

# Sezione E

## Studio di correlazione tra inquinanti ed eventi sanitari

---

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 1. | <b><i>Introduzione</i></b>                                | 297 |
| 2. | <b><i>Obiettivo</i></b>                                   | 297 |
| 3. | <b><i>Razionale, limiti e potenzialità del metodo</i></b> | 297 |
| 4. | <b><i>Materiali</i></b>                                   | 299 |
|    | <b>4.1</b> I dati ambientali                              | 299 |
|    | <b>4.2</b> I dati sanitari                                | 304 |
| 5. | <b><i>Metodi</i></b>                                      | 306 |
|    | <b>5.1</b> Gli indici ambientali                          | 306 |
|    | <b>5.2</b> Analisi statistica                             | 307 |
| 6. | <b><i>Risultati</i></b>                                   | 309 |
| 7. | <b><i>Considerazioni conclusive</i></b>                   | 312 |
|    | <b><i>Bibliografia</i></b>                                | 313 |



## **1. INTRODUZIONE**

Il documento che segue riguarda la fase del progetto concernente l'esplorazione della relazione tra dati ambientali e dati sanitari, a valle delle analisi sui dati ambientali e sulla mortalità e ospedalizzazione (ricoveri, eventi avversi della riproduzione, analisi sui ricoverati contenuta nel presente volume). La valutazione dei risultati delle analisi descrittive su mortalità e ricoverati ha permesso di identificare segnali e spunti che costituiscono la guida per l'effettuazione delle analisi di correlazione geografica di seguito presentata.

## **2. OBIETTIVO**

Scopo del lavoro è di valutare come varia la mortalità e l'ospedalizzazione per cause, selezionate sulla base dei risultati forniti dalle analisi descrittive e di conoscenze epidemiologiche e tossicologiche, al variare della concentrazione media di inquinanti selezionati in base a conoscenze e valutazioni ambientali, nelle diverse zone geotermiche.

## **3. RAZIONALE, LIMITI E POTENZIALITÀ DEL METODO**

La valutazione della correlazione tra inquinanti ambientali e patologie è stata svolta utilizzando dati di inquinamento a livello comunale aggregati in gruppi simili in termini di concentrazione di metalli (isoconcentrazione), in quanto non erano disponibili informazioni più disaggregate né per i dati sanitari né per le matrici ambientali (aria). Va comunque detto che le analisi geografiche a livello comunale sono idonee a dare indicazioni sulle correlazioni presenti nel territorio, ma non sono informative dei rapporti di causa-effetto.

Tra i limiti intrinseci dell'approccio geografico su dati sanitari aggregati (disegno ecologico), si ricordano la non considerazione dell'informazione dello stato socio-economico, fattore riconosciuto correlato con diverse patologie, e la non conoscenza del tempo di latenza tra l'inizio dell'esposizione e l'insorgenza di malattia o il decesso.

Analoghe considerazioni riguardano i dati ambientali, poiché l'uso delle medie di concentrazione su base comunale, o di aggregati di comuni, rappresenta uno strumento con livelli ridotti di precisione ed accuratezza.

In sintesi, i principali limiti metodologici di questa analisi sono così riassumibili:

1. l'aggregazione di pochi comuni eterogenei tra loro comporta la disponibilità di valori medi ambientali e sanitari con ampia variabilità, quindi poco stabili e pertanto poco informativi delle differenze realmente esistenti sul territorio (si vedano gli ampi limiti di confidenza intorno ai valori medi riportati nei grafici e nelle tabelle delle figure);
2. gli aggregati di medie comunali non permettono di valutare effetti di inquinamento che agiscono su aree circoscritte a causa della diluizione dei valori di picco; d'altra parte, in un comune con inquinamento generalmente basso, l'apporto di dati di picco in area circoscritta potrà produrre un innalzamento del dato medio che risulterà poco rappresentativo sia del comune nel suo insieme (sovrastima) sia dell'area circoscritta (sottostima);
3. i molti confronti eseguiti, su dati non indipendenti tra loro (stesse cause di morte o ricovero correlate con gruppi di comuni definiti sulla base degli stessi inquinanti misurati in matrici diverse), comportano l'elevato rischio di produrre test significativi dovuti al caso o correlati tra loro (esempio arsenico e mercurio misurati nel suolo o arsenico nell'acqua e nel suolo possono essere indicatori delle stesse pressioni), oppure non coerenti con le conoscenze fino ad oggi disponibili sull'eziologia di origine ambientale;
4. i periodi di latenza tra esposizione e manifestazione dell'evento sono di lunghezza variabile secondo la patologia considerata ed il tipo di evento (mortalità e ricovero).

L'analisi è adatta pertanto ad un uso descrittivo ed esplorativo sulla tendenza dell'associazione tra dati medi di inquinamento e dati medi di mortalità o ricovero nei gruppi di comuni appartenenti alla stessa classe di indicatore ambientale (in altre parole, esistenza o meno di un trend crescente di rischio sanitario al crescere delle classi di inquinamento).

Da tutto ciò consegue che non è consentita l'applicazione del risultato medio di gruppo a singoli comuni, né tantomeno è possibile trasferire i risultati medi di area ai singoli individui, pena fornire un'immagine epidemiologica inaccurata, percezioni distorte e anche allarmi ingiustificati.

Per questi motivi nel paragrafo dedicato ai risultati vengono presentate tabelle sinottiche delle correlazioni con andamento statisticamente significativo, ma sono commentate solo quelle ritenute più informative a fini descrittivi o per le quali esistono

prove, anche deboli, di plausibilità biologica e/o epidemiologica. Le tabelle e i grafici di tutti i risultati delle correlazioni tra inquinanti e cause di morte e di ricovero per le quali è emerso un risultato statisticamente significativo, sono riportate nell'Allegato 6. Lo stesso allegato riporta a titolo introduttivo una guida alla lettura ed interpretazione del contenuto delle tabelle e dei grafici e per ciascuna correlazione include un commento sintetico.

## 4. MATERIALI

### 4.1 I DATI AMBIENTALI

Per valutare le relazioni tra la distribuzione degli elementi in alcune matrici ambientali (aria, acqua e suolo) e gli eccessi di patologie evidenziati dalle analisi descrittive dello studio sanitario, è stato costruito un dataset comprendente i dati ambientali disponibili in letteratura.

