1	10.2	29.0	0.3	0.1	0.3	0.2	0.6
11	SW	1.9	7.8	8.4	8.6	6.9	19.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.4
12	WSW	1.6	5.5	12.1	7.0	5.8	20.6	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3
13	W	2.0	4.7	28.8	7.5	7.5	13.6	0.1	0.6	0.2	0.2	0.3
14	WNW	4.4	5.2	22.4	6.3	11.3	8.5	0.2	1.0	0.3	0.5	0.4
15	NW	14.0	14.9	23.5	9.4	11.4	6.8	2.1	3.3	1.3	1.6	1.0
16	NNW	11.3	4.0	11.7	14.8	8.6	23.3	0.5	1.3	1.7	1.0	2.6
20	CALMA	16.7	8.1	23.0	14.7	15.1	17.4	1.3	3.8	2.5	2.5	2.9
medie			11.3	18.0	13.2	10.8	20.0	12.7	18.4	14.4	12.6	19.6
<b>TABELLA 18 – Calcolo dell'esposizione al Mercurio</b>												

H <sub>2</sub> S					
	Absa	Abse	Pica	Pif n	Pivm
<b>Esposizione media annua calcolata</b>	18.1	8.4	34.5	22.3	36.5
<b>Media delle misure eseguite</b>	13.9	5.7	25.9	15.0	34.1
<b>Differenza</b>	4.2	2.7	8.6	7.3	2.4
<b>Differenza %</b>	30.3	48.0	33.3	48.8	7.0
<b>TABELLA 19 – Confronto esposizione calcolata e misurata</b>					

Hg					
	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm
<b>Esposizione media annua calcolata</b>	12.7	18.4	14.4	12.6	19.6
<b>Media delle misure eseguite</b>	7.6	17.3	11.6	8.5	18.4
<b>Differenza</b>	5.1	1.1	2.8	4.1	1.2
<b>Differenza %</b>	67.4	6.3	23.8	48.6	6.6
<b>TABELLA 20 – Confronto esposizione calcolata e misurata</b>					

Una procedura analoga è stata seguita per l'inquinamento olfattivo da Acido solfidrico, ed i risultati sono riassunti nelle tabelle 21 e 22.

Media Vento			L <sub>olf</sub> misurato					L <sub>olf</sub> calcolato				
Settore	Direzione	%	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm
1	N	5.2	32	14	32	29	44	1.6	0.7	1.6	1.5	2.3
2	NNE	1.1	22	5	32	23	32	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3
3	NE	1.4	28	7	66	46	82	0.4	0.1	0.9	0.7	1.2
4	ENE	3.8	30	35	84	67	96	1.2	1.3	3.2	2.6	3.7
5	E	10.8	48	20	84	66	95	5.2	2.2	9.1	7.1	10.3
6	ESE	15.6	43	52	87	87	100	6.7	8.1	13.6	13.6	15.6
7	SE	9.4	57	70	94	66	90	5.3	6.5	8.8	6.2	8.4
8	SSE	5.2	39	65	100	62	100	2.0	3.4	5.2	3.2	5.2
9	S	3.1	37	30	87	38	85	1.2	0.9	2.7	1.2	2.6
10	SSW	2.3	34	11	70	41	93	0.8	0.3	1.6	0.9	2.1
11	SW	2.3	29	12	33	31	59	0.7	0.3	0.8	0.7	1.3
12	WSW	1.9	28	7	27	32	50	0.5	0.1	0.5	0.6	1.0
13	W	2.4	24	14	34	45	33	0.6	0.3	0.8	1.1	0.8
14	WNW	5.3	30	6	32	66	30	1.6	0.3	1.7	3.5	1.6
15	NW	16.8	28	5	49	77	56	4.7	0.8	8.2	12.9	9.4
16	NNW	13.5	15	9	72	40	76	2.0	1.2	9.8	5.4	10.3
Somma								<b>34.7</b>	<b>26.7</b>	<b>68.8</b>	<b>61.4</b>	<b>76.0</b>
<b>TABELLA 21 – Percentuali di superamento della soglia olfattiva</b>												

L <sub>olf</sub>					
	Absa	Abse	Pica	Pifn	Pivm
Valore medio annuo calcolato	34.7	26.7	68.8	61.4	76.0
Valore dalle misure eseguite	30	15	50	39	55
<b>Differenza</b>	4.7	11.7	18.8	22.4	21.0
<b>Differenza %</b>	13.5	43.8	27.3	36.5	27.7
<b>TABELLA 22 – Confronto tra superamenti della soglia olfattiva misurati e calcolati</b>					

Anche in questo caso dalla tabella 22 emerge una sottostima delle medie che derivano dalla misure, rispetto ai valori estrapolati dalla situazione meteorologica media.

Deve essere ancora sottolineato che nella procedura sono comunque presenti distorsioni e errori, che si ripercuotono sui dati finali per cui è stimabile che fino a una differenza percentuale del 20% i dati possano essere considerati coincidenti.

Come si osserva nelle tabelle, alle varie direzioni del vento corrispondono livelli degli inquinanti chimici differenti. Attraverso l'analisi della modellizzazione dei segmenti precedentemente descritta, è stata analizzata la differenze tra questi valori, per cercare di determinare i fattori che li determinano.

Nell'analisi i fattori presi in considerazione sono la direzione e la velocità del vento (utilizzati non nei loro valori continui ma suddivisi nelle classi indicate nelle tabelle 7 e 8) e i periodi di fermata e di funzionamento delle centrali durante le misure (indicati nelle tabelle con le classi 0/1 rispettivamente).

Le tabelle risultanti dall'analisi (riportate in allegato) si presentano con la struttura della seguente tabella 23, più o meno complessa.

COLONNE												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Media	Parametro	Classi	Valori	Media	Parametro	Classi	Valori	Media	Parametro	Classi	Valori	Media
A	direzione	1	3-10	B	centrale	0	spento	D				
						1	acceso	E	vento	1	0-1/7	25.4
		2	1-2/11-16/20	C	vento	1	0-1/7	F				
						2	2-6	G				

**TABELLA 23 – Legenda analisi statistica dei “segmenti”**

**TABELLA 23 – Legenda analisi statistica dei “segmenti”**

Nella colonna 1 è riportata la media dell'intero insieme delle misure eseguite in quella posizione e per quel parametro chimico. Nella seconda colonna è indicato il parametro che è risultato più significativo nell'analisi, e nella colonne seguenti rispettivamente le classi in cui il parametro è stato suddiviso (3), i valori compresi in ciascuna di queste classi, con riferimento alle tabelle 7 e 8 (4), e la media del parametro chimico per ciascuna delle classi di colonna 3 (5). Se l'analisi ha individuato altri parametri significativi per una classe della colonna 3, questa classe è stata ulteriormente suddivisa con il parametro di colonna 6, con il significato delle colonne 7, 8 e 9 equivalente a quello delle colonne 3, 4 e 5. La procedura di segmentazione continua nello stesso modo con le colonne 10-13.

I risultati dell'analisi mostrano come in determinate situazioni di direzione e velocità del vento (nonché di funzionamento delle centrali), le condizioni espositive della popolazione possano essere notevolmente differenti da quelle medie riportate nelle tabelle da 17 a 20.

In alcune posizioni sono riportate più tabelle (tutte significative) per lo stesso parametro chimico, al fine di meglio evidenziare i contributi significativi alla qualità dell'aria dell'attività delle centrali.

È importante sottolineare che i dati numerici che provengono dalla seguente analisi devono essere utilizzati con grande attenzione.

Infatti non è possibile escludere che un determinato fattore presente nell'analisi (ad esempio il funzionamento di una centrale) si sia accoppiato, per caso o per misclassificazione, con altri parametri non considerati esplicitamente.

Per queste ragioni, pur se nel commento seguente sono indicati dei valori percentuali, questi devono essere considerati solo come indicativi e soggetti anche a grossi errori, mentre sulle

considerazioni qualitative rispetto all'importanza dei vari parametri, il significato è chiaro e non ambiguo.

Sui risultati si possono fare alcune considerazioni di carattere generale:

- In condizioni di velocità del vento bassa/moderata i livelli degli inquinanti sono maggiori;
- L'attività delle centrali è più evidente per il Mercurio, rispetto all'Acido solfidrico;
- L'attività delle centrali è più evidente nelle postazioni di Piancastagnaio;
- I settori di direzione del vento che dall'analisi mostrano le maggiori concentrazioni degli inquinanti, ben si collegano a quelli teorici individuati nella tabella 9, con una differenza massima di 1 o 2 settori, che possono essere facilmente spiegati dalla distorsione del campo dei venti.

Per quanto riguarda invece le singole postazioni, l'analisi mostra i seguenti risultati:

### ➤ **ABBADIA S. S. – Loc. S. Andrea**

- **Mercurio**
  - Le centrali Bellavista e PC2 sono quelle che sembrano contribuire in maniera più marcata ai livelli misurati
  - È significativo nei settori 13-15 il contributo della centrale Bagnore 3;
  - È molto significativo il contributo di PC2 (nei settori 5-8).
- **Acido solfidrico**
  - Si osserva un incremento di circa il 60% tra i settori di direzione del vento dalle centrali e le altre direzioni.
  - La limitata differenza tra i valori riscontrati nella direzione della centrale Bagnore 3 tra i dati con centrale accesa e spenta potrebbero essere attribuiti alle emissioni di H<sub>2</sub>S provenienti dai camini di estrazione dei gas di miniera posti in località Ermeta e Acquapassante.

➤ **ABBADIA S. S. – Scuole elementari**

- **Mercurio**
  - Non appare una marcata differenza tra i settori di direzione del vento dalle centrali e le altre direzioni, a conferma dell'importanza delle emissioni diffuse delle sorgenti minerarie.
- **Acido solfidrico**
  - Per questo parametro chimico appare, in contrasto con il Mercurio, una marcata differenza tra i settori di direzione del vento dalle centrali e le altre direzioni.

➤ **PIANCASTAGNAIO – Castello Aldobrandesco**

- **Mercurio**
  - Appare molto marcato il contributo di PC2.
- **Acido solfidrico**
  - Si osserva un incremento di circa il 40% tra i settori di direzione del vento dalle centrali e le altre direzioni.

➤ **PIANCASTAGNAIO - Fonte Natali**

- **Mercurio**
  - Si osserva un incremento di circa il 40% tra i settori di direzione del vento dalle centrali e le altre direzioni.
- **Acido solfidrico**
  - Si osserva un incremento di circa il 40% tra i settori di direzione del vento dalle centrali e le altre direzioni.

➤ **PIANCASTAGNAIO - Vecchio Mattatoio**

- **Mercurio**
  - Questa è la posizione dove il contributo delle centrali PC4, PC5 e Bellavista è più evidente;
- **Acido solfidrico**
  - Rispetto alla media dei valori misurati, la classe dei settori del vento pertinente a PC4, PC5 e Bellavista mostra un incremento importante;
  - Nel settore di Bagnore 3, il funzionamento della centrale provoca un notevole incremento dei valori misurati.



### 3.4 Valutazioni

Al solo scopo di valutazione per i livelli di Mercurio e Acido solfidrico ammissibili nell'aria si è presa la pubblicazione *“Air quality guidelines for Europe ; second edition” (WHO regional publications. European series ; No. 91)* del 2000.

Vengono quindi identificati due valori guida:

- 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media su 30 minuti per l'inquinamento olfattivo;
- 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media giornaliera per prevenire l'irritazione degli occhi.

È comunque da sottolineare l'osservazione dell'OMS che l'informazione sugli effetti sanitari a lungo termine a basse concentrazioni è insufficiente, e che sono necessari studi epidemiologici per colmare questa lacuna.

Come valore guida viene quindi indicato 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale. Viene comunque sottolineata l'importanza di mantenere i livelli di Mercurio in aria i più bassi possibili, per limitare la formazione di metil-Mercurio, che è classificato come *“possibile cancerogeno per l'uomo”* (classe 2B della classificazione IARC) e agisce attraverso la catena alimentare. Il Mercurio metallico in aria è invece classificato dallo IARC come *“non classificabile rispetto alla cancerogenicità per l'uomo”* (classe 3).

L'OMS identifica inoltre come livelli di fondo ambientale tipici una concentrazione di Mercurio di 2-4  $\text{ng}/\text{m}^3$  nelle aree rurali, e di circa 10  $\text{ng}/\text{m}^3$  nelle aree urbane.

I risultati indicati nella tabella 14 e 22 indicano infatti che in tutte le postazioni è superata la soglia olfattiva indicativa per l'Acido solfidrico di 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  da un minimo del 15%, ad un massimo del 55 % dei campioni orari misurati. Le stime a partire dalla meteorologia dell'area indicano valori maggiori (tra il 27 e il 76 %).

Pur con le incertezze del calcolo, è evidente che nelle postazioni di Piancastagnaio, annualmente in almeno metà delle ore, la soglia olfattiva indicata dall'OMS viene superata.

È doveroso ricordare che nell'area dell'Amiata Senese sono presenti comunque altre sorgenti naturali di  $\text{H}_2\text{S}$ , ed in questa analisi non è ancora stato possibile scorporare questo contributo ai livelli misurati, anche se in molte postazioni è stato evidenziato come sia l'emissione delle centrali geotermiche il contributo fondamentale ai livelli misurati.

Il valore dell'indicatore statistico  $L_{10}$  di tabella 14 indicherebbe comunque un fondo ben inferiore ai valori medi misurati, confermando l'importanza delle emissioni industriali.

Anche per il Mercurio il presente studio ha evidenziato l'importanza dello sfruttamento dell'energia geotermica sui livelli ambientali in aria.

Le concentrazioni medie di questo inquinante si presentano su livelli superiori a quelli tipici di un ambiente rurale, e in genere inferiori a quelli presenti in ambiente urbano. Non è però ancora possibile da questo studio desumere quanto derivi dall'attività naturale e dalla natura geologica dell'Amiata, e quanto dalle attività antropiche di sfruttamento dell'energia geotermica.

Anche in questo caso però il valore dell'indicatore statistico  $L_{10}$  di tabella 14 indicherebbe comunque un fondo ben inferiore ai valori medi misurati, allineato ai valori medi delle aree rurali, confermando quindi l'importanza delle emissioni industriali.

### 3.5 Prime conclusioni

Il presente studio si è basato sui dati meteo-climatici dell'area, e sui dati chimici acquisiti da Arpat a partire dal 1997.

L'analisi aveva lo scopo di correlare le grandezze meteorologiche più importanti per il trasporto degli inquinanti (velocità e direzione del vento) con i valori misurati, al fine di poter estrapolare i risultati di misure di breve-medio periodo, a medie più lunghe.

Inoltre l'obiettivo era anche di determinare semi - quantitativamente il contributo delle varie centrali geotermiche dell'area ai livelli misurati.

La metodologia di analisi adottata, di tipo statistico, ha condotto al raggiungimento dei precedenti obiettivi, evidenziando una situazione critica nell'area per l'inquinamento olfattivo dell'Acido solfidrico.

La seconda parte del progetto di valutazione modellistica della qualità dell'aria, ove finanziata, permetterà di estendere la metodologia agli altri punti di monitoraggio indagati da Arpat, e servirà come input iniziale per la taratura di un modello previsionale\*.

\*Un sentito ringraziamento al servizio Agrometeorologico dell'ARSIA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo-forestale) di Pisa per la celere e completa fornitura dei dati meteorologici richiesti.

Ringraziamo anche la società ERGA, oggi Green Power, per la cessione senza formalismi dei dati meteorologici e di funzionamento delle centrali.

Un sentito ringraziamento anche al personale della UO Tutela della Qualità dell'Aria del Dipartimento di Siena per i consigli, i dati chimici e le elaborazioni cartografiche.

#### **4 ATTIVITÀ DI CONTROLLO DELLE EMISSIONI DEGLI IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DAI FLUIDI GEOTERMICI**

A seguito della nuova normativa che attribuisce alle Regioni le competenze in materia di concessioni per la coltivazione di fluidi geotermici, la Regione Toscana ha previsto uno specifico progetto, scheda n°18: *“Avvio del sistema di monitoraggio delle emissioni in aree geotermiche”* nel Programma di Tutela ambientale 2002-2003, approvato con Delibera del C.G. n° 24 del 30.01.2001. Per l’attuazione di tale progetto è stato assegnato ad ARPAT incarico con Deliberazione del G.R. n° 265 del 18.03.2002.

ARPAT già dal secondo semestre 2001 ha lavorato per attuare l’incarico, successivamente conferito dalla Regione Toscana, organizzando un gruppo di lavoro specifico, con due laureati e due tecnici appositamente selezionati, formati e assegnati al Dipartimento di Siena con l’obiettivo dell’attuazione del controllo delle emissioni degli impianti geotermoelettrici su tutta l’area geotermica, che interessa le province di Siena, Pisa e Grosseto. La formazione ha compreso anche gli aspetti della sicurezza, che, nella fattispecie, riveste una importanza fondamentale, per la complessità e la pericolosità del lavoro da svolgere sulle torri di raffreddamento.

E' stata inoltre acquisita strumentazione per svolgere il controllo delle emissioni stesse.

Malgrado alcune difficoltà tecniche inerenti le modalità operative e le metodiche per l’analisi degli inquinanti in emissione, connesse anche alla specificità ed alla complessità degli impianti geotermoelettrici, il controllo è operativamente iniziato nel mese di maggio 2002.

E' opportuno ricordare che la normativa di riferimento è costituita dal DPR 203/88, ed in particolare dall'art. 17, per gli aspetti amministrativi sul rilascio delle autorizzazioni alle emissioni degli impianti per la coltivazione dei fluidi geotermici, e dal DM 12.07.90, per gli aspetti riguardanti le prescrizioni e la fissazione dei valori limite di emissione per gli impianti esistenti. Infatti il decreto al comma 4 dell'art. 2 stabilisce "...e per gli impianti per la coltivazione di idrocarburi e dei fluidi geotermici, si applicano esclusivamente i valori di emissione e le prescrizioni riportati nell'allegato 3. Per i nuovi impianti le prescrizioni e la fissazione dei valori limite di emissione sono stabiliti dagli Atti Autorizzativi”.

La normativa, oramai datata, anche in relazione alle tecnologie attualmente disponibili, prevede la determinazione di Acido solfidrico nonché quella di Arsenico e Mercurio, questi ultimi analizzati come sali disciolti nell’acqua trascinata (drift). Pertanto la stessa non prende in considerazione il Mercurio in fase gassosa, che costituisce invece la specie più attesa e, sotto il profilo tossicologico, quella più pericolosa.

I controlli alle emissioni, opportunamente allargati ai parametri significativi, si sono basati su campionamenti discontinui effettuati nelle condizioni di esercizio più gravose degli impianti geotermici, valutate secondo la potenza generata, il sistema di alimentazione, la quantità di fluido d'alimentazione ed il rendimento delle apparecchiature della centrale.

Per la scelta delle modalità e delle condizioni operative sono stati definiti criteri da adottare durante le misure e i campionamenti, l'esperienza svolta ha permesso di definire una proposta dell'Agenzia alla Regione Toscana. La Regione, con decreto n° 2750 del 12 Maggio 2003 del Dirigente responsabile dell'Area Qualità dell'aria, rischi industriali, prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento, ha formalizzato l' "Adozione della procedura di riferimento per il controllo delle emissioni di impianti geotermoelettrici".

Per il dettaglio degli argomenti e delle problematiche connesse al controllo si rimanda al decreto citato.

Tutte le operazioni connesse all'attività di controllo delle emissioni sono state sottoposte, prima di tutto, ad un periodo di rodaggio e verifica, per tale motivo alcune centrali sono state soggette a più controlli. I risultati hanno confermato l'ottimo addestramento e capacità professionale del personale addetto e la correttezza dei risultati raggiunti.

### **4.1 Pianificazione dei controlli**

Il programma dei controlli alle emissioni è stato pianificato per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1. la verifica dei valori limite di emissione in riferimento alla vigente normativa;
2. l'acquisizione del maggior numero di dati sperimentali di supporto per la predisposizione di una normativa tecnica di settore, coerente con la realtà emissiva degli impianti geotermoelettrici;
3. la verifica delle emissioni prodotte dall'impianto di abbattimento AMIS installato presso la centrale Bagnore 3 (GR).

Il raggiungimento di tali obiettivi costituisce il primo passo per migliorare la conoscenza necessaria per affrontare in futuro la valutazione dell'impatto esercitato sull'ambiente da ogni centrale e, complessivamente, da tutte le attività di coltivazione dei fluidi geotermici, utilizzando

anche le stime del bilancio di massa supportate da adeguate misure dei flussi e delle concentrazioni degli inquinanti in ingresso e dei flussi e delle concentrazioni degli inquinanti in uscita.

Il controllo ha tenuto conto del fatto che gli impianti geotermoelettrici costituiscono una “tipologia impiantistica” specifica e complessa, di cui alcuni elementi caratterizzanti sono:

- la natura chimico-fisica delle emissioni, formate sia da gas incondensabili, sia da composti che si solubilizzano in acqua e vengono dispersi con il drift;
- le dimensioni fisiche e la geometria dei punti di emissione, che prevedono l’impiego di strumentazione specifica e talvolta appositamente sviluppata;
- variabilità delle caratteristiche dei fluidi in ingresso in relazione al campo geotermico e al sistema di alimentazione della centrale .
- potenza della centrale

Questa complessità e specificità ha richiesto risorse qualificate e opportunamente addestrate al fine anche di garantire una omogeneità procedurale di controllo e di valutazione.

A tal fine la formazione del Gruppo ha riguardato:

! ricerca bibliografica per reperire/approfondire i metodi di campionamento ed analisi, riconosciuti da Organizzazioni accreditate a livello internazionale (EPA, UNICHIM), per gli inquinanti presenti, o comunque potenzialmente presenti, nei fluidi geotermici (Arsenico, Mercurio ed altri metalli, Ammoniaca, da determinare sia in fase gassosa sia in fase trascinata unitamente ai composti del Boro, ac. Solfidrico ed altri componenti della fase gassosa), ampliando quindi il quadro delle sostanze da misurare rispetto a quelle richieste dalla vigente normativa;

! messa a punto dei metodi, adattandoli alle specificità connesse sia con le caratteristiche dei fluidi geotermici (alto contenuto di Ac. solfidrico), sia con la particolare struttura impiantistica delle centrali geotermoelettriche;

! redazione della “valutazione dei rischi” connessi con lo svolgimento delle attività e la relativa procedura operativa, approvate dal Servizio Prevenzione e Protezione di ARPAT, e presentazione alla Società Enel/Green Power;

Considerate le centrali presenti in Toscana, si è ritenuto opportuno adottare i seguenti criteri per definire il programma operativo e le priorità:

- vetustà degli impianti,
- potenzialità degli impianti,
- presenza di impianto di abbattimento in messa in esercizio/funzionamento,
- assenza di programmi Enel per sostituzioni/dismissioni,
- ubicazione provinciale,
- vicinanza a centri abitati,
- presenza di criticità territoriale.

Ulteriori criteri potranno essere concordati in futuro con le autorità e comunque definiti in corso d'opera a seguito dell'esito dei primi accertamenti.

## 4.2 Organizzazione, metodologia e procedure dei controlli

Per le parti metodologiche, tecniche, analitiche e procedurali dei controlli sulle emissioni degli impianti geotermoelettrici ubicati nelle Province di Siena, Pisa e Grosseto si fa riferimento al decreto n° 2750/03 sopracitato *"Adozione della procedura di riferimento per il controllo delle emissioni di impianti geotermoelettrici"*.

