



**PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI**  
**Commissario delegato al risanamento ambientale della laguna di Orbetello**  
(Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3675 del 28.05.2008 art. 1)



## **Convenzione Commissario delegato al risanamento ambientale della Laguna di Orbetello - Sogesid del 22/07/2009**

*"Esecuzione di indagini conoscitive e progettazione degli interventi di risanamento ambientale della Laguna di Orbetello."*

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL MARGINAMENTO DI SICUREZZA TRA LAGUNA E AREE CONTERMINATE DI PROPRIETA' PUBBLICA ANTISTANTI L'EX STABILIMENTO SITOCO E DEL MARGINAMENTO DEFINITIVO DELLA COLMATA DI PIAN DELL'ASCA.**

Titolo elaborato:

MODELLO IDROGEOLOGICO E IDROGEOCHIMICO  
- RELAZIONE -

Codice elaborato:

2

Data:

Settembre 2009

Redatto da:



Direttore Tecnico:  
Dott. Ing. Fausto Melli

Consulenti:

Dott. Ing. Antonio Lanza

Rev.	Data	Descrizione modifica	Redatto	Verificato	Approvato

**SOGESID**

Interventi integrati per la Sostenibilità dello Sviluppo



**MODELLO IDROGEOLOGICO ED IDROGEOCHIMICO  
DELL' AREA COMPRESA FRA PIAN D' ASCA – EX  
SITOCO E S.S. 1 AURELIA.**

**(COMUNE DI ORBETELLO)**

**Settembre 2009**

Studio Tecnico di Geologia e Arte Mineraria  
Dr. STEFANO BIANCHI perito minerario e geologo



applicazioni pratiche della geologia  
geologia mineraria - fotogeologia

via Roma 99 - Tel e fax 0566/43590  
58022 FOLLONICA (GR)

## **O. - PREMESSA**

La relazione riporta le considerazioni geologiche, idrogeologiche, geotecniche e idrogeochimiche utili alla definizione del modello idrogeologico ed idrogeochimico dell'area compresa fra Pian D'Asca - ex Stabilimento Sitoco – S.S. 1 Aurelia. A tal fine è stata utilizzata la campagna di indagini eseguita, per conto Sogesid, dalla Tecno.In di Napoli ed i dati gentilmente forniti dalla Soc. Laguna Azzurra di Roma.

## **1. - GEOLOGIA E STRATIGRAFIA**

Nell'area in esame affiorano sedimenti quaternari che morfologicamente si raccordano con il rilievo collinare costituito interamente dalla Formazione del Calcere cavernoso della serie toscana. Le quote dell'area variano da poco più del livello del mare fino ad oltre 10 metri nei pressi della SS 1 Aurelia.

Al fine di ricostruire la stratigrafia dell'area sono state eseguite 9 sezioni geologiche dalla Tecno.It. Sei sezioni sono state presentate nel rapporto finale della prima citata società, dalla numero 1 alla numero 6. In questa sede sono presentate le ultime tre sezioni A, B, C. le cui tracce sono in direzione dal rilievo fino alla costa (Tav. I).

### **Sezione A (Tav.. II)**

La sezione va dal sondaggio Q2 fino al sondaggio T1 a Sud del canale navigabile. La sezione è lunga 760 metri e mostra la successione sabbio limosa argillosa sovrastante un consistente spessore di ghiaie grossolane costituenti molto probabilmente un antico detrito di versante. Per quasi tutta la sezione dalla superficie, dopo circa 3 metri di riporto, abbiamo uno strato continuo sabbioso limoso argilloso con potenza media di circa 3 metri. Sottostante è presente uno strato argilloso, anch'esso con potenza media di circa 3 metri. Successivamente è presente uno strato sabbioso con potenza di oltre 10 metri ed infine ancora uno strato argilloso poggiante sulle ghiaie grossolane.

A 30 metri a Nord del sondaggio T3 è posizionato il piezometro profondo NPZ 5b, sul quale le prove idrogeologiche in situ hanno fornito una trasmissività T di  $9.2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ed un coefficiente di permeabilità K di  $6.17 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ .

### **Sezione B (Tav. III)**

La sezione è lunga 1320 metri e va dal sondaggio Q3 (S.S. 1 Aurelia) fino al sondaggio T7 di Pian d'Asca, passando per l'ex stabilimento Sitoco. Nella sezione è riportato il pozzo profondo PO160, che è arrivato fino alla Formazione del Calcere cavernoso. Nei primi 5 metri sono presenti sabbie, sabbie limo argillose, limi argillosi ed argille limose. Sottostante è presente uno strato di argilla con potenza variabile da 2 a 7 metri, rappresentato in sezione in modo continuo, ma che localmente altre sezioni mostrano discontinuo come vedremo in seguito. Sottostante è presente uno strato di sabbie con potenza anche di oltre 10 metri. Dopo abbiamo uno strato con potenza anche di oltre 2 metri con eteropie di facies fra sabbie limose, argille e limi. Lo strato è posizionato fra 17 e 19 metri in corrispondenza dell'ex stabilimento Sitoco, ma l'argilla non è continua. Nella zona di Pian D'Asca – Bacino 2 a tale quota lo strato è costituito essenzialmente da limi. Sottostante abbiamo uno strato di sabbie con potenza anche di 15 metri, che include, in corrispondenza del sondaggio T7, una lente di argilla. Sottostante è presente uno strato di argilla con potenza di circa 10 metri in corrispondenza del PO160, mentre la potenza si riduce ai lati della sezione. Dopo è presente uno strato di sabbia con potenza di circa 4

metri che non interessa tutta la lunghezza della sezione. Sempre in corrispondenza del PO160 da 32.5 m a 37 m sono presenti sabbie. Successivamente argilla da 37.0 a 43.5 m;; quindi sabbie limo argillose da 43.5 m a 49.5 m. Successivamente abbiamo uno spessore di argille da 49.5 m a 61.0 m e dopo ghiaie e sabbie grossolane da 61.0 m a circa 70 m. La Formazione del Calcare cavernoso è stata incontrata a circa 70 m nella facies di calcari neri tipici della parte sommitale della formazione.

La ghiaia grossolana rappresenta molto probabilmente un antico deposito di versante. In corrispondenza della sezione B è presente il piezometro profondo NPZ 3b di Laguna Azzurra sul quale le prove idrogeologiche in situ hanno fornito una trasmissività T di  $1.85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  ed un coefficiente di permeabilità K di  $1.21 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ . Nella zona di Pian D'Asca sono state eseguite prove di permeabilità Lefranc sui sondaggi Sogesid D4 e D10: i risultati sono riportati nella seguente tabella:

Sondaggio	Prova	Profondità (m)	K (m/s) Valore medio
D4	1	1.50 – 2.00	$1.9 \cdot 10^{-7}$
	2	6.50 – 7.00	$5.1 \cdot 10^{-8}$
	3	9.50 – 10.00	$1.6 \cdot 10^{-6}$
D10	1	2.50 – 3.00	$7.7 \cdot 10^{-7}$
	2	4.00 – 4.50	$9.4 \cdot 10^{-7}$
	3	9.50 – 10.00	$2.3 \cdot 10^{-6}$

### Sezione C (Tav IV)

La sezione è lunga 1240 metri e va dalla S.S. 1 Aurelia a Pian D'Asca. Nei primi 10 metri si ritrova una successione sabbiosa limoso argillosa, con anche uno strato argilloso non continuo di potenza di circa 4 metri. Successivamente abbiamo uno strato argilloso anche con potenza di oltre 20 metri nel quale, a circa 15 metri di profondità è intercalato uno strato non continuo di argille in eteropia di facies con sabbie argillose. Intorno ai 25 metri di profondità si ritrova una successione sabbioso argillosa limoso con lateralmente uno strato non continuo di argille. Verso il sondaggio Q3 abbiamo infine sabbie ed argille grossolane.

In corrispondenza della sezione C è presente il piezometro profondo NPZ 1b di Laguna Azzurra sul quale le prove idrogeologiche in situ hanno fornito una trasmissività T di  $6.04 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ed un coefficiente di permeabilità K di  $5.9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ . Nella zona di Pian D'Asca sono state eseguite prove di permeabilità Lefranc sui sondaggi Sogesid D6, D7 e D8: i risultati sono riportati nella seguente tabella:

Sondaggio	Prova	Profondità (m)	K (m/s) Valore medio
D6	1	1.50 – 2.00	$4.8 \cdot 10^{-6}$
	2	4.50 – 5.00	$1.2 \cdot 10^{-6}$
	3	9.50 – 10.00	$7.2 \cdot 10^{-6}$
D7	1	1.50 – 2.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$
	2	6.00 – 6.50	$9.4 \cdot 10^{-8}$
	3	9.50 – 10.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$
D8	1	2.50 – 3.00	$1.8 \cdot 10^{-6}$
	2	5.00 – 5.50	$5.8 \cdot 10^{-7}$
	3	7.50 – 8.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$

## Sezioni dalla 1 alla 6

Saranno ora descritte le sezioni dalla n. 1 alla n. 6 eseguite dalla Tecno.it per conto di Sogesid, per meglio descrivere l'area in esame.

### Sezione n. 1

La sezione comprende i tre sondaggi Q1, Q2 e Q3 eseguiti nell'area pubblica della S.S. 1 Aurelia ed è lunga 570 metri. È presente fino a circa 5 m una successione di limi sabbio argillosi. Dopo fino a circa 10 m è presente argilla soprastante a circa 10 m di sabbie. Da 20 a 40 m si trova una ghiaia grossolana costituente un antico deposito di versante.

### Sezione n. 2

La sezione è lunga 136 metri e comprende i sondaggi T11, T12 e T13. I sondaggi sono profondi 30 e mostrano una serie sabbiosa con due serie argillose discontinue intorno ai 4 – 9 metri ed a 21 – 28 metri. La serie sabbiosa intorno ai 15 metri ha uno strato sabbio limoso di circa 1 m di potenza.

### Sezione n. 3

La sezione è lunga circa 220 m e comprende i sondaggi Sogesid a 10 m: D4, D5, D6, D7, D8 ed i sondaggi, sempre Sogesid, a 30 metri: T8, T9, T10 e T14 attrezzati a piezometri. La sezione mostra, subito sotto il piano campagna, una successione sabbiosa con potenza da 2 a 4 metri. Sottostante è presente una successione argillosa discontinua in eteropia di facies con limi argillosi ed inglobante sabbie. La successione ha una potenza di circa 4 metri. Dopo abbiamo una successione sabbiosa con potenza di circa 20 metri e sottostante una successione argillosa discontinua in eteropia con sabbie argillose con potenza di circa 3 metri. Da 28 a 30 m è infine presente una successione limosa in eteropia con limo argilloso. I sondaggi Sogesid a 10 metri hanno fornito i seguenti valori delle prove Lefranc:

Sondaggio	Prova	Profondità (m)	K (m/s) Valore medio
D4	1	1.50 – 2.00	$1.9 \cdot 10^{-7}$
	2	6.50 – 7.00	$5.1 \cdot 10^{-8}$
	3	9.50 – 10.00	$1.6 \cdot 10^{-6}$
D5	1	1.50 – 2.00	$9.0 \cdot 10^{-6}$
	2	5.0. – 5.50	$7.3 \cdot 10^{-7}$
	3	6.00 – 6.50	$9.6 \cdot 10^{-6}$
D6	1	1.50 – 2.00	$4.8 \cdot 10^{-6}$
	2	4.50 – 5.00	$1.2 \cdot 10^{-6}$
	3	9.50 – 10.00	$7.2 \cdot 10^{-6}$
D7	1	1.50 – 2.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$
	2	6.00 – 6.50	$9.4 \cdot 10^{-8}$
	3	9.50 – 10.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$
D8	1	2.50 – 3.00	$1.8 \cdot 10^{-6}$
	2	5.00 – 5.50	$5.8 \cdot 10^{-7}$
	3	7.50 – 8.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$

#### Sezione n. 4

La sezione è lunga circa 260 metri e comprende i sondaggi Sogesid: D9 e D10 a 10 metri, i sondaggi T5, T14 e T15 a 30 metri attrezzati a piezometri. Dal piano campagna fino a circa 4 metri è presente una successione sabbiosa. Sottostante è presente argilla, localmente in eteropia di facies con sabbie argillose. Lo spessore è di circa 3 metri. Sottostante è presente una serie sabbiosa con inglobati limi ed anche in eteropia con essi. L'eteropia si ha lateralmente da 24 a 30 metri con argille e limi argillosi. I sondaggi Sogesid a 10 metri hanno fornito i seguenti valori delle prove Lefranc:

Sondaggio	Prova	Profondità (m)	K (m/s) Valore medio
D9	1	1.50 – 2.00	$1.3 \cdot 10^{-6}$
	2	5.00 – 5.50	$7.0 \cdot 10^{-8}$
	3	8.00 – 8.50	$1.6 \cdot 10^{-6}$
D10	1	2.50 – 3.00	$7.0 \cdot 10^{-7}$
	2	4.00 – 5.00	$9.4 \cdot 10^{-8}$
	3	9.50 – 10.00	$2.3 \cdot 10^{-6}$

#### Sezione n. 5

La sezione è lunga 290 metri e comprende i sondaggi Sogesid D1, D2, D3 a 10 metri ed i sondaggi T5, T6, T7, T8 a 30 metri attrezzati a piezometri. Dal piano campagna fino a circa 3 metri è presente materiale di riporto e sabbie. Sottostante fino a circa 8 metri è presente un livello argilloso continuo, salvo che in corrispondenza del sondaggio T5, dove si ha eteropia di facies con sabbie argillose. Sottostante sono presenti sabbie fino anche a 30 metri di profondità al cui interno sono inglobati piccoli livelli di argille e limi. Da 25 a 30 metri, in corrispondenza del sondaggio T6 sono presenti limi sabbiosi con sottostanti argille che non sembrano continue. I sondaggi Sogesid a 10 metri hanno fornito i seguenti valori delle prove Lefranc:

Sondaggio	Prova	Profondità (m)	K (m/s) Valore medio
D1	1	2.00 – 2.50	$1.8 \cdot 10^{-7}$
	2	5.00 – 5.50	$3.2 \cdot 10^{-7}$
	3	8.00 – 8.50	$4.3 \cdot 10^{-7}$
D2	1	2.50 – 3.00	$1.9 \cdot 10^{-7}$
	2	5.00 – 5.50	$8.8 \cdot 10^{-8}$
	3	9.50 – 10.00	$2.2 \cdot 10^{-6}$
D3	1	3.00 – 3.50	$1.6 \cdot 10^{-6}$
	2	6.50 – 7.00	$8.5 \cdot 10^{-8}$
	3	9.00 – 9.50	$1.6 \cdot 10^{-6}$

#### Sezione n. 6

La sezione è lunga 186 metri e comprende i sondaggi Sogesid T1, T2, T3 e T4. È presente dal piano campagna fino anche a circa 4 m riporto, con presenza laterale di limi argillosi ed argille. Successivamente, con spessore anche di circa 6 m è presente una sabbia argillosa eteropica con limo. Sottostante è presente argilla continua nella sezione, con spessore di circa 5 metri. Successivamente è presente una serie sabbiosa con

potenza di circa 14 metri con intercalata argilla, sabbia argillosa e limi in eteropia di facies. Intorno ai 24 metri è presente una serie argillosa con continuità fino a 30 metri.