I dati di monitoraggio della qualità dell'aria, con riferimento ai valori medi delle concentrazione in aria dell'acido solfidrico e dei vapori di mercurio nelle aree geotermiche Larderello, Amiata e Travale, sono stati ottenuti elaborando i dati riferiti al periodo 1997-2008, acquisiti da ARPAT in diverse postazioni (ARPAT, 2008). Secondo questi, i livelli di concentrazione dei vapori di mercurio rilevati in tutte le postazioni del territorio geotermico regionale si mantengono sotto il riferimento del valore guida per la tutela sanitaria stabilito dall'OMS (1.000 ng/m<sup>3</sup>, come media annuale). Per l'acido solfidrico, dal 1997 al 2008, si sono verificati sette superamenti del valore guida per la tutela sanitaria stabilito dall'OMS (150 µg/m<sup>3</sup> come media delle 24 ore), sommando sia l'area dell'Amiata che Larderello-Lago.

I dati sulla qualità dell'aria utilizzati per l'analisi sono riportati nella tabella 4.1.1.

| Area                         | H <sub>2</sub> S (µg/m <sup>3</sup> ) | Hg (µg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| <b>Amiata senese</b>         | 16.5                                  | 8.5                     |
| <b>Amiata grossetana</b>     | 2.8                                   | 1.6                     |
| <b>Larderello - Lago</b>     | 19.1                                  | 0.6                     |
| <b>Radicondoli - Travale</b> | 6                                     | 0.3                     |

**Tabella 4.1.1 – Matrice aria: valori medi di concentrazione di acido solfidrico (H<sub>2</sub>S) e vapori di mercurio (Hg) nelle aree geotermiche nel periodo 1997-2008(Fonte: ARPAT Siena, 2008).**

I dati relativi alla qualità dell'acqua utilizzati per questo studio derivano da un database costituito ad hoc e contenente i risultati delle analisi delle acque dell'area, con le variazioni temporali degli inquinanti in tracce (arsenico, boro e mercurio) delle sorgenti e della rete idrica.

Una caratteristica peculiare di alcune acque dell'acquifero dell'area in studio, utilizzate per l'uso idropotabile, è la presenza di arsenico in quantità significative, talora superiori ai limiti di legge (10 µg/l).

I dati utilizzati per questo studio sono riportati in sintesi nella tabella 4.1.2 e nel grafico 4.1.2.

Tra i comuni in studio si notano valori più elevati di arsenico ad Abbadia San Salvatore, San Casciano dei Bagni e Castel del Piano, e di boro a Pomarance, Castelnuovo Val di Cecina, Monterotondo Marittimo e Montecatini Val di Cecina.

Il comune di Radicondoli non è stato considerato nelle analisi di correlazione in quanto presenta valori anomali per i dati ambientali (valore medio di arsenico nella rete di distribuzione pari a 27,5 µg/l), mentre non presenta eccessi di mortalità e di ricoverati statisticamente significativi, quindi con un approccio conservativo è stato deciso di non considerarlo. Inoltre si ritiene che per Radicondoli sia necessario valutare in modo più accurato sia il rischio ambientale sia quello sanitario, migliorando le misure sia delle concentrazioni di arsenico nell'acqua sia dell'esposizione della popolazione residente alle acque distribuite in rete (utenze, consumo di acqua, tipologia di utilizzo ecc).

Per aumentare la potenza statistica dell'analisi di correlazione geografica è stato deciso di utilizzare anche i dati ambientali disponibili per i due comuni di Seggiano e Castiglione d'Orcia che non sono inclusi tra i comuni dell'area geotermica oggetto di questo Rapporto. Le correlazioni tra dati ambientali e dati sanitari sono state perciò effettuate su un totale di 17 comuni.

| Comune                    | As ( $\mu\text{g/l}$ ) | B (mg/l) | Hg ( $\mu\text{g/l}$ ) |
|---------------------------|------------------------|----------|------------------------|
| CASTELNUOVO VAL DI CECINA | 4,00                   | 0,70     | 0,10                   |
| MONTECATINI VAL DI CECINA | 2,00                   | 0,50     | 0,10                   |
| MONTEVERDI MARITTIMO      | 2,00                   | 0,20     | 0,10                   |
| POMARANCE                 | 3,00                   | 0,80     | 0,10                   |
| ABBADIA SAN SALVATORE     | 10,00                  | 0,03     | 0,10                   |
| CASTIGLION D'ORCIA        | 10,00                  | 0,03     | 0,10                   |
| CHIUSDINO                 | 6,00                   | 0,03     | 0,10                   |
| PIANCASTAGNAIO            | 7,00                   | 0,09     | 0,10                   |
| RADICOFANI                | 10,00                  | 0,03     | 0,10                   |
| SAN CASCIANO DEI BAGNI    | 10,00                  | 0,03     | 0,10                   |
| ARCIDOSO                  | 7,00                   | 0,07     | 0,10                   |
| CASTEL DEL PIANO          | 10,00                  | 0,03     | 0,10                   |
| MONTIERI                  | 6,00                   | 0,03     | 0,10                   |
| ROCCALBEGNA               | 7,00                   | 0,07     | 0,10                   |
| SANTA FIORA               | 7,00                   | 0,09     | 0,10                   |
| SEGGIANO                  | 10,00                  | 0,03     | 0,10                   |
| MONTEROTONDO MARITTIMO    | 3,00                   | 0,60     | 0,10                   |

Tabella 4.1.2 – Matrice acqua: valori medi di concentrazione di arsenico (As), mercurio (Hg) e boro (B) nelle acque distribuite in rete dai comuni in studio (ARPAT, 1997-2008).

