



EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL
Joint Research Centre



MONITORAGGIO AMBIENTALE DI UN'AREA CONTAMINATA NELLA PROVINCIA DI PAVIA

Editorial Board

R.M. Cenci and F. Sena



Institute for Environment and Sustainability

2007

EUR 22762 IT

The mission of the Institute for Environment and Sustainability is to provide scientific-technical support to the European Union's Policies for the protection and sustainable development of the European and global environment.

European Commission
Joint Research Centre
Institute for Environment and Sustainability
I – 21020 Ispra (VA)

Contact information
Address: F. Sena – TP 300
Rural, Water and Ecosystem Resources Unit
E-mail: fabrizio.sena@jrc.it
Tel.: +39 0332 785399
Fax: +39 0332 789352

Address: R.M. Cenci – TP 280
Land Management and Natural Hazards Unit
E-mail: roberto.cenci@jrc.it
Tel.: +39 0332 789771
Fax: +39 0332 786394

<http://ies.jrc.ec.europa.eu>
<http://www.jrc.ec.europa.eu>

Legal Notice

Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

A great deal of additional information on the European Union is available on the Internet. It can be accessed through the Europa server

<http://europa.eu.int>

EUR 22762 IT

ISBN 978-92-79-05652-9

ISSN 1018-5593

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

© European Communities, 2007

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged

Printed in Italy

© European Communities, 2007

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged

Printed in Italy

Autori:

R.M. Cenci, F. Sena, A. Benedetti*, G.M. Beone, E. Christoph, S. Contini,
G. Locoro, G. Mariani, A. S. Mellina*, L. Montanarella, L. Pompili*, H. Skejo,
S. Spalla**, E. Sobiecka, G. Umlauf, S. Vaccaro**

Commissione Europea Centro Comune di Ricerca di Ispra
Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità
Unità Gestione del Territorio e Rischi Naturali,
Unità Risorse Rurali, Acquatiche ed Ecosistemi
21020 Ispra (VA)

*C.R.A. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura
Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante
Via della Navicella, 2/4
00184 Roma

**Istituto di Chimica Agraria ed Ambientale
Università Cattolica del Sacro Cuore
Via Emilia Parmense, 84
29100 Piacenza

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i colleghi della Provincia di Pavia per il supporto e l'aiuto che ci hanno fornito, ed in special modo **Walter Gaullio**, per la sua estrema disponibilità e la sua preziosa collaborazione.

MONITORAGGIO AMBIENTALE DI UN'AREA CONTAMINATA NELLA PROVINCIA DI PAVIA

Editorial Board: **Roberto M. Cenci and Fabrizio Sena**

Institute for Environment and Sustainability

2007



EUROPEAN COMMISSION
JOINT RESEARCH CENTRE

Prefazione

L'amministrazione della Provincia di Pavia ha commissionato al Centro Comune di Ricerca di Ispra della Commissione Europea un progetto di monitoraggio con lo scopo di valutare la qualità dei suoli pavesi.

Tale progetto denominato Progetto Pavia ha visto l'impiego di metodiche innovative e per la prima volta sono stati presi in considerazione gli aspetti chimici, fisici e biologici relativi ai suoli.

I dati ottenuti dal Progetto Pavia rappresentano uno schedario completo sullo stato di salute dei suoli pavesi, servono e serviranno per una corretta gestione dell'ambiente atta a salvaguardare la salute del cittadino. Lo studio ha permesso inoltre l'identificazione di un'area "anomala" per i suoi livelli di concentrazione di metalli pesanti e diossine.

Questo studio ha avuto come scopo di identificare l'estensione dell'area interessata dai metalli pesanti e diossine, valutarne il livello di concentrazione e la loro potenziale pericolosità.

Come cittadino esprimo un senso di ringraziamento agli Amministratori della Provincia di Pavia per avere voluto il Progetto Pavia quale esempio di buona gestione del patrimonio pubblico.

Sono certo che gli amministratori sapranno fare tesoro dei risultati di questo rapporto provvedendo al ripristino dell'area contaminata.

Dr. Guido Schmuck

Capo Unità Gestione del Territorio e Rischi Naturali

INDICE

<i>Riassunto</i>	13
<i>Introduzione</i>	15
<i>Scopo dell'indagine</i>	15
<i>Materiali e metodi</i>	15
<i>Preparazione, trattamento dei campioni di suolo per analisi di metalli pesanti, diossine e furani</i>	15
<i>Vedute e descrizione area contaminata PS 4</i>	18
<i>Localizzazione area PS 4</i>	20
<i>Metodiche analitiche utilizzate</i>	21
<i>Qualità del dato analitico</i>	21
<i>Discussione dei risultati</i>	21
<i>Conclusioni</i>	40
<i>Bibliografia</i>	41

Appendice: Studio di indicatori della sostanza organica e della biomassa microbica su campioni di suolo della Provincia di Pavia

43

RIASSUNTO

Lo scopo di tale indagine è stato quello di valutare l'estensione e l'entità di contaminanti presenti nei suoli superficiali a suo tempo riscontrati mediante il Progetto Pavia.

Il monitoraggio ambientale ha interessato un'area di circa 12 ettari situata nel comune di Carpiano.

Complessivamente sono state identificate 33 aree di campionamento dove sono stati prelevati campioni di suolo sino alla profondità di 30 cm.

In ciascun campione di suolo, dopo adeguati trattamenti, è stata valutata la concentrazione di metalli pesanti, metalloidi, macroelementi, sostanza organica, pH, densità apparente, contenuto d'acqua.

In alcuni campioni, precisamente 11, si è analizzata la concentrazione di diossine e furani e si è approntato uno studio che ha visto l'utilizzo dei batteri e dei loro prodotti.

Lo studio condotto attraverso l'uso dei batteri ha evidenziato anomalie in alcuni punti ad elevata contaminazione.

I risultati analitici ottenuti hanno identificato la presenza di una importante contaminazione di metalli pesanti, metalloidi, diossine e furani che interessa un'area di alcuni ettari. Tale livello di contaminazione, per la presenza di sostanza organica e per valori ridotti di acidità dei suoli stessi, potrà arrecare danni ingenti all'ambiente.

Parole chiave: area contaminata, batteri, metalli pesanti, diossine, carbonio organico

Introduzione

Il Contratto Pavia (numero 21827 del 2004) ha visto la sua conclusione con la consegna del Rapporto finale, avvenuta nel mese di dicembre 2005 e con la pubblicazione dei dati ottenuti in un Rapporto validato dalla Commissione Europea (EUR Report numero 22132 IT) pubblicato nel mese di Marzo 2006. Successivamente, nel mese di Febbraio 2007, è stato consegnato il secondo rapporto (EUR Report numero 22132/2 IT) contenente i dati mancanti.