## 2. - IDROGEOCHIMICA

### 2.1 - Caratteristiche dei piezometri campionati

I piezometri Sogesid hanno le seguenti caratteristiche:

Piezometro	Profondità m	Cementazione m	Quota drenaggio m	Terreno prevalente
T1	30	0.0 – 9.0	9.0 – 28.0	Sabbie fini
T2	30	0.0 – 9.0	9.0 – 27.0	Sabbie fini
T3	30	0.0 – 12.0	12.0 – 27.0	Sabbie medio fini
T4	30	0.0 – 12.0	12.0 – 27.0	Sabbie medio fini
T5	30	0.0 – 6.0	0.6 – 27.0	Sabbie medio fini
T6	30	0.0 – 9.0	9.0 – 24.0	Sabbie medio fini
T7	30	0.0 – 1.0	6.0 – 9.0	Sabbie medio fini
T8	30	0.0 – 5.0	6.0 - 27	Sabbie medio fini
T9	30	0.0 – 6.0	6.0 – 30.0	Sabbie medio fini
T10	30	0.0 – 6.0	6.0 – 30.0	Sabbie medio fini
T11	30	0.0 – 9.0	9.0 – 21.0	Sabbie medio fini
T12	30	0.0 – 3.0	3.0 – 21.0	Sabbie fini
T13	30	0.0 – 6.0	6.0 – 21.0	Sabbie fini
T14	30	0.0 – 6.0	6.0 - 30	Sabbie medio fini
T15	30	0.0 – 6.0	6.0 – 24.0	Sabbie medio fini
Q1	40	0.0 – 12.0	12.0 – 40.0	Sabbia – ghiaia gros.
Q2	40	0.0 – 18.0	18.0 – 40.0	Sabbia – ghiaia gros.
Q3	40	0.0 – 12.0	12.0 – 40.0	Sabbia – ghiaia gros
PP1	83	0.0- 73.0	73.0 – 83.0	Conglomerati e cavern.

I piezometri ed il pozzo PO160 di Laguna Azzurra hanno le seguenti caratteristiche:

Piezometro	Profondità Perforaz. m	Cementazione m	Quota drenaggio m	.Terreno prevalente
NPZ 1a	4.5	0.0 – 3.2	3.2 – 4.5	Argille
NPZ 2a	5.5	0.0 – 4.0	4.0 – 5.50	Argille
NPZ 3a	8.0	0.0 – 5.5	5.5 – 8.0	Argille
NPZ 4a	9.0	0.0 – 6.8	6.8 – 9.0	Argille
NPZ 5a	9.0	0.0 – 7.8	7.8 – 9.0	Argille limose
NPZ 6a	6.0	0.0 – 4.7	4.7 – 6.0	Argille
NPZ 1b	18.0	0.0 – 15.0	15.0 – 18.0	Sabbie
NPZ 2b	29.8	0.0 18.0	18.0 – 20.5	Sabbie
NPZ 3b	33.0	0.0 – 21.0	21.0 – 23.0	Sabbie
NPZ 4b	21.0	0.0 18.5	18.5 - 21	Sabbie
NPZ 5b	25.5	0.0 – 21.5	21.5 – 23.5	Sabbie
NPZ 6b	25.5	0.0 – 19.5	19.5 – 22.0	Sabbie
PO160	76.6	0.0 – 20.0	20.0 – 76.6	Argille sabbie conglom.

I piezometri siglati (a) sono superficiali mentre i piezometri siglati (b) sono profondi. Il pozzo PO160 era esistente e serviva per l'antincendio. Il pozzo è fluente con circa 0.5 L/s di portata

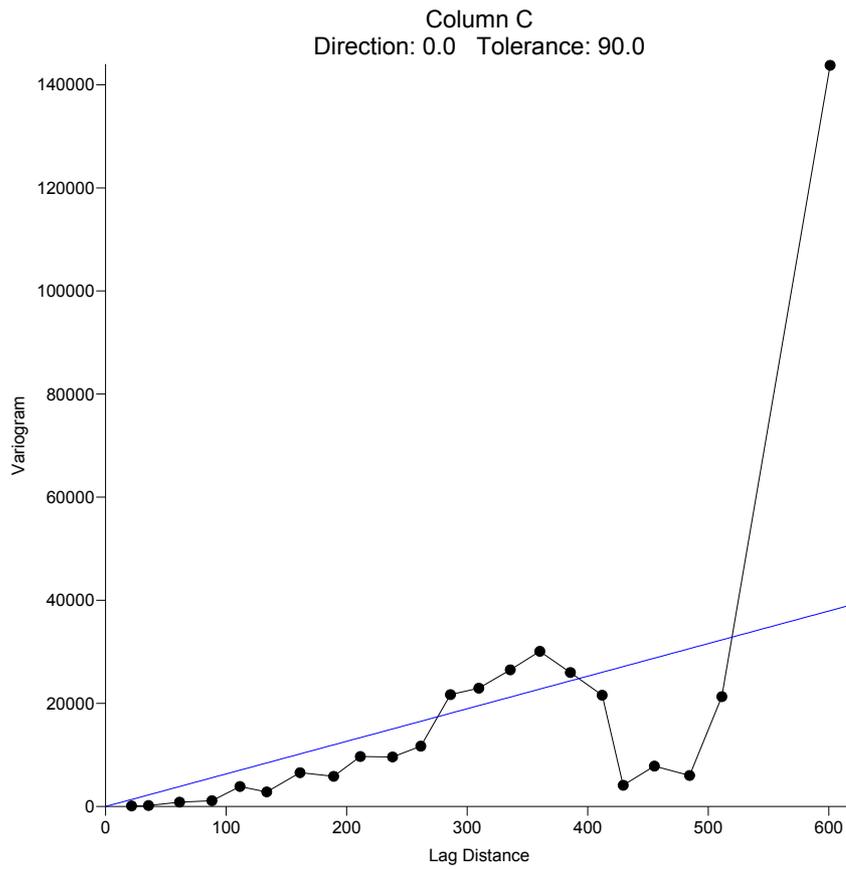
## 2.2 - Piezometria

Sono state utilizzate le misure piezometriche eseguite da Laguna Azzurra e da Sogesid, nello stesso breve arco di tempo, al fine di ricostruire l'andamento piezometrico, di seguito riportate:

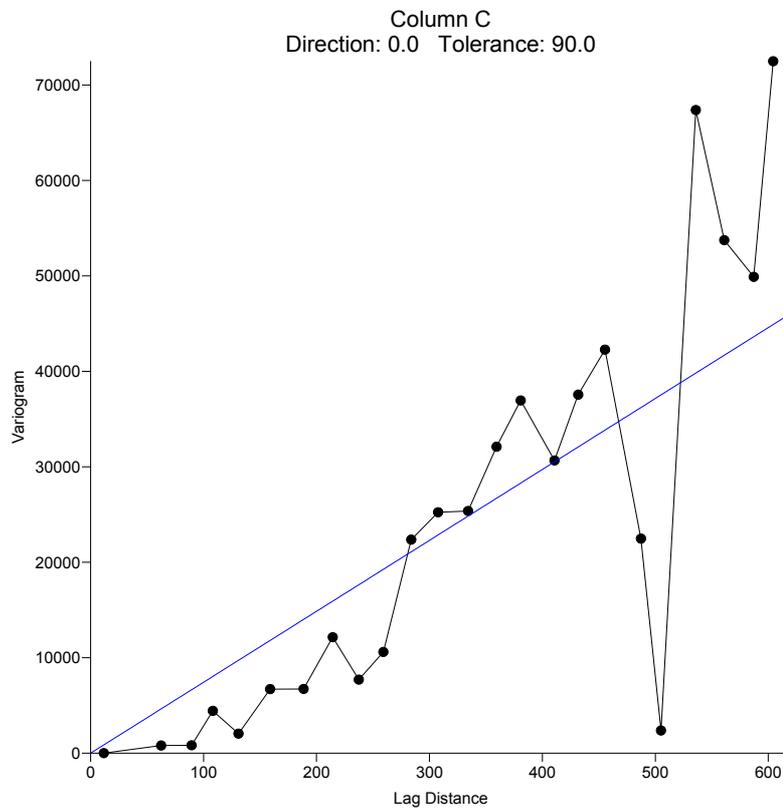
Piezometro	Livello falda m
PO160	+0.1
NPZ1b	-0.84
NPZ2b	-0.79
NPZ6b	-0.7
NPZ3b	-0.99
NPZ4b	-0.68
NPZ5b	-0.55
Q3	-1.68
Q2	-2.39
Q1	-1.59
T1	-0.68
T2	-0.89
T3	-0.83
T4	-0.73
T5	-0.43
T6	-0.76
T7	-0.48
T8	-0.77
T9	-0.75
T10	-0.78
T11	-0.88
T12	-0.98
T13	-0.96
T14	-0.83
T15	-0.78
PP1	-0.4

Abbiamo redatto due carte piezometriche, riportate nelle pagine seguenti, la Fig. A mostra la piezometrica considerando il pozzo fluente PO160 ed il piezometro profondo PP1, che intercettano acque profonde. La Fig. B mostra invece la piezometria senza i sondaggi PO160 e PP1.

Il PO160 è un pozzo fluente adoperato a suo tempo per l'antincendio. Il variogramma della piezometria è riportato di seguito ed il suo andamento ci permette di utilizzare il metodo di Kriging per ricostruire la superficie piezometrica. Il variogramma ci permette di ricostruire anche l'andamento della superficie piezometrica di Fig. B. Come possiamo osservare le superfici piezometriche variano notevolmente nei due casi, anche se l'andamento generale della falda è sempre da monte verso valle.

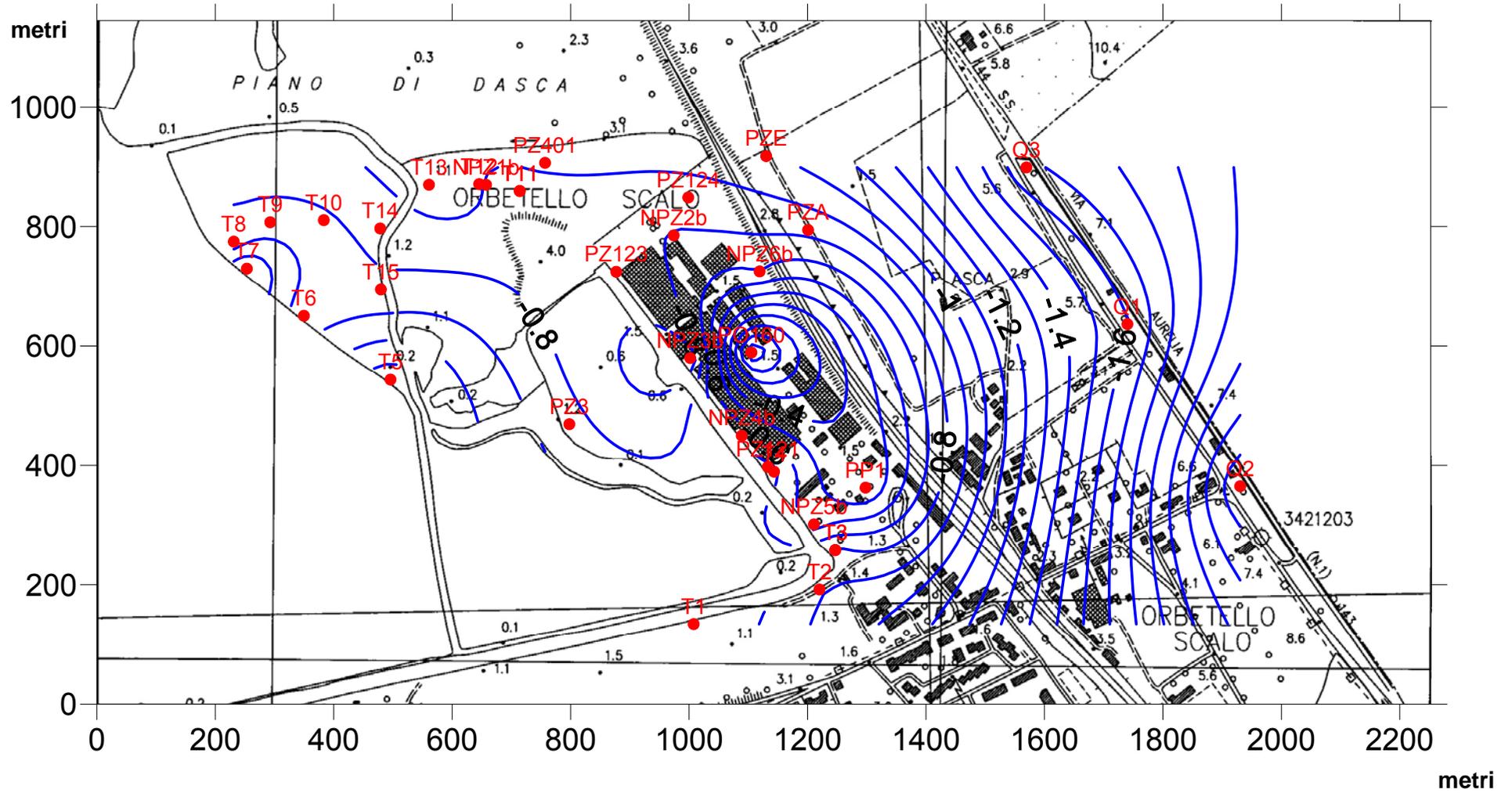


Variogramma per la superficie piezometrica A.

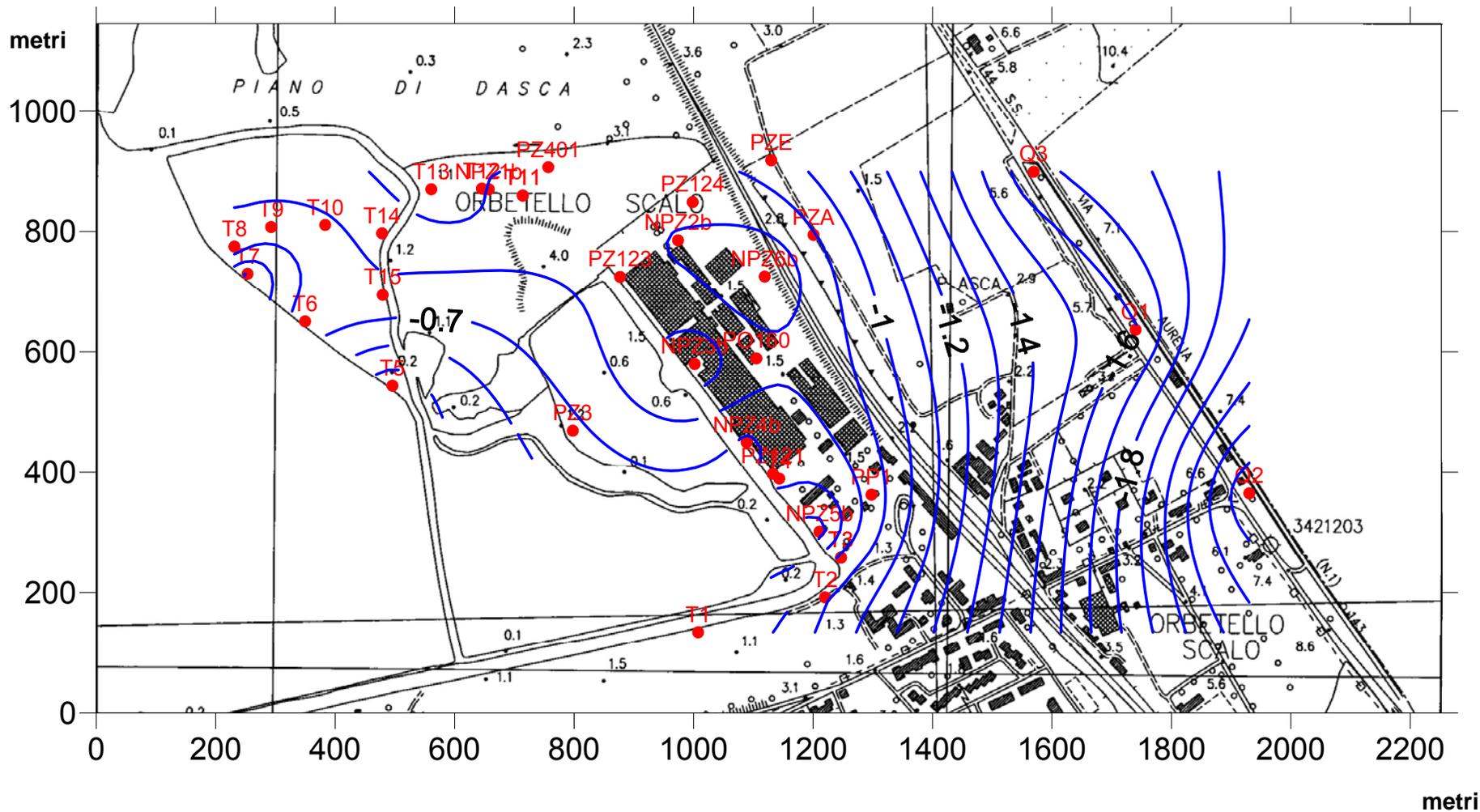


Variogramma per la superficie piezometrica B

### Piezometria Luglio 2009



Piezometria Luglio 2009 senza i sondaggi profondi PO160 e PP1



## 2.3. - Analisi

Per la valutazione idrogeochimica dell'area che va da Pian D'Asca alla S.S. 1 Aurelia abbiamo utilizzato le analisi Sogesid e le analisi di Laguna Azzurra eseguite dal CNR di Pisa e dal LaboStudio di S. Croce sull' Arno. Tutte le analisi hanno un errore inferiore al 5% e pertanto sono accettabili per la trattazione idrogeochimica. Il programma di calcolo utilizzato è Aquachem 5.1 della Waterloo Hydrogeologic Inc di Waterloo Ontario – Canada. Di seguito sono riportate le analisi:

Campione	Data	T °C	Cond. µS/cm	pH	Eh mV	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	SO4 mg/L
Mare						11210	447	620.3	1296	21979	2980
Saturnia	17/01/1994	37.5	2895	6.34		71.2	10	572	141	70	1885
NPZ 1a	14/07/2009	21.5	24700	6.34	106.3	4780	62	1135	602	7489	3596
NPZ 1b	14/07/2009	20.7	1230	7.37	130.4	84	13	114	25	166	56
NPZ 2a	14/07/2009	19.1	7170	7.17	-199.6	834	25	612	154	2032	692
NPZ 2b	14/07/2009	20.4	1174	7.29	119.5	100	11	103	23	153	58
NPZ 3a	14/07/2009	21.3	5630	7.08		921	81	227	61	1698	106
NPZ 3b	14/07/2009	18	1073	7.8	141.1	76	12	105	22	133	44
NPZ 4a	14/07/2009	21.4	6110	7.44	42	1168	17	131	53	1571	187
NPZ 4b	14/07/2009	18.5	1210	7.23	9.4	85	12	121	25	172	72
NPZ 5a	14/07/2009	20.1	1970	7.18	111.8	281	31	121	33	345	196
NPZ 5b	14/07/2009	26.2	1012	6.53		75	11	101	22	120	53
NPZ 6a	14/07/2009	20	14500	7.43	106.8	2378	36	1910	561	6934	1508
NPZ 6b	14/07/2009	25	1028	7.39	-207.4	79	12	103	23	124	43
Osa	02/01/1999	32		6.34		5262.1	152.8	1178.3	603.1	9606.7	2896.1
PO 160	18/05/2009	22.1	8180	6.8		950	21	499	189	2503	319
PO160	22/07/2009					913	7.4	404.8	165	2270	244.6
PP1	22/07/2009					994.5	9.5	474.8	164.8	2270	296.5
T1	22/07/2009	19.15	8291	7.46	-62.1	75.1	10.8	117.5	39.2	302	54.1
T3	22/07/2009	19.82	853	7.45	-108.9	48	10.8	81	27.4	121.9	49.8
T6	22/07/2009	18.9	1264	7.64	-181.7	222.8	8.1	50	26	217.7	57.7
T9	22/07/2009	18.84	2512	7.34	-151	259.5	11.3	158.6	56.3	647.2	85.1
T11	22/07/2009	17.7	1103	7.5	-130.1	64.5	7.5	103.9	38.8	192.2	57.1
F1	22/07/2009	19.64	5760	7.2	-127.3	1430	34.6	83	83.8	1873	281.8
F2	22/07/2009	20.09	26595	7.3	-215.7	4133	86.7	315.3	379.7	5774.1	830.2
F3	22/07/2009	20.12	38820	6.8	-213.7	877.9	13.8	177.9	125.8	1398.1	277.7
F4	22/07/2009	19.28	7560	7.21	26.6	558.3	9.7	168.7	68.9	1074.8	183.2
Q1	22/07/2009	18.86	1285	7	126.2	24.9	1.3	179.2	35.3	168.4	130.5
Q2	22/07/2009	19.06	1123	7.02	135.7	21.6	1.4	104.7	35.7	213.1	63.2
Q3	22/07/2009	19.26	1097	7.05	144.5	46.5	1.7	101.6	36.6	175.2	58.7

Campione	Data	T	HCO3	F	NO2	NO3	Fe	Mn	As	Hg	Sb
		°C	mg/L	µg/l	µg/l	mg/L	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Mare			115.9			12.4					
Saturnia	17/01/1994	37.5	659								
NPZ 1a	14/07/2009	21.5	732			0.75	249	13875	18	0.29	
NPZ 1b	14/07/2009	20.7	380			0.1	310	192	12		
NPZ 2a	14/07/2009	19.1	274			4.6	110	1610	3.1		
NPZ 2b	14/07/2009	20.4	378			0.1	102	224	17		
NPZ 3a	14/07/2009	21.3	311			0.24	63	803		0.4	
NPZ 3b	14/07/2009	18	354			1.6	63	138	7.7		
NPZ 4a	14/07/2009	21.4	604			29	71	124		0.21	
NPZ 4b	14/07/2009	18.5	342			18	72	33	11		
NPZ 5a	14/07/2009	20.1	397			19	86	243		0.39	
NPZ 5b	14/07/2009	26.2	336			2.1	114	58	15		
NPZ 6a	14/07/2009	20	275			1.1	86	243		0.39	
NPZ 6b	14/07/2009	25	372			0.1	320	121	14		
Osa	02/01/1999	32	567.3			30.8		0.04			
PO 160	18/05/2009	22.1	262			23	161	28		44	
PO160	22/07/2009		262.37				28	5.62		16.1	
PP1	22/07/2009		347.8	119	96	3.1	4957	638.7		0.9	2.12
T1	22/07/2009	19.15	353.9	393	116	2.8	27.7	90.54	11.6		
T3	22/07/2009	19.82	341.7	426	163	3.5	27.7	18.4	10		
T6	22/07/2009	18.9	463.73	812			102.3	155	5.4	155	
T9	22/07/2009	18.84	414.92	400			128.5	641.5	5.2		
T11	22/07/2009	17.7	433.1	309			30.9	185.2	4.4		
F1	22/07/2009	19.64	427.12		84	3.8	350	216.7			9.46
F2	22/07/2009	20.09	366.1			15.9	157.5	3377	6.1		3.64
F3	22/07/2009	20.12	335.59	148	87	6	65.8	400			7.74
F4	22/07/2009	19.28	378.31		28			136.8			1.35
Q1	22/07/2009	18.86	567.46	110	48	40.4					
Q2	22/07/2009	19.06		173	303	30.1	63.7	10.36			5.35

Campione	Data	Al	Zn	Sn	Ni
		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Q3	22/07/2009	19.26	335.59	176	
Mare					
Saturnia	17/01/1994				
NPZ 1a	14/07/2009		92		138
NPZ 1b	14/07/2009	12			1.7
NPZ 2a	14/07/2009				15
NPZ 2b	14/07/2009	13			1.8
NPZ 3a	14/07/2009				23
NPZ 3b	14/07/2009	16			4.3
NPZ 4a	14/07/2009				11
NPZ 4b	14/07/2009	10			1.6
NPZ 5a	14/07/2009				5.2
NPZ 5b	14/07/2009	61			3
NPZ 6a	14/07/2009				5.2
NPZ 6b	14/07/2009	14			
Osa	02/01/1999				
PO 160	18/05/2009				
PO160	22/07/2009	110.3	25	6.3	
PP1	22/07/2009	428.1	77	7.7	1.6
T1	22/07/2009	88.7	24	3	
T3	22/07/2009	69.5	34	3.3	
T6	22/07/2009	42.2			
T9	22/07/2009	82		1.5	
T11	22/07/2009	73.4	27	2.7	
F1	22/07/2009	76.6		25.9	
F2	22/07/2009	97		1.9	
F3	22/07/2009	80	52	2.6	
F4	22/07/2009	81.8		1.1	
Q1	22/07/2009	80.3		1.1	
Q2	22/07/2009	83.6		2.7	
Q3	22/07/2009	65.4		1.4	

#### 2.4. - Facies chimiche

Una prima classificazione delle acque in esame si basa sull'ordinamento delle stesse secondo il valore decrescente degli anioni e dei cationi espressi in milliequivalenti per litro. Di seguito è riportata la tabella le tabelle contenete le analisi delle due campagne:

Campioni	Facies chimica
Mare	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> – Na > Mg > Ca
NPZ 1a	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> – Na > Ca > Mg
NPZ 2a	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> – Na > Ca > Mg
NPZ 3a	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Na > Ca > Mg
NPZ 4a	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Na > Ca > Mg
NPZ 5a	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Na > Ca > Mg
NPZ 6a	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> – Na > Ca > Mg
NPZ 1b	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
NPZ 2b	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
NPZ 3b	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
NPZ 4b	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
NPZ 5b	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
NPZ 6b	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
PO 160	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> – Na > Ca > Mg
Q <sub>1</sub>	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Mg > Na
Q <sub>2</sub>	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Ca > Mg > Na
Q <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Mg > Na
T <sub>1</sub>	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
T <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Na > Mg
T <sub>6</sub>	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Na > Ca > Mg
T <sub>9</sub>	Cl > HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> – Na > Ca > Mg
T <sub>11</sub>	HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub> – Ca > Mg > Na
PP <sub>1</sub>	Cl > SO <sub>4</sub> > HCO <sub>3</sub> – Na > Ca > Mg

In base alla facies chimica distinguiamo:

1. acque clorurato solfate ( Cl - SO<sub>4</sub>) rappresentate da: NPZ1a, NPZ2a, NPZ 6a, PO160, PP1
2. Acque clorurato bicarbonate ( Cl – HCO<sub>3</sub> ) rappresentate da: NPZ 3a, NPZ 4a, NPZ 5a, NPZ 3b, Q<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>9</sub>.
3. Acque bicarbonato clorurate ( HCO<sub>3</sub> – Cl )rappresentate da: NPZ1b, NPZ 2b, NPZ 4b, NPZ 5b, NPZ 6b, Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>11</sub>.

In Fig. 1 (Allegati) è riportata una carta delle facies chimiche riferita ai piezometri profondi, con l'esclusione dei piezometri di Laguna Azzurra, siglati (a), poiché superficiali. La carta è all'incirca riferita alla quota di – 20.0 m dal piano campagna. Nella carta sono rappresentate le tre facies di acqua in esame, la maggior estensione areale è delle acque clorurato bicarbonate ( Cl – HCO<sub>3</sub> ).

## 2.5. - Correlazioni fra gli elementi

Sono state ricercate le correlazioni statistiche fra i vari elementi ricavati dall'analisi chimica. Nella pagina seguente sono riportate due tabelle, la prima con gli indici di correlazione, la seconda con le percentuali di correlazione molto significative al 99.9%, riportate con numeri rossi, la percentuale di correlazione significativa al 99% è riportata in blu. In nero le percentuali di correlazione al 95% e le correlazioni inverse.

	Cond	Eh	pH	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO4	HCO3	Fe	Mn	Al	Ni	Pb	Hg	As	Zn	Cu
Cond	1	-0.219	-0.355	0.711	0.512	0.422	0.65	-0.229	0.672	0.49	0.06	0.025	0.488	0.137	0.456	0.465	-0.12	0.044	0.358	
Eh		1	-0.238	0.075	-0.182	0.197	0.047	-0.528	0.00005	0.189	0.198	-0.285	0.15	0.061	-0.18	-1	0.862	0.543	-0.058	
pH			1	-0.443	-0.405	-0.404	-0.471	0.659	-0.42	-0.676	-0.434	-0.185	-0.441	-0.037	-0.199	-0.307	-0.286	-0.432	-0.589	-0.313
Na				1	0.935	0.509	0.969	-0.298	0.986	0.807	-0.126	0.047	0.602	0.26	0.278	0.733	-0.234	0.025	0.888	0.218
K					1	0.313	0.891	0.303	0.941	0.65	-0.292	-0.1	0.299	0.019	0.027	0.895	-0.331	-0.028	0.773	-0.429
Ca						1	0.664	-0.268	0.567	0.752	0.094	0.098	0.392	0.696	0.104	0.677	-0.123	0.068	0.726	0.247
Mg							1	-0.481	0.987	0.853	-0.149	0.078	0.566	0.418	0.245	0.659	-0.112	0.06	0.885	0.311
F								1	-0.4	-0.425	0.17	-0.341	-0.161	-0.348	0	0	0	-0.144	0.106	0
Cl									1	0.789	-0.214	0.08	0.502	0.395	0.186	0.796	-0.147	-0.0025	0.884	0.044
SO4										1	0.303	0.018	0.721	0.377	0.387	0.544	-0.23	0.247	0.615	0.524
HCO3											1	-0.42	0.61	-0.115	0.687	0.324	-0.428	0.289	0.731	0.63
Fe												1	0.502	0.591	0.637	0.747	-0.134	0.539	1	-0.012
Mn													1	0.446	0.595	-0.174	-0.183	0.59	0.48	0.148
Al														1	-0.058	0	0	-0.373	0.399	0
Ni															1	-0.107	-0.72	0.639	0.611	0.143
Cd																-1	0.337	0.721	0.999	-0.016
Pb																1	0.999	-0.584	0.999	0.962
Hg																	1	-1	-0.288	0.969
As																		1	0.687	0.858
Zn																			1	-0.09
Cu																				1

	Cond	Eh	pH	Na	K	Ca	Mg	F	Cl	SO4	HCO3	Fe	Mn	Al	Ni	Cd	Pb	Hg	As	Zn	Cu
Cond	0			99.9	99	-.95	99.9		99.9	99			-.99								
Eh		0						-.99											99		
pH			0	-.95	-.95	-.95	-.99	99	-.95	-.99.9	-.95		-.95						95		
Na				0	99.9	99	99.9		99.9	99.9			99.9								99
K					0		99.9		99.9	99.9											95
Ca						0	99.9		99	99.9			95	99.9							
Mg							0	-.95	99.9	99.9			99								99
F								0		-.95											
Cl									0	99.9			99								99
SO4										0			99.9								95
HCO3											0		99.9		99						
Fe												0	99.9	99	99.9	99.9				99	
Mn													0	95	99						99
Al														0							
Ni															0					95	
Cd																0					99.9
Pb																	0				95
Hg																		0			95
As																			0	95	
Zn																					0
Cu																					0

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva con le correlazioni:

Correlazioni al 99.9%	<p>Conducibilità → Na, Mg, Cl  Na → K, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, Mn  K → Mg, Cl, SO<sub>4</sub>  Ca → Mg, SO<sub>4</sub>, Al  Mg → Cl, SO<sub>4</sub>  Cl → SO<sub>4</sub>  SO<sub>4</sub> → Mn  HCO<sub>3</sub> → Mn  Fe → Mn, Ni, Cd  Cd → Zn</p>
Correlazioni al 99.0%	<p>Eh → As  pH → F  HCO<sub>3</sub> → Ni  Fe → Al, As  Mn → Ni, As</p>
Correlazioni al 95.0%	<p>Ca → Mn  Pb → Cu  Hg → Cu  As → Zn  Mn → Al  SO<sub>4</sub> → Zn  K → Zn  pH → As</p>
Correlazione inversa al 99.9%	<p>pH → SO<sub>4</sub></p>
Correlazione inversa al 99%	<p>Eh → F  pH → Mg  Conducibilità → Mn</p>
Correlazione inversa al 95%	<p>Conducibilità → Ca  pH → Na, K, Ca, Cl, HCO<sub>3</sub>, Mn  Mg → F  F → SO<sub>4</sub></p>