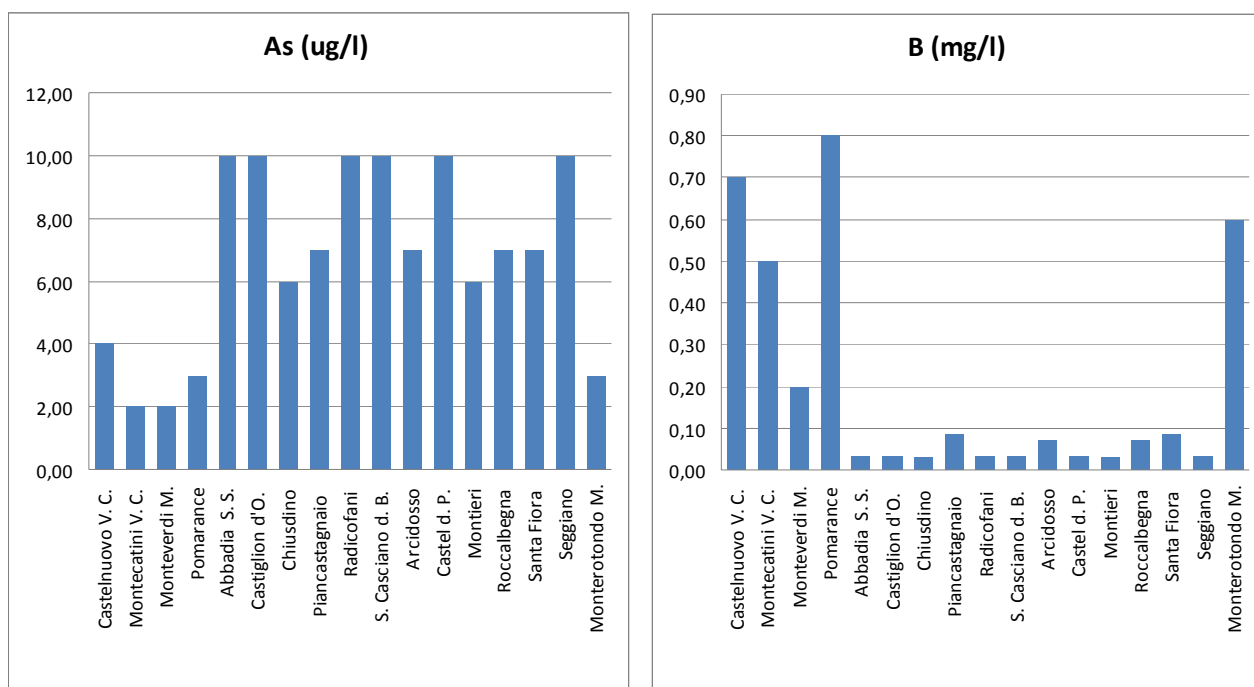


Grafico 4.1.2 – Matrice acqua: valori medi di concentrazione di arsenico e boro nelle acque distribuite in rete dai comuni in studio.

Nota: i valori medi del mercurio non sono stati graficati in quanto costanti tra i comuni analizzati.

I dati relativi alla qualità del suolo di questo studio, derivano dalle analisi chimiche sugli affioramenti estratti dal database Rimin contenente le analisi del progetto

“Toscana 2-2bis” <http://www.rete.toscana.it/sett/pta/terra/geologia/link.htm>), condotto su 20.191 campioni di sedimenti fluviali distribuiti su una superficie di circa 5.000 km<sup>2</sup> nella Toscana centro-meridionale. In letteratura sono inoltre disponibili pubblicazioni o indagini geochimiche relative al background di arsenico e mercurio negli affioramenti dell’area in studio, mentre per il boro non esistono riferimenti. Uno studio riguardante la distribuzione geochimica del mercurio, individua in 0,21 ppm, ricavato da una media ponderata del tenore di mercurio nelle principali formazioni affioranti nel sud della Toscana, il valore del fondo regionale di questo elemento (Baroni et al.,1996). Tale valore è in accordo con i risultati di un altro studio (Dall’Aglione et al., 1966). Per l’arsenico è stato stimato un valore di fondo naturale di 7 mg/kg (Protano et al., 1997), inferiore a quello di 13 mg/kg riportato da altri studi per i sedimenti argillosi (Turekian, 1961; Wedepohl, 1970).

I dati utilizzati in questa analisi sono riportati nella tabella 4.1.2 e nel grafico 4.1.3.

| Comune                       | As (mg/kg) | B (mg/kg) | Sb (mg/kg) | Hg (mg/kg) |
|------------------------------|------------|-----------|------------|------------|
| SASSETTA                     | 9,07       | 61,73     | 1,88       | 0,58       |
| CASTELNUOVO DI VAL DI CECINA | 46,03      | 89,01     | 2,58       | 1,58       |
| MONTEVERDI MARITTIMO         | 5,82       | 68,74     | 2,62       | 0,61       |
| POMARANCO                    | 26,70      | 74,17     | 11,94      | 0,69       |
| ABBADIA SAN SALVATORE        | 6,33       | 120,33    | 7,77       | 35,89      |
| CASOLE D'ELSA                | 6,11       | 86,03     | 3,72       | 0,54       |
| CASTIGLIONE D'ORCIA          | 2,57       | 114,67    | 1,56       | 5,97       |
| CHIUSDINO                    | 25,97      | 107,82    | 12,55      | 0,66       |
| PIANCASTAGNAIO               | 13,87      | 105,84    | 3,86       | 61,03      |
| RADICONOLI                   | 13,29      | 79,12     | 4,16       | 0,67       |
| ARCIDOSSO                    | 12,96      | 101,04    | 1,83       | 20,17      |
| CASTEL DEL PIANO             | 13,64      | 113,96    | 1,67       | 0,79       |
| CASTELLAZZARA                | 22,07      | 87,52     | 36,34      | 87,29      |
| CINIGIANO                    | 1,91       | 70,86     | 1,66       | 0,56       |
| MASSA MARITTIMA              | 75,71      | 84,96     | 28,12      | 0,57       |
| MONTIERI                     | 50,34      | 99,79     | 20,55      | 0,73       |
| ROCCALBEGNA                  | 11,11      | 84,67     | 6,46       | 0,66       |
| SANTA FIORA                  | 10,75      | 121,59    | 4,39       | 33,39      |
| SEGGIANO                     | 1,54       | 90,58     | 1,26       | 1,24       |
| MONTEROTONDO MARITTIMO       | 35,89      | 84,65     | 12,69      | 1,33       |
| SEMPRONIANO                  | 34,06      | 78,43     | 32,56      | 5,93       |