Sulla base dei criteri definiti è stata organizzata la prima fase di controllo che ha previsto la caratterizzazione quali-quantitativa delle emissioni di centrali ricadenti nel territorio di Pisa, di Grosseto e Siena, zona dell'Amiata, per un totale di 12 impianti. Specificatamente per ogni centrale il controllo ha compreso i campionamenti alle emissioni, le misure fisiche in loco, le analisi dei campioni prelevati e l'elaborazione dei risultati. Pertanto il tempo medio impiegato totale è di circa 40 giorni, se non intervengono ostacoli durante le indagini sul posto, connessi alla gestione dell'impianto e dei relativi sistemi di regolazione e controllo.

L'organizzazione dei controlli ha tenuto conto anche del fatto che una squadra, composta da n° 4 operatori, può effettuare in circa 12 giorni un intervento in campo per le misure di seguito indicate:

- misure in torre, al di sopra dei ventilatori, di Arsenico, Mercurio ed altri metalli, allo stato gassoso, nonché di Ac. solfidrico ed Ammoniaca anch'essi allo stato gassoso;

- misure sul drift all'interno della torre per la determinazione della concentrazione dell'Arsenico, Mercurio e Boro come sali disciolti, nonché dell'Ac. solfidrico allo stato gassoso. La misura della concentrazione del Boro, presente in elevata concentrazione nel drift, è necessaria per la determinazione indiretta dei volumi del drift emesso;
- misure allo scarico del compressore (ossia a livello degli incondensabili) con determinazione della composizione del gas (e conseguentemente anche del contenuto in Ac. solfidrico), dell'Arsenico, Mercurio ed altri metalli e dell'Ammoniaca allo stato gassoso.

Sulla base di questi tempi sono stati controllati finora 12 impianti geotermoelettrici entro la scadenza della convenzione.

### 4.3 Caratteristiche delle centrali

Le centrali della ENEL Green Power, che producono energia elettrica dallo sfruttamento dei fluidi geotermici, sono dislocate su un'ampia area della Toscana compresa nelle province di Pisa, Siena e Grosseto. La maggiore concentrazione di centrali si trova in provincia di Pisa, mentre le restanti sono ripartite tra le altre due province di Grosseto e Siena, ovvero nella zona del monte Amiata (Piancastagnaio -SI- e S. Fiora -GR-), di Monterotondo (GR) e di Radicondoli (SI).

Nel complesso le centrali da controllare sono trentaquattro di cui quattro (inserite nel progetto) al momento non attive.

Il panorama è assai variegato, come risulta dallo schema riportato negli allegati tecnici, in quanto si possono distinguere per:

- data di attivazione (in qualche caso antecedenti addirittura al 1950)
- potenzialità produttiva
- assetto e tecnologia impiantistica
- caratteristiche chimico/fisiche dei fluidi di alimentazione (composizione del fluido, temperatura, portata oraria, etc. ).

Schematizzando, il ciclo che dà luogo alle emissioni in atmosfera presenta le seguenti caratteristiche. I reflui emergenti dalle turbine (incondensabili e condense), dopo aver subito le varie fasi di processo, sono rilasciati a livello delle torri di raffreddamento, oggi profondamente modificate, rispetto al passato, nella struttura e nell'impiantistica (con conseguente maggior efficienza di raffreddamento e di dispersione dei fluidi emessi), specialmente dal punto di vista delle minori dimensioni. Nelle torri confluiscono, infatti, sia le condense primarie derivanti dal

passaggio di stato della frazione di vapore d'acqua originario del fluido, sia gli incondensabili (sostanze che alle condizioni di processo conservano lo stato fisico di gas) al di sopra del ventilatore. La fase condensabile è ulteriormente raffreddata all'interno della torre che esercita anche una contenuta azione d'abbattimento nei confronti delle sostanze idrofile. I reflui liquidi, in uscita dalle torri, sono reiniettati nel campo geotermico attraverso appositi pozzi, detti di reiniezione, che contribuiscono ad evitare un rapido impoverimento del campo geotermico.

Nel caso in cui sia installato l'impianto di abbattimento, denominato AMIS e finalizzato a ridurre i flussi di massa di  $H_2S$  e  $Hg$ , come alla centrale Bagnore 3, gli incondensabili sono prima inviati ad un sistema di trattamento e poi convogliati alla torre.

## 4.4 Impianti controllati

La prima fase ha previsto l'intervento di controllo degli impianti della zona amiatina, di cui viene riportato il Censimento degli impianti geotermoelettrici presenti nell'area del monte Amiata, successivamente i controlli si sono estesi anche a centrali ubicate nelle province di Pisa e Grosseto.

Nell'area del monte Amiata sono presenti complessivamente n° 7 centrali geotermoelettriche. Da Giugno ad oggi 5 di esse sono risultate in esercizio, 1 è stata tenuta momentaneamente fuori esercizio per scelta del gestore, mentre 1 è stata dismessa.

La localizzazione territoriale delle centrali, riportate in ordine temporale d'installazione, è la seguente.

Comune di **Piancastagnaio**, provincia di Siena:

- PC2. E' la prima centrale entrata in esercizio nel 1969, e ristrutturata nel 1990. Ha una potenza nominale di 8 MWe. E' del tipo a condensatore atmosferico e fornisce calore per lo stabilimento FLORAMIATA;
- BELLAVISTA. L'installazione è successiva a PC2 e precisamente la messa in esercizio risale al 1987. E' la prima centrale dotata di condensatore barometrico dell'area del monte Amiata. Ha una potenza nominale di 20 MWe. Dal Maggio 2002 è tenuta volontariamente fuori esercizio da parte della Società Enel GreePower per insufficienza del fluido geotermico d'alimentazione che affluisce alla rete d'erogazione, rete comune delle tre centrali BELLAVISTA, PC4 e PC5;
- PC3, ha potenza nominale di 20 MWe e condensatore barometrico ed è entrata in esercizio nel 1990;



- PC4, ha potenza nominale di 20 MWe e condensatore barometrico ed è entrata in esercizio nel 1991;
- PC5, ha potenza nominale di 20 MWe e condensatore barometrico. E' la centrale più recente tra quelle installate nel Comune di Piancastagnaio in quanto è entrata in esercizio nel 1995.

Comune di **Santa Fiora**, in loc. **Bagnore**, provincia di Grosseto:

- BAGNORE 2, entrata in esercizio nel 1962 e dimessa da tempo ;
- BAGNORE 3, con potenza nominale di 20 MWe. E' la centrale di più recente installazione dell'area del monte Amiata in quanto è entrata in esercizio nel 1998 ed è la prima ad essere dotata d'impianto d'abbattimento (AMIS) alle emissioni degli inquinanti costituiti da Acido solfidrico e Mercurio.

A Giugno 2003 sono state controllate le centrali PC3, PC4, PC5, PC2, Bagnore 3, Travale 4, Monteverdi 1, Selva 1, Nuova Serrazzano, Castelnuovo, Carboli 1.

La centrale BELLAVISTA non è stata controllata perché fuori esercizio.

Il controllo alle centrali si è svolto con la seguente cadenza temporale:

- PC3, prima serie di misure nei giorni 22÷23.05.2002,
- PC4, prima serie di misure nei giorni 4÷5.06.2002,  
In tali occasioni è stata fatta la verifica sul campo delle metodiche, introducendo le opportune modifiche. La ripetizione delle misure, risultate incerte in occasione della prima serie di controlli per i motivi indicati in allegato 3, si è svolta nei giorni 4÷5 e 10÷11 Settembre 2002, rispettivamente per PC4 e PC3.
- PC5, nei giorni 10÷12.06.2002,
- Bagnore 3, nei giorni 24÷26.09.2002 e 2.10.2002,
- Travale 4, nei giorni 26÷28.11.2002 e 10÷11.12.2002,
- Monteverdi 1, nei giorni 3÷5.02.2003.
- Selva 1 (1 gruppo da 20 MWe), situata nel comune di Castelnuovo Val di Cecina (PI). I controlli alle emissioni sono stati effettuati nei giorni 23-26 febbraio 2003;
- PC2 (1 gruppo da 8 MWe con condensatore atmosferico), situata nel comune di Piancastagnaio (SI). I controlli alle emissioni sono stati effettuati nei giorni 3-5 marzo 2003 in condizioni di assetto invernale e ripetuti il 22 aprile 2003 in condizioni di assetto ridotto;

- Nuova Serrazzano (1 gruppo da 40 MWe), situata nel comune di Pomarance (PI). I controlli alle emissioni sono stati effettuati nei giorni 14-15 aprile e 7-13 maggio 2003;
- Castelnuovo (1 gruppo da 15 MWe), situata nel comune di Castelnuovo Val di Cecina (PI). I controlli alle emissioni sono stati effettuati nei giorni 20-21 maggio e 16-17 giugno 2003;
- Carboli 1 (1 gruppo da 20 MWe), situata nel comune di Monteverdi Marittimo (PI). I controlli alle emissioni sono stati effettuati nei giorni 14-16 luglio 2003;

Relativamente alla centrale PC2 in assetto invernale l'alimentazione avveniva mediante il fluido erogato da n° 3 pozzi del campo geotermico superficiale e n° 1 pozzo del campo geotermico profondo, mentre in condizioni di assetto ridotto l'alimentazione era limitata ai soli tre pozzi del campo geotermico superficiale.

Per la centrale PC2 è da evidenziare, comunque, che, nonostante i limiti siano rispettati, poiché i flussi di massa sono al di sotto del valore indicato dalla normativa, in entrambe le condizioni di assetto di alimentazione si ha un'elevata concentrazione di Acido solfidrico a livello dello scarico del camino.

I risultati dei controlli sono disponibili e consultabili attraverso la lettura dei seguenti “dossier” presso il Dipartimento provinciale Arpat di Siena:

Allegato 5a	centrale PC 3 (SI)
Allegato 5b	centrale PC 4 (SI)
Allegato 5c	centrale PC 5 (SI)
Allegato 5d	centrale Bagnore 3 (GR)
Allegato 5e	centrale Travale 4 (GR)
Allegato 5f	centrale PC 2 (SI)
Allegato 5g	centrale PC 2 (SI)
Allegato 5h	centrale Monteverdi (PI)
Allegato 5i	centrale Selva (PI)
Allegato 5l	centrale Nuova Serrazzano (PI)
Allegato 5m	centrale Castelnuovo Val di cecina (PI)
Allegato 5n	centrale Carboli (PI)

## 4.5 Risultati

Il controllo ha comportato il prelevamento e la successiva analisi di 790 campioni, incluse le acque di reiniezione, e circa 4.800 determinazioni analitiche, alle quali vanno aggiunte le misure fisiche dei fluidi (temperatura, pressione, velocità e portata nonché umidità, effettuate direttamente sugli impianti). Il dettaglio dei campionamenti è il seguente.

PC3, n° 51 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 8 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 31 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre;

PC4, n° 48 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 8 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 28 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre;

PC5, n° 48 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 6 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 30 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre;

BAGNORE 3, n° 65 campioni complessivi di cui n° 9 di drift, n° 12 di acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 44 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre. In questa centrale le misure sono state pianificate con l'obiettivo, anche, di valutare l'efficacia dell'impianto d'abbattimento,

TRAVALE 4, n° 41 campioni complessivi di cui 9 di drift, n° 8 di acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 24 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre;

Monteverdi 1, n° 40 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 8 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 20 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre; i parametri analizzati complessivamente sono 300.

Selva 1, n° 50 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 8 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 30 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre; i parametri analizzati complessivamente sono 308.

PC2 I campionamento (assetto invernale), n° 15 campioni complessivi di cui n° 2 di condensa/drift, n° 1 acqua di reiniezione e n° 12 della componente gassosa prelevati al camino. I parametri analizzati complessivamente sono 166.

PC2 II campionamento, n° 13 campioni complessivi di cui n° 3 di condensa/drift, n° 2 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, n° 8 della componente gassosa prelevata al camino. I parametri analizzati complessivamente sono 98.

Nuova Serrazzano, n° 61 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 6 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 47 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre; i parametri analizzati complessivamente sono 346.

Castelnuovo, n° 46 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 2 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 32 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre; i parametri analizzati complessivamente sono 272.

Carboli 1, n° 43 campioni complessivi di cui n° 12 di drift, n° 2 d'acqua di reiniezione, calda e fredda, circolante nella torre, n° 29 della componente gassosa prelevati in parte a livello del condotto degli incondensabili, in parte a livello della torre; i parametri analizzati complessivamente sono 280.

Sono state inoltre prelevate, con campionamenti direttamente al livello dei pozzi, ed analizzate n° 11 acque di reiniezione.

La rappresentazione sintetica dei risultati dei primi controlli alle emissioni totali di ogni impianto è riportata nella tabella che segue, mentre i risultati in dettaglio sono descritti nei rispettivi allegati che costituiscono parte integrante del presente rapporto.

#### 4.6 Valori di emissione inquinanti

Sulla base delle condizioni e dei criteri adottati, considerati i dati comunicati da ENEL Green Power relativamente alle condizioni d'esercizio delle centrali ed ai parametri fisici all'atto dei campionamenti, tenuto conto dei vincoli connessi alla strumentazione disponibile ed alle postazioni di campionamento attualmente possibili, considerate altresì le ipotesi adottate, si può concludere che per le dodici centrali controllate non si rilevano irregolarità ai sensi della normativa vigente, come evidenziato in Tabella 1.

Per la centrale Bagnore 3 da evidenziare l'ottimo rendimento dell'impianto AMIS di abbattimento dell'Acido solfidrico e del Mercurio che per i gas incondensabili risulta superiore al 90 %, fatto che complessivamente determina per l'Acido solfidrico un rendimento di centrale pari al 77 % e per il Mercurio pari al 90 %, come riportato nello schema seguente.

<b>AMIS</b>				
<b>Centrale BAGNORE 3</b>	<b>Emissione senza impianto di abbattimento AMIS</b>	<b>Rendimento dell'impianto di abbattimento AMIS</b>		<b>Emissione complessiva di centrale dopo abbattimento</b>
<b>inquinante</b>		<b>% abb. sullo scarico estrattore gas incondensabili</b>	<b>% abb. complessivo di centrale</b>	
<b>Hg g/h</b>	15,6	92,5	92,5	1,2
<b>H<sub>2</sub>S Kg/h</b>	96,9	97,6	77	22,3
<b>NH<sub>3</sub> Kg/h</b>	87	81,8	trascurabile	87

In merito ai parametri sottoposti a controllo ma non normati dall'allegato 3, lettera C, punto C del D. M. 12.07.1990 e/o dagli atti autorizzativi emanati da MICA o Regione Toscana, la Tabella 2 riassume per tutte le centrali i valori di emissione rilevati espressi sia come flusso di massa che in concentrazione. A solo scopo di confronto nella stessa tabella vengono riportati anche i valori limite previsti dall'allegato 1 del D.M. 12.07.1990, applicabili agli impianti esistenti diversi dalle centrali per la coltivazione dei fluidi geotermici.

Tabella 1: Sintesi inquinanti normati – centrali controllate fino al luglio 2003

CENTRALE	<b>PC3</b> 22-23.05.2002		<b>PC4</b> 4-5.06.2002		<b>PC5 ( PC4 gruppo 2 )</b> 10-11-12.06.2002		<b>Limiti di riferimento</b>	
Autorizzazione	Decreto MICA 27/10/1988		Decreto MICA 27/10/1988		Decreto MICA 27/10/1988		D.M. 12/7/90 allegato 3, punto C	
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	195600	34,5	158200	25,4	192300	32,16	170000	70
Arsenico (sale disciolto)	0,302	5,3 E-05	0,078	1,3 E-05	0,052	8,77 E-06	5	1
Mercurio (sale disciolto)	0,066	1,2 E-05	0,007	1,2 E-06	0,007	1,19 E-06	1	0,2

CENTRALE	BAGNORE 3 24-25-26.09.2002		Limiti di riferimento	
Autorizzazione	Decreto MICA 13/08/1996			
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	22260	3,77	90000	56,3
Arsenico (sale disciolto)	0,023	3,87 E-06	3,36	tracce
Mercurio (sale disciolto)	0,022	3,73 E-06	0,8	tracce
Anidride carbonica	6,2 E+06	1049	8,8 E+06	5500

# ARPAT

CENTRALE	TRA VALE 4 26-27-28.11.2002		Limiti di riferimento	
Autorizzazione	D.G.R.T. N° 4090 del 6/08/2002			
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	112800	10,18	400000	53,2
Arsenico (in tutte le sue forme)	<5,54	<0,0005	10	0,00131
Mercurio (in tutte le sue forme)	8,6	7,7 E-04	25	0,0033

CENTRALE	MONTEVERDI 1 4-5.02.2003		Limiti di riferimento		SELVA 1 24-26.02.2003		Limiti di riferimento	
Autorizzazione	Decreto MICA di concerto con il Ministero dei Lavori Pubblici 20/04/1995				Decreto MICA di concerto con il Ministero dei Lavori Pubblici 25/02/1998			
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	59330	11,56	150000	93,7	73600	12,26	90000	56,3
Arsenico (sale disciolto)	0,019	3,72 E-06	2,6	tracce	0,112	1,87 E-05	1,92	tracce
Mercurio (sale disciolto)	0,0004	7,96 E-08	0,6	tracce	0,019	3,20 E-06	0,6	tracce
Anidride carbonica	2,06 E +06	401	5,28 E +06	3300	5,98 E +06	997	5,28 E +06	3300

# ARPAT

CENTRALE	PC2 assetto invernale 4-5.03.2003		PC2 22.04.2003		Limiti di riferimento D.M. 12/7/90 allegato 3, punto C	
Autorizzazione	Decreto n° 152-54 MICA di concerto con il Ministero dei Lavori Pubblici 10/06/68					
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	143100	2851	153700	2440	170000	70
Arsenico (sale disciolto)	0,0034	6,8 E-05	0,0764	1,22 E-03	5	1
Mercurio (sale disciolto)	0,0019	3,8 E-05	0,0041	6,59 E-05	1	0,2

CENTRALE	NUOVA SERRAZZANO 15.04 e 7-13.05.2003		Limiti di riferimento		NUOVA CASTELNUOVO 21.05 e 16-17.06.2003		Limiti di riferimento D.M. 12/7/90 allegato 3, punto C	
Autorizzazione	Atto MICA del 23/03/2000				Atto Direttore Generale MICA prot. n°445458 del 28/02/2000			
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	g/h	mg/Nm <sup>3</sup>	Flusso di massa g/h	Concentrazion e mg/Nm <sup>3</sup>	g/h	mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	216200	19,6	290000	-	49800	13,3	170000	70
Arsenico (sale disciolto)	0,229	2,08 E-05	5	-	0,063	1,70 E-05	5	1
Mercurio (sale disciolto)	0,002	1,79E -07	1	-	0,0004	1,06 E-07	1	0,2



CENTRALE	CARBOLI 1 15-16.07.2003		Limiti di riferimento	
Autorizzazione	Decreto MICA di concerto con il Ministero dei Lavori Pubblici 01/02/1996			
INQUINANTE	Flusso di massa g/h	Concentrazione mg/Nm <sup>3</sup>	g/h	mg/Nm <sup>3</sup>
Acido solfidrico	30300	7,0	135000	84,40
Arsenico (sale disciolto)	0,34	7,87 E-05	1,9	Tracce
Mercurio (sale disciolto)	< 0,0005	<1,25E-07	0,6	Tracce
Anidride carbonica	1,39 E+06	321,7	4,88 E+06	3050

Nota Tabella 1:

E-05  $\equiv 1 \times 10^{-5}$ , perciò la concentrazione di Arsenico 6,8 E-05 mg/Nm<sup>3</sup> equivale a 0,000068 mg/Nm<sup>3</sup> e la concentrazione di Mercurio 3,8 E-05 mg/Nm<sup>3</sup> equivale a 0,000038 mg/Nm<sup>3</sup>

E+06  $\equiv 1 \times 10^{+6}$ , perciò, ad esempio, il flusso di massa di anidride carbonica 8,8 E+06 g/h equivale a 8800000 g/h.

Tabella 2: Sintesi inquinanti non normati – centrali controllate fino al Luglio 2003

<b>Centrale</b> Carico al momento dei controlli Portata fluido di alimentazione Date campionamenti	<b>PC3</b> 18,4 MW 119,4 t/h 22-23- maggio 2002 torre		<b>PC4</b> 17,1 MW 122,9 t/h 4-5 giugno 2002 torre		<b>PC5</b> 16,9 MW 123,3 t/h 10,11,12 giugno 2002 torre		<b>Limiti</b> (allegato 1 D.M. 12/7/90)	
INQUINANTE	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )
Ammoniaca	143700	25,35	124400	20	98600	16,5	2000	250
Arsenico e suoi composti	< 2,38	< 0,00042	< 16,14	< 0,0026	< 21,52	< 0,0036	5	1
Antimonio e suoi composti	< 7,4	< 0,0013	< 19,87	< 0,0032	< 26,9	< 0,0045	25	5
Selenio e suoi composti	< 7,4	< 0,0013	< 19,87	< 0,0032	< 26,9	< 0,0045	5	1
Mercurio e suoi composti	27,1	0,0048	58,4	0,0094	29,5	0,0049	1	0,2
Cadmio e suoi composti	< 0,0017	< 2,96 E-07	< 0,00029	< 4,73 E-08	< 0,00022	< 3,7 E-08	1	0,2
Cromo totale e suoi composti	0,022	3,86 E-06	0,006	8,99 E-07	0,00088	1,48 E-07	5	1
Manganese e suoi composti	< 0,008	< 1,48 E-06	< 0,0015	< 2,36 E-07	0,00044	7,42 E-08	25	5
Nichel e suoi composti	0,091	1,6 E-05	0,018	2,92 E-06	0,006	1,08 E-06	5	1
Piombo e suoi composti	< 0,008	< 1,48 E-06	< 0,0015	< 2,36 E-07	< 0,00022	< 3,7 E-08	25	5
Rame e suoi composti	< 0,008	< 1,48 E-06	< 0,0015	< 2,36 E-07	0,00088	1,48 E-07	25	5
Vanadio e suoi composti	< 0,008	< 1,48 E-06	< 0,0015	< 2,36 E-07	< 0,00022	< 3,7 E-08	25	5
Acido Borico	932,9	0,165	300,1	0,048	199,8	0,033	-	-

<b>Centrale</b> Carico al momento dei controlli Portata fluido di alimentazione Date campionamenti	<b>Bagnore 3</b> 19,4 MW 125,9 t/h 24-26 settembre 2002 torre		<b>Travale 4</b> 35,4 MW 227,8 t/h 26-28 novembre 2002 torre		<b>PC2 (assetto invernale)</b> 6 MW 89,5 t/h 4-5 marzo 2003 camino		<b>Limiti</b> (allegato 1 D.M. 12/7/90)	
INQUINANTE	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )
<b>Ammoniaca</b>	87000	14,7	25200	2,3	<b>23100</b>	<b>459,6</b>	2000	250
<b>Arsenico e suoi composti</b>	<0,28	<4,8 E-05	normato	normato	0,3	0,006	5	1
<b>Antimonio e suoi composti</b>	<0,18	<3,0 E-05	<3,3	<3,0 E-04	<0,15	< 0,003	25	5
<b>Selenio e suoi composti</b>	<0,17	<2,9 E-05	<3,3	<3,0 E-04	< 0,015	< 0,0003	5	1
<b>Mercurio e suoi composti</b>	1,2	2,01 E-04	normato	normato	<b>85,3</b>	<b>1,7</b>	1	0,2
<b>Cadmio e suoi composti</b>	<0,002	<3,52 E-07	0,001	<1,13 E-07	< 0,00018	< 3,56 E-06	1	0,2
<b>Cromo totale e suoi composti</b>	<0,010	<1,76 E-06	<0,006	<5,66 E-07	< 0,00089	< 1,78 E-05	5	1
<b>Manganese e suoi composti</b>	<0,010	<1,76 E-06	0,007	6,79 E-07	< 0,00089	< 1,78 E-05	25	5
<b>Nichel e suoi composti</b>	<0,010	<1,76 E-06	<0,006	<5,66 E-07	0,0025	4,98 E-05	5	1
<b>Piombo e suoi composti</b>	<0,010	<1,76 E-06	<0,006	<5,66 E-07	< 0,00089	< 1,78 E-05	25	5
<b>Rame e suoi composti</b>	0,014	2,46 E-06	0,013	1,25 E-06	< 0,0016	< 3,20 E-05	25	5
<b>Vanadio e suoi composti</b>	<0,010	<1,76 E-06	<0,006	<5,66 E-07	< 0,00089	< 1,78 E-05	25	5
<b>Acido Borico</b>	289,9	0,049	574,8	0,052	30,84	6,14E-01	-	-