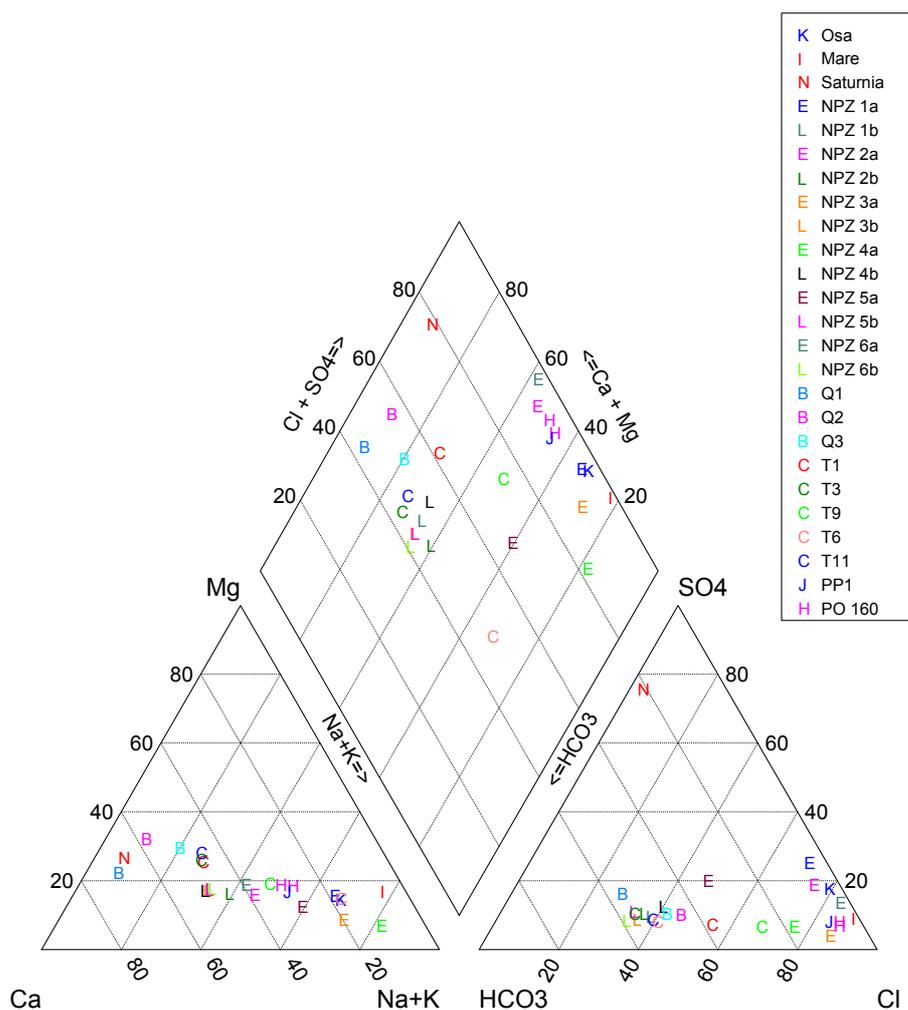
## 2.6. - Considerazioni sulle correlazioni statistiche

Le correlazioni dirette indicano che i maggiori sali sciolti sono rappresentati da cloruri di sodio, potassio, magnesio, solfati di sodio, potassio, magnesio e calcio. La correlazione cloruri solfati indica presenza di acqua di mare. I solfati ed i bicarbonati sono correlati con il manganese. Il ferro è correlato con il manganese, nichel e cadmio, il calcio con l'alluminio, il cadmio con lo zinco. Le correlazioni al 99% indicano che il potenziale redox è correlato con l'arsenico, il pH con i fluoruri, i bicarbonati con il nichel, il ferro con l'alluminio e l'arsenico, il manganese con il nichel e l'arsenico.

Le correlazioni sopra espote sono in accordo con l'ubicazione dei campionamenti in area costiera e con le relazioni esistenti fra metalli in aree mineralizzate a solfuri come la parte collinare a monte dell'area Pian D'Asca, ex Sitoco, S.S. 1 Aurelia.

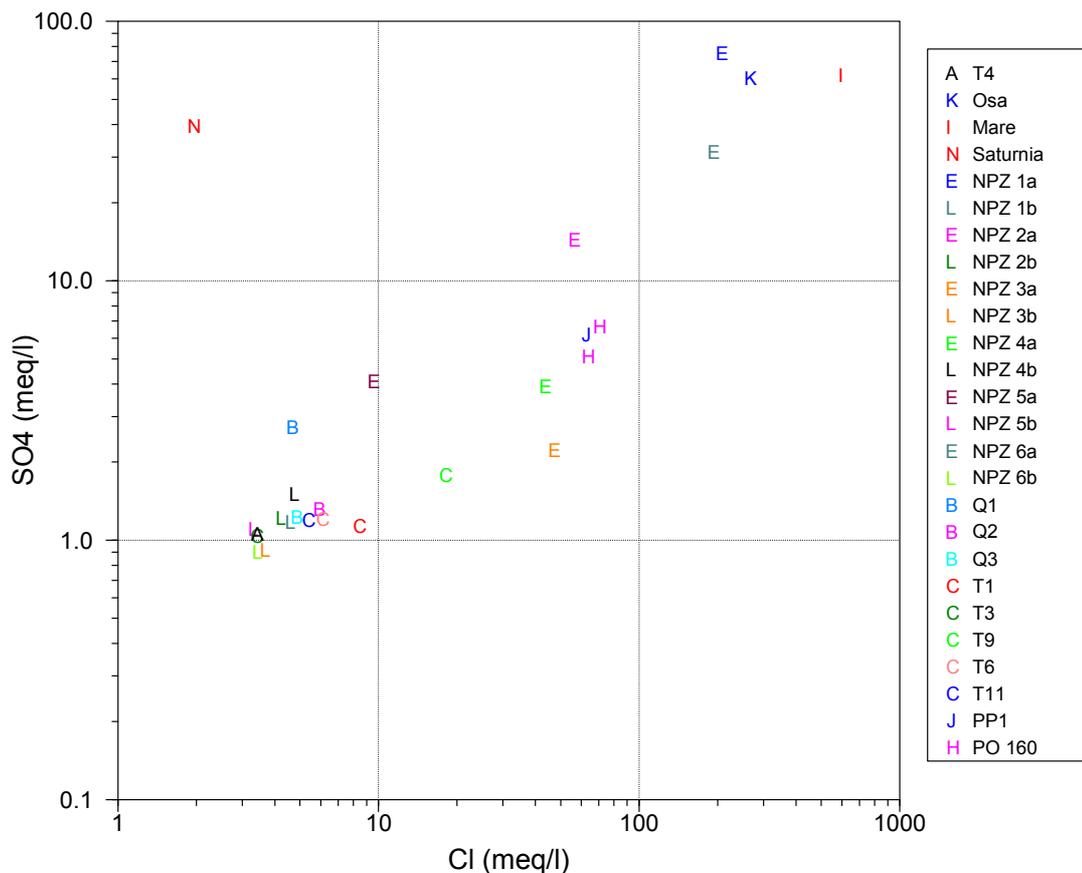
## 2.7. - Diagramma di Piper

Nel diagramma abbiamo inserito anche l'analisi dell'acqua di mare, di saturnia e delle Terme dell'Osa come riferimenti. Di seguito è riportato il diagramma



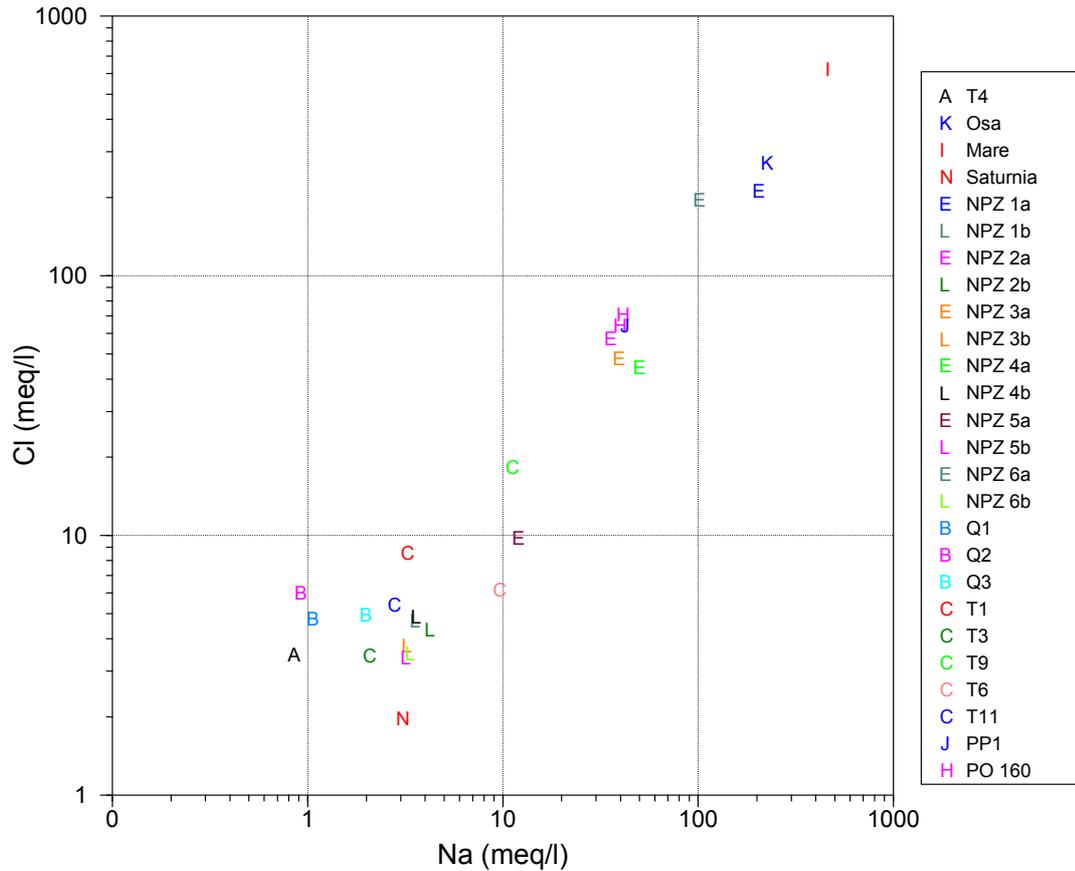
Notiamo che i cationi predominanti sono calcio e sodio, mentre gli anioni sono cloruri e bicarbonati. Il grafico indica che i piezometri siglati (b) di laguna azzurra hanno acque differenti dai piezometri siglati (a). I piezometri (b) occupano una posizione ben definita e non sono correlabili ai piezometri (a) che occupano varie posizioni nel campo delle acque clorate. I piezometri Q di Sogesid occupano un proprio posto nel diagramma, distinguendosi dagli altri, addirittura il Q<sub>2</sub> ha una prevalenza di cloruri. Il pozzo fluente PO160 ed il piezometro profondo Sogesid (PP<sub>1</sub>) ricadono nella stessa porzione del diagramma come acque clorurato solfate. I piezometri T Sogesid occupano varie posizioni a seconda del mescolamento fra cloruri e bicarbonati che vedremo in seguito.

## 2.8. Diagramma cloruri – solfati



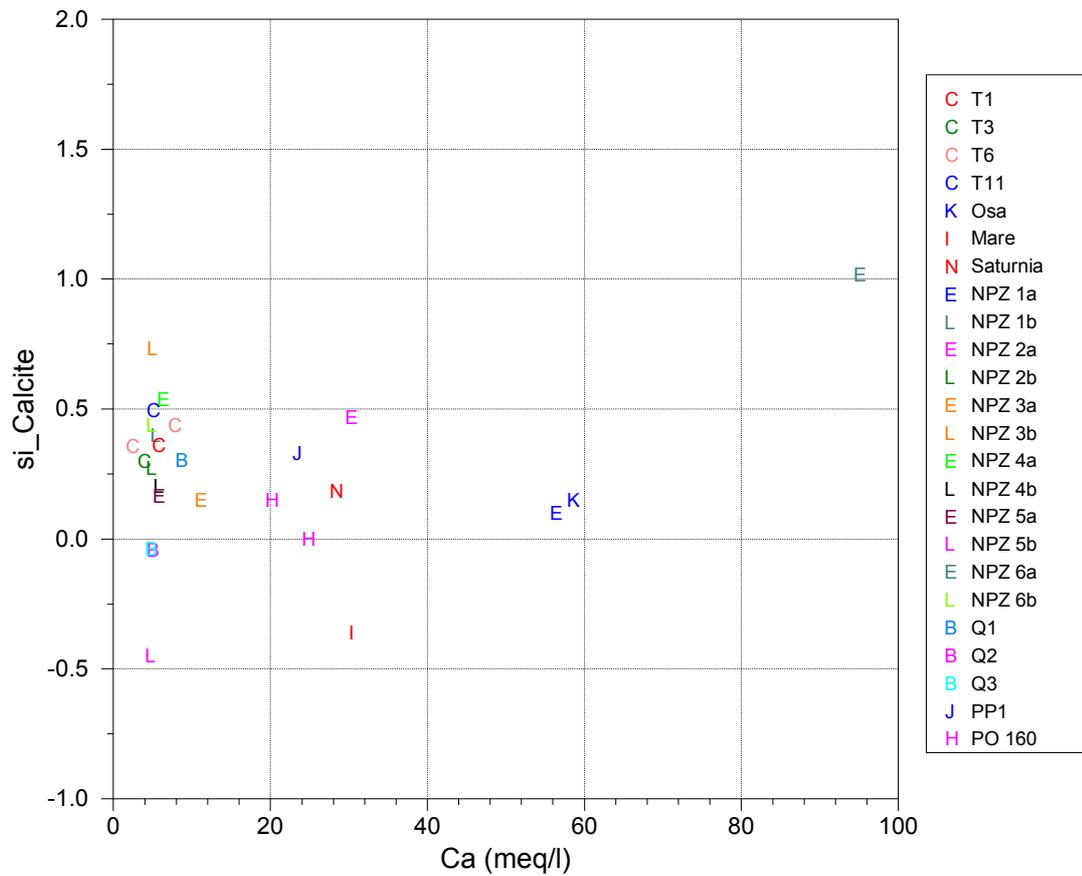
Anche in questo diagramma notiamo come siano raggruppati i piezometri profondi di laguna Azzurra, che occupano una posizione diversa dai piezometri superficiali (a) a loro volta variamente distribuiti a seconda la percentuale di cloruri e solfati. Il pozzo PO160 ed il piezometro profondo Sogesid (PP1) coincidono sul grafico, come rivela anche il loro chimismo. I piezometri Q e T della Sogesid sono raggruppati, segno di una similitudine nel chimismo.

## 2.9. – Diagramma sodio – cloruri



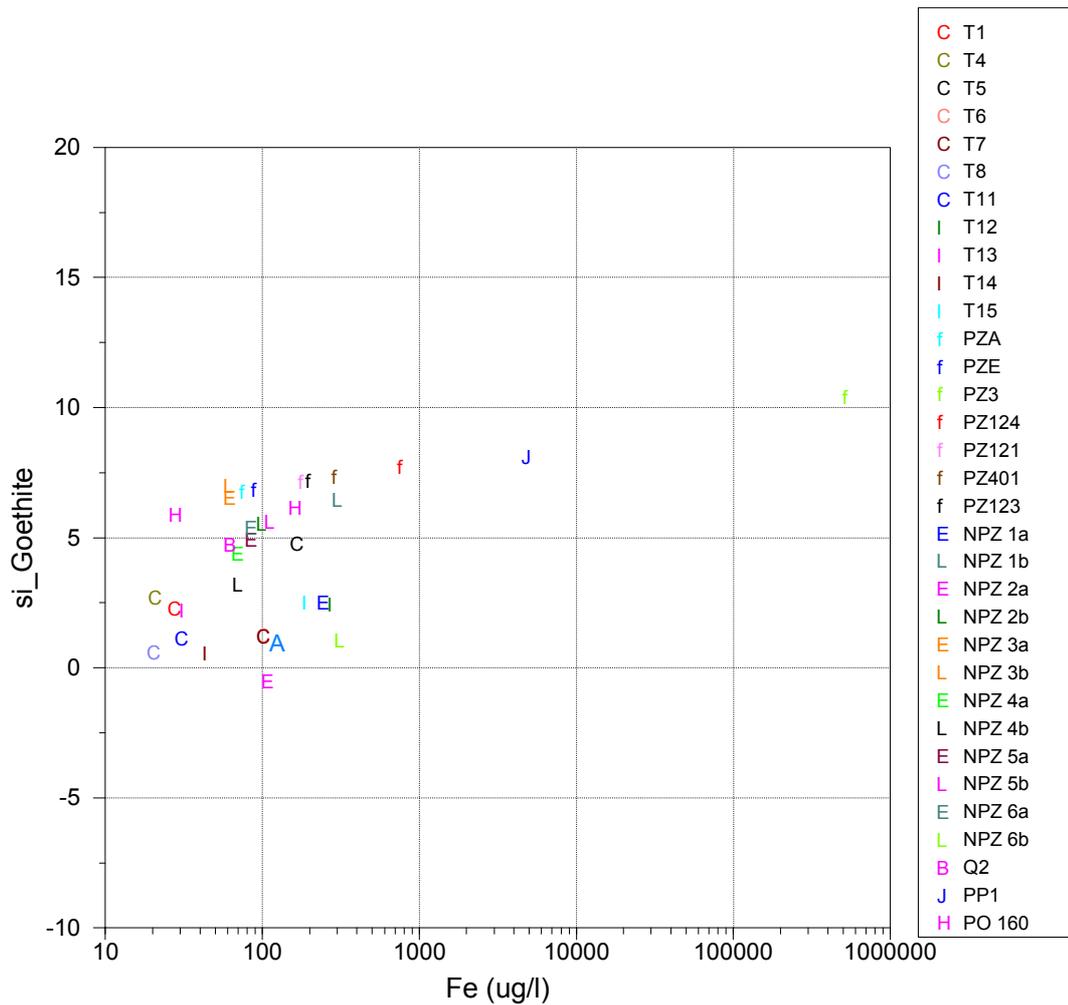
Esiste una forte correlazione fra Na e Cl, come è logico aspettarsi in una zona costiera. I piezometri Sogesid ed i piezometri (b) di Laguna Azzurra sono raggruppati nella parte inferiore sinistra del grafico, mentre i piezometri (a), il pozzo PO160 di Laguna Azzurra ed il PP<sub>1</sub> di Sogesid sono posizionati in alto a destra nel diagramma avendo quantità maggiori di sodio e cloruri.