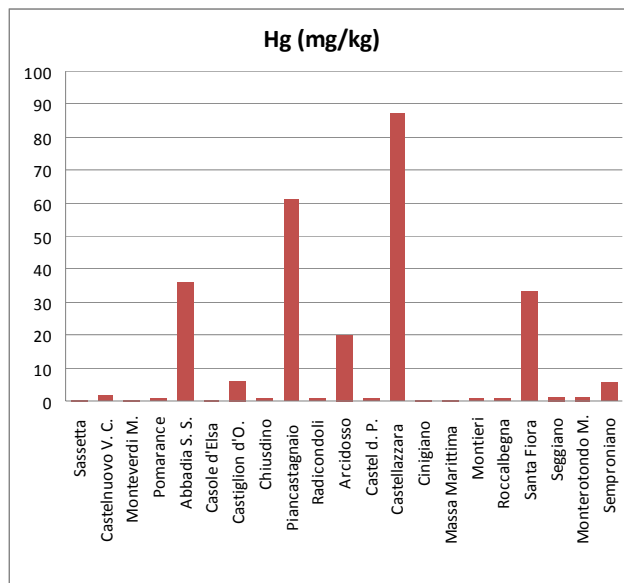
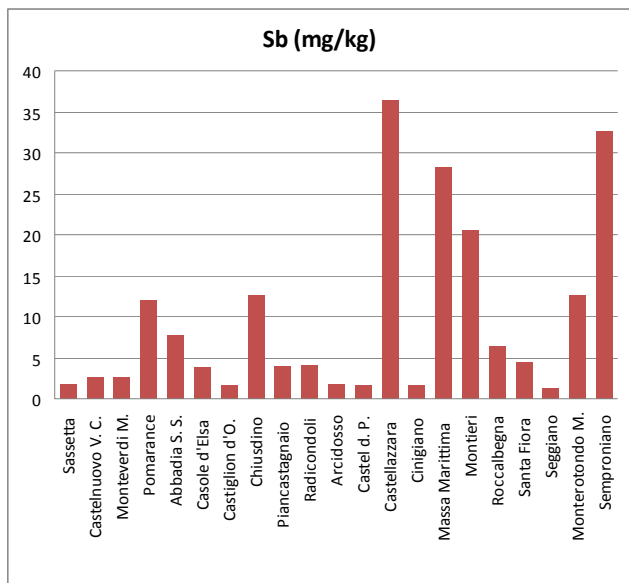
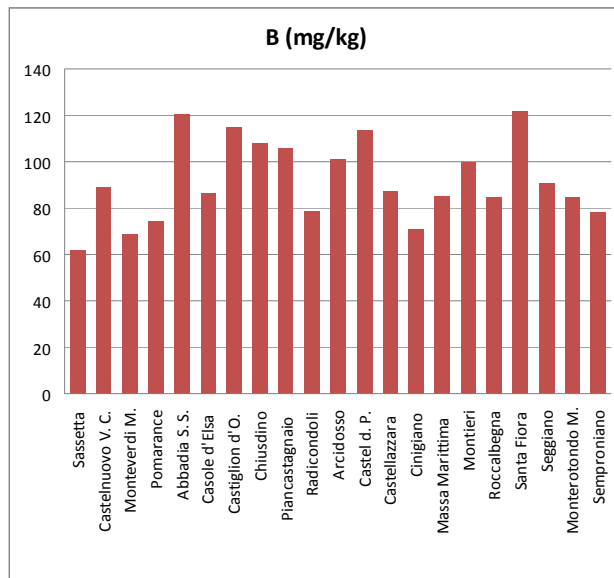
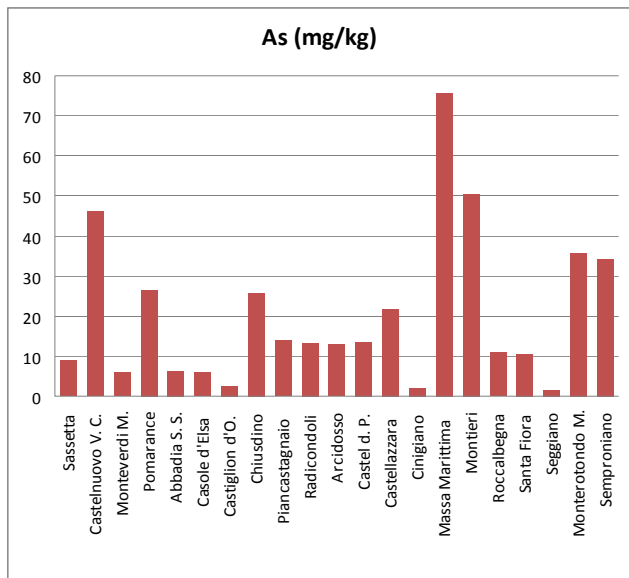
**Tabella 4.1.3 – Matrice suolo: valori medi di concentrazione in mg/Kg di arsenico (As), boro (B), antimonio (Sb) e mercurio (Hg) negli affioramenti dei comuni in studio. Dati Regione Toscana (ARPAT, 1997-2008).**

Note: i dati sono riferiti alle medie in prossimità dei centri abitati.

Tra i comuni in studio si notano valori più elevati di arsenico a Montieri, Castelnuovo Val di Cecina, Monterotondo Marittimo, di boro ad Abbadia San Salvatore,



Santa Fiora, Castel del Piano, Piancastagnaio e Chiusdino, di antimonio a Montieri, Monterotondo Marittimo Chiusdino e Pomarance, ed infine di mercurio a Piancastagnaio, Abbadia San Salvatore, Santa Fiora e Arcidosso.



**Grafico 4.1.3 – Matrice suolo: valori medi di concentrazione di arsenico (As), mercurio (Hg) e boro (B) negli affioramenti dei comuni in studio.**

Tutti i dati campionati nelle diverse matrici ambientali sono stati successivamente aggregati a livello comunale utilizzando come indicatore il livello medio. Così facendo

è stato possibile effettuare correlazioni dei dati ambientali con dati sanitari che al momento sono disponibili solo a livello comunale.

Da notare che non tutti i comuni dell'area geotermica selezionati precedentemente per le analisi di mortalità e di ospedalizzazione hanno a disposizione dati di tipo ambientale. Per aumentare la numerosità del dataset e quindi per aumentare la potenza statistica delle analisi di correlazione geografica si è deciso di utilizzare anche dati ambientali disponibili per altri comuni adiacenti all'area geotermica per cui erano disponibili dati sulle tre matrici ambientali. Le correlazioni tra dati ambientali e dati sanitari sono state effettuate su un totale di 21 comuni.

## 4.2 I DATI SANITARI

L'analisi di correlazione è stata effettuata utilizzando i dati di mortalità e i dati dei ricoverati già utilizzati per le analisi presentate nella sezione B.