Nei lavoro presentato i suoli della provincia di Pavia sono stati al centro di una indagine biologica, fisica e chimica allo scopo di ottenere una dettagliata valutazione della loro "qualità". Sono state utilizzate metodiche internazionali standard per l'identificazione dei punti di campionamento, la raccolta ed il trattamento dei campioni. Utilizzando la Rete Land Use Cover Area From Statistical Survey (LUCAS) (Eurostat, 2003) sono state identificate complessivamente 157 aree. In ciascun punto veniva raccolto un campione di suolo avente spessore 0-30 cm e un campione di muschio che è servito ad integrare le informazioni ottenute dal suolo e completarne lo studio.

Le analisi bio-chimico-fisiche eseguite sui campioni di suolo sono state le seguenti:

metalli pesanti e metalloidi (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti e Zn), macro elementi (Si, Al, Ca, K, Fe, Mg e Na), nutrienti (C tot, Corg, H, N e P), diossine e furani, pH, ritenzione idrica, profilo podologico, batteri.

Le analisi effettuate sui campioni di muschio hanno portato a determinare le concentrazioni di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Pt e Rh.

Scopo dell'indagine

Da tutte le informazioni chimiche, fisiche e biologiche ottenute nel monitoraggio ambientale, alcuni valori relativi ai metalli pesanti, metalloidi e diossine sono apparsi significativamente più elevati dei valori medi riscontrati su tutto il territorio pavese.

L'area che presentava tali anomalie si trova nel comune di Carpiano e corrisponde al Punto Secondario 4 (PS4) (AA.VV., 2006; AA.VV., 2007).

Le informazioni relative alla descrizione dell'area PS4 sono riportate in *figura 1*.

Una prima indagine è stata approntata nel mese di Aprile 2005; i risultati hanno confermato quanto precedentemente riscontrato.

Visti i valori di concentrazione estremamente elevati e anomali si è deciso di intraprendere uno studio mirato all'identificazione quantitativa dei contaminanti

inorganici e organici e contemporaneamente stimare l'estensione della contaminazione.

Analisi

Le determinazioni analitiche nei campioni di suolo sono state le seguenti:

- pH, contenuto d'acqua, densità apparente
- Carbonio totale, Carbonio organico, N, P
- Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Si, Ti, Zn
- Diossine, Furani
- Batteri

Per quanto concerne i risultati ottenuti mediante lo studio dei batteri, essi vengono riportati separatamente in un capitolo specifico.

Materiali e metodi

L'area indagata al momento del campionamento presentava residui di coltivazione del mais. Essa ha un'estensione di 12,5 ettari nella quale sono stati disegnati 8 raggi aventi come centro il Punto Secondario 4. Su ciascun raggio si sono posizionati 4 punti di campionamento, a distanza di 50 metri gli uni dagli altri. Complessivamente sono stati scelti 33 punti (*figura 2*). In ciascuno di essi venivano raccolti 5 campioni sino alla profondità di 30 centimetri, in un quadrato avente lato 5 metri (*figura 9*). I 5 campioni erano uniti e omogeneizzati in campo in un'unico campione. In seguito si procedeva alla loro quartatura per la destinazione ai differenti approcci analitici.

Le *figure 3 ÷ 6* sono rappresentative dei quattro punti cardinali attorno al PS4 dove nel mese di Marzo 2006 ha avuto luogo la raccolta di campioni.

Le *figure 7 e 8* rappresentano la cartina topografica e il tipo di utilizzo del suolo dell'area indagata. Nello stesso mese venivano raccolti ulteriori 5 campioni, ciascuno in un'area di 49 m² unendo 25 sottocampioni. La posizione dei punti di campionamento è stata ottenuta utilizzando un modello matematico (Stolbovoy *et al.*, 2006).

La lettiera, radici, sassi e altro materiale grossolano erano rimossi in campo durante le procedure di campionamento.

Preparazione, trattamento dei campioni di suolo per analisi di metalli pesanti, diossine e furani

La procedura ISO 11466 (ISO, 1995) è stata utilizzata per le operazioni di mineralizzazione dei suoli. Si riportano le indicazioni principali effettuate su tutti i

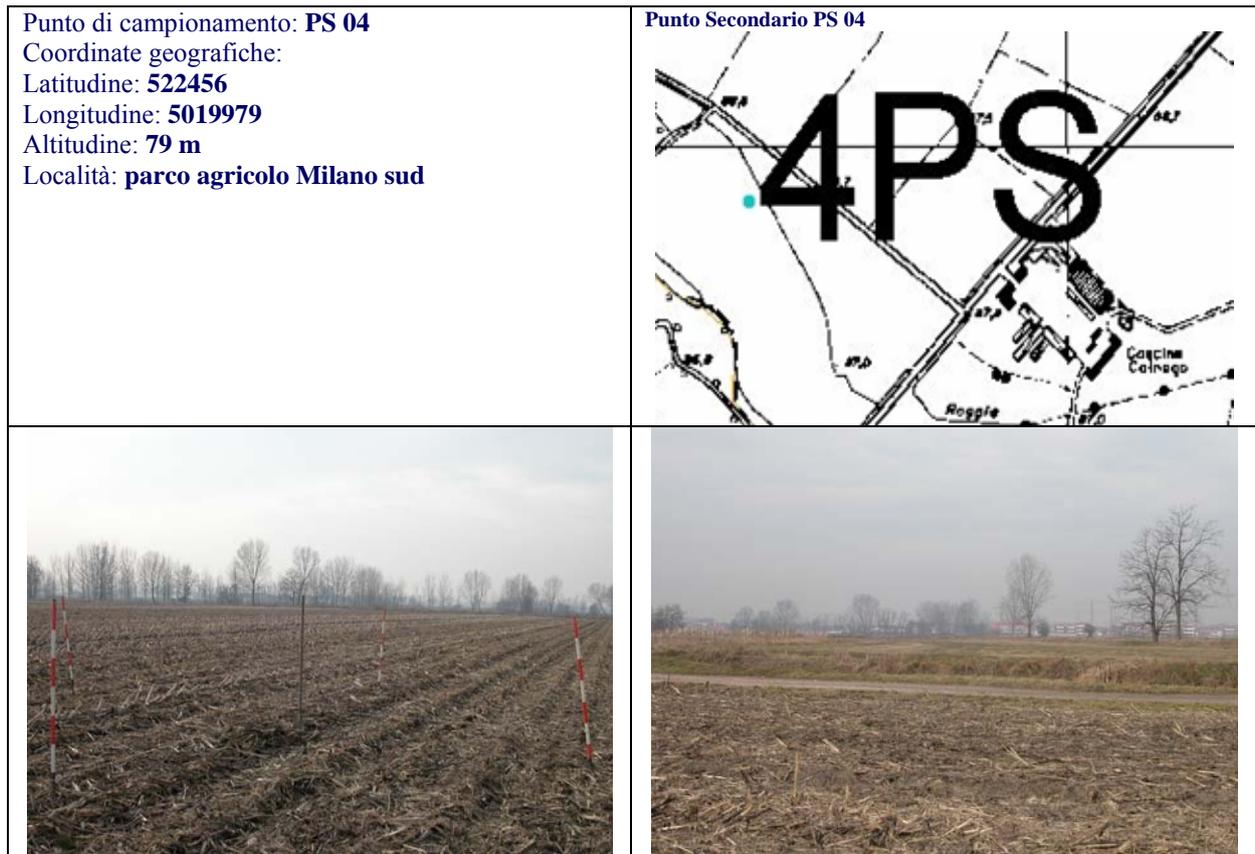


Figure: Mappa scala 1/10.000 (alto dx.), particolare del punto di campionamento (sx.), veduta generale dell'area (dx.)