## 2.10. – Indice di saturazione della Calcite



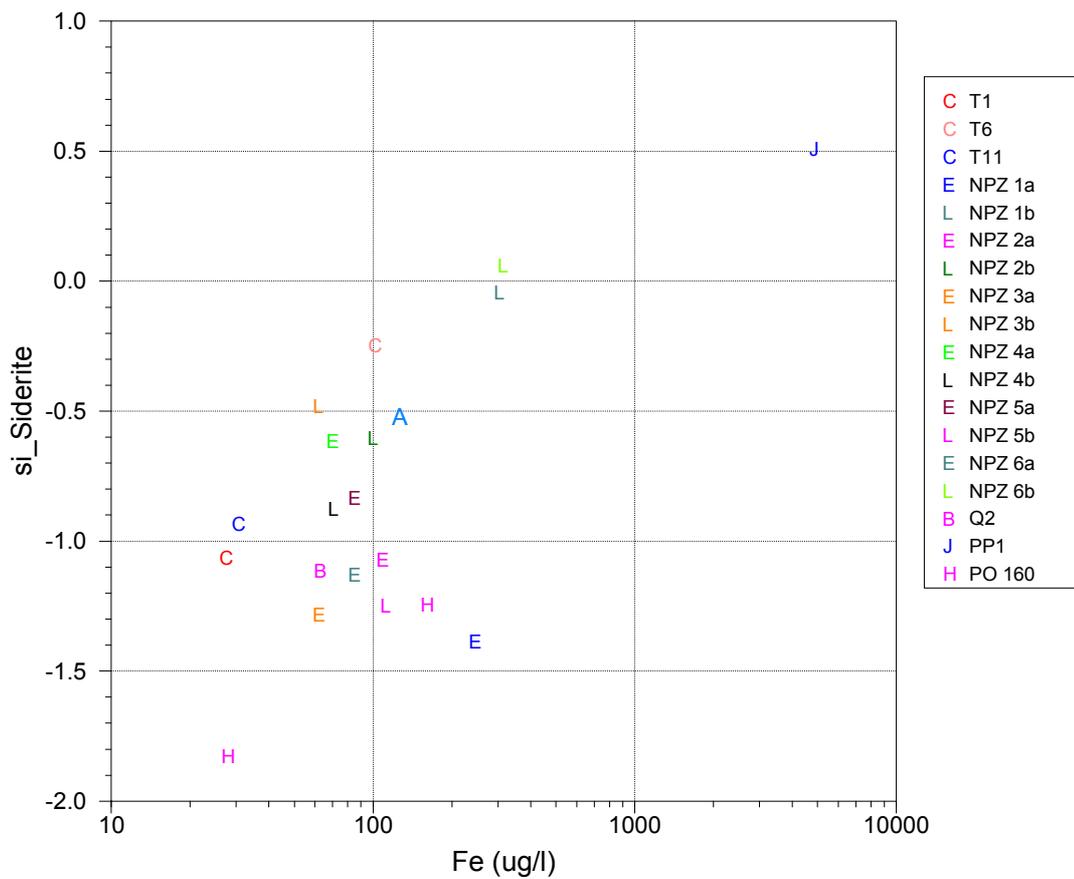
Tutti i campioni sono saturi in calcite tranne ovviamente il mare, il NPZ5b, il Q<sub>3</sub>. L'indice rivela che le acque con indice di saturazione maggiore di zero, possono precipitare calcite ed essere tecnicamente incrostanti.

## 2.11. – Indice di saturazione della Goethite



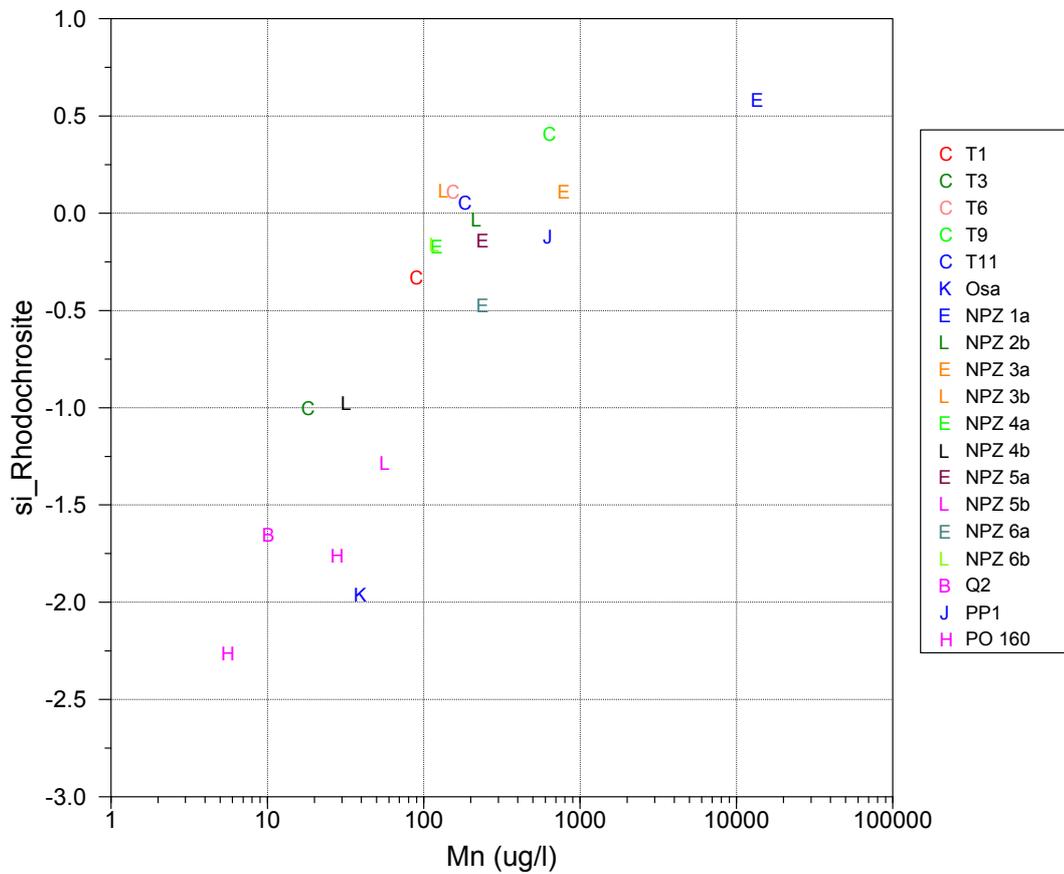
La formula della Goethite è  $\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})$ , cioè idrossido di ferro trivalente. Tutti i campioni sono saturi nel minerale, tranne che il NPZ3a.

## 2.12. – Indice di saturazione della Siderite



La Siderite è un carbonato di calcio con formula  $\text{FeCO}_3$ . I campioni saturi sono il piezometro profondo Sogesid (PP1), il piezometro laguna Azzurra NPZ6b e prossimo alla saturazione è il NPZ1b. La saturazione in Siderite rivela che la componente bicarbonata gioca un ruolo determinante negli equilibri chimici delle acque.

### 2.13. – Indice di saturazione della Rodocrosite



La Rodocrosite è un carbonato di manganese con formula  $MnCO_3$ . Si origina dall'alterazione del manganese in ambiente ossidante ed in presenza di acque bicarbonate.

I campioni saturi sono: T<sub>9</sub>, NPZ1a, NPz3a, T<sub>6</sub>, NPZ3b, T<sub>11</sub>. Prossimo alla saturazione è il NPZ2b. La saturazione in Rodocrosite rivela ancora una volta che la componente bicarbonata gioca un ruolo determinante negli equilibri chimici delle acque.

## 2.14. - Percentuali di acqua di mare

È Possibile determinare la percentuale di acqua di mare presente in un campione. A tale proposito abbiamo utilizzato il programma Aquachem 5.1 della Waterloo Hydrogeologic Inc di Waterloo Ontario – Canada.

Campioni	Percentuale Acqua di mare
PO160	10
PP1	10
NPZ 1a	36
NPZ 2a	8
NPZ 3a	8
NPZ 4a	8
NPZ 5a	2
NPZ 6a	30
NPZ 1b	2
NPZ 2b	2
NPZ 3b	2
NPZ 4b	2
NPZ 5b	2
NPZ 6b	2
T1	2
T11	2
T3	2
T6	2
T9	2

Le percentuali di acqua di mare lasciano supporre che l'intrusione marina abbia in verticale più di un andamento. Infatti nei piezometri (a) la percentuale varia dall' 8 al 36%. Qui è presente la falda superficiale, mentre nell'acquifero in sabbie (seconda falda) la percentuale dell'acqua di mare scende al 2%. Nell'acquifero profondo da calcare cavernoso la percentuale è del 10%. Il motivo per cui la falda nelle sabbie abbia una minor percentuale di acqua di mare può essere spiegato con l'apporto di acque bicarbonate da monte, che limitano l'intrusione salina.

Nella fascia costiere orbetellana è documentata la presenza di acque clorurate solfate provenienti dalla Formazione del Calcare cavernoso come nel caso delle Terme dell'Osa (Bianchi & Fanciulletti, 2000). Il fenomeno è legato all'infiltrazione al largo di acqua marina nel calcare cavernoso; nella formazione l'acqua acquisisce termalità ed ulteriori solfati, fuoriesce poi secondo le strutture tettoniche presenti, nel caso delle Terme dell'Osa lungo una faglia diretta sub verticale.

## 2.13. – Considerazioni idrogeochimiche

L'idrogeochimica delle acque è controllata principalmente dalle acque clorurate e dalle acque solfate che si legano agli elementi alcalini ed agli alcalino terrosi in varie proporzioni. Le acque clorurate hanno ovviamente origine dall'infiltrazione di acqua marina, mentre le acque solfate hanno la loro origine nella Formazione del Calcare cavernoso che interagendo con l'acqua di mare da acque clorurate – solfate. Tali acque sono attualmente intercettate dal PO160 e dal PP<sub>1</sub> che hanno uno sviluppo profondo delle perforazioni. Non possiamo attualmente stabilire con certezza l'influenza di tali acque nelle falde dell'area in esame, ma la loro presenza suggerisce la schematizzazione di

acque clorurato – solfate, che risalendo da strutture tettoniche entrano in contatto con acque clorurate marine ed acque bicarbonate.

Negli equilibri finali giocano un ruolo preponderante le acque bicarbonate che, nella fascia ossidativa delle falde presenti in zona, spostano gli equilibri fino a potenzialmente poter far precipitare calcite, carbonati di ferro e manganese. Il ferro è infine presente come Goethite in forma idrata.

### 3. - METALLI

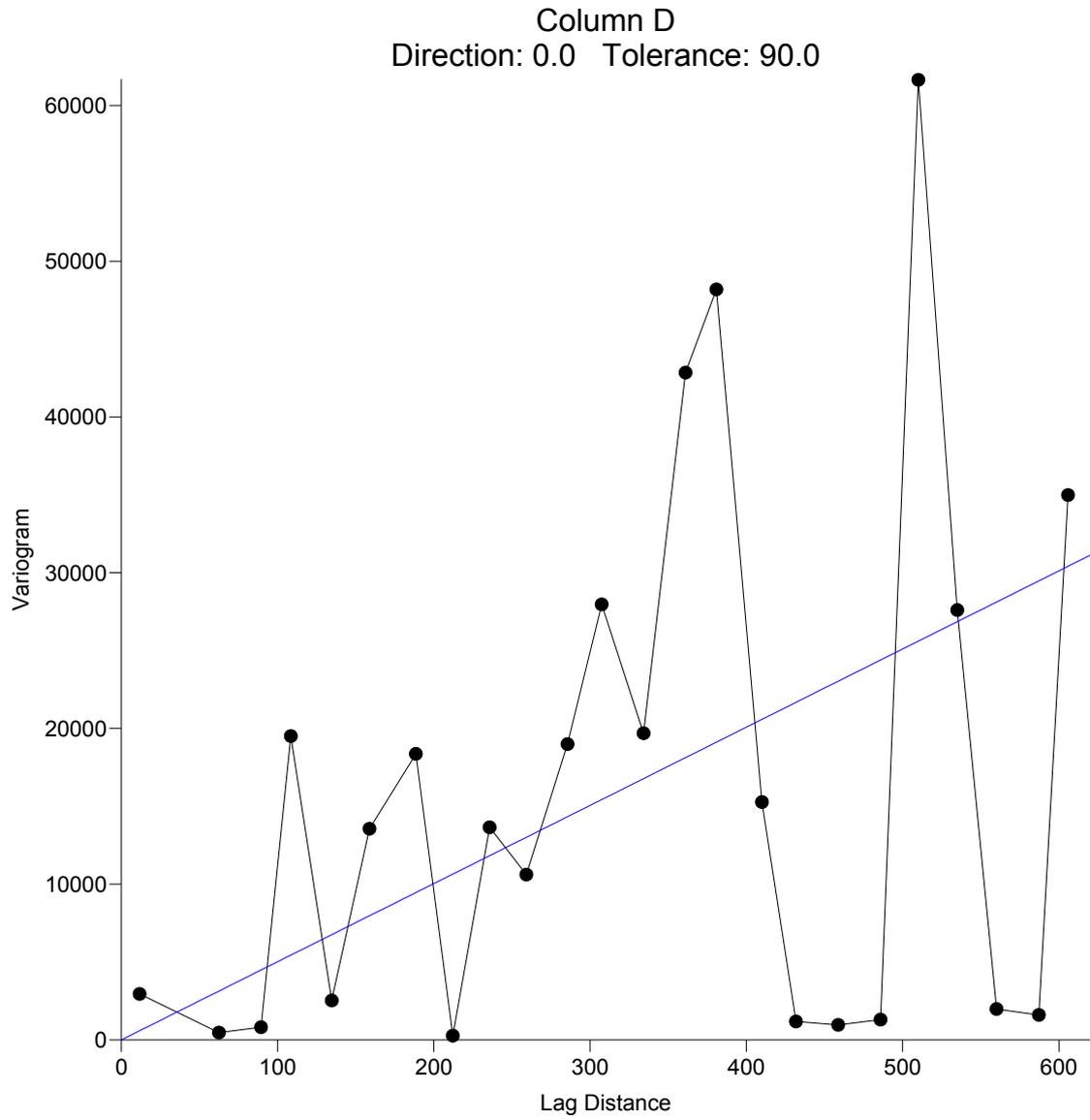
Abbiamo analizzato geostatisticamente i metalli rilevati nelle acque, al fine di stabilire alcune caratteristiche delle popolazioni.