Per i dati sulla mortalità e sui ricoverati sono stati esaminati rispettivamente i periodi 2000-2003 e 2004-2006, dando priorità all'obiettivo di descrivere la situazione di un periodo sufficientemente lungo per avere potenza di analisi e al contempo relativi alla fase presente, allo scopo di fornire risultati attinenti alla relazione tra pressione ambientale ed effetti sanitari attuali<sup>1</sup>. Le cause selezionate per lo studio sono state identificate sulla base della convergenza di due criteri:

- patologie correlabili ad inquinanti presenti nell'area geotermica sulla base di conoscenze ricavate dalla letteratura scientifica;
- patologie risultate in eccesso nello studio della mortalità nel periodo 2000-2006 e in quello dei ricoverati (Sezione B) nel periodo 2004-2006.

Sulla base dei due criteri sopra elencati sono state selezionate 26 cause di morte e di ricovero. Le cause selezionate ed i relativi codici ICD-9 sono riportati nella seguente tabella 4.2.1.

| Cause in studio per tutte le età (0-84+) | Codice ICD-9 | Abbreviazioni |
|--|--------------|---------------|
| Tutte le cause                           | 0-999        | Tutte         |
| Tutti i Tumori                           | 140-239      | Tumori        |

---

Una analisi riferita a pressioni ambientali passate e effetti sanitari selezionati sulla base dei tempi di latenza presuppone la ricostruzione delle coorti dei residenti, non fattibile senza i dati storici delle anagrafi comunali.

|   |                     |                         |
|---|---------------------|-------------------------|
| Tumori maligni delle labbra, della cavità orale, della faringe    | 140-149             | T. Lab. Oral. Far.      |
| Tumori maligni dell'esofago                                       | 150                 | T. Esofago              |
| Tumori maligni dello stomaco                                      | 151                 | T. Stomaco              |
| Tumori maligni del colon  | 153, 159            | T. Colon                |
| Tumori maligni del fegato, della colecisti e dei dotti biliari    | 155-156             | T. Feg. e dotti biliari |
| Tumori maligni della laringe                                      | 161                 | T. Laringe              |
| Tumori maligni della trachea, dei bronchi e del polmone           | 162                 | T. Trac. Bronc. Polm.   |
| Tumori maligni dell'ovaio e di altri annessi uterini              | 183                 | T. Ovaio                |
| Tumori maligni della vescica                                      | 188                 | T. Vescica              |
| Tumori maligni del rene e di altri non specificati organi urinari | 189                 | T. Rene                 |
| Tumori maligni del sistema nervoso centrale                       | 191-192, 225, 239.6 | T. Sist. Nerv. Centr.   |
| Tumori maligni del tessuto linfoematopoietico                     | 200-208             | T. Tesslinf.            |
| Linfomi non Hodgkin   | 200, 202            | Linf. n-Hodgk.          |
| Leucemie  | 204-208             | Leucemie                |
| Malattie del sistema circolatorio                                 | 390-459             | M. Circol. Cardio       |
| Disturbi circolatori dell'encefalo                                | 430-438             | D. Circol. Encef.       |
| Malattie dell'apparato respiratorio                               | 460-519             | M. Resp.                |
| Malattie respiratorie acute                                       | 460-466, 480-487    | M. Resp. Acute          |
| Malattie polmonari croniche ostruttive                            | 490-496             | MPCO                    |
| Pneumoconiosi   | 500-505             | Pneumoconiosi           |
| Malattie dell'apparato digerente                                  | 520-579             | M. Digerente            |
| Malattia epatica cronica e cirrosi                                | 571                 | Cirrosi                 |
| Malattie del sistema genitourinario                               | 580-629             | M. Gen-urinario         |
| Insufficienza renale acuta e cronica                              | 584-585             | Insuff. Ren.            |

**Tabella 4.2.1 - Cause di ricovero in studio.**

Nota: Le abbreviazioni sono utilizzate nelle Tabella 6.1.

## **5. METODI**

### **5.1 GLI INDICI AMBIENTALI**

Nello studio di correlazione geografica presentato, gli indicatori ambientali sono rappresentati dalla distribuzione a livello comunale delle medie di concentrazione dei metalli considerati nelle tre matrici ambientali. Tutti gli indicatori ambientali sono stati successivamente categorizzati in tre classi della stessa numerosità utilizzando i terzili della distribuzione. Le tre classi di comuni ricavate sono la prima a concentrazione bassa, la seconda a concentrazione intermedia, la terza a concentrazione alta (vedi Tabella 5.1.1).

L'utilizzo dei risultati di questo metodo nelle analisi di correlazione geografica con i dati sanitari consente di rispondere alla domanda se vi sia una relazione tra eccessi di mortalità o di ricoverati e classi di comuni a differente livello di indice ambientale. Per la matrice aria non è stato possibile utilizzare il metodo dei terzili in quanto erano disponibili solo quattro dati a livello di area (vedi tabella 4.1.1). In questo caso per i comuni appartenenti alle quattro aree è stato assegnato il valore di concentrazione media dell'inquinante misurato nell'area di appartenenza. Successivamente sono state create tre classi di esposizione, che per l'acido solfidrico corrispondono a:

1. bassa concentrazione (area Amiata grossetana);
2. concentrazione intermedia (area Radicondoli-Travale);
3. alta concentrazione (Amiata senese e Larderello-Lago);

e che per il mercurio corrispondono a:

1. bassa concentrazione (Larderello-Lago e Radicondoli-Travale),
2. concentrazione intermedia (area Amiata grossetana),
3. alta concentrazione (Amiata senese).

In tabella 5.1.1 sono riportati i valori degli intervalli dei gruppi inter-terzile per gli inquinanti considerati nelle matrici.