<b>Centrale</b> Carico al momento dei controlli Portata fluido di alimentazione Date campionamenti	<b>PC2</b> 4,85 MW 93.0 t/h 22 aprile 2003 camino		<b>Monteverdi</b> 11,4 MW 78,1 t/h 4-5 febbraio 2003 torre tiraggio indotto		<b>Selva 1</b> 19,1 MW 126,1 t/h 24-26 febbraio 2003 torre tiraggio indotto		<b>Limiti</b> (allegato 1 D.M. 12/7/90)	
INQUINANTE	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )
<b>Ammoniaca</b>	n.d.	n.d.	8200	1,7	33600	5,6	2000	250
<b>Arsenico e suoi composti</b>	0,08	1,21 E-03	n.d.	n.d.	<6,00	<0,001	5	1
<b>Antimonio e suoi composti</b>	0,0015	2,38 E-05	<5,13	<0,001	<5,40	<0,0009	25	5
<b>Selenio e suoi composti</b>	<0,003	<5,93 E-05	<0,51	<0,0001	<0,54	<0,0001	5	1
<b>Mercurio e suoi composti</b>	n.d.	n.d.	2,18	0,0004	3,97	0,0007	1	0,2
<b>Cadmio e suoi composti</b>	<0,00018	< 2,97 E-05	<0,0007	<1,44 E-07	<0,0011	<1,79 E-07	1	0,2
<b>Cromo totale e suoi composti</b>	< 0,00093	< 1,48 E-05	<0,0037	<7,23 E-07	<0,0053	<8,98 E-07	5	1
<b>Manganese e suoi composti</b>	< 0,00093	< 1,48 E-05	<0,0037	<7,23 E-07	<0,0053	<8,98 E-07	25	5
<b>Nichel e suoi composti</b>	< 0,00093	< 1,48 E-05	<0,0037	<7,23 E-07	0,016	2,69 E-06	5	1
<b>Piombo e suoi composti</b>	< 0,00093	< 1,48 E-05	<0,0037	<7,23 E-07	<0,0064	<1,07 E-06	25	5
<b>Rame e suoi composti</b>	< 0,00093	< 1,48 E-05	<0,0037	<7,23 E-07	0,0097	1,62 E-06	25	5
<b>Vanadio e suoi composti</b>	< 0,00093	< 1,48 E-05	<0,0037	<7,23 E-07	<0,0053	<8,98 E-07	25	5
<b>Acido Borico</b>	154,6	2,46	51,6	1,00E-02	788,3	1,31E-01	-	-

<b>Centrale</b>	<b>Nuova Serrazzano</b>		<b>Castelnuovo</b>		<b>Carboli 1</b>		<b>Limiti (allegato 1 D.M. 12/7/90)</b>	
Carico al momento dei controlli Portata fluido di alimentazione Date campionamenti	45,9 MW 400,1 t/h 15 aprile, 7-13 maggio 2003 Torri tiraggio naturale		13,7 MW 136,0 t/h 21 maggio, 16,17 giugno 2003 Torre tiraggio naturale		MW t/h Luglio 2003 Torre tiraggio indotto			
INQUINANTE	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )	Flusso di massa (g/h)	Conc. (mg/Nm <sup>3</sup> )
Ammoniaca	4000	0,36	16900	4,52	10800	2,5	2000	250
Arsenico e suoi composti	<4,12	<0,0004	<2,62	<0,0007	<1,73	<0,0004	5	1
Antimonio e suoi composti	<5,52	<0,0005	<3,37	<0,0009	<1,73	<0,0004	25	5
Selenio e suoi composti	<0,55	<0,0001	<0,34	<0,0001	<0,43	<0,0001	5	1
Mercurio e suoi composti	10,15	0,0009	5,69	0,0015	0,6	0,0001	1	0,2
Cadmio e suoi composti	<0,0010	<9,03 E-08	<0,0006	<1,59 E-07	<0,0011	<2,50 E-07	1	0,2
Cromo totale e suoi composti	<0,0050	<4,51 E-07	<0,003	<7,95 E-07	0,0076	1,75 E-06	5	1
Manganese e suoi composti	<0,0050	<4,51 E-07	<0,003	<7,95 E-07	<0,0054	<1,25 E-06	25	5
Nichel e suoi composti	<0,0050	<4,51 E-07	<0,003	<7,95 E-07	<0,0054	<1,25 E-06	5	1
Piombo e suoi composti	<0,0050	<4,51 E-07	<0,003	<7,95 E-07	<0,0054	<1,25 E-06	25	5
Rame e suoi composti	<0,0050	<4,51 E-07	<0,003	<7,95 E-07	<0,0054	<1,25 E-06	25	5
Vanadio e suoi composti	<0,0050	<4,51 E-07	<0,003	<7,95 E-07	<0,0054	<1,25 E-06	25	5
Acido Borico	327,5	2,97E-02	247,0	6,61E-02	458,4	1,06 E-01	-	-

Note Tabella 2

n.d.= non determinato

- = non previsto

Dove è indicato il simbolo< (minore) il valore è calcolato sulla base del limite di rilevabilità dell'elemento con il metodo utilizzato determinato come sale disciolto nel drift.

## 4.7 Considerazioni

Le presenti considerazioni sono formulate sulla base dei controlli e dei monitoraggi eseguiti fino al novembre 2003; possono, pertanto, essere in futuro suscettibili di modifiche in rapporto ad ulteriori indicazioni che potranno emergere dall'applicazione del protocollo (vedi autocontrolli del gestore e correlazione potenza/caratteristiche del fluido in entrata) e alle proposte di ristrutturazione presentate dal gestore per l'Amiata senese.

I risultati emersi dai controlli alle emissioni delle centrali non rilevano irregolarità ai sensi della normativa vigente; si ritiene tuttavia opportuno segnalare alcuni aspetti significativi:

- si rileva un'elevata globale concentrazione ambientale per l'acido solfidrico emesso da alcune centrali, in particolare per quelle ubicate a Piancastagnaio. Questa situazione è dovuta al fatto che le emissioni singolarmente valutate risultano conformi alle autorizzazioni, anche se superano il flusso di massa, in quanto le concentrazioni degli inquinanti in emissione ai camini risultano nei limiti autorizzati;
- il buon rendimento dell'abbattimento all'emissione dell'Acido solfidrico e del Mercurio nella centrale Bagnore 3 di Santa Fiora, provvista di impianto di abbattimento AMIS;
- emerge la necessità, già all'attenzione della Regione Toscana, che siano rivisti i limiti previsti dalla normativa vigente per gli inquinanti normati, tenendo conto del flusso di massa complessivamente emesso dall'insieme delle centrali ubicate in uno stesso territorio, delle tecnologie di abbattimento attualmente disponibili e della valutazione della qualità dell'aria e degli effetti su alcuni recettori sensibili;
- si avverte l'esigenza di una valutazione e regolamentazione regionale che renda omogenei gli atti autorizzativi esistenti e prenda in esame anche alcuni parametri con caratteristiche tossicologiche ed ecotossicologiche significative, come ammoniacca e acido borico, attualmente non normati dall'allegato 3, lettera C, punto C del D. M. 12.07.1990 .

## **5 BIOMONITORAGGIO INTEGRATO AVANZATO SUL TERRITORIO DELL'AMIATA: VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE ATTRAVERSO LA BIODIVERSITÀ LICHENICA**

### **5.1 Premessa**

Il biomonitoraggio permette di stimare gli effetti biologici dell'inquinamento atmosferico attraverso la produzione di dati biologici, quali misure di biodiversità e di concentrazione di elementi negli organismi.

I principali vantaggi che derivano dalle tecniche di biomonitoraggio rispetto ai convenzionali metodi chimico-fisici sono rappresentati da:

- possibilità di ottenere rapidamente, a bassi costi e con un'elevata densità di punti di campionamento, una stima degli effetti biologici indotti su organismi sensibili dall'interazione di più sostanze nocive;
- individuazione rapida di zone con reale o potenziale rischio di superamento dei valori soglia stabiliti dalla legge per alcuni importanti inquinanti primari e conseguente ubicazione ottimale delle stazioni automatiche di rilevamento;
- valutazione dell'efficacia di misure adottate per la riduzione delle emissioni di inquinanti su lunghi periodi;
- validazione di modelli di trasporto a lunga distanza e deposizione di inquinanti a diverse scale territoriali;

Data la sostanziale diversità delle informazioni, l'uso dei biomonitori non può essere considerato alternativo al monitoraggio strumentale.

### **5.2 Licheni e geotermia**

I licheni si sono dimostrati degli ottimi indicatori di inquinamento atmosferico anche nelle zone soggette a sfruttamento geotermico. In Toscana, dove sono concentrate le aree geotermiche italiane sfruttate industrialmente per la produzione di elettricità, sono stati condotti diversi studi che hanno dimostrato l'efficacia della vegetazione lichenica nel monitorare situazioni di alterazione rispetto alle normali condizioni ambientali.

Nel 1992 è stata indagata l'area geotermica di Travale-Radicondoli. La zona si prestava bene ad essere analizzata perché le 4 centrali geotermoelettriche in esercizio rappresentavano l'unica

possibile sorgente di inquinamento atmosferico. I risultati ottenuti hanno messo in evidenza che l'inquinamento atmosferico era responsabile della differente distribuzione dei licheni nell'area circostante le installazioni geotermiche (circa 500 m), con valori di biodiversità lichenica che andavano aumentando con la distanza dalle centrali.

Nella stessa area, nel 1993, è stata condotta una differente indagine, utilizzando sistematicamente una singola specie lichenica, *Parmelia caperata*, per effettuare un biomonitoraggio di un'ampia gamma di elementi di interesse tossicologico. I risultati hanno mostrato che le centrali geotermoelettriche non rappresentavano una fonte macroscopica di contaminazione atmosferica da elementi in traccia, con la sola eccezione del Boro. Le concentrazioni di quest'ultimo elemento sono risultate chiaramente più elevate nei pressi delle centrali, diminuendo in funzione della distanza da queste. La distribuzione degli altri elementi normalmente associata con l'attività geotermica, quali Mercurio e Arsenico, è risultata soltanto debolmente correlata o non correlata affatto con le emissioni geotermiche, probabilmente a causa delle basse concentrazioni nei fluidi geotermici e della reiniezione nel sottosuolo dei reflui. Anche in questo caso, l'estensione dell'area interessata dalla maggiore ricaduta di elementi in traccia non è risultata superiore a 500 metri di distanza dalle centrali geotermoelettriche.

Anche l'indagine condotta nel 1994 nell'area geotermica del M. Amiata ha evidenziato una chiara relazione tra biodiversità lichenica e distanza dalle centrali, confermando in circa 500 metri l'area di maggiore impatto delle centrali stesse.

Nella stessa area, nel 1995 è stato effettuato uno studio mirato al monitoraggio di Boro, Arsenico, antimonio e Mercurio attraverso l'analisi di campioni di licheni e di suolo. La situazione per i quattro elementi considerati è risultata sostanzialmente diversa: il Mercurio era presente in concentrazioni molto elevate, sia come range che su base media, sia nei suoli che nei licheni; l'Arsenico era presente in concentrazioni elevate sia nei suoli che nei licheni, ma solo su base media; il Boro era presente in concentrazioni relativamente elevate solo nei suoli e su base media; l'antimonio era presente in concentrazioni relativamente elevate solo nei licheni e su base media. La vocazione mineraria e termale dell'area M. Amiata ha consentito di spiegare, almeno in parte, le elevate concentrazioni medie di Hg e As riscontrate sia nel suolo che nei licheni. L'andamento spaziale delle concentrazioni dei vari elementi, sia nel suolo che nei licheni, non mostrava nessuna particolare correlazione con le centrali geotermiche.

Nel 1999 è stata indagata l'area geotermica di Larderello e i risultati hanno evidenziato ancora una volta come sia determinante l'influenza delle centrali sulla distribuzione della vegetazione lichenica; a questo va aggiunto l'inquinamento da Boro originante da alcuni impianti chimici situati nella stessa zona.



Nel 2000 è stata rivisitata l'area di Travale-Radicondoli allo scopo di valutare eventuali variazioni temporali dell'inquinamento atmosferico occorse dallo studio del 1992. In generale l'area indagata ha mostrato i segni di un lento ma graduale miglioramento della qualità dell'aria, come indicato anche dalla scomparsa di stazioni interessate da "deserto lichenico". L'area attorno alle centrali geotermoelettriche non ha subito evidenti cambiamenti ed ha conservato bassi valori di biodiversità lichenica. Un sensibile impatto ambientale, con un evidente peggioramento della qualità dell'aria, è stato riscontrato attorno allo stabilimento per l'estrazione della sansa installato nel 1993 e che quindi non era presente nella precedente indagine. Notevoli peggioramenti sono stati registrati anche nell'area delle serre, in particolare lungo la strada che conduce ad esse, a causa dei lavori di costruzione e di miglioria stradale.

## 5.3 Obiettivi dell'indagine

La presente indagine è stata intrapresa allo scopo di utilizzare la biodiversità dei licheni epifiti come indicatore della qualità ambientale nell'area geotermica del M. Amiata e più specificamente nei due campi di Piancastagnaio e Bagnore. Vista l'esistenza di dati pregressi relativi alla biodiversità lichenica nell'area di Piancastagnaio, rilevati nel corso del 1994 nell'ambito di una convenzione tra l'Università di Siena ed ENEL SpA, e la contemporanea operatività del gruppo *Strategie Ambientali* relativamente alle piante vascolari, è stato deciso di articolare l'indagine in tre parti, come di seguito esposto.

- 1) Ricontrollo della biodiversità lichenica nell'area di Piancastagnaio in una decina di stazioni circa, selezionate tra quelle già campionate nel 1994, allo scopo sia di monitorare eventuali variazioni temporali della qualità dell'aria, sia di effettuare una valutazione della situazione attuale della qualità dell'aria.
- 2) Mappaggio della biodiversità lichenica nell'area di Bagnore in una quindicina di stazioni circa. Da notare che mentre vari dati sono disponibili relativamente all'uso dei licheni come bioaccumulatori, l'area di Bagnore non era mai stata monitorata attraverso l'utilizzo dei licheni come bioindicatori e pertanto la presente indagine rappresenta il primo studio in tal senso.
- 3) Indagine di dettaglio in 10 stazioni selezionate congiuntamente con *Strategie Ambientali*, delle quali 4 localizzate nell'area di Piancastagnaio, 5 nell'area di Bagnore e 1, di controllo, nell'area di Larderello. In quest'ultimo caso lo scopo del controllo è quello di avere dati relativi ad un'area geotermica sfruttata industrialmente ma non interessata da anomalia geochimica, come invece notoriamente presente sul M. Amiata.

## 5.4 Metodologia d'indagine

La metodologia, la strategia di campionamento, le modalità di scelta delle stazioni e degli alberi su cui effettuare il rilievo, le procedure per il rilevamento e il calcolo del valore di biodiversità lichenica, sono state effettuate coerentemente con gli standard utilizzati in Italia, sia attualmente che nel recente passato. A questo proposito, essendo stato recentemente pubblicato un manuale operativo curato dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA), è stato cercato di seguire una filosofia improntata ad una opportuna mediazione tra il confronto con i dati pregressi, sia del M. Amiata che delle altre aree geotermiche già indagate in precedenza, e le nuove linee guida, che in alcuni punti vanno a modificare alcuni dettagli che, per quanto sottili, non consentono poi una comparazione diretta dei dati. Pertanto, è stato deciso di seguire gli standard che venivano correntemente utilizzati prima dell'uscita del manuale ANPA per ricontrollare l'area di Piancastagnaio e per mappare l'area di Bagnore, e di seguire invece le nuove linee guida, adattandole ovviamente alla peculiare situazione imposta dal contesto ambientale del M. Amiata e delle aree geotermiche, nonché alle finalità proprie della presente indagine, che non coincidono necessariamente con quelle di un mappaggio esteso a tutto il territorio nazionale, come invece hanno per obiettivo le linee guida ANPA, per le dieci stazioni di dettaglio.

Allo stato attuale sono state esaminate le aree di Piancastagnaio e Bagnore e sono state definite, congiuntamente con *Strategie Ambientali*, le 10 stazioni nelle quali operare in seguito.

## 5.5 Protocollo operativo

Per rimappare l'area di Piancastagnaio e indagare *ex-novo* l'area di Bagnore sono stati seguiti gli standard seguenti:

- in ciascuna stazione sono stati selezionati alberi isolati aventi circonferenza non inferiore a 70 cm, inclinazione del tronco non superiore a 10° e non interessati da evidenti fenomeni di disturbo;
- su ogni albero è stato posizionato, nel punto di massima densità della vegetazione lichenica, un reticolo di campionamento di 30x50 cm suddiviso in 10 subunità minori di 15x10 cm;
- per ogni specie lichenica è stata rilevata la frequenza, intesa come numero di subunità del reticolo nelle quali la specie era presente;
- per ogni albero è stato calcolato un indice di diversità lichenica (IDL) dato dalla somma delle frequenze di tutte le specie presenti;
- l'IDL di ogni stazione è stato preso pari a quello massimo misurato, intendendo in tal modo stimare le potenzialità della vegetazione lichenica epifita.

Nel caso dell'area di Piancastagnaio le stazioni sono state scelte in base a quelle già utilizzate

nell'indagine del 1994, mentre per l'area di Bagnore è stato seguito uno schema di campionamento sistematico basato su un grigliato avente come base di riferimento un sistema di 500x500 m nei pressi della centrale geotermoelettrica e di 1x1 km a distanze maggiori.

## 5.6 Selezione delle dieci stazioni di dettaglio

Allo stato attuale delle cose sono state selezionate ed individuate, congiuntamente con *Strategie Ambientali*, le 10 stazioni di campionamento di dettaglio. Le 5 stazioni collocate nell'area di Bagnore saranno disposte lungo un transetto ideale che comprenderà le seguenti località: 1) S. fiora, 2) Bagnore, 3) Aiuole, 4) centrale geotermoelettrica, 5) Arcidosso. Le stazioni 1) e 5) sono state selezionate in quanto nuclei abitativi principali dell'area indagata dove risiede la maggior parte della popolazione. La stazione 2) è stata selezionata perché il centro abitato di Bagnore è prospiciente la centrale geotermoelettrica e potenzialmente interessato dalle emissioni di quest'ultima. La stazione 3) è stata selezionata in quanto sede in passato dei forni per l'arrostimento del cinabro per la produzione del Mercurio e ospitante un consistente banco di rosticci (residui del processo di arrostitimento), ben noti per liberare in atmosfera consistenti quantità di Mercurio gassoso durante i periodi estivi, quelli cioè con le più elevate temperature. La stazione 4) è stata selezionata per l'ovvia presenza della centrale geotermoelettrica.

Per quanto riguarda le 4 stazioni dell'area di Piancastagnaio, queste saranno disposte come segue: 1) Piancastagnaio, 2) centrale Bellavista, 3) centrale PC3, 4) Abbadia S. Salvatore. La stazione 1) è stata selezionata in quanto nucleo abitativo principale dell'area indagata; le stazioni 2) e 3) sono state selezionate per la presenza di centrali geotermoelettriche; la stazione 4) è stata selezionata sia in quanto nucleo abitativo fondamentale, sia per il fatto di avere una ex area mineraria, attualmente zona artigianale-commerciale, di importanza fondamentale al tempo dell'estrazione del cinabro e della produzione del Mercurio.

La stazione collocata nell'area geotermica di Larderello è situata a Castelnuovo Val di Cecina; come già detto, lo scopo di questa stazione è quello di avere un controllo relativo a dati di un'area geotermica sfruttata industrialmente ma non interessata da anomalie geochimiche, per poterli confrontare con quelli del M. Amiata.

## 5.7 Protocollo operativo

Per ciascuna delle 10 stazioni sopra descritte verrà individuata una unità di campionamento primaria (UCP) che sarà rappresentata da un'area quadrata di 1x1 km, la quale sarà suddivisa in 4 unità di campionamento secondarie (UCS) di 500x500 m, in modo da assicurare uniformità e omogeneità alla distribuzione del campione, garantendo una maggiore robustezza statistica del dato. Allo scopo di garantire la maggior oggettività possibile nella scelta dei forofiti su cui compiere il monitoraggio, all'interno delle UCS le misure dell'IDL verranno effettuate sull'albero idoneo (si veda il paragrafo 2.1) più vicino al centro della UCS stessa.

Come specificato nelle linee guida del nuovo protocollo ANPA, sul tronco di ogni albero verrà posizionata una griglia di campionamento consistente in 4 elementi indipendenti di 5 quadrati di 10x10 cm da attaccarsi verticalmente nei 4 punti cardinali, in maniera tale che il punto più alto del reticolo si trovi a 1,5 m dal suolo. Anche in questo caso, la prassi di scegliere le 4 esposizioni cardinali origina dalla necessità di una maggiore oggettività e replicabilità, in maniera da garantire un'adeguata robustezza statistica e di limitare la variabilità del dato biologico misurato. Per ognuno dei 4 elementi della griglia verranno rilevate tutte le specie licheniche presenti assieme alla loro frequenza, intesa come numero di maglie nelle quali le specie saranno presenti.

Dal momento che è prevedibile una sostanziale differenza di crescita dei licheni sui diversi lati del tronco e per ovviare ad eventuali dati mancanti, le frequenze andranno tenute separate per ciascun punto cardinale. Pertanto, il calcolo dell'IDL ciascuna UCP consisterà nella somma delle medie dei valori di BL ottenuti per ciascuna esposizione cardinale.

## 5.8 Interpretazione dei dati

Dal momento che le condizioni per la crescita dei licheni variano territorialmente su basi essenzialmente climatiche e fitogeografiche, i dati sono stati interpretati in termini di deviazioni da condizioni naturali/normali secondo apposite scale opportunamente calibrate, come riportato nel manuale europeo sulle tecniche di biomonitoraggio tramite licheni, recentemente edito dalla Kluwer.

Un'ulteriore fonte di informazione, attualmente non ancora utilizzata, sarà rappresentata dai valori indicatori ecologici di ciascuna specie, consistenti in espressioni numeriche dell'ampiezza ecologica di una data specie rispetto ad un dato fattore ecologico, disponibili per tutte le specie di licheni d'Italia nel sistema informativo ITALIC reperibile on-line all'indirizzo

<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>

Infine, l'individuazione delle principali comunità licheniche presenti nell'area di indagine, tramite adeguate tecniche di analisi statistica multivariata, fornirà preziose informazioni sulle condizioni ecologiche prevalenti nell'area stessa o in sub-porzioni di essa.

## 5.9 Analisi dei risultati

Nel corso della prima fase di questo studio è stato ripetuto il campionamento di alcune delle stazioni dell'area geotermica di Piancastagnaio già monitorate nel 1994 ed è stato intrapreso un primo studio di biodiversità lichenica applicato all'area geotermica di Bagnore. Di seguito vengono presentati i primi dati rilevati.

### 5.9.1 Area geotermica di Piancastagnaio

L'area indagata si estende per 10 km<sup>2</sup>, includendo il centro urbano di Piancastagnaio e le cinque centrali geotermiche presenti nella zona.