#### 3.1. – Alluminio

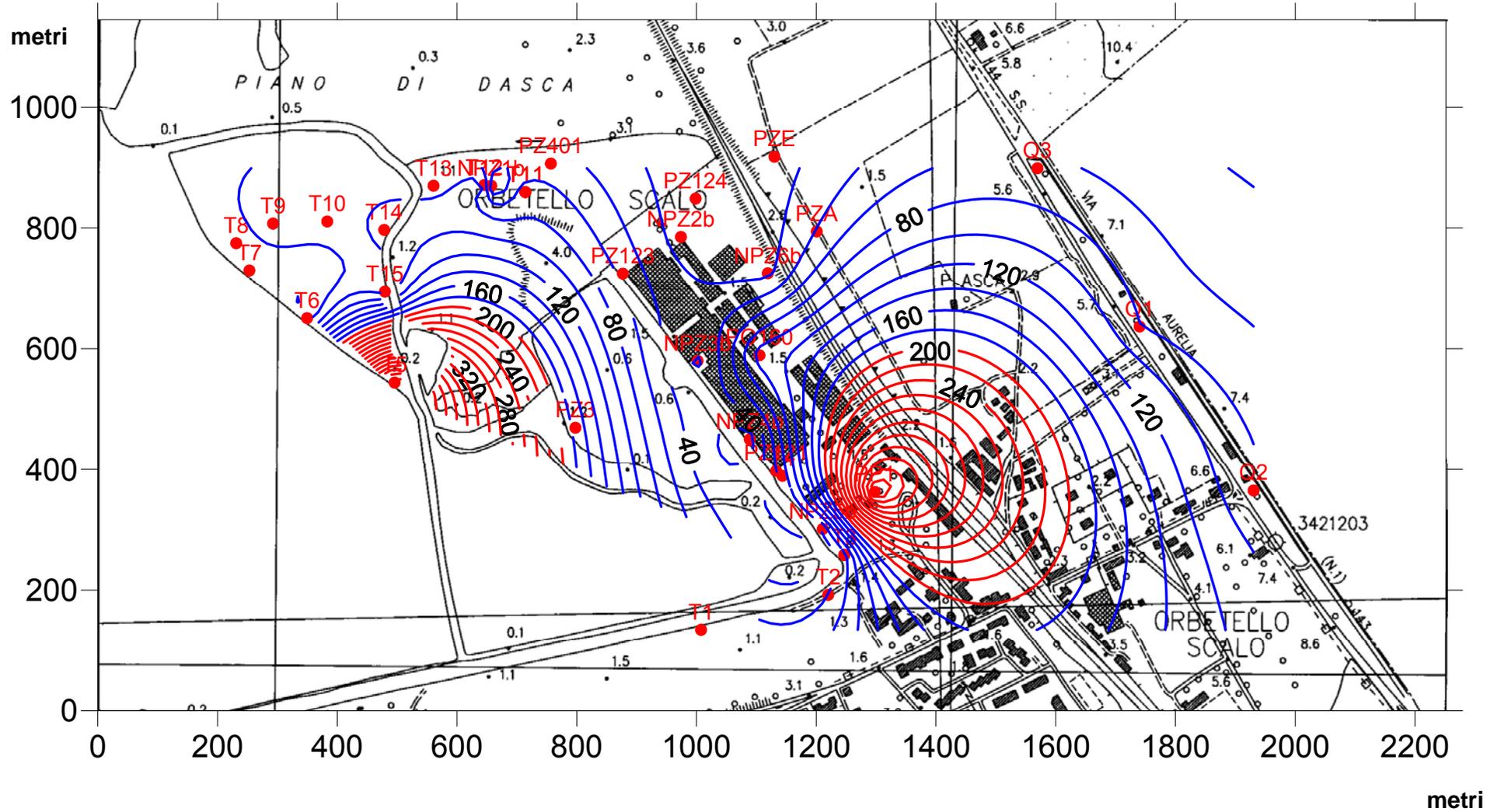
Di seguito sono riportati i valori dell'analisi:

<b>Campione</b>	<b>Al</b>
	µg/L
NPZ 4b	10
NPZ 1b	12
NPZ 2b	13
NPZ 6b	14
NPZ 3b	16
T6	42.2
T7	42.2
T8	43.6
T2	60.1
NPZ 5b	61
Q3	65.4
T10	67.8
T4	68.8
T3	69.5
T15	72.3
T13	72.5
T11	73.4
Q1	80.3
T9	82
Q2	83.6
T1	88.7
T12	88.8
T14	92.5
PO 160	110.3
PP1	428.1
T5	511.4

Il seguente variogramma rivela che possiamo adottare il metodo di Kriging per valutare la distribuzione dell'Alluminio.

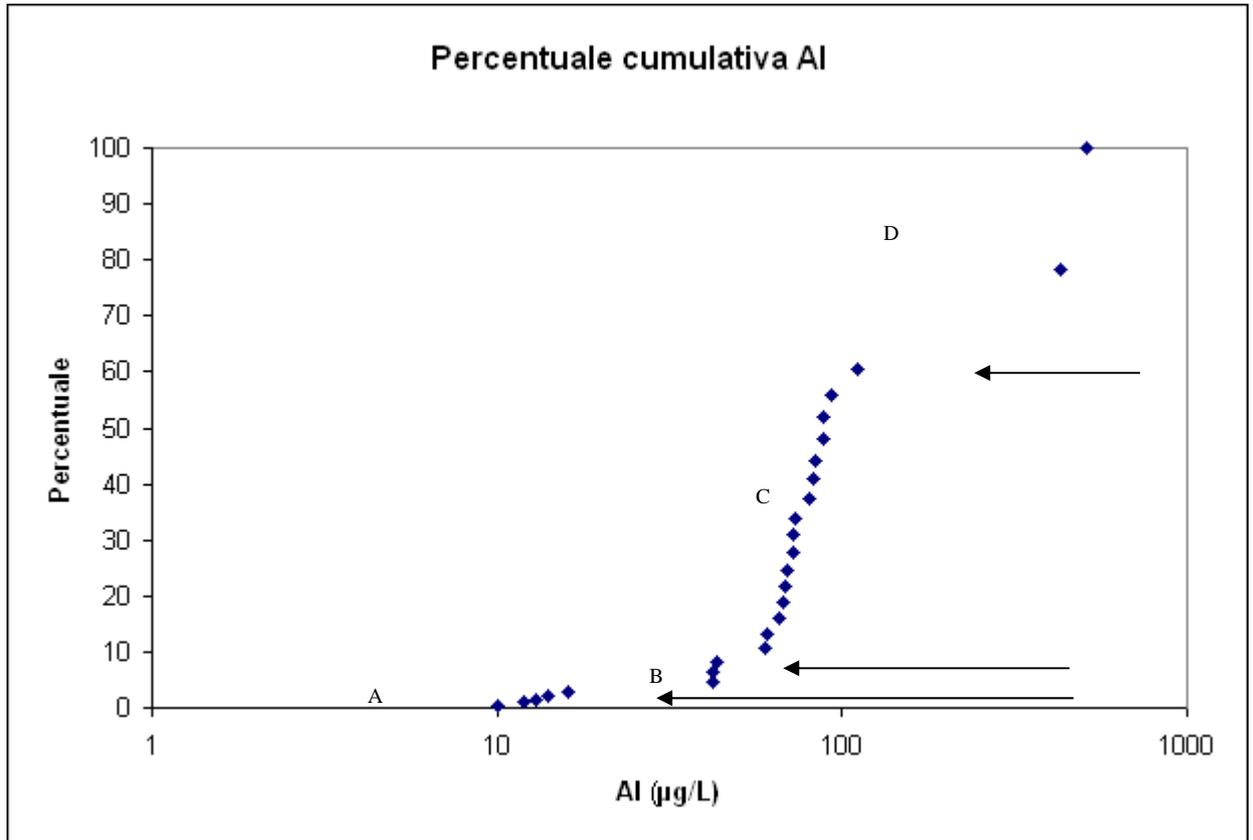


### Concentrazione Alluminio ( $\mu\text{g/L}$ )



Notiamo come i maggior valori dell'Alluminio siano in corrispondenza del PP<sub>1</sub> e T<sub>5</sub> della Sogesid, arrivando in quest'ultimo a 511.4 µg/L.

### 3.2. – Diagramma cumulativo



L'andamento del diagramma rivela la presenza di quattro interruzioni riconducibili a quattro classi percentuali di Alluminio.

La A comprende i piezometri profondi siglati (b) di Laguna Azzurra, la B i piezometri T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, La C i piezometri T e Q Sogesid meno che il T<sub>5</sub>, il NPZ 5b, il PO160. La D comprende il PP<sub>1</sub> ed il T<sub>5</sub>.

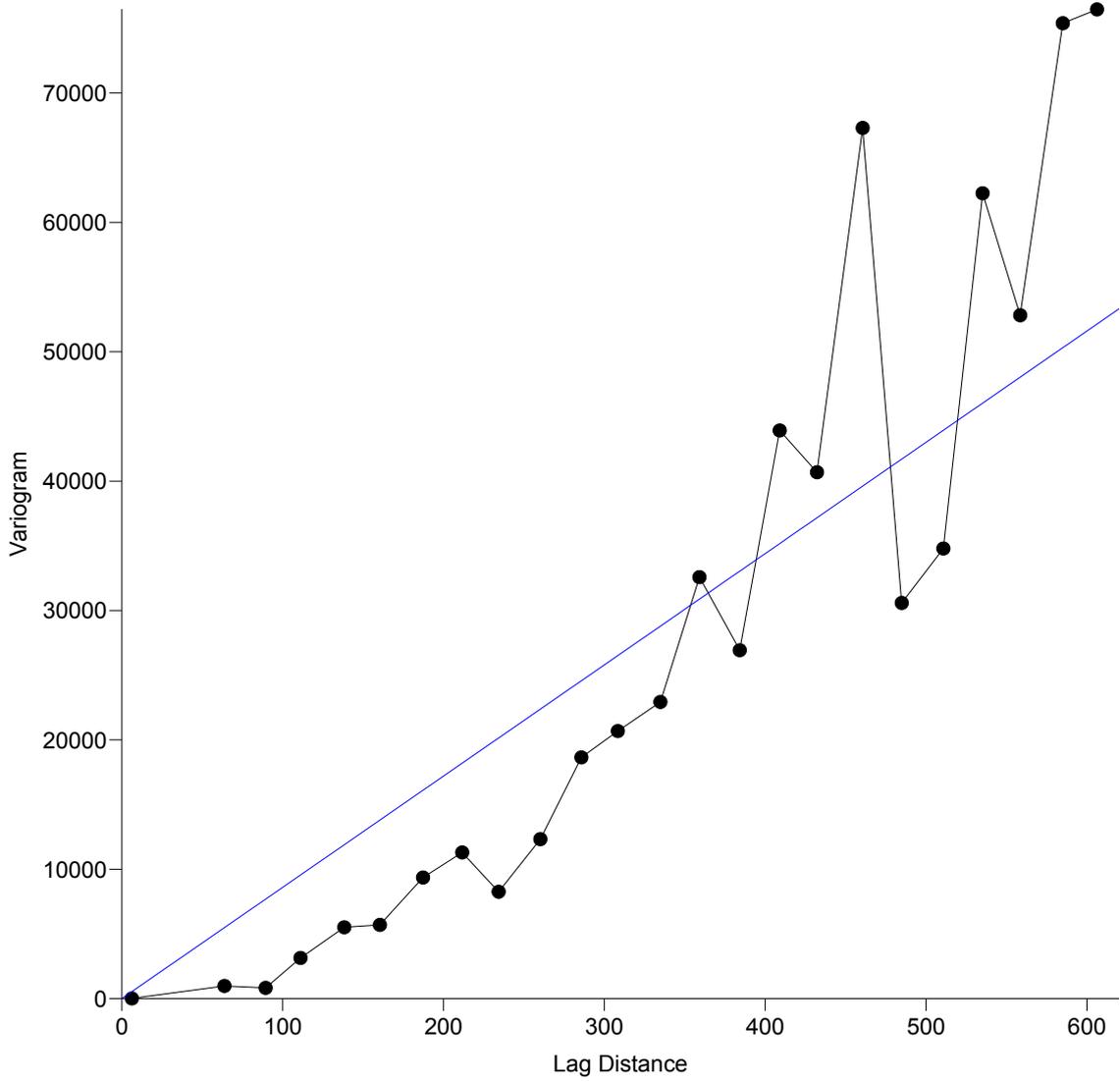
### 3.3. - Arsenico

Di seguito sono riportati i valori dell'analisi:

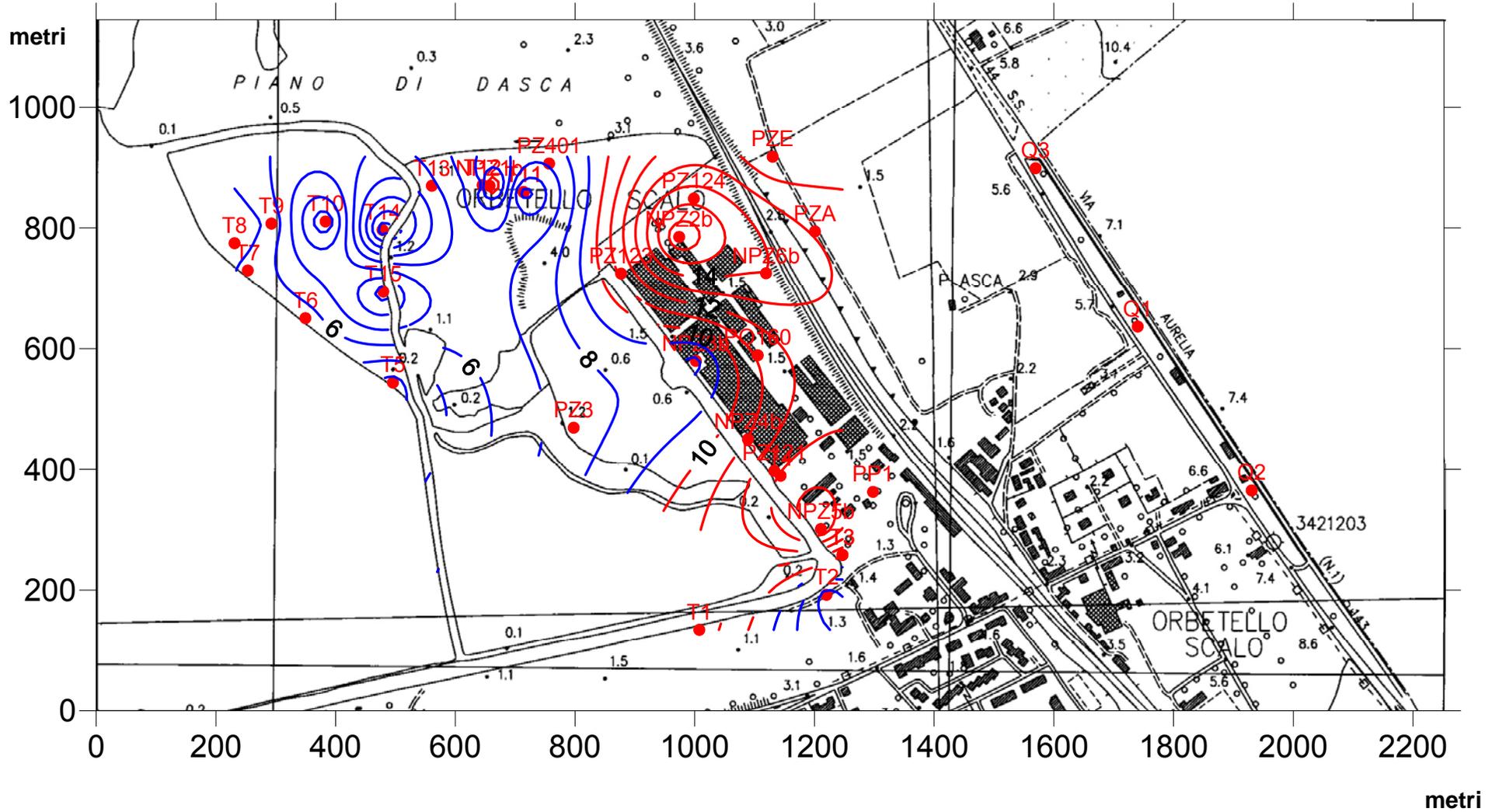
Campione	As µg/L
T14	1.2
NPZ 2a	3.1
T5	3.6
T11	4.4
T8	4.4
T9	5.2
T6	5.4
T7	5.4
T13	5.8
T2	6.5
NPZ 3b	7.7
T12	7.8
Osa	8
T15	9.6
T10	10
T3	10
NPZ 4b	11
PZE	11
T1	11.6
NPZ 1b	12
T4	13.1
NPZ 6b	14
NPZ 5b	15
NPZ 2b	17
NPZ 1a	18

Il seguente variogramma rivela che possiamo adottare il metodo di Kriging per valutare la distribuzione dell'Arsenico.