È da considerare che l'analisi di eventi sanitari a bassa frequenza (cause di morte più rare) effettuata su classi contenenti pochi campioni, è in grado di produrre risultati statisticamente non significativi a causa della bassa numerosità (bassa potenza statistica).

| Matrice | Inquinante       | Unità di misura   | I°      | II°           | III°           |
|---------|------------------|-------------------|---------|---------------|----------------|
| Aria    | H <sub>2</sub> S | µg/m <sup>3</sup> | ≤ 2,8   | 2,81 - 6,0    | 6,01 - 19,1    |
|         | Hg               | µg/m <sup>3</sup> | ≤ 0,6   | 0,61 - 1,6    | 1,61 - 8,5     |
| Acqua   | As               | µg/l              | ≤ 4,0   | 4,01 - 7,0    | 7,01 - 10,0    |
|         | B                | mg/l              | ≤ 0,034 | 0,035 - 0,085 | 0,086 - 0,70   |
| Suolo   | As               | mg/Kg             | ≤ 9,07  | 9,08 - 22,07  | 22,08 - 75,71  |
|         | B                | mg/Kg             | ≤ 84,65 | 84,66 - 99,79 | 99,80 - 121,59 |
|         | Sb               | mg/Kg             | ≤ 2,58  | 2,59 - 7,77   | 7,78 - 36,34   |
|         | Hg               | mg/Kg             | ≤ 0,66  | 0,67 - 1,58   | 1,59 - 87,29   |

Tabella 5.1.1 – Valori per inquinante e per matrice nei gruppi inter-terzili

## 5.2 ANALISI STATISTICA

L'analisi statistica è stata effettuata con il metodo della regressione lineare di Poisson (Hardin & Hilbe, 2001), utilizzato per valutare per ogni indicatore ambientale:

a) il rapporto tra il rischio sanitario della seconda classe a concentrazione media intermedia (SMR<sub>2</sub>) e la classe di riferimento (prima classe a concentrazione bassa o SMR<sub>1</sub>).

Il modello fornisce il seguente rapporto  $\frac{SMR_2}{SMR_1}$ .

b) il rapporto tra il rischio sanitario della terza classe (SMR<sub>3</sub>) a concentrazione media alta e la classe di riferimento (prima classe a concentrazione bassa o SMR<sub>1</sub>).

Il modello fornisce il seguente rapporto  $\frac{SMR_3}{SMR_1}$ .

La metodologia per il calcolo dei rapporti tra SMR è riportata nel dettaglio nell'Appendice 1. In generale, se il rapporto è maggiore di 1, il rischio della classe *i*-esima è maggiore del rischio della classe di riferimento (prima classe). Per esempio un rapporto tra il rischio sanitario della classe 3 rispetto alla classe 1 pari a 1,20 va interpretato come un aumento di rischio sanitario del 20% in più per la classe 3 rispetto alla classe di riferimento. Il rapporto tra SMR non sempre fornisce una stima corretta del rischio relativo, a meno che i pesi usati (rappresentati dalle popolazioni) per il calcolo degli attesi non siano abbastanza simili nei gruppi a confronto, condizione peraltro sufficientemente rispettata nelle analisi effettuate. L'SMR ha tuttavia il vantaggio della stabilità delle stime: esso si basa infatti sulla somma totale degli osservati, inoltre gli attesi sono calcolati usando tassi di popolazioni più ampie e perciò maggiormente stabili. Questo duplice vantaggio rende ragione dell'uso

dell'SMR, nonostante le possibili distorsioni derivanti dal confronto fra più SMR, elemento che nella maggior parte dei casi porta ad una sottostima del rischio relativo.

c) l'andamento del rischio di mortalità/ricoverati al variare dell'indicatore ambientale (*trend*).

La stima del *trend* è quindi data da  $\frac{SMR_{x+1}}{SMR_x}$  dove x è una variabile che prende valore 1, 2, 3 a seconda della classe ambientale di appartenenza del comune (classe 1 a concentrazione media bassa, classe 2 a concentrazione intermedia, classe 3 ad alta concentrazione). La stima del trend va interpretata come l'aumento stimato di rischio sanitario passando da una classe di concentrazione media alla successiva (Prima classe → seconda classe, seconda classe → terza classe).

La metodologia per il calcolo della stima del trend è riportata nel dettaglio nell'Appendice AI.

Le stime dei RR sono state ottenute con il comando "Poisson" del pacchetto statistico STATA 10 SE (STATA Corporation, 2007).

Le analisi di correlazione sono state effettuate distinte per sesso. I risultati della regressione di Poisson sono stati riportati in forma tabellare e grafica.

## 6. RISULTATI

I rischi di *mortalità* (tabella 6.1) emersi in modo crescente nei gruppi di comuni con concentrazioni medie di inquinanti più elevate nelle tre matrici ambientali considerate (presenza di trend significativo passando dal primo al secondo e al terzo terzile della distribuzione) riguardano in prevalenza gli uomini. Tra i maschi la mortalità totale e quella per tutti i tumori risulta crescente negli aggregati comunali con concentrazione più elevate di mercurio nell'aria, di arsenico nelle acque, di boro nel suolo. Per le donne questo segnale dei tumori è presente solo per il mercurio nel suolo. Tra le cause tumorali si segnalano andamenti crescenti tra il tumore della bocca e faringe e antimonio nel suolo, negli uomini; tra tumore dello stomaco e arsenico nell'acqua, nelle donne. Tra le cause non tumorali si segnalano andamenti crescenti tra malattie respiratorie e arsenico e antimonio nel suolo, negli uomini (confermato anche analizzando la sola pneumoconiosi); malattie respiratorie e acido solfidrico nell'aria, nelle donne; malattie respiratorie acute e mercurio nell'aria, nelle donne; malattie respiratorie acute e arsenico nell'acqua, in entrambi i generi; malattie del sistema circolatorio e arsenico nel suolo, nelle donne.

| Cod-ICD9            | CAUSA                 | SESSO | Hg   |       | As    |       | B     |       | H2S  | Sb    |
|---------------------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|                     |                       |       | Aria | Suolo | Acqua | Suolo | Acqua | Suolo | Aria | Suolo |
| 0-999               | Tutte                 | M     | *    |       | *     |       |       | *     |      |       |
| 140-239             | Tumori                | M     | *    | *     | *     |       |       | *     |      |       |
| 140-239             | Tumori                | F     |      | *     |       |       |       |       |      |       |
| 140-149             | T. Lab. Oral. Far.    | M     |      |       |       |       |       |       |      | *     |
| 150                 | T. Esofago            | M     |      | *     |       |       |       |       |      |       |
| 151                 | T. Stomaco            | F     |      |       | *     |       |       |       |      |       |
| 155-156             | T. Feg. e dotti bil.  | M     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 162                 | T. Trac. Bronc. Polm. | M     | *    | *     |       |       |       | *     |      |       |
| 183                 | T. Ovaio              | F     |      |       |       |       |       | *     |      |       |
| 188                 | T. Vescica            | M     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 191-192, 225, 239.6 | T. Sist. Nerv. Centr. | M     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 191-192, 225, 239.6 | T. Sist. Nerv. Centr. | F     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 200-208             | T. Tesslinf.          | M     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 200-208             | T. Tesslinf.          | F     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 204-208             | Leucemie              | M     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 390-459             | M. Circol. Cardio     | F     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 430-438             | D. Circol. Encef.     | M     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 430-438             | D. Circol. Encef.     | F     |      |       |       | *     |       |       |      |       |
| 460-519             | M. Resp.              | M     |      |       |       | *     |       |       |      | *     |
| 460-519             | M. Resp.              | F     |      |       |       |       |       | *     |      |       |
| 460-466, 480-487    | M. Resp. Acute        | M     |      |       | *     |       |       |       |      |       |
| 460-466, 480-487    | M. Resp. Acute        | F     | *    |       | *     |       |       |       |      |       |
| 490-496             | MPCO                  | M     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 490-496             | MPCO                  | F     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 500-505             | Pneumoconiosi         | M     |      |       |       | *     |       |       |      | *     |
| 520-579             | M. Digerente          | M     | *    |       |       |       |       |       |      |       |
| 520-579             | M. Digerente          | F     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 580-629             | M. Gen-urinario       | M     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 580-629             | M. Gen-urinario       | F     |      |       |       |       |       |       |      |       |
| 584-585             | Insuf. Ren.           | F     |      |       |       |       |       |       |      |       |