<p>Note</p> <p>Utilizzo del suolo: ex campo di mais circondato d altri campi</p> <p>Descrizione dell'area:</p> <p>circa 1 Km a N-W: paese di Carpiano circa 2 Km a N: aeroporto circa 200 m a S: fili della luce e strada provinciale circa 400 m a S-E: cascina Calnago</p> <p>Muschio (<i>Brachythecium rutabulum</i> (Hedw.) Bruch & al.)</p> <p>circa 100 m a N dal punto di campionamento del suolo raccolto lungo l'argine dei campi, alla base di una quercia nessuna copertura erbacea</p>

Figura 1. Informazioni relative al Punto Secondario 4

campioni di suolo. Essiccamento del suolo in stufa a 40°C per 48 ore, setacciatura utilizzando un setaccio con maglie di 2 mm, macinazione della frazione inferiore o uguale a 2 mm con mulino e sfere di agata. La granulometria del suolo era inferiore a 125 micron. Nei campioni di suolo dedicati all'analisi delle diossine e furani, l'estrazione è stata fatta mediante Soxhlet per 48 ore utilizzando 300 ml di n-esano/acetone (220/30). Successivamente l'estratto ottenuto è stato sottoposto prima ad un trattamento fortemente acido con acido

solfurico al 98% adsorbito su fase inerte (Extrelut) e successivamente purificato su un sistema automatico (Power-Prep P6, Fluid Management Systems (FMS) Inc., Watertown, MA, USA). Le figure, inerenti la distribuzione spaziale della concentrazione dei parametri considerati, sono state elaborate con il programma Surfer 8.0, e la griglia dei dati è stata ottenuta applicando il metodo geostatistico definito "Kriging" (Isaaks and Srivastava, 1989; Clark and Harper, 2004).