Column C  
Direction: 0.0 Tolerance: 90.0

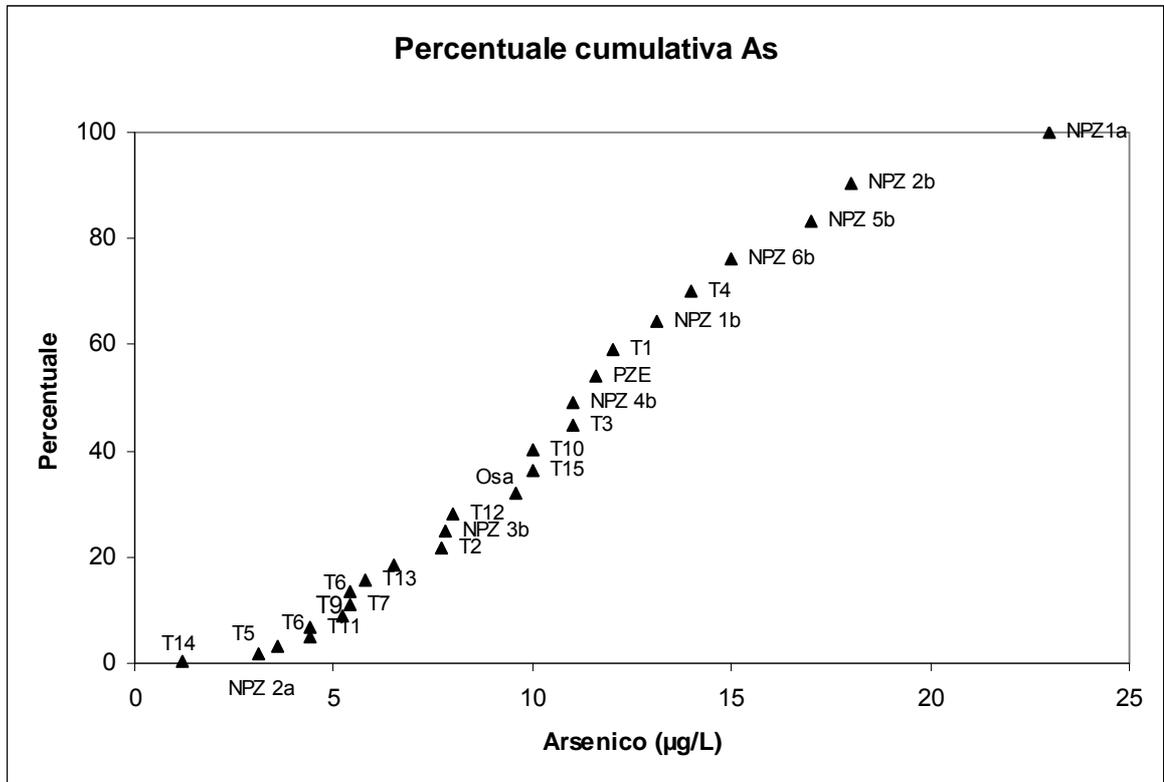


### Concentrazione As ( $\mu\text{g/L}$ )



Si nota come la maggior concentrazione di Arsenico sia in corrispondenza dei piezometri profondi (b) di Laguna Azzurra e di T<sub>1</sub> e T<sub>4</sub> Sogesid

### 3.4. – Diagramma cumulativo



Il grafico non mostra significative interruzioni tali da giustificare una divisione in popolazioni diverse.

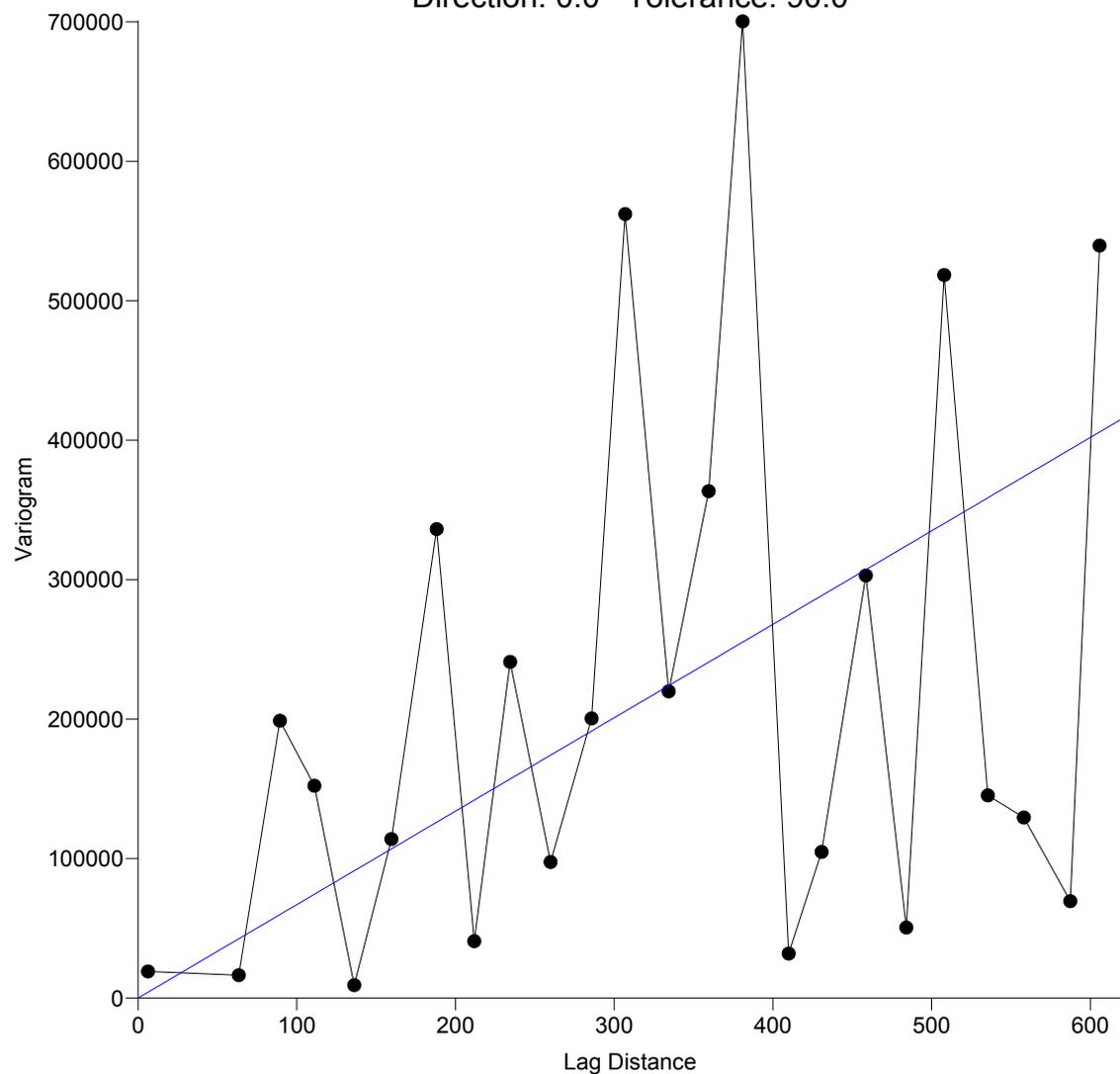
### 3.5. – Manganese

Di seguito sono riportati i valori dell'analisi:

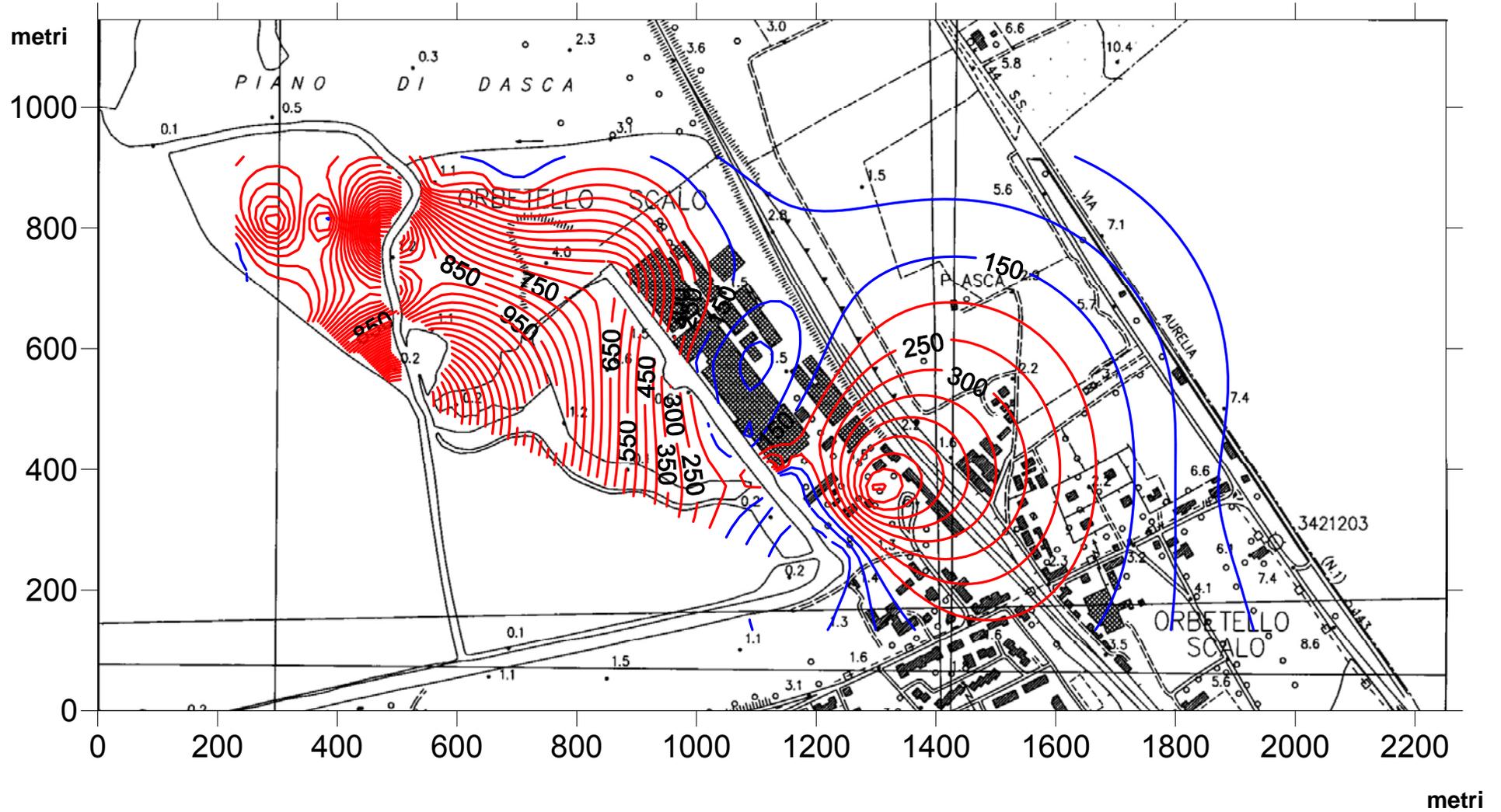
Campione	Mn
	µg/l
PO 160	5.62
Q2	10.36
T3	18.4
T4	27.33
PO 160	28
NPZ 4b	33
T2	36.66
Osa	40
NPZ 5b	58
PZE	77
T1	90.54
T10	91.75
PZA	110
NPZ 6b	121
NPZ 4a	124
T8	127.2
NPZ 3b	138
PZ401	155
T6	155
T7	155
T11	185.2
NPZ 1b	192
NPZ 2b	224
T13	224.4
NPZ 5a	243
NPZ 6a	243
T12	261.1
PZ121	412
T15	442.8
PP1	638.7
T9	641.5
PZ123	651
NPZ 3a	803
T14	1450
NPZ 2a	1610
T5	2055
NPZ 1a	13875
PZ3	27850
PZ124	43250

Il seguente variogramma rivela che possiamo adottare il metodo di Kriging per valutare la distribuzione dell'Arsenico.

Column D  
Direction: 0.0 Tolerance: 90.0

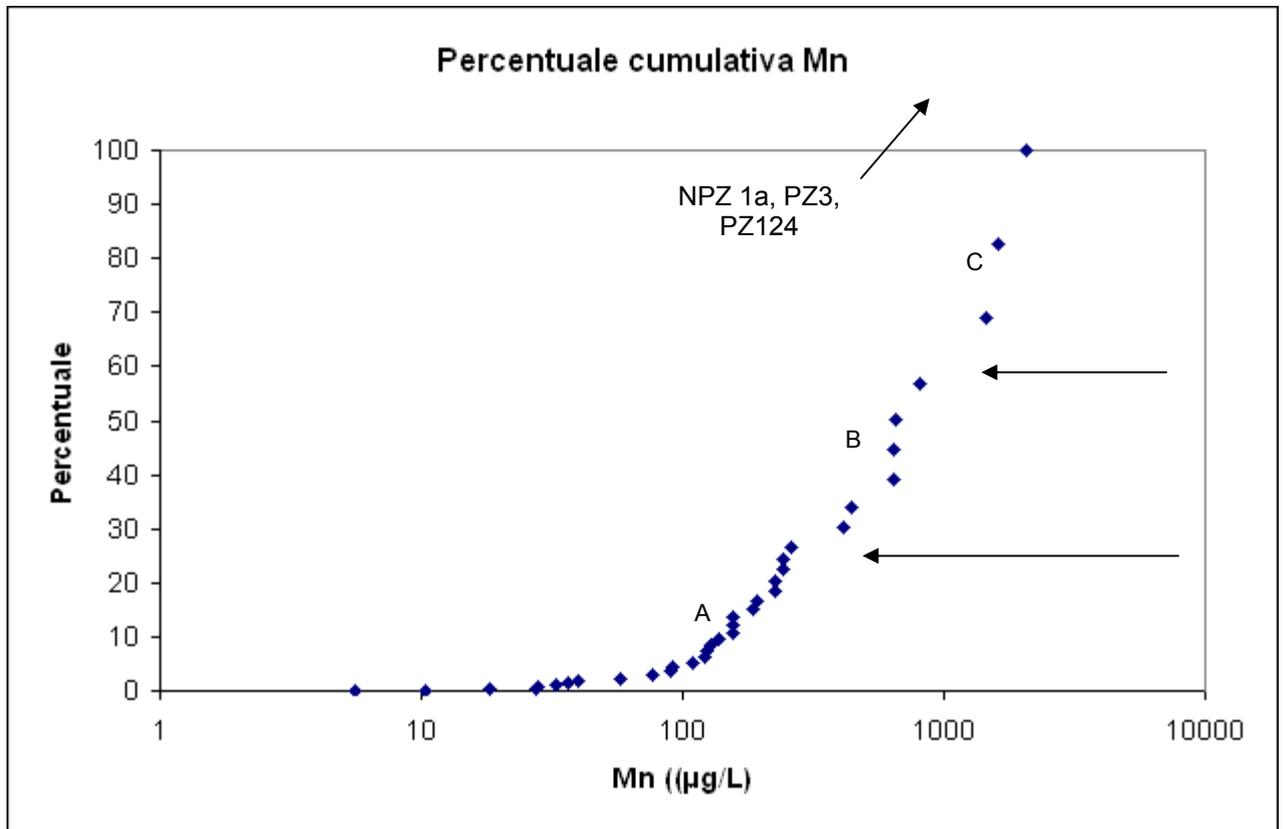


### Concentrazioni Manganese ( $\mu\text{g/L}$ )



Le aree a isolinee rosse racchiudono le zone con forti valori di manganese. Il PP1 Sogesid ha 638.7  $\mu\text{g/L}$ . Valori alti hanno gran parte dei piezometri profondi (b) di Laguna Azzurra e tutti i piezometri T di Pian D'Asca.