Sono state esaminate 13 stazioni di rilevamento, selezionate fra quelle già utilizzate nello studio del 1994 (notare che la numerazione delle stazioni segue quella del 1994): rispetto ad allora non è stato possibile campionare la stazione n. 43 (che aveva un IDL di 15), in prossimità della Centrale PC4, poiché, probabilmente in seguito ai lavori di costruzione della centrale PC5, il substrato arboreo campionato è andato perduto.

Per lo stesso motivo non è stato possibile trovare neanche l'albero della stazione n. 50, situato dove ora sorge la centrale PC5: in questo caso è stato possibile effettuare una sostituzione (per rendere una efficace rappresentazione spaziale della biodiversità lichenica) e la nuova stazione (che continueremo ad indicare come St. 50) è situata 350 m in direzione ENE rispetto a quella originaria. La situazione resta comunque invariata, difatti per questa stazione si passa da un IDL di 19 a 17.

In complesso, da un confronto con i dati pregressi di biodiversità lichenica del 1994, si può osservare come si sia mantenuta una diffusa condizione di alterazione ambientale, ma da questo punto di vista non è stato evidenziato un peggioramento in seguito alla costruzione della nuova centrale PC5. Si nota invece un lieve miglioramento (fra il 10% e il 23% rispetto ai valori del 1994) nell'area compresa fra le stazioni n. 29, 32 e 37, nelle adiacenze della centrale Bellavista.

Da notare invece come la variazione negativa dell'IDL della stazione n. 42, passata da 56 a 43, non sia imputabile ad un peggioramento della qualità dell'aria. Tale stazione è infatti situata nella parte NE dell'area di studio, in un'area declinante verso valle, ai margini di una cerreta adibita

a ceduo: questo ha condizionato la scelta del substrato arboreo, che, pur essendo idoneo presentava una flora lichenica relativamente giovane.

### 5.9.2 Area geotermica di Bagnore

L'area indagata si estende per 4 km<sup>2</sup> attorno alla centrale geotermoelettrica, e include il centro abitato di Bagnore.

Sono state selezionate 17 stazioni di campionamento, di cui 9 sulle intersezioni delle maglie di un reticolato di 500x500 m centrato in prossimità della centrale geotermica di Bagnore e le restanti 8 sulle intersezioni della griglia di 1x1 km di lato, centrate nello stesso punto.

In relazione ai substrati arborei disponibili in quest'area, 10 stazioni sono state campionate su Pioppo, (*Populus*), le altre su Castagno (*Castanea*), Quercia (*Quercus*) e Tiglio (*Tilia*): non è stato possibile campionare una stazione, la n. 8, per l'assoluta mancanza di alberi idonei.

L'osservazione della biodiversità lichenica evidenzia una ristretta area di semi-alterazione situata a 200-250 metri in direzione NW rispetto alla centrale, in corrispondenza della stazione n. 9, che è quella con IDL più basso (28): tale area si estende fino alla stazione n. 4, (IDL 45), distante circa 600 metri, sempre in direzione NW.

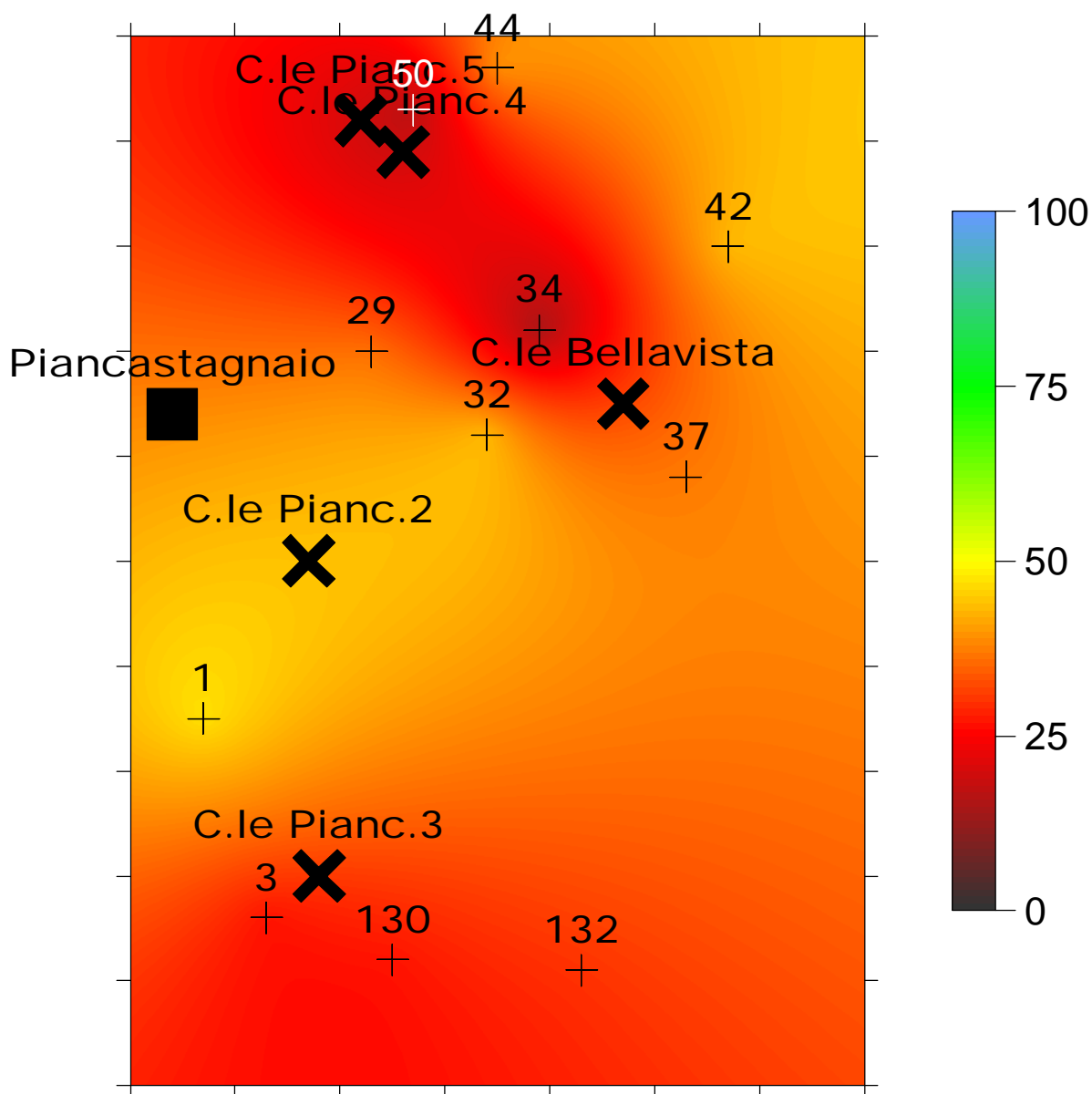
Altre due stazioni presentano valori di biodiversità bassi: la stazione n. 17, situata in prossimità di un tacchinificio, ha un valore di IDL di 34, ed è situata in prossimità di alcune tubature ENEL che in quel punto si interrano; la stazione n. 15, (IDL 39), che si trova all'inizio della strada che porta verso il M. Labbro, in una zona agricola, apparentemente in assenza di fenomeni di disturbo.

## 5.10 Conclusioni

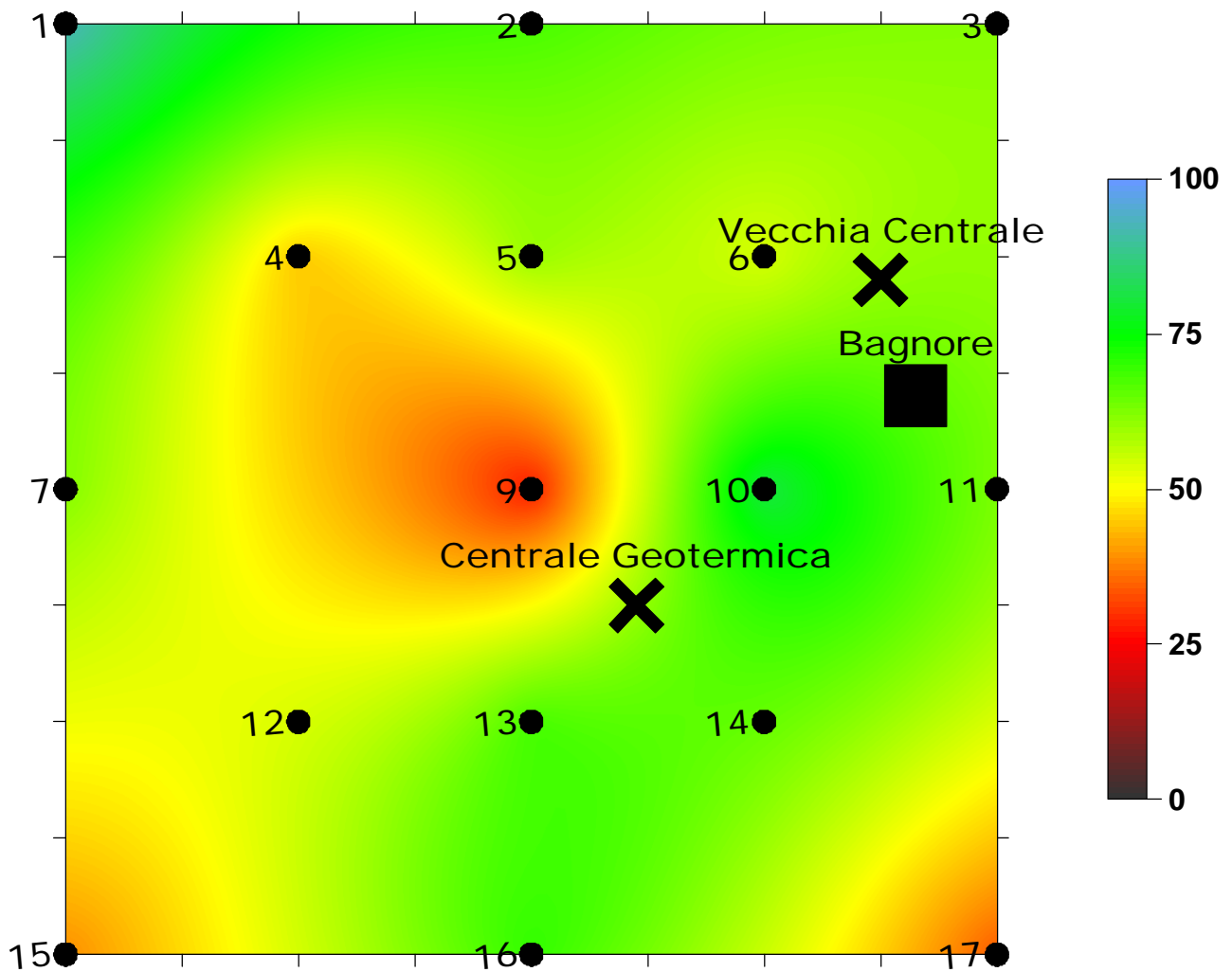
In sintesi, l'utilizzo della biodiversità lichenica per la valutazione della qualità ambientale nelle aree geotermiche amiatine di Piancastagnaio e Bagnore ha evidenziato che a Piancastagnaio la situazione è rimasta sostanzialmente invariata rispetto al 1994 e che a Bagnore le condizioni sono decisamente migliori. Questo fatto può essere dovuto ad una serie di fattori, tra cui un ruolo non secondario viene certamente giocato dal numero di centrali attualmente in funzione in ciascuna area: 5 a Piancastagnaio e 1 a Bagnore. Inoltre, il ruolo dell'impianto per l'abbattimento delle emissioni installato alla centrale di Bagnore è certamente non trascurabile in quanto in questo caso il fenomeno di alterazione si estende nella direzione opposta a quella in cui si trova tale impianto (e in questo non è trascurabile che l'impianto protegga la direzione rivolta verso il centro abitato di Bagnore e che l'area interessata da alterazione ambientale sia invece rivolta il lato opposto a

Bagnore). In tutto questo non deve essere trascurato il ruolo dei venti dominanti che, in base ad osservazioni empiriche sembrano spirare proprio in direzione SE-NW.

Carta della qualità ambientale dell'area geotermica di Piancastagnaio. Sono evidenziati il centro abitato di Piancastagnaio (quadrato) e le centrali geotermoelettriche (X) presenti; le croci indicano le stazioni di campionamento, la cui numerazione segue quella del 1994. La colorazione nelle 4 fasce indica: alterazione (IDL tra 0 e 25), semi-alterazione (IDL tra 25 e 50), semi-naturalità (IDL tra 50 e 75), naturalità (IDL >75). La stazione 50 è rappresentata in bianco per evidenziare che è stata spostata rispetto alla collocazione del 1994.



Carta della qualità ambientale dell'area geotermica di Bagnore. Sono evidenziati il centro abitato di Bagnore (quadrato) e le centrali geotermoelettriche dismessa ed esistente (X); i pallini indicano le stazioni di campionamento con la relativa numerazione. La colorazione nelle 4 fasce indica: alterazione (IDL tra 0 e 25), semi-alterazione (IDL tra 25 e 50), semi-naturalità (IDL tra 50 e 75), naturalità (IDL >75).





## 6 BIOMONITORAGGIO INTEGRATO AVANZATO SUL TERRITORIO DELL'AMIATA: VALUTAZIONE DELLA QUALITA' AMBIENTALE ATTRAVERSO BIOSENSORI COSTITUITI DA SPECIE ERBACEE, ARBOREE E ARBUSTIVE

### 6.1 Introduzione

La Rete di biomonitoraggio realizzata ed attivata nel 1996 nell'area del Monte Amiata, attualmente a regime, ha fornito fino ad oggi interessanti e preziose informazioni sull'andamento della qualità dell'aria del territorio circostante le Centrali Geotermoelettriche, sia nel tempo, sia nello spazio.

Per il proseguimento delle attività è apparso opportuno modificare la Rete, in particolare effettuando le operazioni elencate di seguito:

- L'inserimento di 5 nuove stazioni passive (determinate secondo la metodologia proposta da ANPA per il monitoraggio lichenologico),
- Il campionamento, ove presente, anche del *Pinus* spp.
- Un aumento del numero di elementi chimici indagati, con l'inserimento di antimonio ed Arsenico.

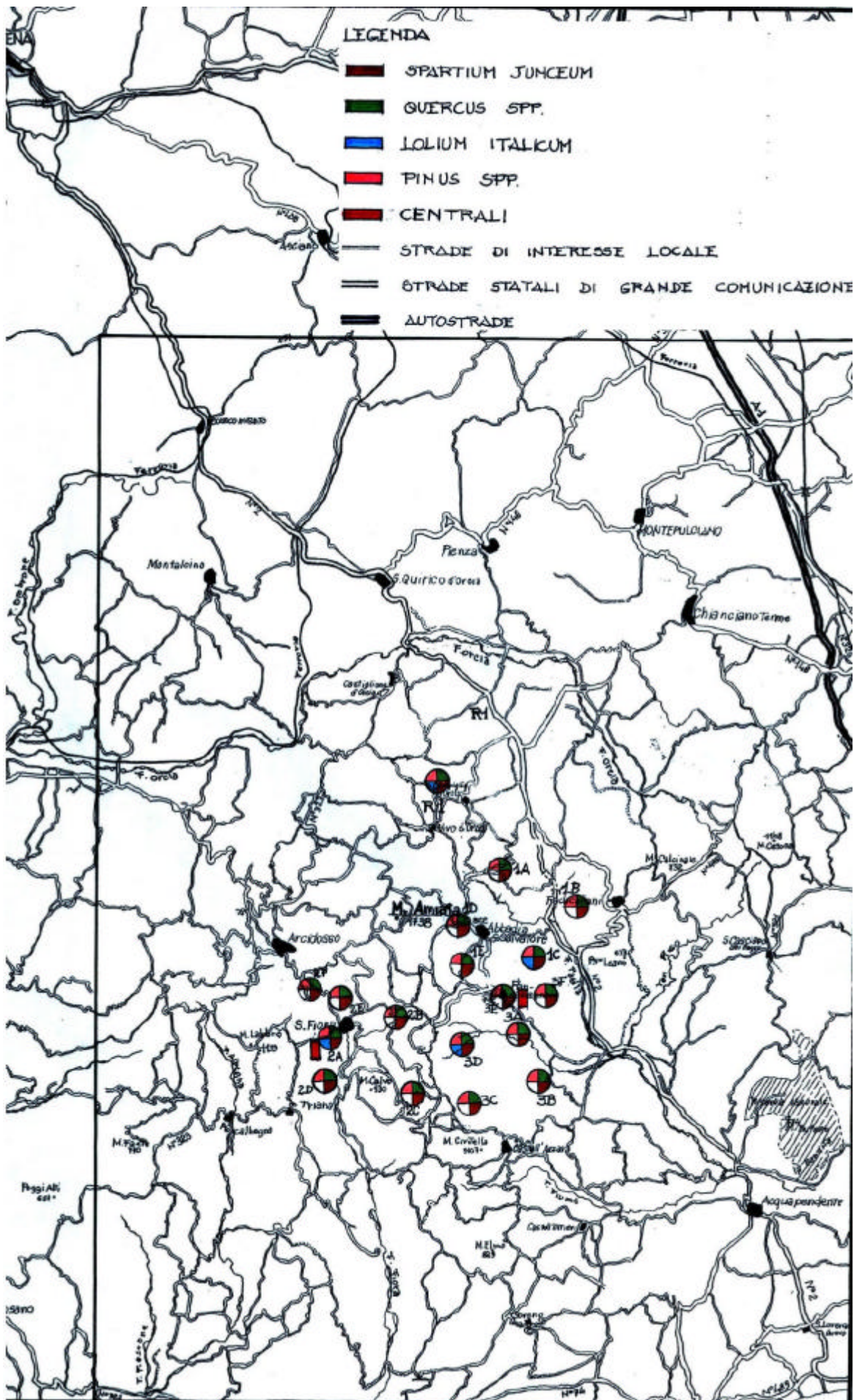
La fase di Gestione della Rete di Biomonitoraggio 2002, installata ed attivata nei dintorni delle Centrali Geotermoelettriche ENEL del Monte Amiata, ha previsto una serie di campionamenti e di analisi biologiche e chimiche, secondo quanto previsto dal Progetto di Massima e dal Progetto Operativo, comprese le relative e successive modifiche e gli aggiornamenti.

Si ricorda che la Gestione della Rete di Biomonitoraggio ha lo scopo di valutare la qualità dell'aria del territorio oggetto di studio, tramite il confronto tra i dati ottenuti nei singoli momenti di lavoro.

Nella fase di Gestione, così come previsto dalla "Configurazione Operativa" e dai successivi aggiornamenti, sono stati campionati ed analizzati i seguenti biosensori vegetali:

- biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum*,
- biosensore arboreo passivo *Quercus* sp.,
- biosensore arboreo passivo *Pinus* sp.,
- biosensore arbustivo passivo *Spartium junceum*.

Nella pagina successiva è indicata l'ubicazione dei sensori arborei.



## 6.2 Scelta nuove stazioni

Sono state individuate 5 nuove Stazioni sulla base delle indicazioni fornite dall'ANPA (Atti del Workshop ANPA "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale" - Roma, Archivio Centrale dello Stato, 26\27 novembre 1998, serie: Atti 2/1999 e Documentazione presente nel sito ANPA Sinanet) e dalla UE (Gazzette Ufficiali). In particolare le nuove Stazioni riguardanti la rete nazionale di biomonitoraggio, distribuite sul territorio secondo un grigliato di 18x18 km, sono caratterizzate da Stazioni di campionamento primarie (UCP), rappresentate da aree quadrate di 1x1 km, collocate all'intersezione (punto centrale) del grigliato nazionale. All'interno delle UCP sono state selezionate ed individuate (tramite GPS) delle unità di campionamento secondarie (UCS), all'interno delle quali sono stati cercati e selezionati i nuovi biosensori arborei ed erbacei da sottoporre a campionamento.

## 6.3 Scelta nuovi biosensori

All'interno delle nuove Stazioni è stato individuato come, eventuale, nuovo biosensore il *Pinus* spp. Si è deciso quindi di effettuare i campionamenti da 2 specie arboree differenti (*Pinus* spp. e *Quercus* spp.). Naturalmente anche nelle vecchie Stazioni, ove presente, è stato individuato e campionato il *Pinus* spp.

## 6.4 Campionamento - conservazione - preparazione dei biosensori vegetali

Si riportano, di seguito, le metodologie utilizzate nelle fasi di campionamento dei biosensori e nei processi di conservazione e preparazione del materiale vegetale (foglie), per le relative determinazioni analitiche.

Descrizione della metodologia utilizzata il campionamento dei biosensori erbacei attivi.

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1: le colture a *Lolium italicum* vengono esposte all'aria per 14 giorni, ad un'altezza di 1,5 m dal terreno, in ambienti scoperti da ogni lato. La massa fogliare prodotta durante il periodo di esposizione viene utilizzata come campione. Trascorso il periodo di esposizione viene analizzata la parte esterna della pianta (caratterizzazione delle foglie emesse, rilevamento degli indebolimenti visibili macroscopicamente, rilevamento di eventuali danni di natura biotica e abiotica e delle deposizioni di polveri).

Ad ogni campionatura il materiale raccolto viene mescolato interamente così da ottenere un campione unico. Le colture devono essere tagliate a  $4 \div 5$  cm dal substrato (le parti della pianta che superano i 14 giorni di crescita). Il taglio va effettuato, manualmente, con forbici inox, per un totale di 10 grammi di s.s. analizzabile.

Descrizione della metodologia utilizzata per il campionamento biosensori arborei passivi.

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1 (Configurazione Operativa paragrafo 4.2.3): vengono raccolti 3 campioni di foglie, da mescolare in un unico campione. Il periodo di campionamento dovrebbe essere il più breve possibile, non dovrebbe superare le tre settimane. Le misure prese in periodi di anni diversi devono riguardare foglie con condizioni fisiologiche comparabili. I campioni raccolti devono essere rappresentativi: ciascuna porzione dovrebbe avere un peso di almeno 10 g di sostanza secca, da utilizzare per le analisi.

Descrizione della metodologia utilizzata per il campionamento biosensori arbustivi passivi.

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1 (Configurazione Operativa paragrafo 4.2.2): le specie decidue vengono campionate una volta l'anno, mentre le sempreverdi due volte. Vengono raccolti 3 campioni di foglie, da mescolare in un unico campione. Il periodo di campionamento dovrebbe essere il più breve possibile, non dovrebbe superare le tre settimane. I campionamenti effettuati in anni diversi devono riguardare foglie con condizioni fisiologiche comparabili. I campioni raccolti devono essere rappresentativi.

Descrizione della metodologia utilizzata per la conservazione - preparazione dei campioni vegetali.

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1 (Configurazione Operativa paragrafo 4.2.4): i campioni freschi delle specie vegetali devono essere trasportati in laboratorio in contenitori di polietilene e preparati nello stesso giorno: i campioni vengono essiccati a circa  $50^{\circ}\text{C}$  e, successivamente, macinati e conservati in contenitori di polietilene.

Ad ogni passaggio dalla raccolta all'analisi deve essere evitata ogni tipo di contaminazione e di perdita di materiale.

### **6.5 Manutenzione ordinaria bimestrale**

La manutenzione ordinaria della Rete di biomonitoraggio dell'Amiata è scandita bimestralmente per evitare eventuali danni e per garantire l'efficienza della Rete. È stata, dunque, effettuata la manutenzione ordinaria delle strutture addette alla semina e coltivazione ed esposizione

del biosensore erbaceo attivo del campo base (Stazione R1) e delle strutture addette all'esposizione nelle altre Stazioni. Alla manutenzione delle strutture di monitoraggio attivo è stato aggiunto un intervento di controllo dello stato e della presenza dei biosensori passivi, finalizzato a garantire la costante disponibilità al campionamento delle essenze.