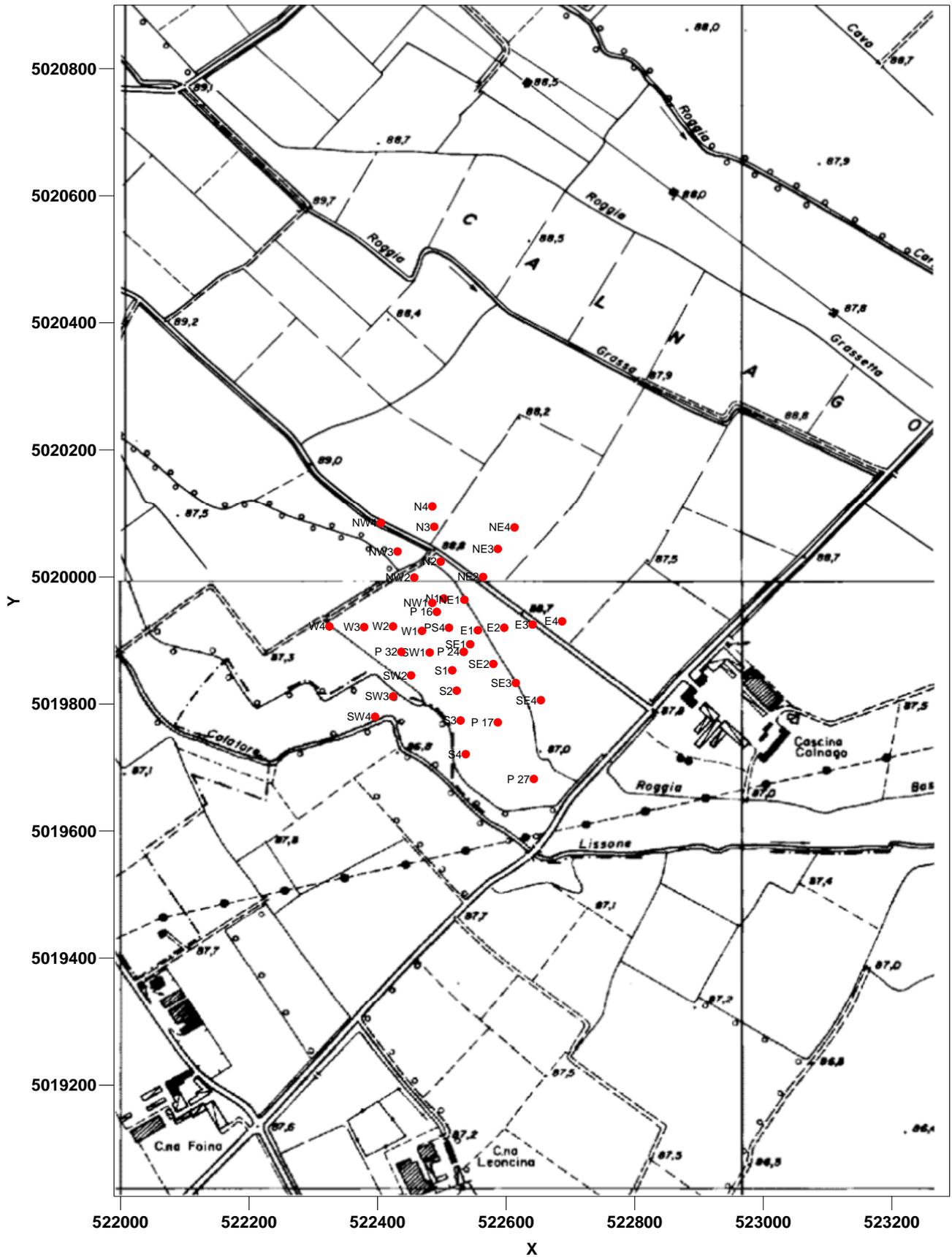


Figura 2. Punti di campionamento



Figura 7. Topografia dell'area

Localizzazione area PS 4

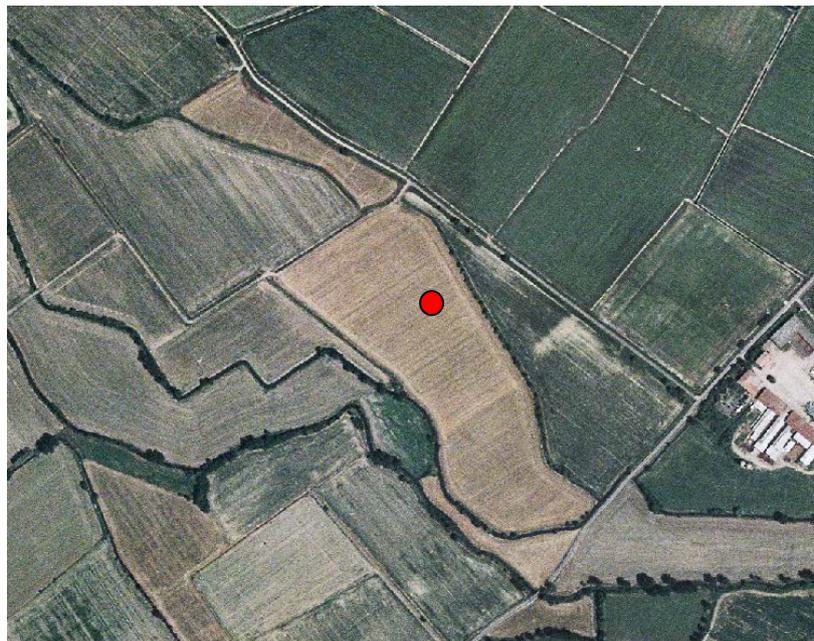
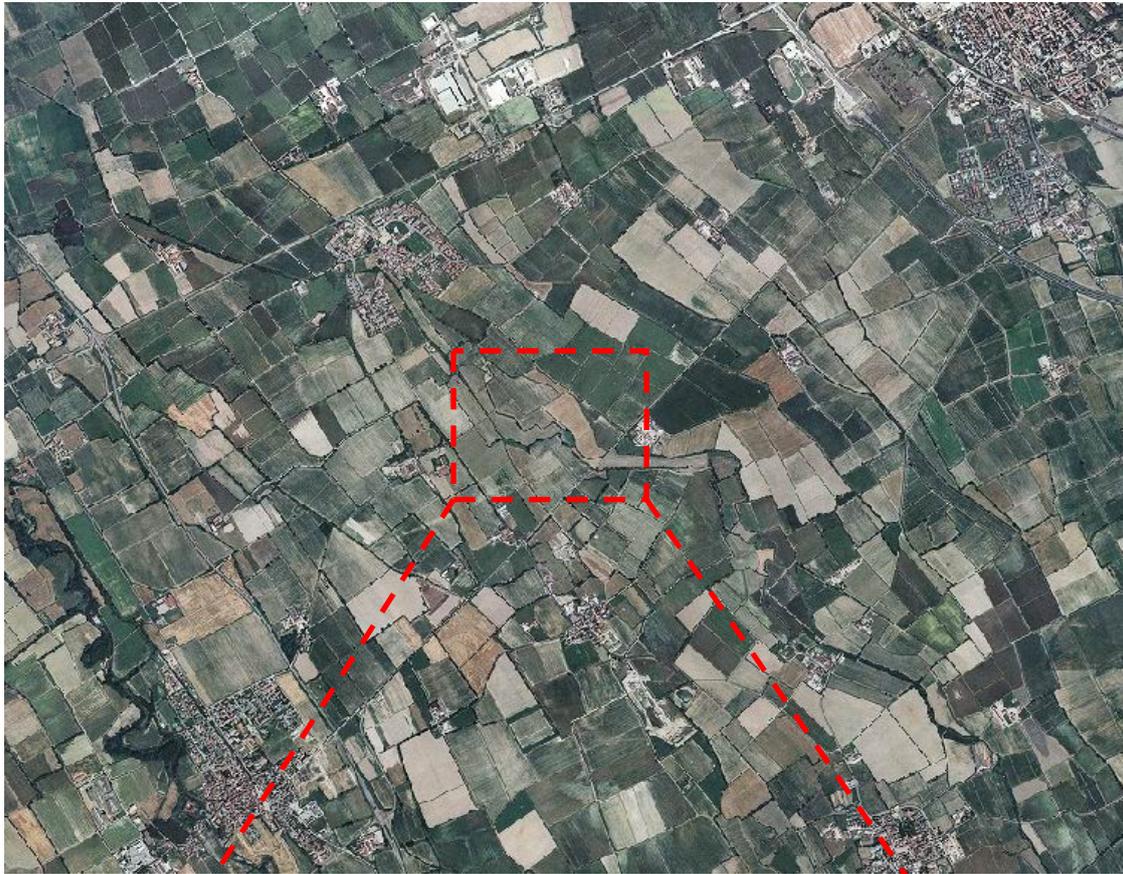


Figura 8. Utilizzo del suolo



Figura 9. Fasi di campionamento nel punto PS4

Metodiche analitiche utilizzate

Nei campioni di suolo, i valori di concentrazione dei metalli pesanti e metalloidi sono stati determinati mediante AAS (Spettrometria di Assorbimento Atomico), ICP-OES (Plasma Ottico) e ICP-MS (Plasma Induttivo applicato alla Massa). I macroelementi sono stati quantificati mediante XRF (Fluorescenza ai Raggi X).

La concentrazione idrogenionica (pH) è stata misurata applicando il metodo ISO 10390, utilizzando un pHmetro e in KCl 2M.

La concentrazione di C e N è stata determinata mediante analizzatore CHN.

Il contenuto in sostanza organica (Carbonio organico) è stato stimato in maniera indiretta determinando la concentrazione di carbonio organico totale [g Corganico / 100 g suolo] mediante il metodo analitico di Springer e Klee (1954), e moltiplicando il valore del TOC % ottenuto, per il coefficiente di Van Bemmelen (1.724). Questo si basa sull'assunzione che la sostanza organica del suolo contenga circa il 58% di carbonio organico.

Il contenuto d'acqua è stato valutato mediante perdita di peso a 105° C dei campioni di suolo. La densità apparente è stata calcolata per semplice pesata di volumi noti di suolo secco.

La concentrazione delle diossine e furani è stata determinata mediante un cromatografo ad alta risoluzione abbinato ad uno spettrometro di massa ad alta risoluzione.

Qualità del dato analitico

Per tutti i parametri presi in considerazione in questo studio, la qualità del dato analitico è stata continuamente controllata utilizzando un numero adeguato di campioni certificati. Si è cercato di utilizzare materiali certificati che avessero una matrice simile a quella dei campioni.

Tutti i valori ottenuti cadevano all'interno dell'intervallo di incertezza specifico per ciascun elemento.

Discussione dei risultati

Le tabelle 1, 2 e 3 riportano le coordinate geografiche, i valori di concentrazione di elementi in tracce, macroelementi, carbonio totale, organico, diossine, furani e i valori del pH in tutti i campioni di suolo.