### 3.6. – Diagramma cumulativo



La popolazione dei valori del manganese si può suddividere in quattro gruppi. Gruppo A che comprende la maggior parte dei valori. Gruppo B comprendente il PZ121, T<sub>15</sub>, PP<sub>1</sub>, T<sub>9</sub>, PZ123, NPZ 3a. Gruppo C comprendente il T<sub>14</sub>, PZ<sub>3</sub> e PZ124. Sul grafico con la freccia sono riportati gli outliers.

### 3.7. - Ferro

Il ferro non è trattabile con metodi geostatistici poiché il variogramma è piatto e quindi la sua distribuzione estremamente casuale.

#### 4. – MODELLO IDROGEOLOGICO E IDROGEOCHIMICO

In Fig. 2 (Allegati) è riportata una sezione schematica, spinta fino alla Formazione del calcare cavernoso, che va da Pian d'Asca fino alla S.S. 1 Aurelia, passando per il pozzo fluente PO160 nell'area ex Sitoco. Soprastante il cavernoso è presente un detrito di versante che si è formato anche dopo le fasi regressive della sedimentazione marina, come rivela anche il sondaggio profondo PP<sub>1</sub>. La successione dei terreni dal cavernoso fino alla superficie è data da argille, argille limose e argille sabbiose etero piche con sabbie, sabbie limose, sabbie argillose e limi. Dal punto di vista idrogeologico siamo in presenza di falde multistrato. Di nostro interesse diretto sono:

- Prima falda: costituita da argille, argille sabbiose, limi e sabbie fini argillose. Ha una profondità anche di circa 10 metri. I sondaggi D Sogesid, spinti fino a 10 metri, hanno rivelato un coefficiente di permeabilità variabile nell'ordine da  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  m/s. I piezometri siglati (a) di Laguna Azzurra, eseguiti nella parte privata, dopo il loro prosciugamento non hanno rivelato una risalita significativa, tranne che per il NPZ4a. Tale aspetto conferisce alla prima falda sotto l'area ex Sitoco la caratteristica di un aquicludo, cioè di un acquifero che può contenere acqua ma il cui movimento è limitatissimo per non dire quasi nullo.
- Seconda falda: è costituita da sabbie, sabbie fini, sabbie argillose e livelli di argille e limi. È stata investigata fino ad oltre 30 metri di profondità. I piezometri (b) di Laguna azzurra sono posizionati nella seconda falda. Ha una trasmissività variabile da  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s ed un coefficiente di permeabilità variabile da  $10^{-5}$  a  $10^{-7}$  m/s.

Per quanto riguarda il chimismo delle acque che sono presenti nell'area abbiamo:

1. Acque clorurate: di infiltrazione marina, che come abbiamo visto precedentemente danno un cuneo salino nella prima falda, mentre per le percentuali di mescolamento il cuneo nella seconda falda è arretrato verso il mare probabilmente a causa dell'apporto di acque bicarbonate da monte.
2. Acque bicarbonate: di infiltrazione meteorica nel calcare cavernoso, poi defluenti nel detrito di falda e quindi nelle sabbie della seconda falda.
3. Acque clorurato solfate: di origine profonda originatesi dall'infiltrazione al largo dentro il calcare cavernoso ed al cui interno acquistano una certa termalità ed i solfati che in queste acque sono maggiori che nell'acqua di mare. Il pozzo PO160 ha anomalia termica ed intercetta queste acque. Il pozzo è fluente.

All'interno della sezione considerata si verificano infine mescolamenti in modo particolare fra le acque clorurate e le acque bicarbonate in varie percentuali ma sempre tali da originare acque clorurato bicarbonate ed acque bicarbonato clorurate. La presenza delle acque clorurato solfate è limitata al pozzo PO160 ed al piezometro profondo PP<sub>1</sub> Sogesid. Non è da escludere però che altri campionamenti mostrino anche in aree limitrofe la presenza di tali acque.

Per quanto riguarda i metalli associati alle facies chimiche, possiamo dire che il manganese è correlabile con le acque solfate, presenti nel cavernoso, e le acque bicarbonate, per quest'ultime come rivela anche l'indice di solubilità della Rodocrosite

(MnCO<sub>3</sub>). Per quanto riguarda tutti gli altri metalli si ritrovano le stesse correlazioni delle zone in cui sono presenti mineralizzazioni a solfuri misti tipici della Toscana metallifera.

Orbetello 6.9.2009

## **Bibliografia**

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI GROSSETO (1975) - *Risorse idriche del territorio provinciale di Grosseto: proposte per un piano di approvvigionamento idropotabile della Maremma*. Relazione inedita a cura di Geotecno (Firenze).

ANGELINI A., BARAZZUOLI P., CUCINI S., MOCENNI B., RENAI I., RIGATI R. & SALLEOLINI M. (2000) - *Idrogeologia della bassa valle dei fiumi Osa e Albegna (Toscana meridionale)*. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed., Bologna, 7 (3), 5-21.

ARPAT-CNR (1999) - *Relazione finale sulla presenza di mercurio nelle acque sotterranee di alcune zone del grossetano*. Relazione inedita a cura dell'ARPAT di Grosseto e dell'IIRG (CNR) di Pisa.

ARSIA (2005) - *Studio idrogeologico finalizzato alla simulazione degli effetti dell'emungimento delle acque sotterranee da parte degli allevamenti ittici dell'area orbetellana e di Ansedonia. Relazione finale: Voll. A e B*. Relazione inedita a cura dell'Università degli Studi di Siena e della Giano Ambiente s.r.l. (Grosseto), responsabile dello studio: Prof. M. Salleolini (Dipartimento di Scienze della Terra).

AVIO C.M., BIANCHI S. & MARCHETTI M. (1995) - *Prima valutazione del chimismo delle acque della pianura di Follonica e di Scarlino e dei rilievi contermini (Provincia di Grosseto)*. Geologia Tecnica & Ambientale, 3/1995, 45-56.

BARAZZUOLI P., BIANCHI S., NOCCHI M., RIGATI R. & SALLEOLINI M. (2007) - *Studio idrogeologico della pianura costiera di Follonica-Scarlino (Toscana meridionale)*. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed., Bologna, 13(1),

BEAR J., CHENG A.H.D., SOREK S., OUAZAR D. & HERRERA I. (1999) - *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers - Concepts, Methods and Practices*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 625 pp.

BENCINI A. & PRANZINI G. (1992) - *The salinization of groundwater in Grosseto Plain (Tuscany)*. In: "Custodio E. & Galofré A. (eds.), Proc. SWIM 92", 1-6 November, Barcellona, 161-175.

BENCINI A. & PRANZINI G. (1996) - *Groundwater salinization in Southern Tuscany (Italy)*. Proceedings of the 14th Salt Water Intrusion Meeting, Uppsala, Report n. 87, Geological Survey of Sweden, 261-270.

BENCINI A., GIMENEZ FORCADA G. & PRANZINI G. (2001) - *Salinization in coastal plain of Grosseto: hydrochemical study*. Proceedings of the Water Rock Interaction (WRI-10) International Congress, Cagliari, June 2001, 517-520.

BENVENUTI G., BRONDI M., DALL'AGLIO M., DA ROIT R., DE CASSAN P., GHIARA E., GIGLI C., MARINELLI G., MARTINI M., GRAGNANI R., ORLANDI C. & PAGANIN G. (1971) - *L'idrologia*. In: "La Toscana Meridionale: fondamenti geologico-minerari per una prospettiva di valorizzazione delle risorse naturali", Rend. S.I.M.P., 27 (fasc. spec.), 211-316.

BIANCHI S. & FANCIULLETTI F. (2000) - *Indagine geologica, idrogeologica e idrogeochimica per la bonifica delle Terme dell'Osa (Comune di Orbetello - Prov. Grosseto)*. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 2/2000, 23-32.

BIANCHI S., FANCIULLETTI F. & MASOTTI A. (1997) - *Prima valutazione del chimismo delle acque delle Colline Metallifere. Comuni di Follonica, Massa M.ma, Scarlino, Gavorrano, Monterotondo M.mo, Pontieri (provincia di Grosseto)*. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 2/1997, 45-61.

BIANCHI S., BISERNI G., NOCCHI M., PIZZETTI E., PROTANO G., SALLEOLINI M. & SANDRELLI F. (2006a) - *L'intrusione salina nella zona di Orbetello-Ansedonia*. *Etrurianatura*, 2007, 51-64. BIANCHI S., BISERNI G., NOCCHI M., PIZZETTI E., PROTANO G., SALLEOLINI M. & SANDRELLI F. (2006b) - *Ansedonia: simulazione degli effetti dell'emungimento delle acque sotterranee*. *Periodico Trimestrale dell'Ordine dei Geologi della Toscana "Il Geologo"*, 64 (Giugno 2006), 5-12.

BIANCHI S., BISERNI G., FANCIULLETTI F., FOCARDI S., MARCHETTI M.R., NOCCHI M., PIZZETTI E., PROTANO G., SALLEOLINI M. & SANDRELLI F. (2006c) - *Studio idrogeologico finalizzato alla simulazione degli effetti dell'emungimento delle acque sotterranee da parte degli allevamenti ittici dell'area orbetellana e di Ansedonia*. In: "La Laguna di Orbetello: studi, ricerche, criteri e modalità di intervento in quattro anni di gestione commissariale 2003-2006", Presidenza del Consiglio dei Ministri, ColorDeSoli, Follonica (GR), 167-176.

COMUNE DI CAPALBIO (1981) - *Ricerca geologica per il rifornimento idropotabile nell'ambito del Comune di Capalbio*. Relazione inedita a cura del Dott. Geol. Stefano Bianchi.

COMUNE DI MONTE ARGENTARIO (1998) - *Studio geochimico delle acque di Monte Argentario*. Relazione inedita a cura di AA.VV. (Università degli Studi di Cagliari e di Torino).

COSA S.R.L. (2006) - *Realizzazione di un nuovo pozzo nella proprietà della Società Cosa. Tecnica costruttiva, prova di pompaggio, analisi delle acque. Considerazioni idrogeologiche e geochimiche*. Relazione inedita a cura del Dott. Geol. Stefano Bianchi.

CUSTODIO E. & BRUGGEMANN G.A. (1987) - *Groundwater Problems in Coastal Aquifers*. UNESCO, ISBN 92-3-102415-9.

CUSTODIO E. & GALOFRÉ A. (eds) (1993) - *Study and modelling of saltwater intrusion into aquifers*. Proceedings of the 12th Salt Water Intrusion Meeting, Barcelona, November 1992.

CUSTODIO E. & LLAMAS M.R. (2007) - *Idrologia sotterranea*. Vol. II, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1101 pp.

FANELLI M., BELLUCCI L. & NACHIRA F. (1982) - *Manifestazioni idrotermali italiane*. CNR-PFE, SPEG, RF 13, Roma, 191 pp.

GRASSI S. & NETTI R. (1999) - *Contaminazione da mercurio di falde idriche in provincia di Grosseto*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III millennio, Parma, 13-15 ottobre 1999, Pitagora Ed., 3.321-3.327.

GRASSI S. & NETTI R. (2000) - *Sea water intrusion and mercury pollution of some coastal aquifers in the province of Grosseto (Southern Tuscany, Italy)*. Journal of Hydrology, 237, 198-211.

ITTIMA S.R.L. (2006) - *Relazione tecnica per la realizzazione di un nuovo pozzo a servizio dell'impianto di itticoltura della Società Ittima di Ansedonia*. Relazione inedita a cura del Dott. Geol. Stefano Bianchi.

ITTIMA S.R.L. (2008) - *Realizzazione di un nuovo pozzo nella proprietà della Società Ittima in sostituzione del pozzo n. 2. Tecnica costruttiva, prova di pompaggio, analisi delle acque. Considerazioni idrogeologiche e geochimiche*. Relazione inedita a cura del Dott. Geol. Stefano Bianchi.

MARCACCINI P. (1964) - *Osservazioni geologiche sulle colline di Poggio del Leccio presso Orbetello (Grosseto)*. Boll. Soc. Geo. It., 83, 157-166.

MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'Arcipelago di Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., 102, 419-556.

NOCCHI M. (2002) - *Modélisation numérique de la plaine côtière de la rivière Albegna (Toscana meridionale - Italia)*. Diplôme de spécialisation en hydrogéologie, Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel, 76 pp.

NOCCHI M. (2004) - *Modellizzazione numerica del sistema acquifero della pianura del fiume Albegna (Toscana meridionale)*. Tesi di Dottorato di Ricerca in "Difesa del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica", Consorzio Universitario tra le Università degli Studi di Cagliari e Siena (XVI ciclo), 139 pp.

NOCCHI M. & SALLEOLINI M. (2007) - *Ansedonia: simulazione degli effetti dell'emungimento delle acque sotterranee (seconda parte)*. Periodico Trimestrale dell'Ordine dei Geologi della Toscana "Il Geologo", 67 (marzo 2007), 2-7.

PRANZINI G. (1987) - *Degradazione della qualità e della potenzialità di alcune falde idriche della Toscana*. Atti del I Congresso Internazionale di Geoidrologia su: L'antropizzazione e la degradazione dell'ambiente fisico, Firenze, 2-6 dicembre 1987, 495-510.

PROTANO G., RICCOBONO F. & SABATINI G. (2000) - *Does salt water intrusion constitute a mercury contamination risk for coastal fresh water aquifers?* Environmental Pollution, 110 (3), 451-458.

REGIONE TOSCANA - DIPARTIMENTO AGRICOLTURA E FORESTE (1995) - *Studio della salinizzazione delle acque di sottosuolo dell'area costiera tra Castiglione della Pescaia e Orbetello: relazione conclusiva*. Relazione inedita a cura del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze (Responsabile dello studio: Prof. G. Pranzini).

REGIONE TOSCANA - GIUNTA REGIONALE (2003) - *Acquisizione del quadro conoscitivo relativo alla qualità delle acque superficiali ed a specifica destinazione, ai sensi del D.Lgs 152/99 e successive modificazioni. Attuazione della delibera di Giunta Regionale n. 101/2003 (Direttive all'A.R.P. A.T. per l'attività negli anni 2003-04-05)*.

Deliberazione n. 225 del 10 marzo 2003, Supplemento al Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 14 del 2/4/2003.

REGIONE TOSCANA - CONSIGLIO REGIONALE (2005) - *Approvazione del piano di tutela delle acque -Articolo 44 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 (Disposizioni sulla tutela delle acque all'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole)*. Deliberazione n. 6 del 25 gennaio 2005, Supplemento al Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n. 9 del 2/3/2005.

TOZZI M. & ZANCHI A. (1987) - *Evoluzione paleogeografica e strutturale recente del bacino del fiume Albegna*. Geologica Romana, 26, 305-325.

VIGHI L. (1958) - *Sulla serie triassica "cavernoso-Verrucano" presso Capalbio (Orbetello-Toscana) e sulla brecciatura tettonica delle serie evaporitiche, "rocce madri" del cavernoso*. Boll. Soc. Geo. It., 77 (1), 221-235.

WANG H. F. & ANDERSON M. P. (1982) - *Introduction to Groundwater Modeling. Finite Difference and Finite Element Methods*. Freeman, New York, 237 pp.

ZAVATTI A. (1988) - *Organizzazione dei controlli e delle analisi della qualità delle acque sotterranee*. In: "Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee", Ed. Geo-Graph, Segrate (Milano), 193-246.

ZUPPI G.M. & BORTOLAMI G. (1983) - *Hydrogeology: a privileged field for environmental stable isotopic applications, some Italian examples*. Rend. Soc. Ital. Miner. Petr., 38 (3), 1197-1212.

ALLEGATI