**Tabella 6.1 – Sintesi dell'analisi di correlazione tra terzili di indicatori ambientali (mercurio in aria e suolo, arsenico in acqua e suolo, acido solfidrico in aria, antimonio in suolo) e mortalità per 30 cause.** Nota: \*=presenza di trend significativo nel passare dal terzile inferiore ai terzili superiori.

L'analisi della correlazione tra indicatori ambientali e di *ospedalizzazione* (tabella 6.2) mostra risultati in parte in linea con quelli emersi sulla mortalità, ed in parte ben distinti. Il totale delle cause di ospedalizzazione e di quelle per tumori non evidenzia associazioni con inquinanti di aria, acqua e suolo, con eccezione per il boro nelle acque per le sole donne. Tra le cause tumorali emergono andamenti crescenti tra tumori del sistema nervoso centrale e arsenico nelle acque e tumori del sistema linfematoipoietico e arsenico nel suolo, negli uomini, per i quali esistono prove deboli di plausibilità. Tra le cause non tumorali emergono andamenti crescenti tra malattie respiratorie e mercurio in aria e arsenico in acqua nelle donne; malattie respiratorie e arsenico nel suolo negli uomini; malattie respiratorie acute e acido solfidrico in aria per entrambi i generi; malattie dell'apparato digerente e arsenico nel suolo nei soli uomini; malattie dell'apparato digerente e boro nelle acque per entrambi i generi; insufficienza renale e mercurio nell'aria e arsenico nell'acqua, tra le donne.

| Cod-ICD9            | CAUSA                 | SESSO | Hg   |       | As    |       | B     |       | H2S  | Sb    |
|---------------------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|                     |                       |       | Aria | Suolo | Acqua | Suolo | Acqua | Suolo | Aria | Suolo |
| 140-239             | Tumori                | F     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 155-156             | T. Feg. e dotti bil.  | M     |      |       |       |       |       | *     |      |       |
| 188                 | T. Vescica            | M     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 191-192, 225, 239.6 | T. Sist. Nerv. Centr. | M     | *    |       | *     |       |       |       |      |       |
| 191-192, 225, 239.6 | T. Sist. Nerv. Centr. | F     |      | *     |       |       |       | *     |      |       |
| 200-208             | T. Tesslinf.          | M     |      |       |       | *     | *     |       |      |       |
| 200-208             | T. Tesslinf.          | F     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 204-208             | Leucemie              | M     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 460-519             | M. Resp.              | M     |      |       |       | *     |       |       |      |       |
| 460-519             | M. Resp.              | F     | *    |       | *     |       |       | *     |      |       |
| 460-466, 480-487    | M. Resp. Acute        | M     |      | *     |       |       |       |       | *    |       |
| 460-466, 480-487    | M. Resp. Acute        | F     |      |       |       |       |       |       | *    |       |
| 490-496             | MPCO                  | F     | *    |       |       |       |       | *     |      |       |
| 490-496             | MPCO                  | M     |      | *     |       |       |       |       |      |       |
| 520-579             | M. Digerente          | M     |      |       |       | *     | *     |       |      |       |
| 520-579             | M. Digerente          | F     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 580-629             | M. Gen-urinario       | M     |      |       | *     |       |       |       |      |       |
| 580-629             | M. Gen-urinario       | F     |      |       |       |       | *     |       |      |       |
| 584-585             | Insuf. Ren.           | F     | *    |       | *     |       |       |       |      |       |

**Tabella 6.2 – Sintesi dell'analisi di correlazione tra terzili di indicatori ambientali (mercurio in aria e suolo, arsenico in acqua e suolo, acido solfidrico in aria, antimonio in suolo) e ospedalizzazione per 19 cause.** Nota: \*=presenza di trend significativo nel passare dal terzile inferiore ai terzili superiori.

Una valutazione congiunta dei risultati conseguiti dalle analisi di correlazione con dati di mortalità e di ospedalizzazione, permette di identificare un gruppo ben strutturato e congruente di correlazioni tra malattie respiratorie e inquinanti nell'aria, soprattutto a carico delle donne. Per la mortalità emergono andamenti crescenti tra malattie respiratorie e acido solfidrico e malattie respiratorie acute e mercurio; per l'ospedalizzazione emergono andamenti crescenti tra malattie respiratorie totali (e



cronico-ostruttive) e mercurio nell'aria per le donne e tra malattie respiratorie acute e acido solfidrico nei ricoverati di entrambi i generi.

La pneumoconiosi risulta legata all'arsenico e all'antimonio ed emerge nell'analisi di mortalità e non in quella di ricovero.

Completano il quadro di carico altre correlazioni emerse tra mortalità per malattie respiratorie e arsenico nel suolo e nelle acque per entrambi i generi.

Anche per i ricoverati emerge un legame tra malattie respiratorie acute e cronico-ostruttive e mercurio nel suolo, ma solo a carico degli uomini e tra arsenico nell'acqua e malattie respiratorie totali per le sole donne, che per la disomogeneità tra generi risulta di più difficile interpretazione.