Nella tabella 1 sono evidenziati in rosso le concentrazioni che superano i valori tabellari del Decreto Legislativo n. 152 del 2006 relativo alla bonifica dei siti contaminati, colonna "A" (suoli ad uso residenziale / verde pubblico) (Italia, 2006). Sono inoltre riportati per una più rapida comprensione i valori tipici dell'area in esame e le concentrazioni medie relative alla provincia di Pavia (AA.VV., 2006).

Tabella 1. Valori di concentrazione di elementi in tracce nel suolo

sito	As µg/g	Cd µg/g	Co µg/g	Cr µg/g	Cu µg/g	Hg µg/g	Mn µg/g	Ni µg/g	Pb µg/g	Zn µg/g
PS 4	35.8	10.55	11.3	136	110	0.94	2001	54.3	248	1536
N 1	38.6	12.96	11.0	150	122	1.00	2276	53.7	285	1703
N 2	44.4	37.02	12.1	278	356	3.17	2007	66.1	874	3537
N 3	8.4	0.82	5.53	39.9	18.4	0.08	206	25.8	20.1	97
N 4	7.3	0.32	5.86	40.5	16.5	0.06	212	24.5	18.9	69
S 1	28.9	6.09	9.90	98	74	0.68	1937	49.5	147	974
S 2	30.2	4.97	11.6	87	71	0.62	2143	49.7	121	791
S 3	34.6	6.09	11.3	124	101	0.94	2115	59.1	163	1050
S 4	38.5	3.61	11.3	100	67	0.55	1770	58.3	98	712
E 1	37.8	6.50	12.4	113	78.1	0.66	2266	58.9	149	1048
E 2	35.5	10.45	11.7	165	131	1.15	2363	58.0	304	1556
E 3	19.2	4.12	9.32	91	58.7	0.45	1168	37.6	115	660
E 4	7.8	0.34	5.28	31.0	17.7	0.09	202	19.9	18.1	63
W 1	34.0	9.46	10.7	130	94	0.84	2394	54.0	213	1474
W 2	29.3	8.05	10.5	106	85	0.77	2132	47.6	187	1224
W 3	30.3	8.05	10.4	126	90	0.83	2041	51.3	191	1222
W 4	26.9	1.55	11.0	86	49.7	0.37	1064	51.9	77	328
SE 1	32.5	6.37	10.8	105	77	0.62	2111	52.1	145	999
SE 2	31.7	4.63	10.4	84	68	0.55	2057	49.5	119	843
SE 3	34.6	6.25	11.9	110	84	0.72	2226	58.5	153	1062
SE 4	31.5	9.58	10.9	149	108	0.95	2165	51.6	258	1481
SW 1	27.0	6.41	9.56	107	84	0.07	1596	49.9	161	1016
SW 2	29.9	6.94	10.6	113	109	1.02	1717	50.5	187	1004
SW 3	28.7	5.06	10.4	116	97	0.78	1550	57.5	147	1090
SW 4	26.0	3.22	10.5	107	75	0.56	1296	56.2	71	728
NE 1	37.6	17.63	10.9	177	160	1.45	2311	56.4	409	2257
NE 2	18.5	9.06	9.32	125	127	1.21	1119	52.1	299	1940
NE 3	7.1	0.33	5.19	37.8	16.2	0.07	158	24.1	18.9	65
NE 4	9.5	0.36	6.12	33.7	16.8	0.07	206	20.3	18.5	66
NW 1	30.4	8.98	9.59	122	93	0.87	1782	47.6	212	1359
NW 2	27.4	15.80	8.87	136	157	1.43	1273	46.3	369	1883
NW 3	10.0	1.27	6.30	63.5	34.1	0.24	314	29.6	50.8	211
NW 4	10.7	1.09	6.14	59.8	29.1	0.20	360	27.6	452	199
P 16	35.1	12.9	10.3	154	136	1.21	2095	57.2	318	1852
P 17	34.8	5.25	11.2	112	75	0.64	2368	59.2	131	956
P 24	30.8	6.69	10.2	112	81	0.67	1988	54.1	159	1041
P 27	35.1	3.23	12.6	95	67	0.48	1592	58.1	92	625
P 32	31.2	7.98	10.2	127	90	0.81	2028	52.0	194	1257
*	7.8	0.34	5.28	31	18	0.09	202	19.9	18.1	63
**	8.8	0.22	12.6	98	29	0.08	633	68	21	84
***	20	2	20	150	120	1		120	100	150

* valori tipici dell'area in esame

** valori medi provincia di Pavia, Punti Secondari (AA.VV., 2006)

*** D. Legislativo n. 152 colonna "A" (Italia, 2006)

In rosso i valori che superano i limiti tabellari del D. Legislativo n. 152 del 2006 riguardante la bonifica dei siti contaminati, colonna "A" (suoli ad uso residenziale/verde pubblico) (Italia, 2006)

Tabella 2. Valori di concentrazione di macro-elementi, pH, carbonio totale e carbonio organico nel suolo