## 6.6 Analisi chimiche

E' stata seguita la metodologia prevista della Configurazione Operativa (paragrafo 4.5.2a – Analisi chimiche su materiale vegetale):

### Analisi chimiche specifiche

Sono stati analizzati gli elementi previsti in fase progettuale (**B, Hg, S organico, S inorganico e S totale**) e quelli scelti nei successivi aggiornamenti del lavoro (**As, N e Sb**).

Per ogni biosensore studiato i campioni prelevati sono stati mescolati per ottenere un campione unico, il materiale è stato analizzato non lavato (vedi la Relazione del Controllo di Qualità, paragrafo 5 “Verifica della quantità e tipologia degli elementi chimici ricercati”, pag. 5).

### Analisi dei metalli

In laboratorio, le lamine fogliari vengono separate dai piccioli (se presenti), non viene lavato e viene essiccato in un essiccatore a circolazione d'aria, con temperature non superiori ai 40 °C. Il campione viene, successivamente, macinato e triturato (in mortaio d'agata) e conservato in contenitori di polietilene e conservato a - 5 °C, fino alle analisi, precedute da ulteriore essiccazione.

Per quanto riguarda la preparazione dei campioni vengono effettuate le seguenti operazioni:

- pesatura di 0,5 g di campione, accuratamente macinato, direttamente negli appositi contenitori, per mineralizzatori a microonde;
- aggiunta di 6 ml di HNO<sub>3</sub> concentrato, 1 ml di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 % e 0,2 ml di HF 40 %;
- chiusura dei contenitori ed inserimento nel mineralizzatore a microonde per il trattamento;
- raffreddamento al termine della mineralizzazione;
- apertura dei contenitori di mineralizzazione e aggiunta di 1 ml di soluzione satura di acido bórico H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>;
- diluizione della soluzione al volume di 50 ml in matraccio tarato, con acqua demineralizzata (Sistema Milli-Q). Al fine di ottenere una prova “in bianco”, 10 ml di acqua demineralizzata (Sistema Milli-Q) hanno subito lo stesso trattamento del campione.”

Le determinazioni analitiche vengono effettuate tramite spettrofotometria ad assorbimento atomico, seguendo le procedure standard, le determinazioni dello Zolfo vengono eseguite secondo la metodologia di Giesemann, prevista dalle Normative VDI (Giesemann et al., 1991).

Risultati delle analisi chimiche della Quercia per l'anno 2002.

<i>Quercus sp.</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
1A	<0,1	69,5	0,114	2,010	0,123	<0,1
1B	<0,1	105,1	0,097	2,330	0,132	<0,1
1C	<0,1	213,5	0,095	2,11	0,221	<0,1
1D	<0,1	59,8	0,092	1,01	0,101	<0,1
1E	<0,1	206,6	0,111	1,03	0,109	<0,1
2A	<0,1	33,7	0,100	2,56	0,148	<0,1
2B	<0,1	26,9	0,104	1,10	0,107	<0,1
2C	<0,1	24,4	0,087	2,10	0,197	<0,1
2D	<0,1	39,2	0,180	2,09	0,156	<0,1
2E	<0,1	42,2	0,134	2,04	0,192	<0,1
2F	<0,1	53,9	1,027	2,35	0,205	<0,1
3A	<0,1	77,7	0,128	2,51	0,186	<0,1
3B	<0,1	53,5	0,163	2,64	0,242	<0,1
3C	<0,1	64,8	0,174	2,57	0,152	<0,1
3D	<0,1	85,7	0,172	2,43	0,154	<0,1
3E	<0,1	60,8	0,206	2,39	0,158	<0,1
3F	<0,1	52,2	0,172	2,44	0,238	<0,1
R1	<0,1	112,6	0,250	2,69	0,211	<0,1
R2 *	<0,1	44,1	0,187	2,07	0,227	<0,1

\* bianco, di seguito, tutti i campi in grigio

Risultati delle analisi chimiche del Pino per l'anno 2002.

<i>Pinus sp.</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
1A	<0,1	37,6	0,126	1,999	0,218	<0,1
1B	<0,1	31,3	0,122	2,111	0,209	<0,1
1C	<0,1	53,9	0,153	2,10	0,220	<0,1
1D	<0,1	70,4	0,118	1,91	0,149	<0,1
1E	<0,1	50,7	0,148	1,00	0,293	<0,1
2A	<0,1	61,8	0,144	1,99	0,204	<0,1
2B	<0,1	82,6	0,161	1,03	0,154	<0,1
2C	<0,1	42,4	0,183	1,99	0,139	<0,1
2D	<0,1	49,6	0,158	2,01	0,164	<0,1
2E	<0,1	64,4	0,190	2,01	0,117	<0,1
2F	<0,1	69,4	0,179	2,03	0,240	<0,1
<i>Pinus sp.</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
3A	<0,1	66,3	0,157	2,05	0,134	<0,1
3B	<0,1	196,8	0,096	2,09	0,161	<0,1
3C	<0,1	53,3	0,097	2,33	0,206	<0,1
3D	<0,1	168,6	0,093	2,21	0,218	<0,1
3E	<0,1	25,8	0,077	2,31	0,174	<0,1
3F	<0,1	22,4	0,103	2,11	0,173	<0,1
R1	<0,1	23,8	0,090	2,33	0,129	<0,1
R2	<0,1	16,6	0,100	2,03	0,277	<0,1

Risultati delle analisi chimiche della Ginestra per l'anno 2002.

<i>Spartium junceum</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
1A	<0,1	10,8	0,016	2,01	0,105	<0,1
1B	<0,1	22,2	0,031	2,09	0,156	<0,1
1C	<0,1	16,0	0,047	2,85	0,206	<0,1
1D	<0,1	19,5	0,037	2,64	0,193	<0,1
1E	<0,1	15,5	0,020	2,15	0,133	<0,1
2A	<0,1	17,8	0,020	2,11	0,126	<0,1
2B	<0,1	13,5	0,012	2,07	0,114	<0,1
2C	<0,1	13,3	0,032	1,86	0,131	<0,1
2D	<0,1	15,5	0,042	2,17	0,157	<0,1
2E	<0,1	13,2	0,057	2,09	0,132	<0,1

<b>2F</b>	<0,1	14,3	0,020	1,19	0,136	<0,1
<b>3A</b>	<0,1	13,7	0,012	1,37	0,114	<0,1
<b>3B</b>	<0,1	16,0	0,016	2,12	0,147	<0,1
<b>3C</b>	<0,1	16,1	0,037	2,07	0,109	<0,1
<b>3D</b>	<0,1	21,5	0,031	2,13	0,214	<0,1
<b>3E</b>	<0,1	19,6	0,030	2,13	0,118	<0,1
<b>3F</b>	<0,1	19,6	0,038	1,59	0,174	<0,1
<b>R1</b>	<0,1	19,5	0,049	2,11	0,114	<0,1
<b>R2</b>	<0,1	21,3	0,042	2,01	0,129	<0,1

Risultati delle analisi chimiche del Loglio per l'anno 2002.

<b>Maggio</b>						
<i>Lolium italicum</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
<b>1C</b>	<0,1	18,7	0,023	3,99	0,047	<0,1
<b>2A</b>	<0,1	31,3	0,101	1,56	0,075	<0,1
<b>3A</b>	<0,1	24,3	0,032	2,13	0,039	<0,1
<b>R1</b>	<0,1	26,5	0,025	2,44	0,088	<0,1
<b>R2</b>	<0,1	50,1	0,027	2,01	0,082	<0,1

<b>Giugno</b>						
<i>Lolium italicum</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
<b>1C</b>	<0,1	19,2	0,025	3,23	0,136	<0,1
<b>2A</b>	<0,1	32,1	0,102	1,44	0,135	<0,1
<b>3A</b>	<0,1	25,2	0,035	2,1	0,102	<0,1
<b>R1</b>	<0,1	27,9	0,029	2,23	0,094	<0,1
<b>R2</b>	<0,1	52,6	0,028	2,05	0,096	<0,1

<b>Luglio</b>
<i>Lolium italicum</i>



STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
1C	<0,1	18,1	0,023	3,07	0,078	<0,1
2A	<0,1	31,2	0,02	1,43	0,255	<0,1
3A	<0,1	24,2	0,033	2,11	0,101	<0,1
R1	<0,1	25,3	0,034	2,32	0,321	<0,1
R2	<0,1	49,4	0,031	2,09	0,149	<0,1

Agosto						
<i>Lolium italicum</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
1C	<0,1	31,1	0,033	3,17	0,081	<0,1
2A	<0,1	27,9	0,063	2,89	0,299	<0,1
3A	<0,1	19,6	0,039	2,53	0,114	<0,1
R1	<0,1	20,1	0,035	2,81	0,360	<0,1
R2	<0,1	27,2	0,050	2,76	0,158	<0,1

Settembre						
<i>Lolium italicum</i>						
STAZIONI	As mg/Kg	B mg/Kg	Hg mg/Kg	N %	S tot %	Sb mg/Kg
1C	<0,1	33,2	0,044	2,27	0,483	<0,1
2A	<0,1	24,8	0,050	1,91	0,080	<0,1
3A	<0,1	21,6	0,034	2,49	0,336	<0,1
R1	<0,1	19,9	0,026	2,42	0,224	<0,1
R2	<0,1	23,6	0,033	2,98	0,502	<0,1

## 6.7 Interpretazione dei risultati delle analisi chimiche dei biosensori vegetali

E' stata seguita la metodologia prevista della Configurazione Operativa (paragrafo 4.6.1 - Analisi statistiche sulle piante): le analisi statistiche sono state svolte con il SAS che dipende dalla struttura dell'insieme dei dati (metrica o ordinata).

Le elaborazioni sono state effettuate con il package SAS, in particolare sono state utilizzate la procedura UNIVARIATE per le statistiche descrittive.

Le elaborazioni sono state, poi, inserite nel programma Surfer della Golden Inc., ed elaborate, al fine di riportare cartograficamente i dati ottenuti.

Si precisa che per il *Pinus* sp., il *Quercus* sp. e lo *Spartium junceum*, le concentrazioni determinate nei campioni prelevati dalla Rete sono state confrontate con i valori considerati “naturali” per piante vascolari da Marckert, sulla base della proposta della composizione di una “pianta ideale di riferimento” (Marckert M., 1992, 1993). Mentre, per il *Lolium italicum*, sono stati considerati, come valori di riferimento, quelli determinati in *Lolium italicum* da Ferretti, in Toscana (Ferretti M., 1992) e da Lindt T. J., in Europa centrale e del Nord (Lindt T.J. et al., 1990). Inoltre, per l’interpretazione dei dati, in termini di contaminazione, non esistendo, ad oggi, un indice (o criterio) standard, nazionale, ufficiale si è stabilito di definire la presenza di un inquinante, nella trattazione per singolo biosensore, utilizzando la terminologia riportata di seguito:

Concentrazione media, di un elemento	Criterio di definizione
<u>Inferiore al limite naturale:</u>	valore < al limite naturale
<u>Leggermente superiore al limite naturale:</u>	valore superiore tra lo 0–25% rispetto al limite
<u>Superiore al limite naturale:</u>	valore superiore tra 25 – 50 % rispetto al limite
<u>Fortemente superiore al limite naturale:</u>	valore > al 50 % rispetto al limite naturale

Osserviamo, di seguito, nel dettaglio, l’andamento delle concentrazioni degli elementi indagati, per singolo biosensore.

#### **Biosensore arbustivo passivo *Spartium junceum* (campionamento del giugno 2002).**

Per quanto riguarda i livelli di concentrazione determinati nel 2002, i valori medi determinati nei campioni di ginestra risultano:

- per l’Azoto, inferiori al limite considerato “naturale” secondo Marckert: 2,5 % (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Arsenico, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Antimonio, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Boro, inferiori al limite “naturale”: 40 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Mercurio, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per lo Zolfo, inferiori al limite “naturale”: 0,3 % (Marckert B., 1992, 1993).

**Biosensore arboreo passivo *Quercus* sp. (campionamento del settembre 2002).**

Per quanto riguarda i livelli di concentrazione determinati nel 2002, i valori medi registrati nei campioni di quercia risultano:

- per l’Azoto, inferiori al limite considerato “naturale”, secondo Marckert: 2,5 % (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Arsenico, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Antimonio, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Boro, leggermente superiori al limite “naturale”: 40 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Mercurio, leggermente superiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992 1993);
- per lo Zolfo, inferiori al limite “naturale”: 0,3 % (Marckert B., 1992, 1993).

**Biosensore arboreo passivo *Pinus* sp. (campionamento del giugno e settembre 2002).**

Per quanto riguarda i livelli di concentrazione determinati, i valori medi registrati nei campioni di pino risultano nei due mesi indagati:

- per l’Azoto, inferiori al limite considerato “naturale”, secondo Marckert: 2,5 % (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Arsenico, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Antimonio, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Boro, leggermente superiori al limite “naturale”: 40 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Mercurio, leggermente superiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992 1993);
- per lo Zolfo, inferiori al limite “naturale”: 0,3 % (Marckert B., 1992, 1993).

**Biosensore erbaceo attivo *Lolium italicum*. (campionamento dei mesi di maggio, giugno, luglio, agosto, settembre 2002).**

I valori medi registrati nei campioni di loglio risultano in tutti i mesi indagati:

- per l’Azoto, inferiori al limite considerato “naturale”, secondo Ferretti:  $2,63 \pm 1,16$  % (Ferretti M. et al., 1992);
- per l’Arsenico, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per l’Antimonio, inferiori al limite “naturale”: 0,1 mg/Kg (Marckert B., 1992, 1993);
- per il Boro, inferiori al limite “naturale”: 40 mg/Kg (Lindt T. J. et al. 1990);
- per il Mercurio, inferiori al limite “naturale”: 0.1 mg/Kg (Lindt T. J. et al., 1990);

- per lo Zolfo, inferiori al limite “naturale”:  $0,55 \pm 0,32$  % (Ferretti M. et al., 1992).

## 6.8 Analisi dell’andamento dei livelli di concentrazione degli elementi

L’analisi prosegue considerando i livelli medi di concentrazione degli elementi rilevati distintamente per anno (1998, 1999, 2000, 2001 e 2002).

Nelle Tabelle I, II e III è riportata la sintesi dei livelli medi di concentrazione secondo le variabili di classificazione appena descritte, rispettivamente per la ginestra, la quercia ed il loglio. In particolare, mentre tra il 1999 e il 2000, i livelli di concentrazione degli elementi determinati nei biosensori erano aumentati in modo sensibile (superando i livelli che si riscontravano nel 1998), rispettivamente nel 2001 ed ancora nel 2002 la situazione è apparsa migliorata.

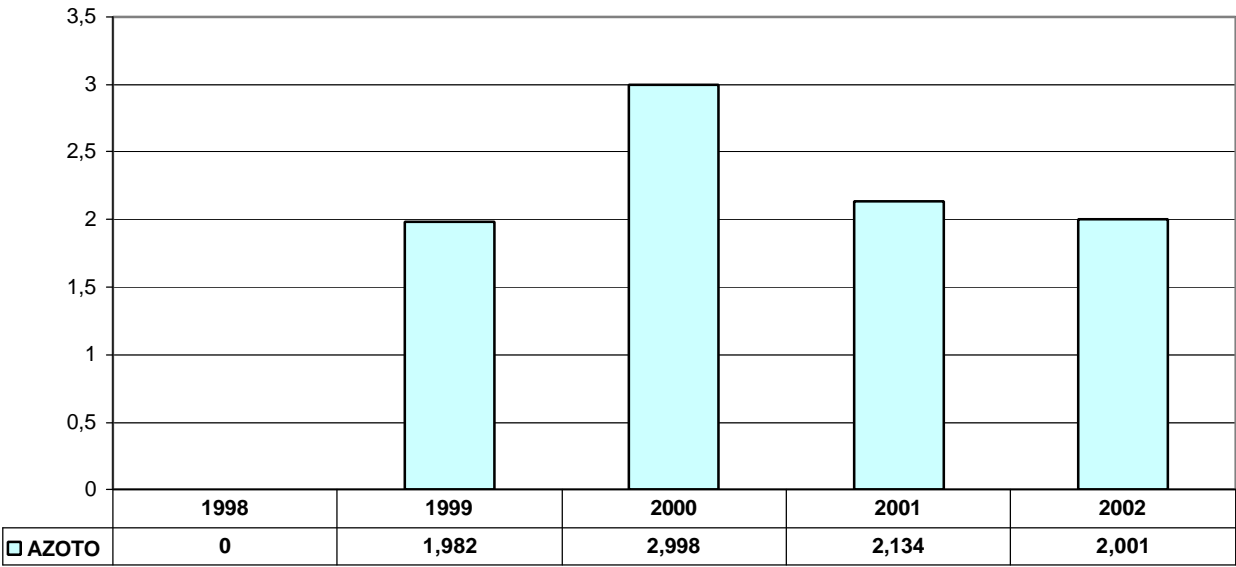
**Tabella I** – Concentrazioni medie degli elementi rispetto alla ginestra – Anni 1998 - 2002.

Ginestra

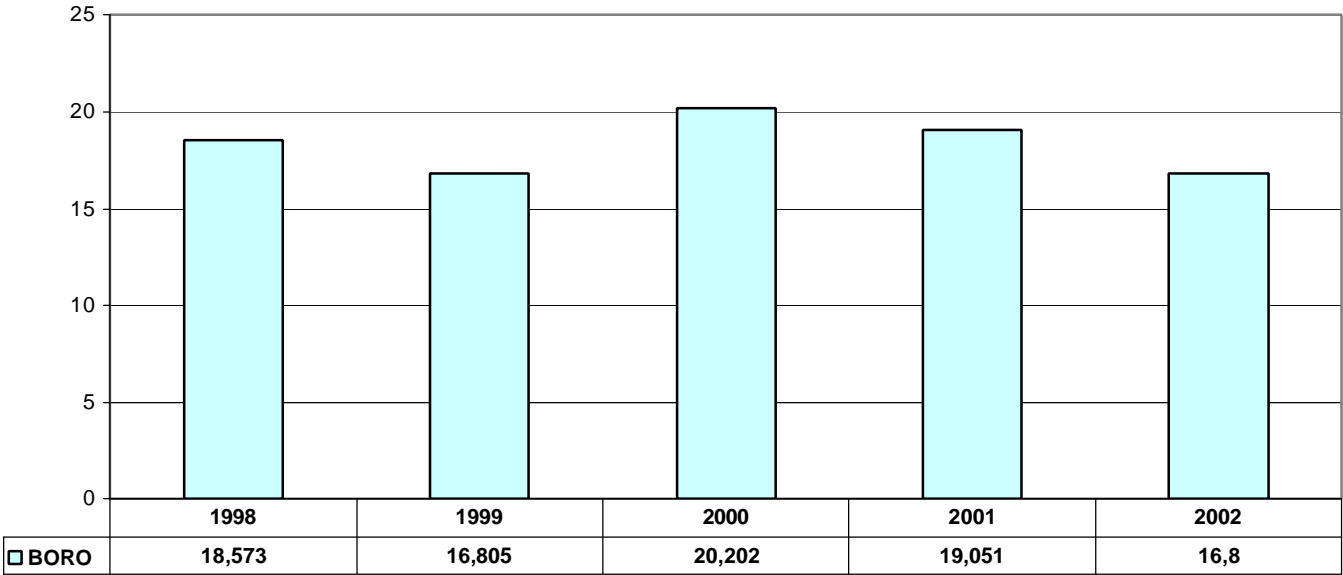
	1998	1999	2000	2001	2002
<b>BORO</b>	18,573	16,805	20,202	19,051	16,8
<b>MERCURIO</b>	0,471	0,136	0,05	0,04	0,04
<b>AZOTO</b>	---	1,982	2,998	2,134	2,001
<b>ZOLFO TOT</b>	0,05	0,059	0,232	0,176	0,1

Di seguito si riportano gli andamenti nel tempo riassunti nella Tabella I.

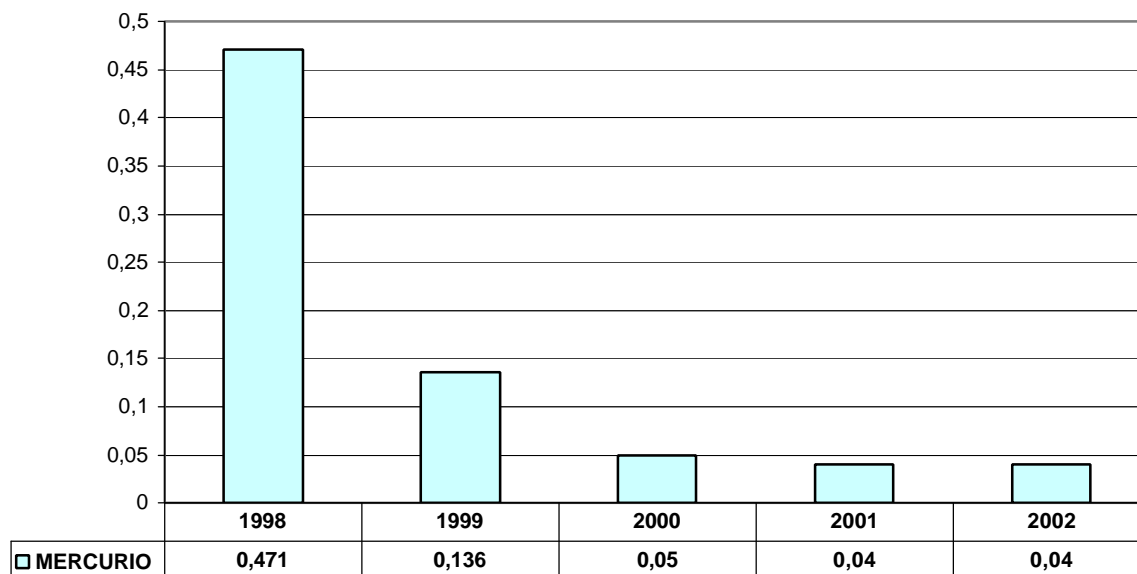
Ginestra  
(valori medi)



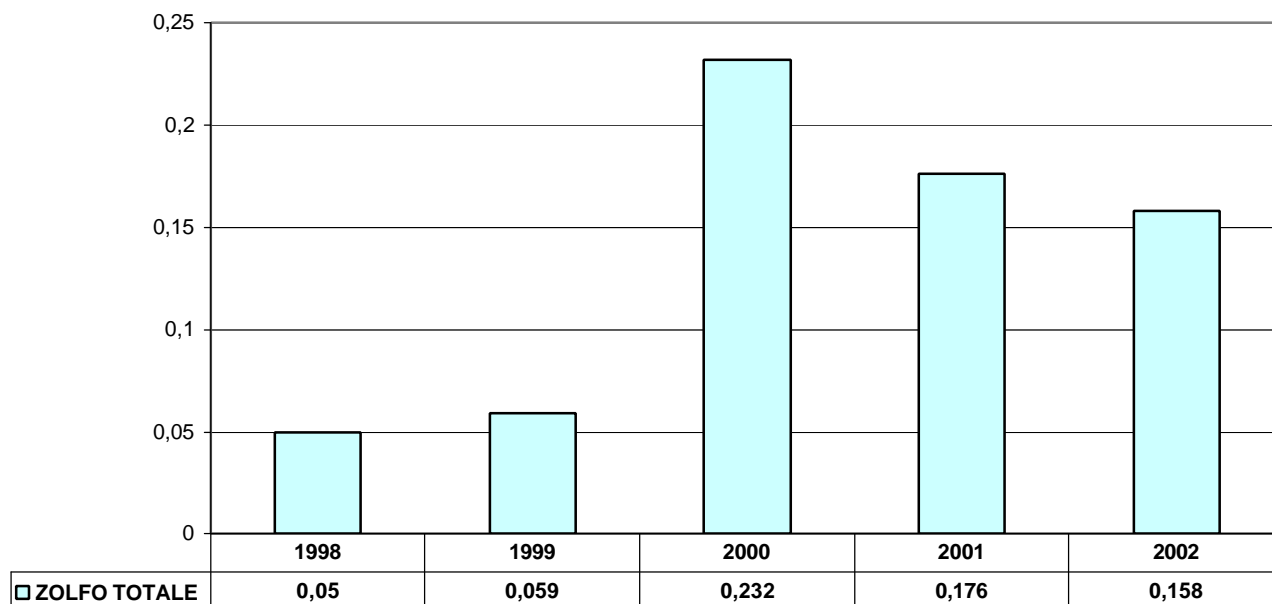
Ginestra  
(valori medi)