Alcuni risultati emersi sporadicamente sono degni d'attenzione, tra questi la relazione tra arsenico nelle acque e mortalità per tumore dello stomaco e i segnali sui ricoverati per insufficienza renale, che essendo ambedue a carico delle sole donne orientano ad una valutazione attenta su profili specifici di stili di vita e rischi ambientali.

I numerosi risultati significativi emersi tra il boro, sia nelle acque che nel suolo, e diversi tumori, malattie respiratorie e del digerente, a causa della limitatezza di prove sugli effetti di esposizioni a basse dosi sono da considerarsi a carattere puramente descrittivo o al più di generazione di ipotesi di approfondimento.

## **7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLO STUDIO DI CORRELAZIONE**

I problemi metodologici e le fonti di incertezza del presente studio di correlazione tra dati ambientali e dati sanitari suggeriscono un'estrema cautela nell'interpretazione dei risultati.

Molti dei segnali emersi per i diversi inquinanti hanno mostrato associazioni con cause di morte o di ospedalizzazione non concordanti tra matrici e tra generi e risultano quindi di difficile interpretazione. Comunque, i risultati emersi forniscono utili indicazioni se valutati alla luce di altri riscontri e parametri, come la dimensione e la forza della significatività statistica, la plausibilità epidemiologica e biologica della relazione osservata. Sempre per motivi di cautela, sono stati considerati nel commento solo i dati significativi sui trend crescenti del rischio al crescere delle classi di inquinamento.

Nel complesso l'analisi esplorativa dei dati di mortalità e di ricovero, al netto dell'imprecisione delle stime e dei limiti delle informazioni disponibili, consegna alcuni segnali di tendenza consistenti tra loro e con diversi livelli di plausibilità eziologica. I ripetuti andamenti crescenti di rischio sia di mortalità sia di ricovero per malattie respiratorie, totali o acute o cronico-ostruttive, al crescere del livello medio di concentrazione di inquinanti diversi nelle tre matrici ambientali considerate ed in particolare con l'inquinamento dell'aria da mercurio e da acido solfidrico, rappresenta una conferma della già delineata opportunità di approfondimento, da attuare mediante una adeguata valutazione dell'esposizione. Altri profili di rischio, seppure meno marcati, sembrano degni di attenzione, quali i tumori del sistema nervoso centrale e del sistema linfematoipoietico, le malattie circolatorie in generale e dell'encefalo, le insufficienze renali. Tenendo in considerazione i limiti del disegno di studio e dei dati, i risultati conseguiti offrono alcune indicazioni di interesse per svolgere ulteriori approfondimenti su scala micro-geografica, necessaria per un migliore utilizzo dei dati di rischio ambientale disponibili da correlare con dati sanitari riferiti a piccole aree, all'occorrenza arricchiti fino al dettaglio individuale, sia riguardante l'esposizione sia l'effetto sanitario.

## **BIBLIOGRAFIA**

ARPAT (2008) Monitoraggio delle aree geotermiche – Rapporto finale anno 2008.

Baroni F, Protano G, Riccobono F (1996) Livelli ambientali di antimONIO nel sud della Toscana (Monti Romani). *Plinius (Suppl. Italiano all'Eur. J. Of Miner.)*, 16: 27-28.

Dall'Aglio M, Da Roit R, Orlandi C, Tonani F (1966) Prospezione geochimica del mercurio. Distribuzione del mercurio nelle alluvioni della Toscana. *L'Industria Mineraria*, anno XVII,9: 391-398.

Hardin J, Hilbe J (2001) *Generalized Linear Models and Extensions*. Stata Press.

Patrimonio minerario della Regione Toscana, <http://www.rete.toscana.it/sett/pta/terra/geologia/link.htm>.

Piano Regionale di Azione Ambientale, 2004. Report.  
[http://www.rete.toscana.it/sett/pta/praa/2004-2006/praa\\_2004\\_2006.htm](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/praa/2004-2006/praa_2004_2006.htm)

Protano G, Riccobono F (1997) Antimony and arsenic contents in fresh waters and stream sediments of the Monti Romani area (Southern Tuscany, Italy). *Mineralogica et petrographica acta*, 40: 213-226.

Protano G, Riccobono F (1997) Environmental levels of antimony, arsenic and mercury in the Tafone mining area (Southern Tuscany, Italy). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali*, 104: 75-83.

STATA Corporation (2007) *STATA Reference Manual Release 10*. Volume 1-5, College Station, Texas. Stata Press.

Turekian KK, Wedepohl KH (1961) Distribution of the elements in the some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72: 175-191.

Università di Siena (2008) Studio geostrutturale, idrogeologico e geochimico ambientale dell'area Amiatina.

Wedepohl KH (1970) *Handbook of geochemistry*. Springer-Verlag, vol II-2, Berlino.

## **VOCI BIBLIOGRAFICHE DI RIFERIMENTO NON CITATE NEL TESTO**

ARPAT (2006) Monitoraggio aree geotermiche – Attività 2001-2003.  
<http://www.arpat.toscana.it>

ARPAT (2007) Monitoraggio delle aree geotermiche – Rapporto finale anno 2006. Direzione Generale, Dipartimento Provinciale ARPAT di Siena.

ARPAT, Direzione Generale, Dipartimento Provinciale ARPAT di Siena.

ARPAT (2007) Scheda Informativa n. 5 della Serie Ambiente.

ASL 7 (2007) Piano integrato di Salute.

Baroni C (1995) Pubblicazioni sulle pianure italiane realizzate nell'ambito dei gruppi di lavoro per i progetti nazionali del M.P.I. e del M.U.R.S.T. su temi geomorfologici. Memorie della Società Geografica Italiana, vol. 53, pp 413.

Dall'Aglio M, Ferrara (1986) Impatto ambientale dell'energia geotermica. Acqua Aria, n. 10: pp 1091-1101.

Dall'Aglio M (2004) Geochimica Ambientale e Salute. EDISES, NAPOLI, 244 pp.

Dall'Aglio M, Tonani F (1965) Storage and retrieval of geochemical data. C.N.E.N., RT/GEO (65) 1

SIRA-ARPAT (2008) Analisi di Acque, Terreni e materiale cartografico. [www.sira.arpat.it](http://www.sira.arpat.it)

Turekian KK (1972) Chemistry of the earth. Holt, Rinehart & Winston, Inc.: pp. 131, New York.

Wedepohl KH (1972) Handbook of geochemistry. Springer-Verlag, vol II-4, Berlino.