sito	pH	C tot (%)	C org (%)	Na (%)	Al (%)	Si (%)	Ca (%)	K (%)	Fe (%)	Mg (%)	Ti (%)	P (%)
PS 4	6.2	3.59	2.08	1.37	5.27	33.04	1.37	1.35	2.92	0.59	0.34	0.20
N 1	5.3	3.78	2.19	1.12	6.80	30.13	1.42	1.50	3.40	0.94	0.36	0.26
N 2	6.2	7.60	4.41	1.05	6.34	27.04	1.99	1.57	3.87	0.95	0.41	0.57
N 3	6.1	2.32	1.35	1.58	6.47	32.51	1.42	1.47	1.99	0.84	0.34	0.11
N 4	5.7	2.07	1.20	1.86	5.12	36.20	1.36	1.25	1.88	0.49	0.35	0.07
S 1	5.6	3.31	1.92	1.20	5.95	30.74	1.25	1.37	2.78	0.76	0.34	0.15
S 2	5.2	3.08	1.79	1.28	6.38	31.83	1.30	1.46	2.94	0.82	0.37	0.17
S 3	5.1	3.33	1.93	1.19	6.82	30.52	1.32	1.54	3.35	0.94	0.38	0.18
S 4	5.2	3.02	1.75	1.23	7.31	29.90	1.40	1.59	3.59	1.07	0.39	0.14
E 1	5.5	3.60	2.09	1.23	6.31	31.36	1.29	1.46	3.31	0.87	0.36	0.19
E 2	5.4	3.84	2.23	1.16	7.35	29.27	1.52	1.55	3.68	1.07	0.40	0.25
E 3	6.0	2.03	1.18	1.35	6.95	31.14	1.39	1.52	2.82	0.92	0.38	0.14
E 4	5.9	2.67	1.55	1.38	6.78	31.52	1.40	1.50	2.79	0.87	0.37	0.14
W 1	4.2	3.44	2.00	1.20	6.91	30.60	1.35	1.59	3.35	0.94	0.38	0.21
W 2	5.4	3.09	1.79	1.24	6.84	30.83	1.36	1.53	3.22	0.93	0.36	0.19
W 3	5.3	3.30	1.91	1.24	6.70	30.97	1.37	1.55	3.15	0.90	0.36	0.21
W 4	5.8	2.27	1.32	1.20	7.76	29.46	1.40	1.65	3.60	1.13	0.40	0.11
SE 1	5.5	3.09	1.79	1.24	6.14	31.19	1.29	1.43	2.97	0.79	0.36	0.17
SE 2	5.3	3.16	1.83	1.20	6.59	30.66	1.30	1.51	3.05	0.90	0.36	0.16
SE 3	5.1	3.26	1.89	1.07	5.85	28.35	1.20	1.35	2.87	0.79	0.32	0.15
SE 4	5.3	3.68	2.13	1.18	6.82	29.79	1.43	1.49	3.26	0.96	0.38	0.24
SW 1	5.7	3.07	1.78	1.22	6.37	30.93	1.31	1.51	2.85	0.85	0.37	0.17
SW 2	5.3	3.32	1.93	1.41	5.62	32.82	1.30	1.36	2.99	0.67	0.37	0.15
SW 3	4.5	3.19	1.85	1.22	6.70	29.87	1.31	1.50	3.14	0.93	0.38	0.18
SW 4	5.0	2.97	1.73	1.43	6.65	31.25	1.41	1.51	3.35	0.90	0.40	0.12
NE 1	5.3	2.07	2.62	1.15	6.57	29.67	1.53	1.47	3.44	0.89	0.37	0.35
NE 2	6.4	6.10	3.54	1.29	5.27	29.83	2.09	1.34	2.76	0.78	0.31	0.39
NE 3	5.5	2.30	1.34	1.68	6.17	33.03	1.42	1.39	1.86	0.74	0.34	0.10
NE 4	5.7	2.53	1.47	1.54	6.14	31.95	1.41	1.39	2.16	0.77	0.37	0.09
NW 1	5.5	3.46	2.01	1.32	5.87	32.42	1.38	1.36	3.00	0.70	0.35	0.20
NW 2	5.8	4.32	2.51	1.26	6.30	30.64	1.60	1.43	2.97	0.84	0.37	0.30
NW 3	5.4	3.27	1.19	1.64	5.60	34.04	1.49	1.26	2.11	0.66	0.33	0.11
NW 4	5.7	4.05	2.35	1.53	5.07	32.80	1.45	1.16	1.87	0.59	0.30	0.10
P 16	5.8	3.75	2.17	1.24	6.04	30.69	1.46	1.45	2.98	0.79	0.36	0.27
P 17	5.3	3.03	1.76	1.17	6.62	30.23	1.32	1.48	3.19	0.91	0.37	0.17
P 24	5.6	2.98	1.73	1.24	6.16	31.27	1.32	1.45	2.84	0.80	0.37	0.18
P 27	6.0	2.63	1.52	1.32	6.59	30.85	1.39	1.51	3.46	0.92	0.39	0.12
P 32	5.4	3.58	2.08	1.21	6.56	30.44	1.37	1.52	3.07	0.90	0.36	0.20
*	6.3	1.35	1.18	1.4	6.4	33.1	1.2	1.8	2.1	0.7	0.36	0.15

* Punto Principale 4 (AA.VV., 2006)

Tabella 3. Valori di WTO-TEQ per le diossine nei campioni di suolo (Van den Berg, 1998)

Sito	PS4	N1	N2	N4	E2	NE1	NE2	NE4	NW2	W1	SE4
	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g	pg/g
2378-TCDD	0.26	0.32	0.85	0.05	0.35	0.45	0.60	0.07	0.33	0.23	0.40
12378-PeCDD	0.89	0.99	2.59	0.13	1.15	1.47	1.47	0.16	1.08	0.72	1.12
123478-HxCDD	1.03	1.26	3.42	0.14	1.45	1.78	1.99	0.17	1.35	0.86	1.41
123678-HxCDD	1.96	2.27	3.66	0.33	2.71	3.23	4.18	0.44	2.64	1.55	2.55
123789-HxCDD	1.25	1.52	5.26	0.20	1.86	2.29	2.65	0.33	1.81	1.03	1.81
1234678-HpCDD	25.09	28.65	75.45	3.16	34.74	41.95	53.26	4.71	35.16	20.01	35.20
OCDD	160.90	187.40	531.90	15.90	217.70	273.20	358.60	23.70	229.70	127.40	212.40
2378-TCDF	13.60	13.08	32.95	0.86	12.94	17.25	17.84	0.89	15.67	9.59	11.84
12378-PeCDF	5.17	6.07	16.39	0.70	6.47	8.02	7.51	0.76	6.69	4.07	6.23
23478-PeCDF	5.57	6.48	16.42	0.73	6.21	8.28	8.77	0.68	6.80	4.23	6.05
123478-HxCDF	9.68	13.29	34.86	0.98	12.48	16.63	15.61	1.14	15.10	8.89	11.75
123678-HxCDF	5.42	7.75	36.41	0.67	7.48	10.23	8.70	0.84	8.52	5.25	7.38
234678-HxCDF	4.63	6.49	16.14	0.72	6.61	8.57	8.45	0.93	6.95	4.38	6.55
123789-HxCDF	2.34	3.43	10.07	0.29	3.07	4.26	3.96	0.33	3.79	2.46	3.08
1234678-HpCDF	33.87	47.40	126.61	4.75	49.48	60.20	68.42	5.42	49.64	34.64	45.65
1234789-HpCDF	5.23	7.71	0.07	0.53	7.16	9.71	9.19	0.64	8.25	5.50	6.70
OCDF	106.60	142.10	374.10	9.60	163.60	166.90	264.60	11.90	151.30	109.70	143.30
I-TEQ	8.65	10.43	28.38	1.05	10.51	13.71	14.37	1.17	11.51	7.15	10.16
1998 WHO-TEQ	8.85	10.63	28.86	1.09	10.74	14.05	14.54	1.22	11.71	7.30	10.40
2005 WHO-TEQ	7.69	9.28	25.43	0.93	9.45	12.32	12.76	1.08	10.29	6.42	9.14

In rosso i valori che superano i limiti tabellari del D. legislativo n. 152 del 2006 relativo alla bonifica dei siti contaminati colonna "A" (suoli ad uso residenziale/verde pubblico) (Italia, 2006)

Le figure da 10 a 31 descrivono la distribuzione spaziale dei valori riportati nelle tabelle 1 e 2.