**Ginestra  
(valori medi)**



**Ginestra  
(valori medi)**

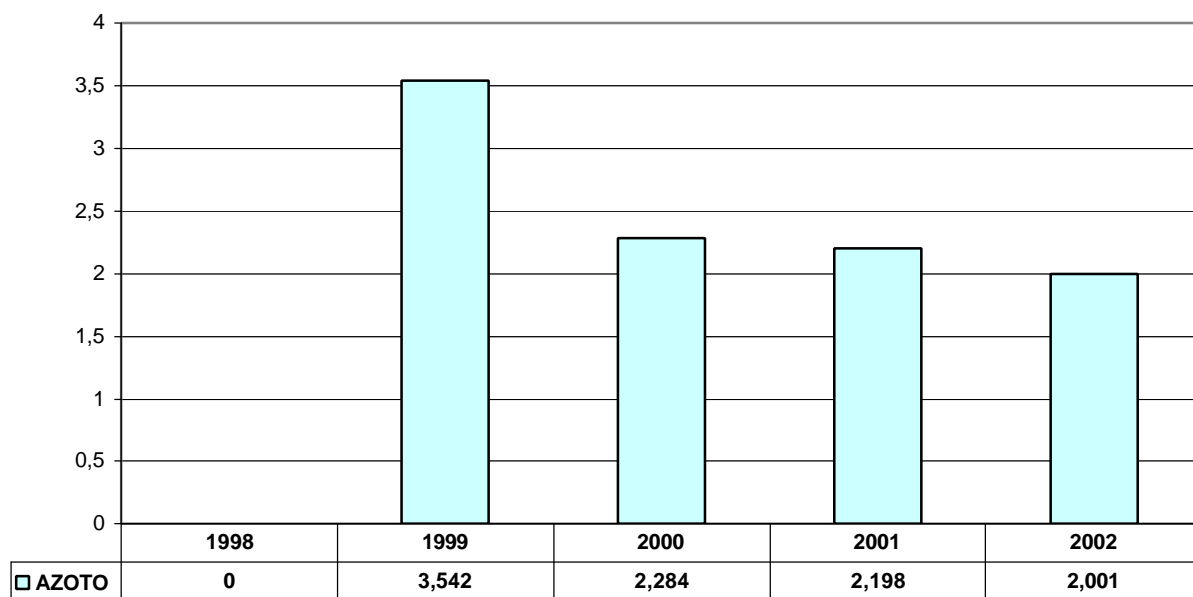


**Tabella II** – Concentrazioni medie degli elementi rispetto alla quercia – Anni 1998 - 2002.

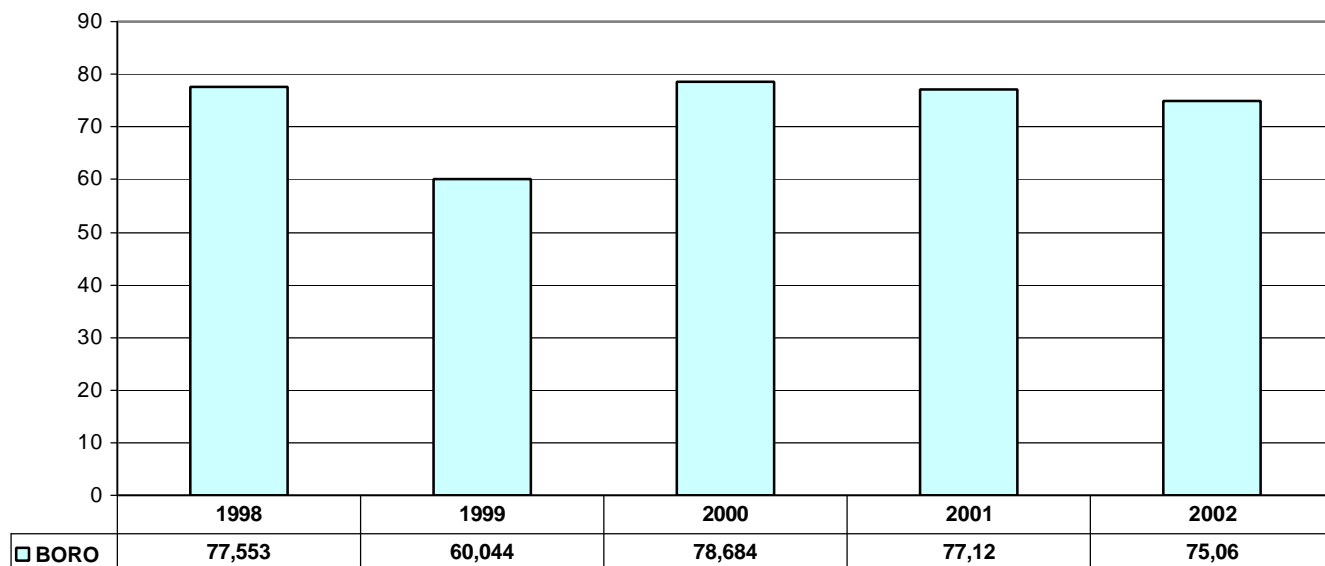
# ARPAT

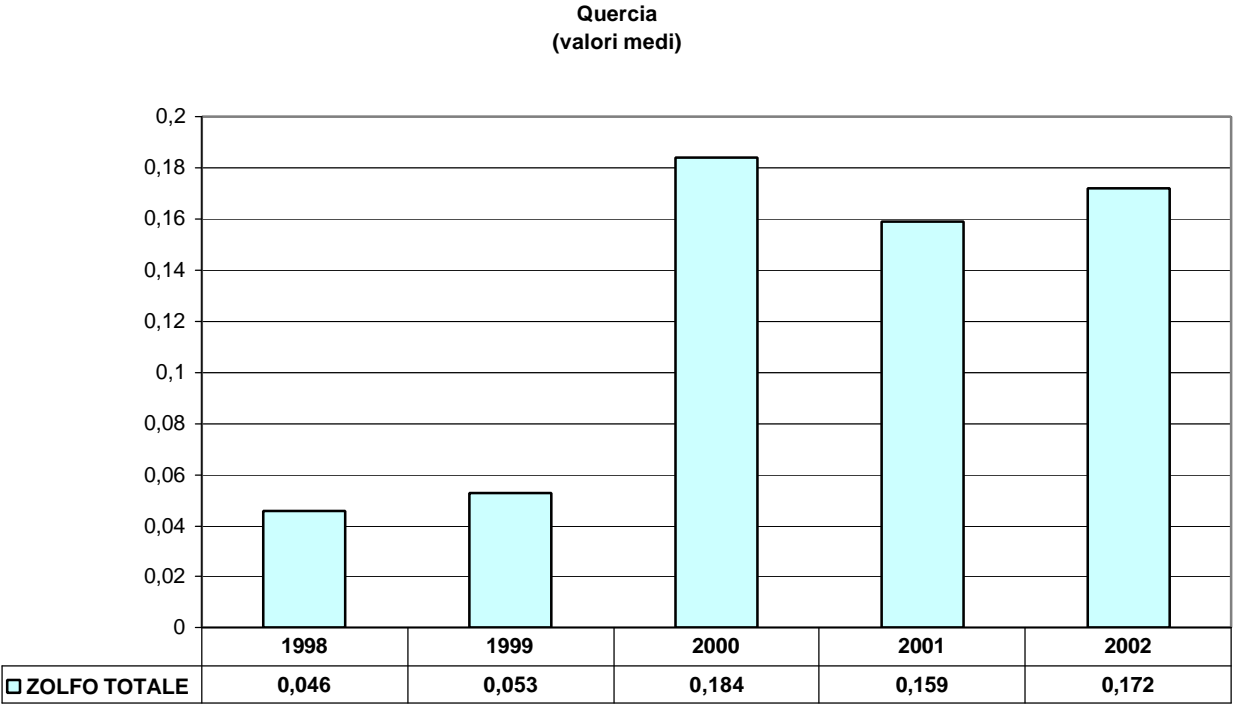
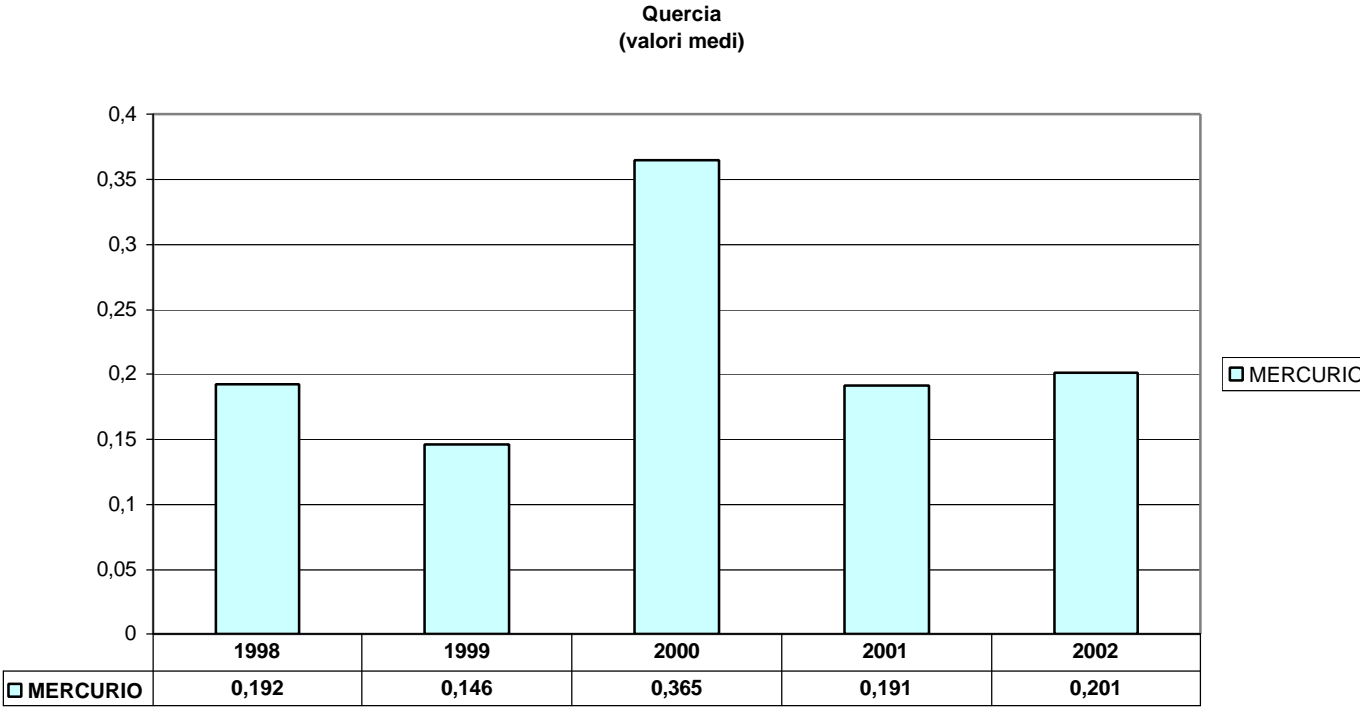
Quercia	1998	1999	2000	2001	2002
<b>BORO</b>	77,55	60,04	78,684	77,12	75,06
<b>MERCURIO</b>	0,192	0,146	0,365	0,191	0,201
<b>AZOTO</b>	---	3,542	2,284	2,198	2,001
<b>ZOLFO TOT</b>	0,046	0,053	0,184	0,159	0,172

Quercia  
(valori medi)



Quercia  
(valori medi)





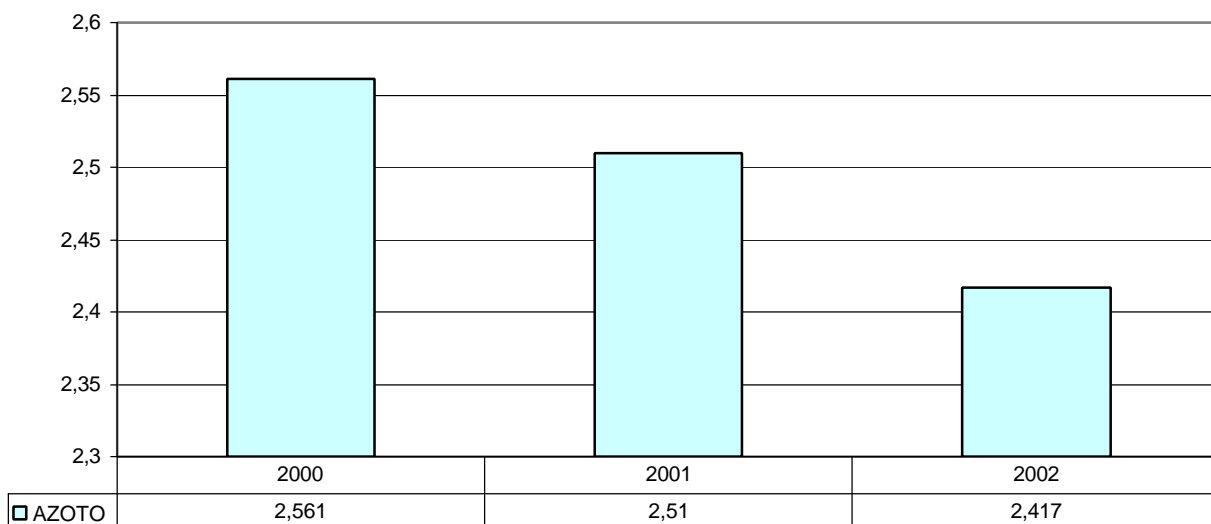


**Tabella III** – Concentrazioni medie degli elementi rispetto al loglio – Anni 1998 - 2002.

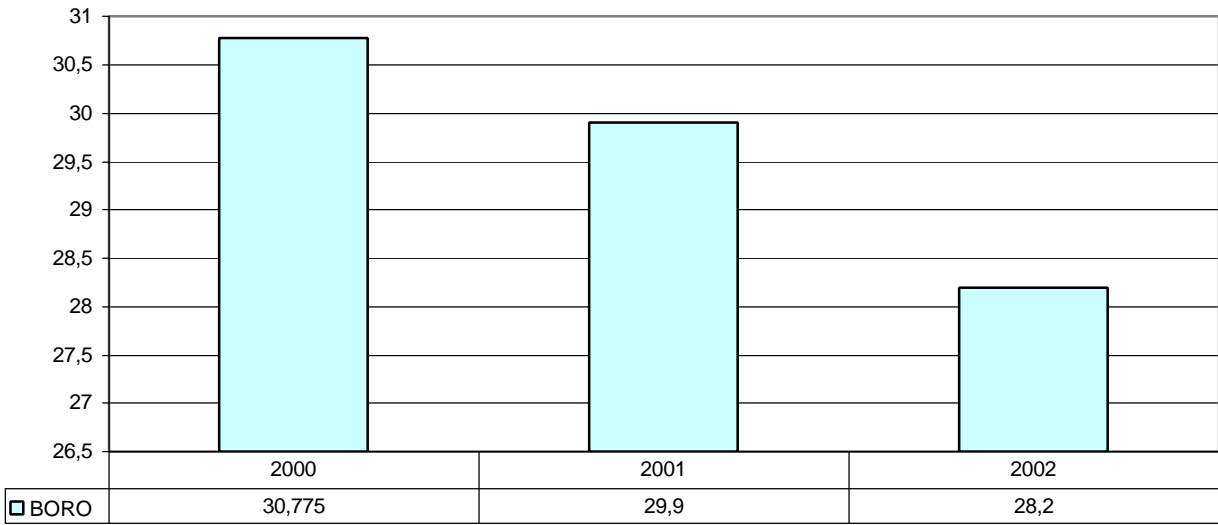
Loglio

	2000	2001	2002
<b>BORO</b>	30,77	29,9	28,20
<b>MERCURIO</b>	0,1	0,1	0,1
<b>AZOTO</b>	2,56	2,51	2,417
<b>ZOLFO TOT</b>	0,34	0,17	0,177

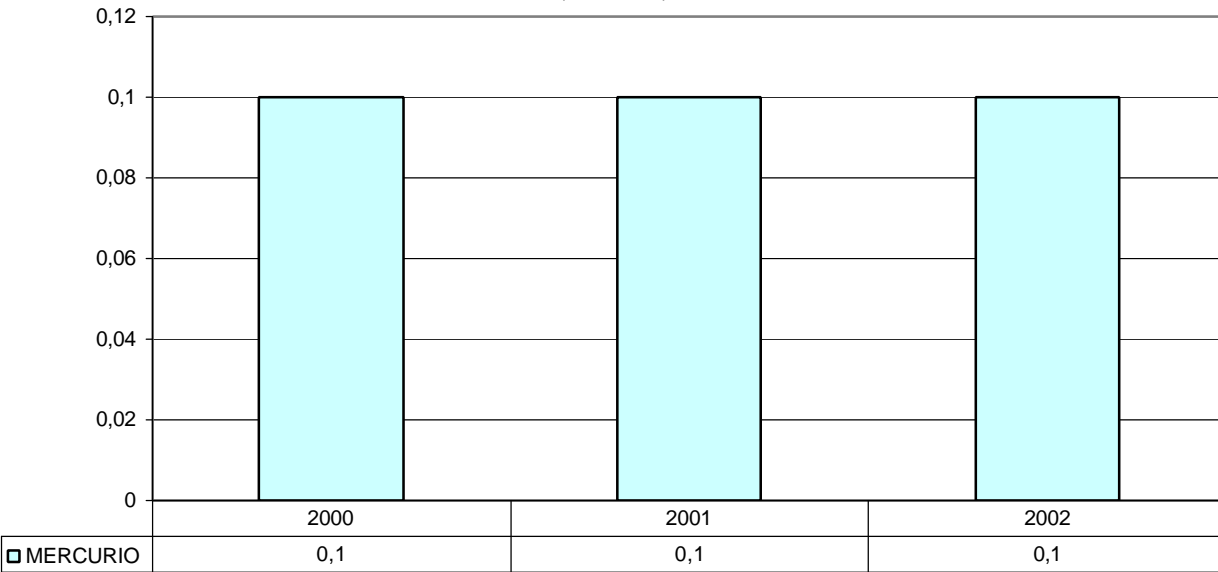
Lolium  
(valori medi)

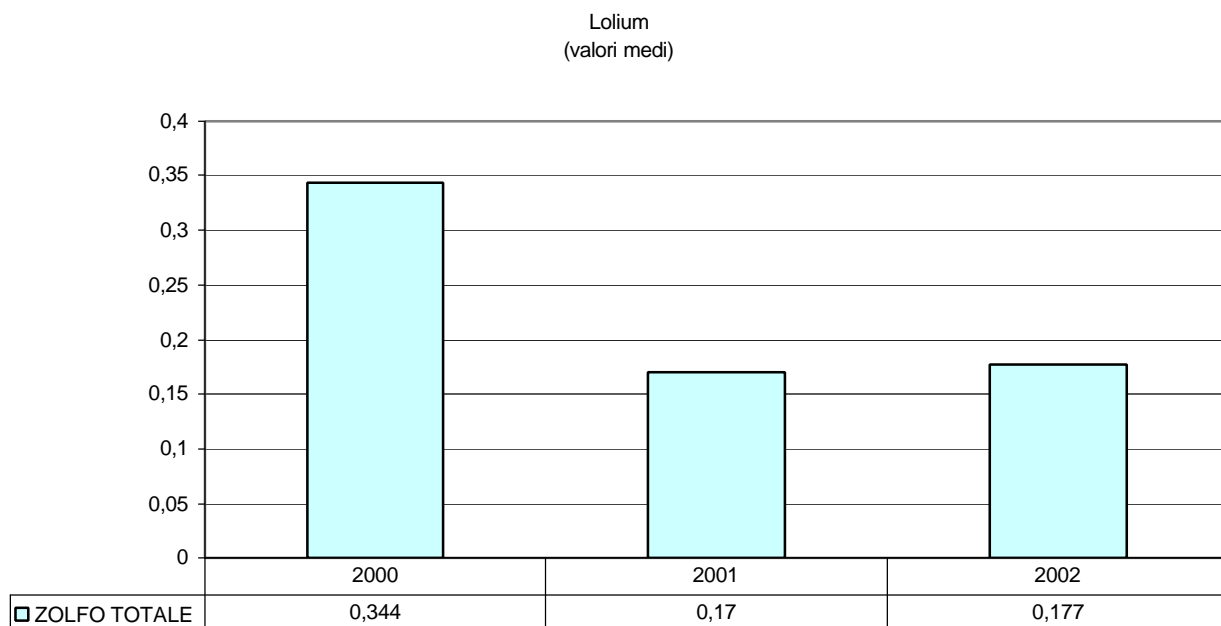


Lolium  
(valori medi)



Lolium  
(valori medi)