Un primo commento generale viene dall'osservazione dei valori di concentrazione dei metalli pesanti e dell'arsenico. Questi mostrano concentrazioni che sono da ritenersi estremamente elevate e pericolose sia per l'ambiente che per la salute dell'uomo. Tali valori di concentrazione non riflettono i valori tipici della zona pavese-milanese (AA.VV., 2006).

Per quanto riguarda l'aspetto puramente legislativo i valori misurati sono superiori ai valori tabellari del D. L. n. 152 del 2006, relativo alla bonifica dei siti contaminati colonna "A" (suoli ad uso residenziale / verde pubblico) (Italia, 2006). Questi due aspetti evidenziano che si tratta di una area ad elevata contaminazione.

Dalle mappe che illustrano l'andamento spaziale della concentrazione di tutti i parametri considerati (escluse diossine e furani), si evidenziano 4 gruppi principali.

Un primo gruppo formato da Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Cr, P, Ca, C totale, C organico e dal contenuto d'acqua (figure 10÷20), presenta i valori più elevati attorno al punto N2 interessando un'area di circa 1,5 ettari. Si osserva inoltre una direttrice prevalente che va dal punto N2 verso SE4. Un secondo gruppo è formato da Fe, Ni, Co, As e Mn (figure 21÷25), dove i valori elevati di concentrazione investono principalmente

un'area che comprende i punti N2, N1, NW1, P 16, NE1, RS4, E1. Tale area ha un'estensione 4-5 ettari.

Il terzo e quarto raggruppamento, sono rappresentati graficamente dalle figure 26-31 e mostrano la distribuzione di macro-elementi quali Al, K, Mg e Ti (terzo gruppo) e Si e Na il quarto raggruppamento. Per i due ultimi raggruppamenti (Al, K, Mg, Ti, Si e Na) la distribuzione spaziale della concentrazione è caratteristica della diversa morfologia del suolo. I punti a N, NE e NW cadono su un suolo che presenta una leggera differenza di altitudine rispetto ai restanti punti, ma le figure 7 e 8 non sono in grado di illustrare in modo corretto tale dislivello.

La distribuzione spaziale e i valori di concentrazione sono tipici dell'area pavese (AA.VV., 2006), le marginali differenze sono dovute ai differenti tipi di colture e alle pratiche agricole che hanno insistito e insistono sul territorio.

Le figure 32 e 33 rappresentano rispettivamente i valori di pH e della densità apparente. Per quanto concerne la distribuzione del pH dei suoli, i valori meno acidi si riscontrano nelle aree a maggior contaminazione (punti N 2, NE 2 e PS 4). Anche per la densità apparente i valori più ridotti sono nelle medesime aree relative a valori meno acidi. Una correlazione di tutti i parametri considerati (escluse diossine e furani) è stata effettuata, i risultati sono riportati in tabella 4.

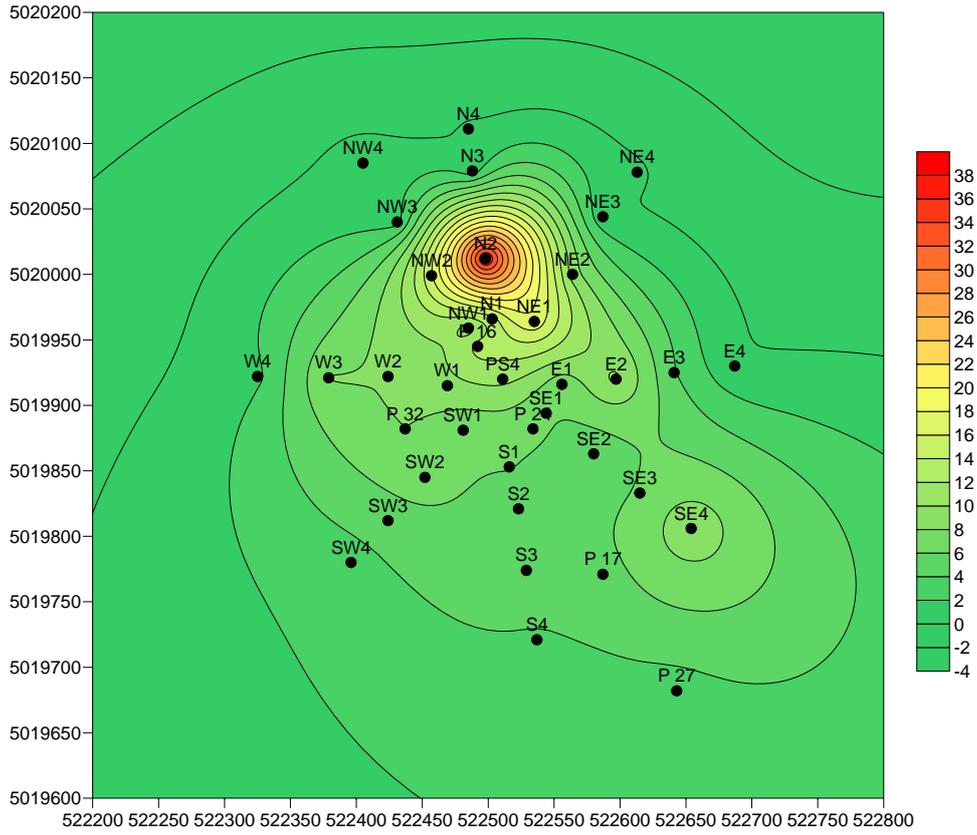


Figura 10. Distribuzione di Cd ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