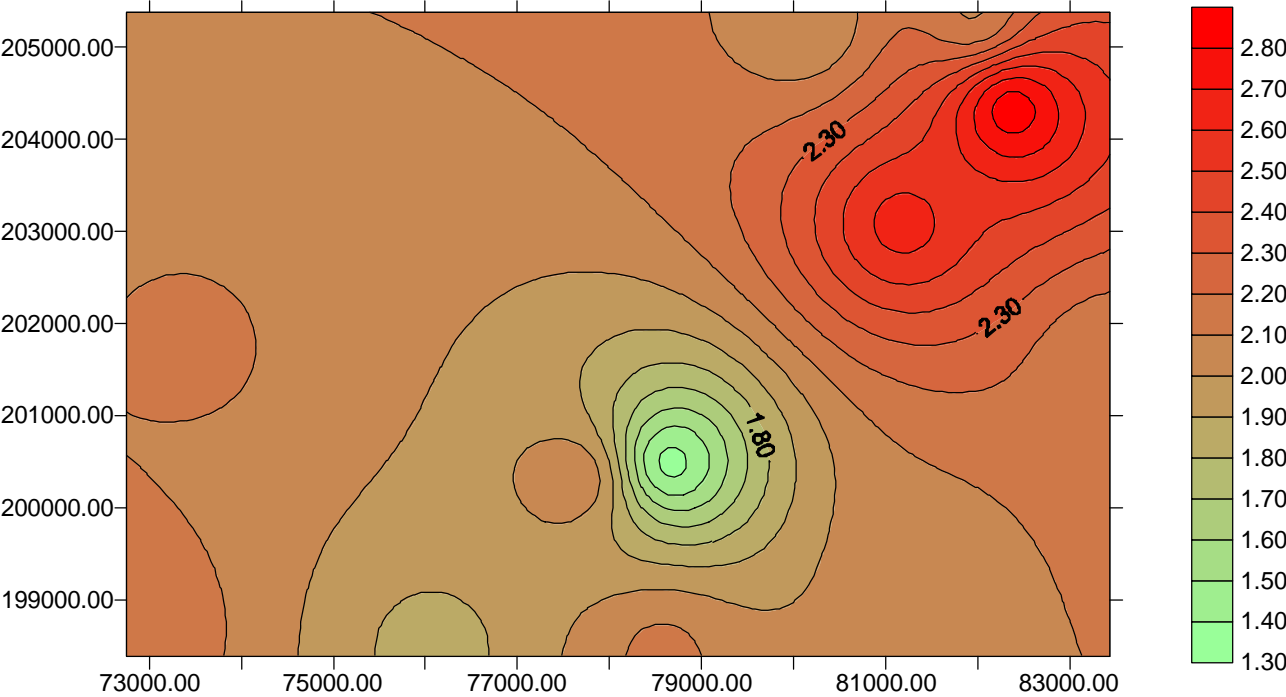




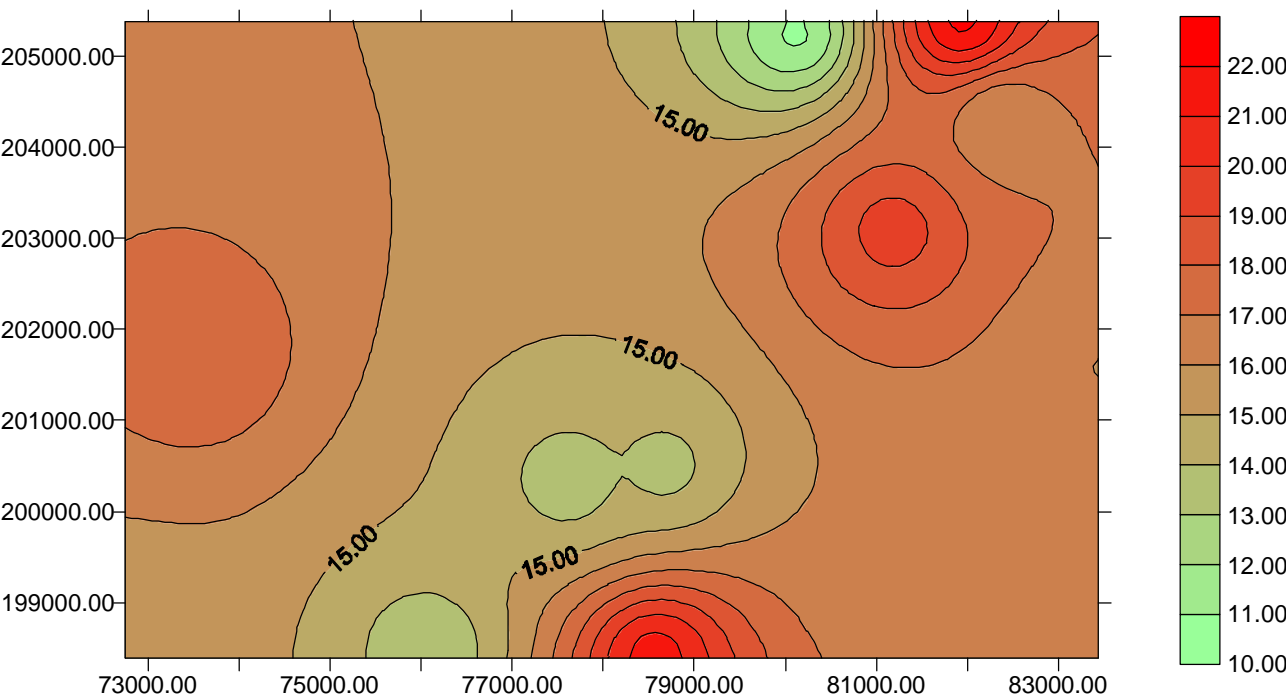
Di seguito si riportano le elaborazioni cartografiche dell'analisi statistica appena descritta. Dalle mappe Surfer si possono osservare le concentrazioni determinate in laboratorio secondo il loro gradiente. Ogni mappa rappresenta l'area di studio, su di questa è riportata una leggenda con il gradiente di concentrazione, in un ordine crescente di colorazione direttamente correlato alla crescente concentrazione dell'elemento oggetto di rappresentazione cartografica. Le coordinate x ed y riportano le coordinate GPS, appositamente convertite per l'elaborazione.

Si precisa che non sono stati rappresentati gli andamenti dell'Arsenico e dell'antimonio in quanto tali elementi sono risultati  $< 0,1$ , e, quindi, non rilevabili, ma soprattutto per il fatto che, avendo un andamento uguale in tutte le Stazioni, non risulta possibile né utile riportare tale situazione su mappe che rappresentano dei gradienti sul territorio oggetto di studio.

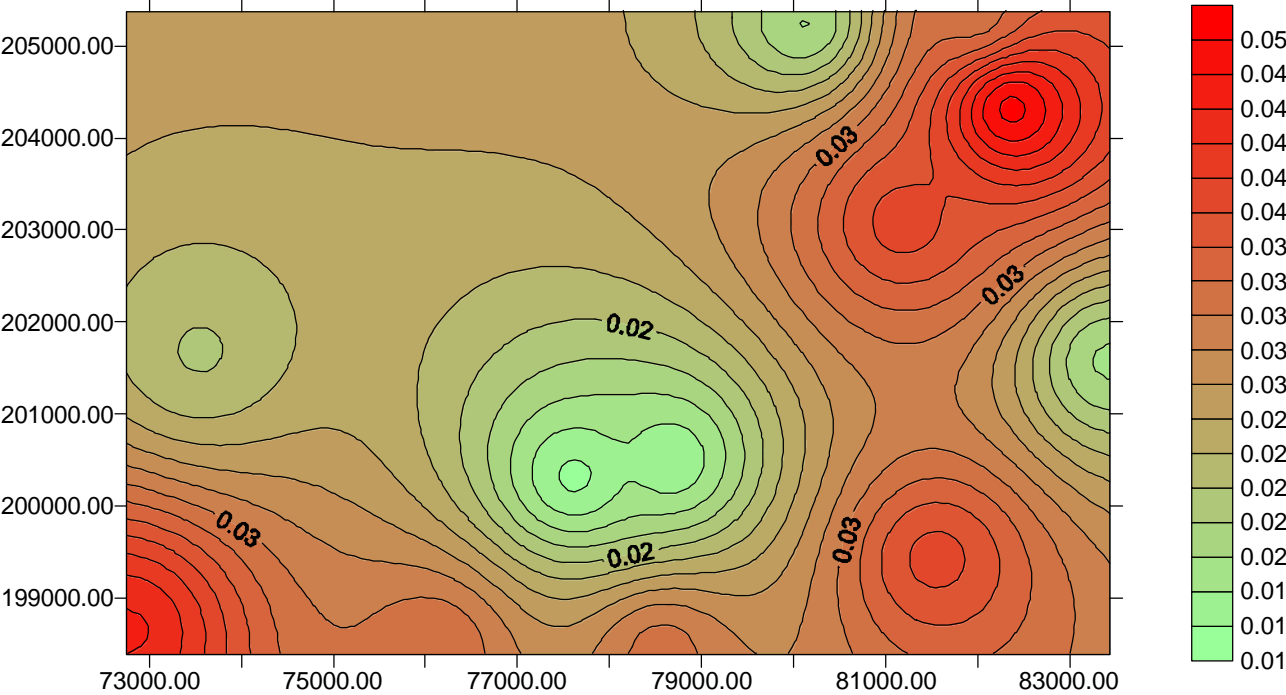
# Ginestra Azoto



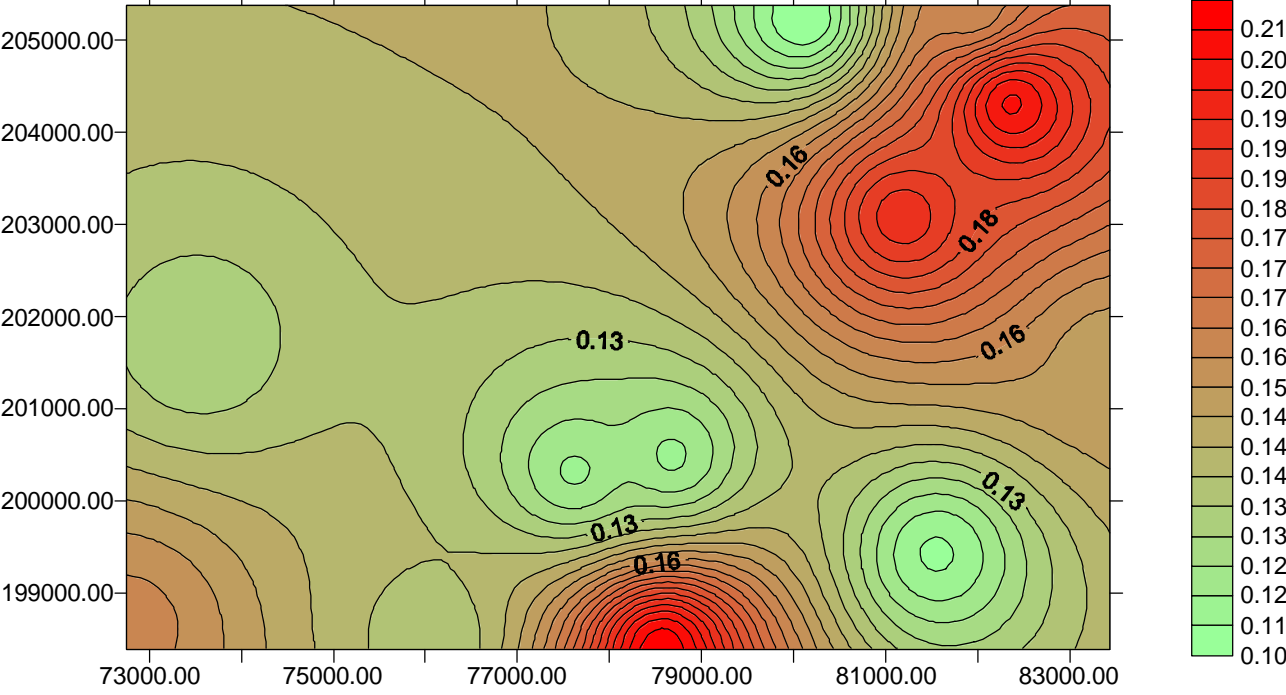
# Ginestra Boro



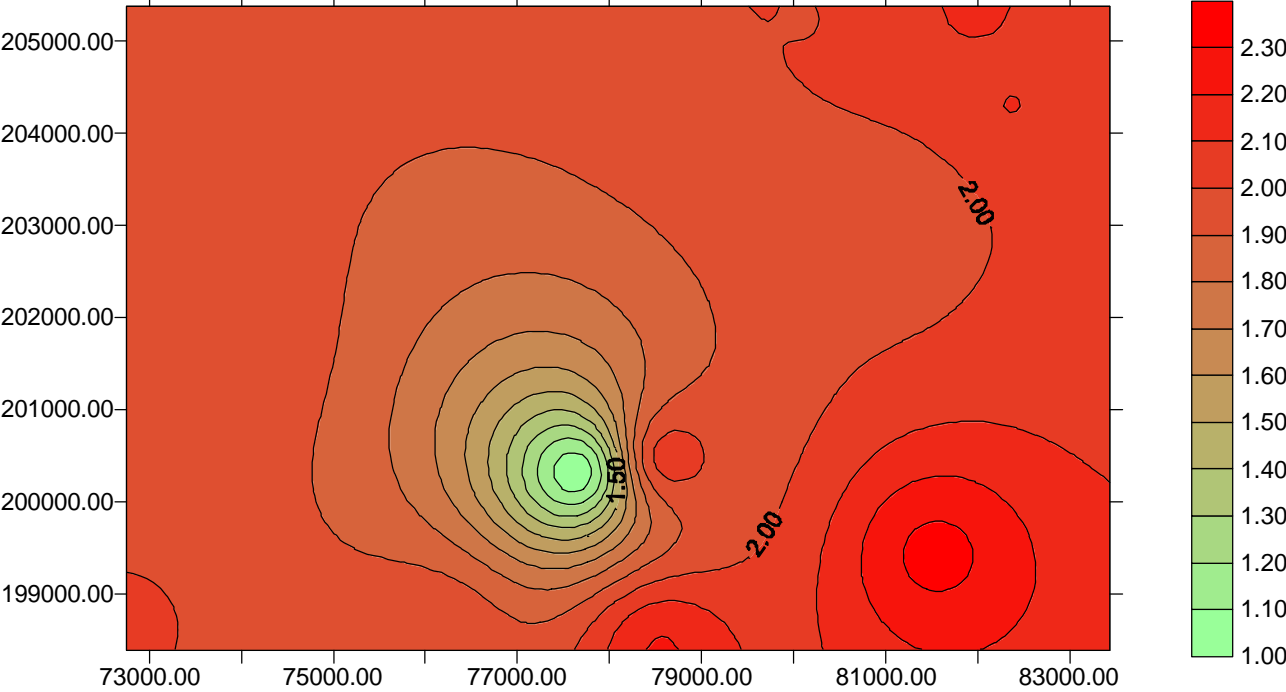
# Ginestra Mercurio



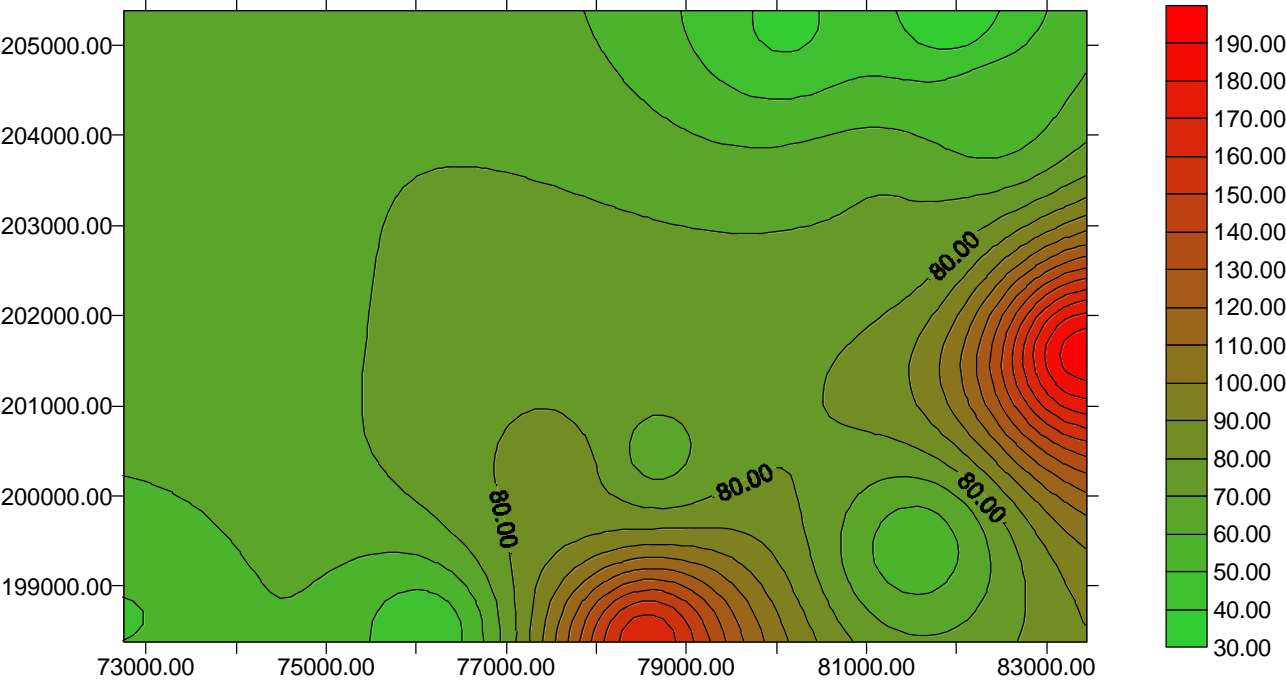
# Ginestra Zolfo Totale



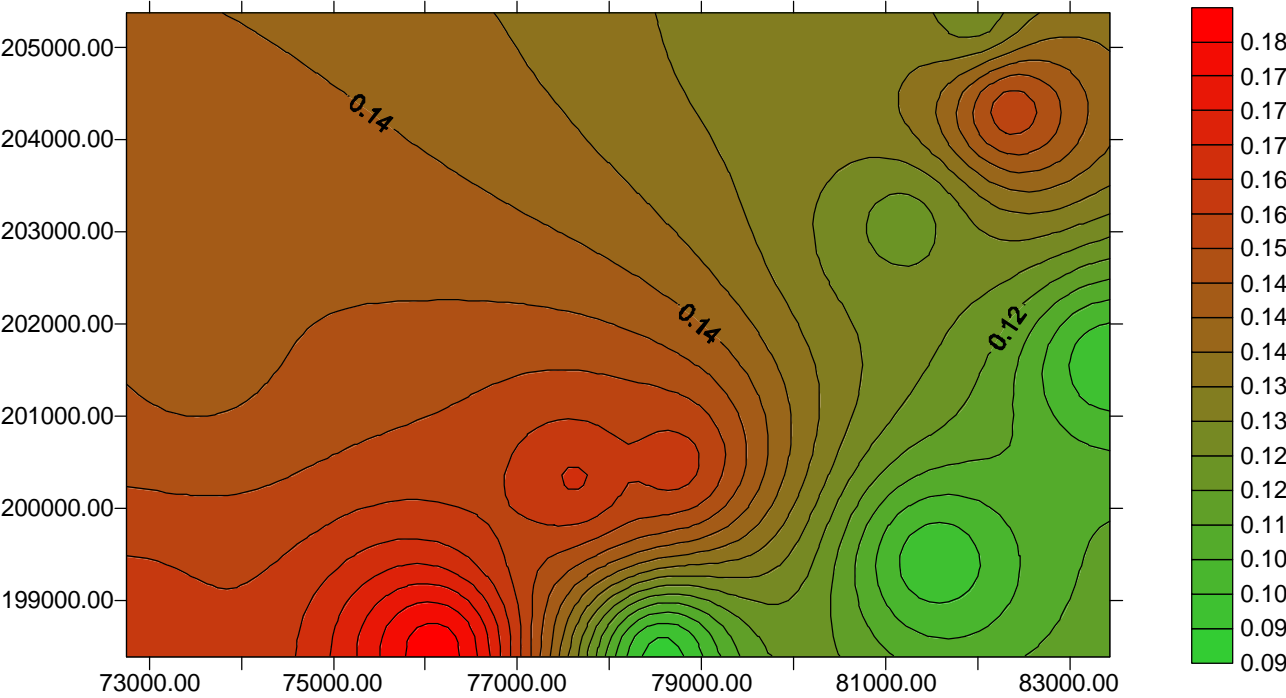
Pinus  
Azoto



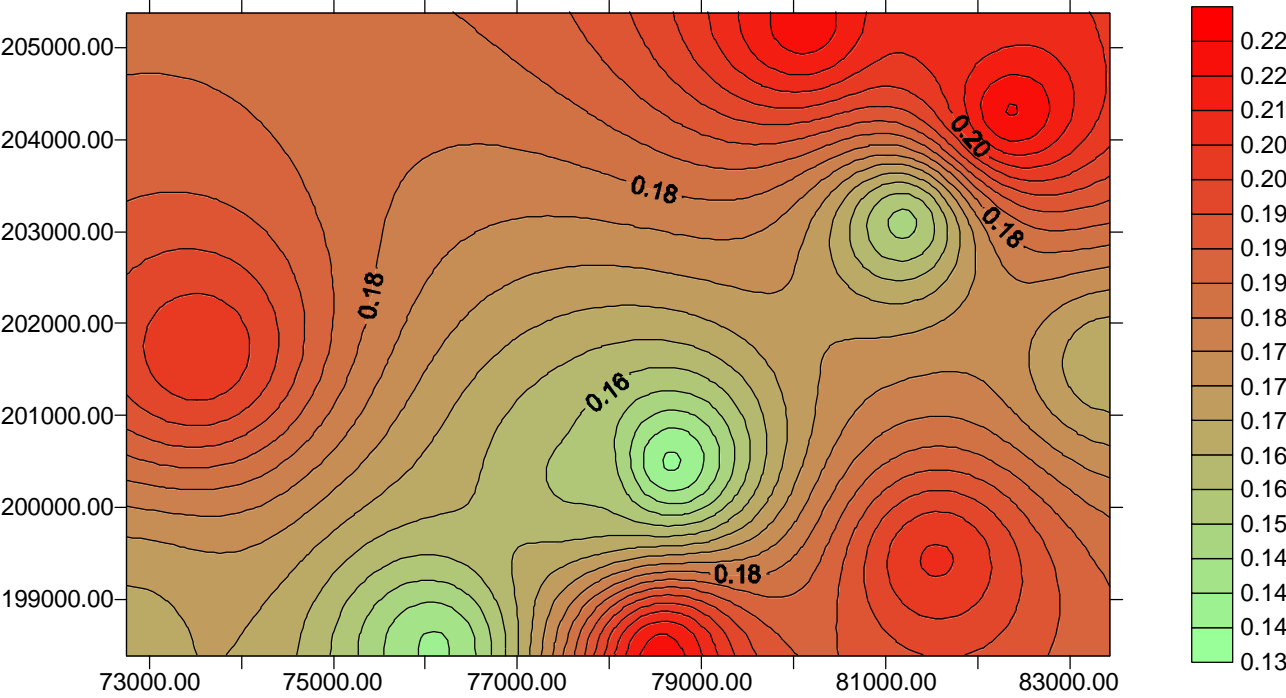
Pinus  
Boro



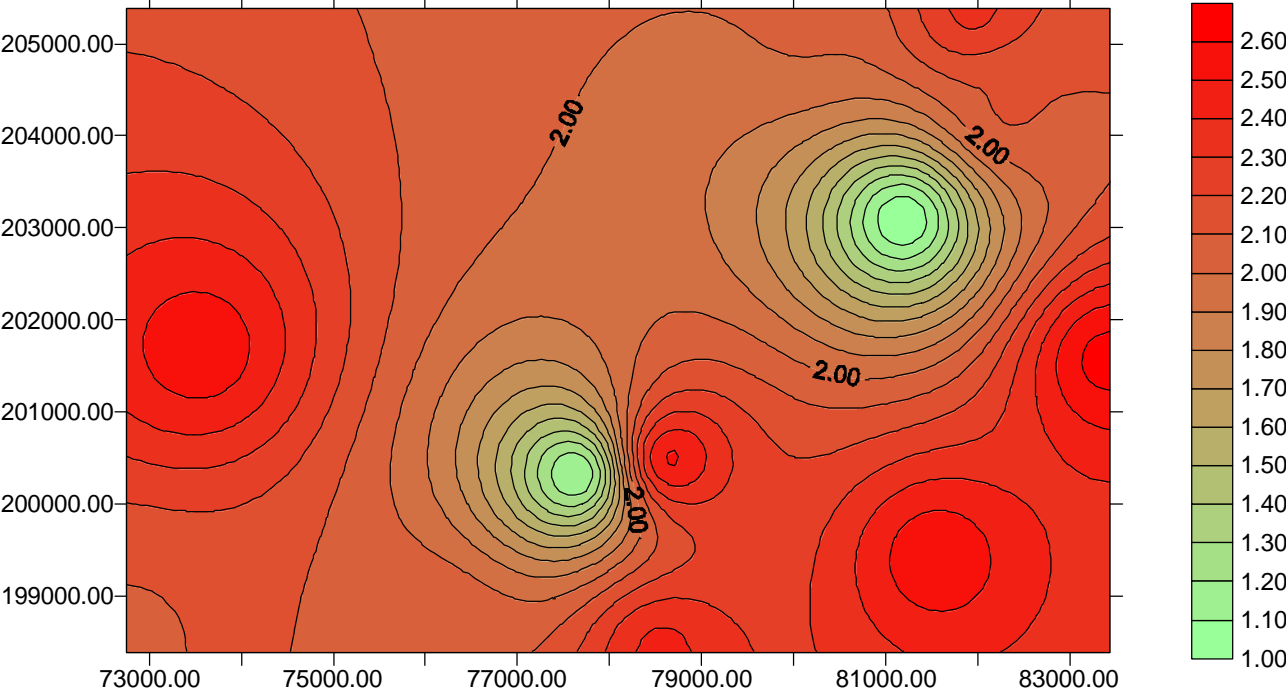
# Pinus Mercurio



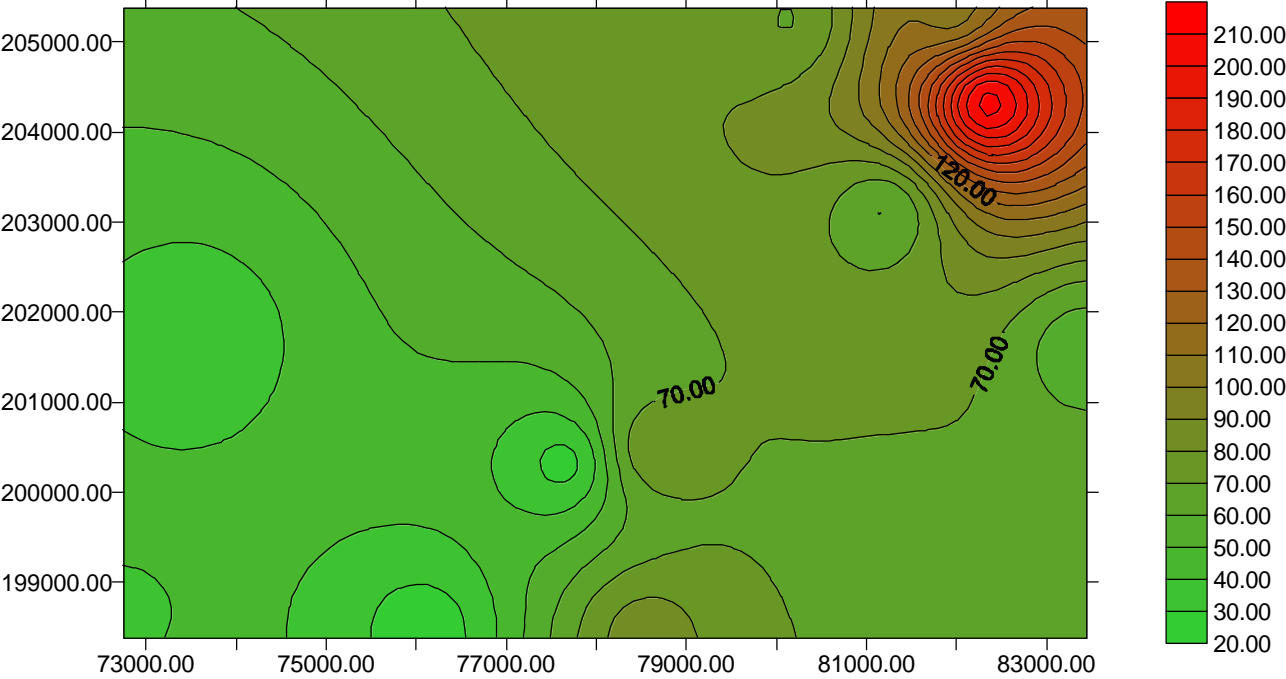
# Pinus Zolfo Totale



# Quercia Azoto

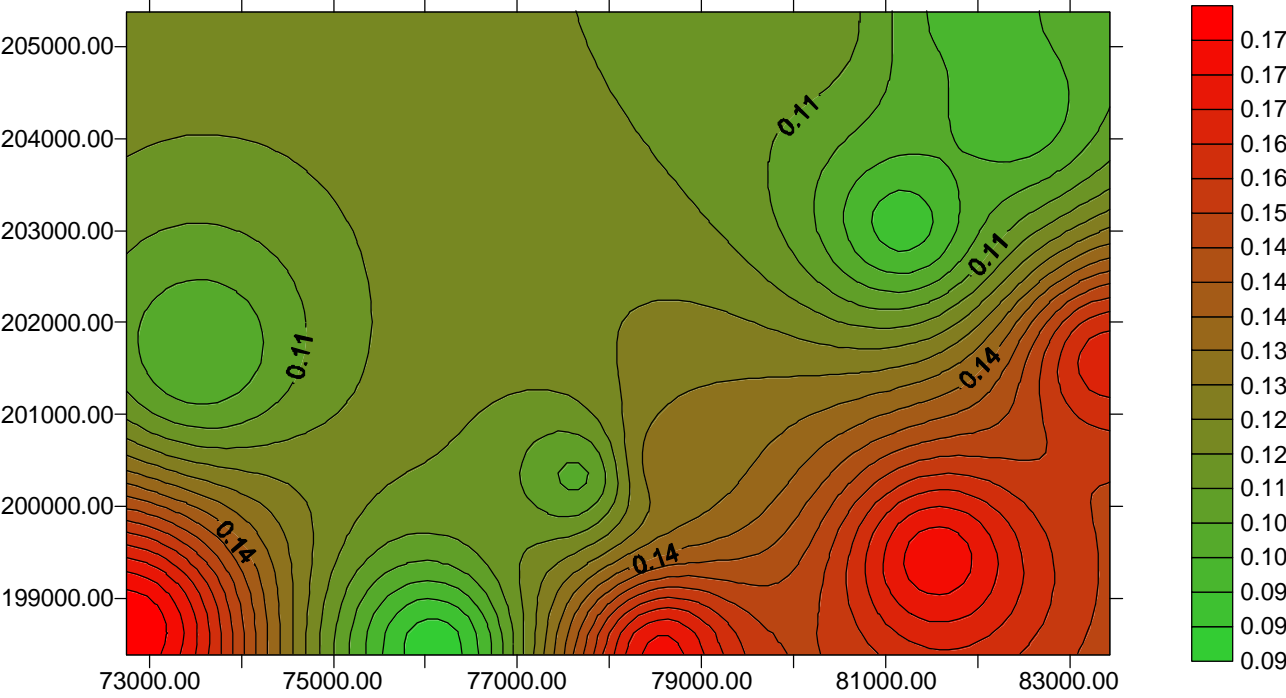


# Quercia Boro

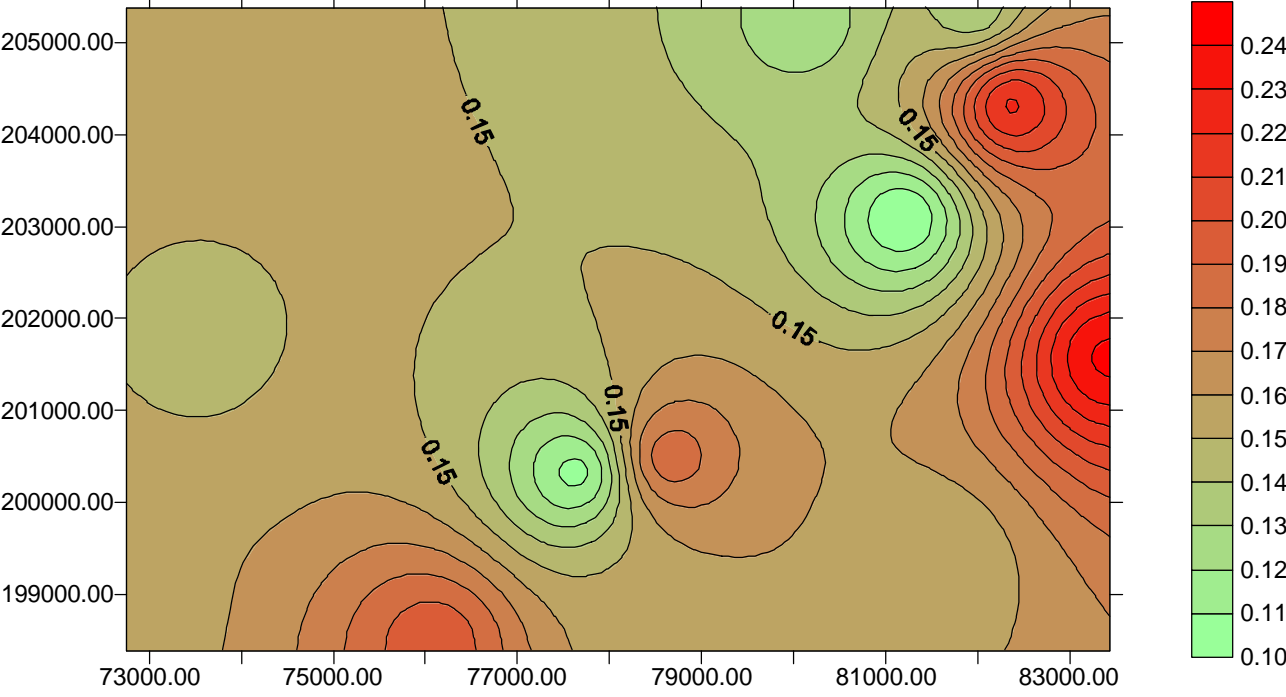




Quercia  
Mercurio



Quercia  
Zolfo Totale



## 6.9 Conclusioni

La fase di Gestione della Rete di Biomonitoraggio 2002, installata ed attivata nei dintorni delle Centrali geotermiche del Monte Amiata, ha previsto il campionamento di tre biosensori passivi: lo *Spartium junceum*, il *Pinus* sp. e la *Quercus* spp. e di un biosensore erbaceo attivo: il *Lolium italicum*. Tali bioaccumulatori hanno fornito diverse informazioni relativamente allo stato dell'aria.

Innanzitutto appare opportuno sottolineare il fatto che il territorio oggetto di studio è risultato non interessato dalla presenza dei due nuovi elementi indagati, Arsenico ed antimonio. Tale informazione, comunque, deve essere convalidata e verificata con campagne successive.

La Rete, inoltre, ha mostrato, per l'Azoto, un rientro entro il limite per tutti i biosensori studiati, tale elemento, infatti, in passato in alcuni periodi e per alcuni biosensori era risultato leggermente al di sopra del limite naturale.

Dallo studio vengono confermate, invece, ricadute di Boro nel territorio analizzato, per quanto riguarda i biosensori arborei passivi (*Pinus* sp. e *Quercus* sp.). Il biosensore arbustivo passivo e l'erbaceo attivo hanno presentato, invece, concentrazioni inferiori ai limiti naturali.

Lo studio conferma, infine, ricadute di Mercurio, nei biosensori arborei passivi, mentre il biosensore arbustivo passivo e quello erbaceo attivo presentano concentrazioni inferiori ai, rispettivi, limiti naturali.

Lo Zolfo si conferma inferiore ai limiti naturali per tutti i biosensori impiegati. Si sottolinea, comunque, che al costante aumento, nel tempo, delle concentrazioni di tale elemento osservato dal 1998 al 2000, ad oggi si contrappone una costante diminuzione.

I risultati, come nei precedenti anni di gestione risultano, nel complesso, sufficientemente stabili, ciò indica un livello di concentrazione, in media, non troppo disomogeneo, tra le Stazioni. In particolare, dalle mappe Surfer, anche per l'anno 2002, appare chiaramente, quanto in precedenza osservato: la distribuzione nel territorio degli inquinanti è disomogenea, sembra confermarsi l'ipotesi che la dispersione delle sostanze sia tale da non creare zone a maggior impatto.

Il territorio, dunque, si conferma leggermente impattato, in particolare Boro e Mercurio sono presenti in concentrazioni lievemente superiori ai limiti.

La situazione emersa può essere considerata, quindi, sicuramente non allarmante, ma, da tenere, costantemente, sotto controllo, nonostante un generale miglioramento rilevato nell'anno 2002.

## 6.10 Bibliografia citata e consultata

Armitage P. (1971), *Statistical Methods in Medical Research*, Blackwell Scientific Publications.

Biemer P.P., Groves R.M., Lyberg L.E., Mathiowetz N.A., Sudman S., 1991. *Measurement Errors in Survey*, Wiley, New York.

Ferretti M., Cenni E., Pisani B., Righini F., Gambicorti D., De Santis P., Bussotti F. (1992): *Biomonitoraggio di inquinanti atmosferici: una esperienza integrata nella Toscana costiera. Acqua Aria n.8*

John, P. (1971) *Statistical Design and Analysis of Experiments*, New York: Mac Millan Publishing Co.

Lee H., Ghangurde P.D., Mach L., Yung W., 1992. *Outliers in sample survey*, Statistics Canada Methodology Branch.

Lindt T.J., T.J., Fuhrer, J. & Stadelmann, F.X. (1990): *Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Nahrungs- und Futterpflanzen. Schriftenreihe der FAC Nr. 8. Liebefeld-Bern: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene.*

Magagnoli, U., 1978. *L'assicurazione della qualità nelle interrelazioni azienda-mercato-ambiente*, X Convegno nazionale della Associazione Italiana per il Controllo di Qualità, Torino, Memorie vol.2.

Markert B. (1992) *Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the organic plant, and consequences for future investigation of inorganic environmental chemistry in ecosystems. Vegetatio 130, p: 1-30.*

Markert B. (1993) *Plants as biomonitors – Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.*

Riss A., A., Schwarz, S., Benetka, E. & Rebler, R. (1990): *Schwermetalle und Grünlandaufwuchs in der Umgebung einer Kupferhütte in Brixlegg/Tirol. in: Verein Deutscher Ingenieure*

(Hrsg.): *Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. Einträge, Bewertung, Regelungen*. Düsseldorf: VDI Berichte 837, 209-223.

“TEAM Licheni e Suoli” - “*Indagine per la valutazione degli effetti sull’ambiente delle emissioni aerodisperse degli impianti geotermici dell’area amiatina*” - *Caratterizzazione meteorologica dell’area amiatina*. Università degli Studi di Siena - Dipartimento di Biologia Ambientale

Vitali O., 1993. *Statistica per le scienze applicate*, vol.II, Cacucci Bari.

E’ stata seguita la metodologia prevista della Configurazione Operativa (paragrafo 4.6.1 - Analisi statistiche sulle piante): le analisi statistiche sono state svolte con il SAS che dipende dalla struttura dell’insieme dei dati (metrica o ordinata).

Le elaborazioni sono state effettuate con il package SAS, in particolare sono state utilizzate la procedura UNIVARIATE per le statistiche descrittive.

Le elaborazioni sono state, poi, inserite nel programma Surfer della Golden Inc., ed elaborate, al fine di riportare cartograficamente i dati ottenuti.

### 6.11 Sistema qualità

Disposizioni relative alla verifica dell’installazione, dell’identificazione e presa di possesso dei siti definitivi della rete di monitoraggio biologico integrato avanzato sul territorio dell’Amiata.

#### **Oggetto**

Il presente documento, con riferimento al “Manuale del Sistema di Qualità” della Società Strategie Ambientali S.r.l., tratta delle disposizioni relative alla “Gestione della Rete di Biomonitoraggio integrato avanzato del Monte Amiata” di cui all’Allegato Tecnico alla Convenzione (A.R.P.A.T. - Strategie Ambientali).

Il “Manuale del Sistema di Qualità” prevede, infatti, che, nella fase di gestione della Rete, il “Responsabile del Controllo di Qualità” verifichi che tutte le attività svolte siano state eseguite secondo le relative ed apposite disposizioni e norme.

## **Gestione della Rete di Monitoraggio Biologico**

Al termine della gestione della Rete 2002 di Biomonitoraggio del Monte Amiata il responsabile del Controllo di Qualità dovrà (secondo quanto disposto dal Manuale del Sistema di Qualità) verificare:

- la tipologia e la quantità di biosensori utilizzati;
- la metodologia seguita per il campionamento dei biosensori;
- la metodologia seguita per la conservazione e la preparazione dei campioni;
- la quantità e la tipologia di elementi chimici ricercati;
- le metodologie utilizzate per le analisi chimiche;
- le metodologie utilizzate per le analisi statistiche;
- la correttezza delle modifiche ed aggiornamenti effettuati;
- la tempistica.

secondo le indicazioni e le procedure contenute nella documentazione elencata di seguito.

## **Disposizioni**

Per le disposizioni applicabili per questa fase del lavoro vedi:

- i paragrafi e gli articoli dell'“Allegato Tecnico”, di cui al precedente paragrafo 1;
- la Relazione della “Configurazione Operativa” (consegnata in data 06/10/97 ed approvata dalla Committenza), relativa al suddetto appalto ed i disegni e le carte relative;
- le norme VDI n. 3799 parte 1 e 2; 3792 parte 2 e 5; 3786 parte 2, 3, 4, 5, 7; allegate alla citata “Configurazione Operativa” ;
- il Programma Computerizzato per la gestione e manutenzione della Rete di Monitoraggio Biologico, descritto dettagliatamente nella “Configurazione Operativa”, paragrafo 5;
- la relazione del “Sistema di Qualità” della fase di “Realizzazione” della Rete.

## 6.12 Relazione del controllo di qualità

Il presente documento riporta, nel dettaglio, le verifiche che sono state effettuate, durante la gestione della Rete, da parte del “Responsabile del Controllo di Qualità”, sulla base del “Sistema di Qualità”, della Società Strategie Ambientali S.r.l.

Il lavoro è stato effettuato, tramite sopralluoghi sul campo e controlli d’ufficio, al fine di verificare la conformità, ai dettami contenuti nella documentazione di rito. Si riportano, dunque, di seguito, secondo un ordine cronologico, i singoli controlli eseguiti, con le relative osservazioni e precisazioni.

### Verifica della tipologia dei biosensori utilizzati

I biosensori utilizzati nella gestione 2002 risultano, come tipologia, quelli previsti dal Progetto e dai successivi aggiornamenti:

#### Monitoraggio Passivo

- ❑ Il biosensore arboreo *Quercus* sp. (bioaccumulo);
- ❑ Il biosensore arboreo *Pinus* sp. (bioaccumulo);
- ❑ Il biosensore arbustivo *Spartium junceum* sp. (bioaccumulo);

#### Monitoraggio Attivo

- ❑ Il biosensore erbaceo *Lolium italicum* (bioaccumulo).

### Verifica del numero di biosensori campionati

Per alcuni biosensori il numero di campionamenti risulta inferiore a quanto previsto dal Progetto:

- *Quercus* sp.: bioaccumulo

*I campionamenti sono stati effettuati nelle 19 Stazioni previste 14 + 5 nuove.*

- *Pinus* sp.: bioaccumulo

*I campionamenti sono stati effettuati nelle 19 Stazioni previste 14 + 5 nuove.*

- *Spartium junceum*: bioaccumulo

*I campionamenti sono stati effettuati nelle 19 Stazioni previste 14 + 5 nuove.*

- *Lolium italicum*: bioaccumulo

*I campionamenti sono stati effettuati nelle 5 Stazioni previste.*

### **Verifica della metodologia seguita per il campionamento dei biosensori**

I rilievi ed i campionamenti dei biosensori risultano rispondenti alle indicazioni del Progetto.

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1 (Configurazione Operativa paragrafo 4.2.2): il materiale presentava la medesima età. I rami da cui sono state raccolte le foglie erano sempre situati ad un'altezza uniforme dal suolo. Sono state raccolte le foglie più vecchie.

### **Verifica della metodologia seguita per la conservazione e preparazione dei campioni**

La conservazione e la preparazione dei campioni prelevati nella Rete risultano conformi alle indicazioni riportate nel Progetto:

E' stata utilizzata la metodologia prevista da Guideline VDI 3792 parte 1 (Configurazione Operativa paragrafo 4.2.4): i campioni freschi delle specie arboree ed erbacee sono stati trasportati in laboratorio in contenitori di polietilene e preparati nello stesso giorno.

Ad ogni passaggio dalla raccolta all'analisi è stata evitata ogni tipo di contaminazione.

Metodologia prevista per le latifoglie:

a) rami prelevati alla stessa altezza dal suolo, campionando le foglie più vecchie, per un totale di 10 g di s.s. analizzati. b) Conservazione in sacchetti di polietilene ed eventualmente tenuti a 4° C o a -15° C. c) Essiccamento a 50 ° C. d) Macinazione e conservazione in contenitori di polietilene

### **Verifica della quantità e tipologia degli elementi chimici ricercati**

E' stata seguita la metodologia prevista della Configurazione Operativa (paragrafo 4.5.2a – Analisi chimiche su materiale vegetale). Gli elementi analizzati sono: antimonio, Arsenico, Azoto, Boro, Mercurio e Zolfo (organico, inorganico e totale).

### **Verifica delle metodologie utilizzate per le analisi chimiche**

Le metodologie seguite per le determinazioni analitiche dei campioni prelevati sono state effettuate secondo quanto stabilito dalla Configurazione Operativa (paragrafo 4.5.2a – Analisi chimiche su materiale vegetale).

## **Verifica della metodologia seguita per le analisi statistiche dei risultati**

L'elaborazione statistica dei singoli dati ottenuti dai diversi biosensori è stata effettuata come indicato dalla Configurazione Operativa (paragrafo 4.6.1 - Analisi statistiche sulle piante): le analisi statistiche sono state svolte con il SAS che dipende dalla struttura dell'insieme dei dati (metrica o ordinata).

Tutte le operazioni di campionamento e conservazione dei campioni, manutenzione, determinazione analitica, elaborazione ed interpretazione dei risultati sono state effettuate secondo le scadenze previste in fase progettuale e di programmazione temporale.



## 7 SPORTELLLO INFORMATIVO

La sede provvisoria dello sportello è presso la Comunità Montana Zona Amiata Senese a Piancastagnaio.

Presso la Comunità Montana Zona Amiata Senese a Piancastagnaio, per le problematiche connesse con la coltivazione dei fluidi geotermici, è stato attivato in via sperimentale uno sportello informativo, attrezzato di postazione informatica e linea ISDN (per collegamenti in rete con i Dipartimenti e la Direzione ARPAT, e con Internet) e di una stampante a colori. Gli arredi, tra cui una fotocopiatrice e gli armadi per archivi, sono messi a disposizione dalla Comunità Montana.

L'ubicazione della sede offre il vantaggio di essere al centro dell'area Amiatina e di essere facilmente raggiungibile dagli altri Comuni limitrofi.

Lo sportello, su richiesta, assicura l'informazione a vari soggetti: popolazione, istituzioni ed ad utenti esperti (professionisti, Università, laureandi, ricercatori, studenti, cittadini ecc.), fornendo anche documentazione tecnico-scientifica e di sintesi sulle attività e studi disponibili.

L'affluenza degli utenti è stata fino ad ora limitata per cui attualmente l'apertura dello sportello avviene a seguito di richiesta.

L'attività dello sportello tende a realizzare l'obiettivo di consolidare un centro di informazione e comunicazione con la popolazione e le istituzioni locali sulle problematiche connesse con la coltivazione dei fluidi geotermici. Esso assicura l'informazione alla popolazione, alle istituzioni ed ad utenti esperti (professionisti, Università, laureandi, ricercatori, studenti, cittadini ecc.), fornendo sia documentazione di sintesi, facilmente comprensibile anche al comune cittadino, sia valutazioni tecnico-scientifiche più complesse, rivolte principalmente ai tecnici, e comunque tutti i dati inerenti le attività svolte.

È emersa la necessità di predisporre materiale informativo fruibile anche da un pubblico di “non addetti ai lavori”, far conoscere l'esistenza dello sportello alle Amministrazioni Locali, alle scuole, agli operatori economici e alla popolazione anche al fine di organizzare momenti di incontro e di educazione ambientale tenendo conto della particolare natura del territorio dove esistono fenomeni spontanei “putizze” (fuoriuscite naturali di gas), un gran numero di fonti termali e, naturalmente, la coltivazione dei fluidi geotermici.