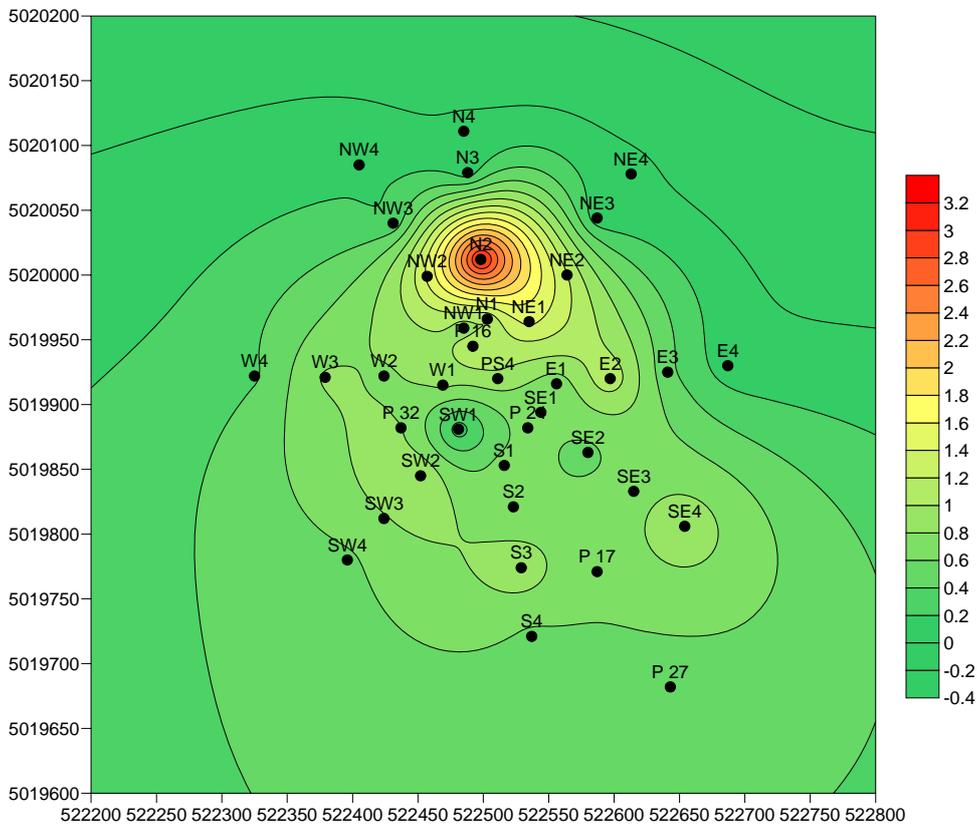


Figura 11. Distribuzione di Hg ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

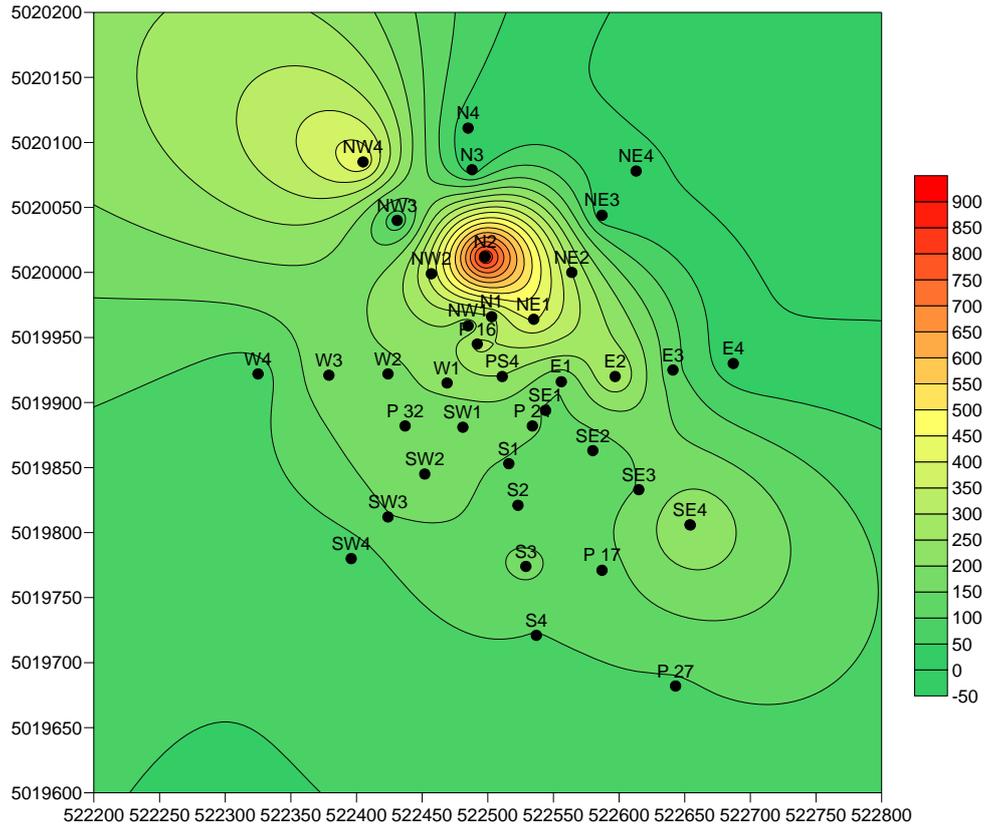


Figura 12. Distribuzione di Pb ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

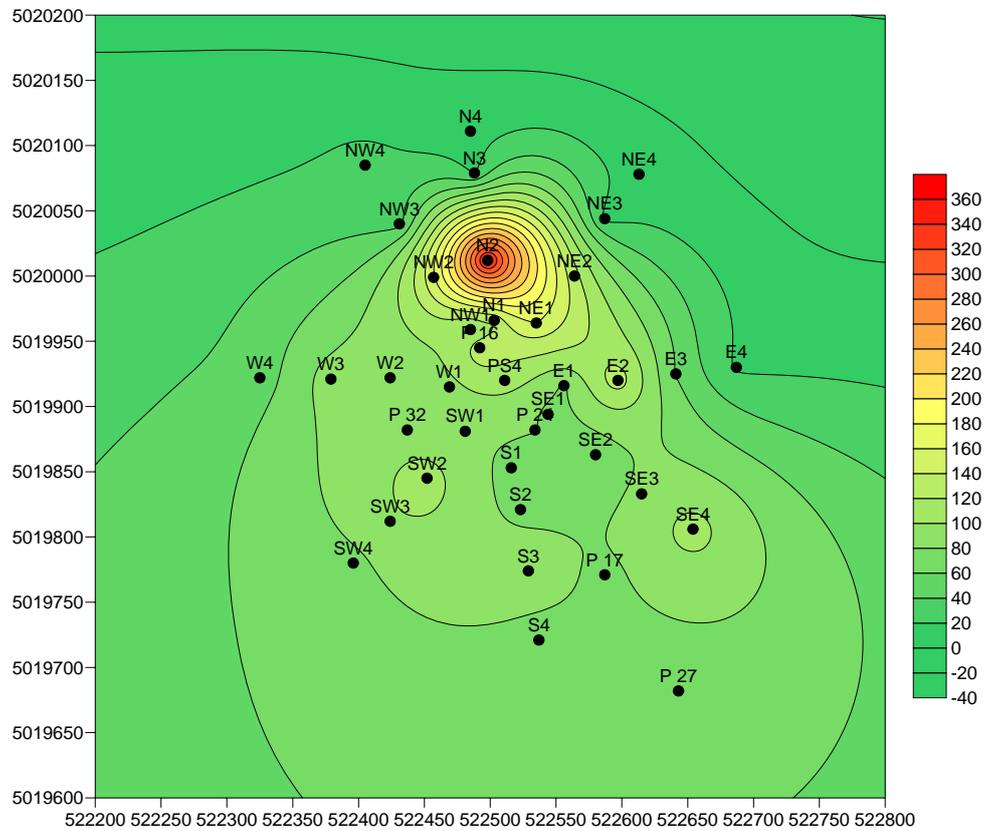


Figura 13. Distribuzione di Cu ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

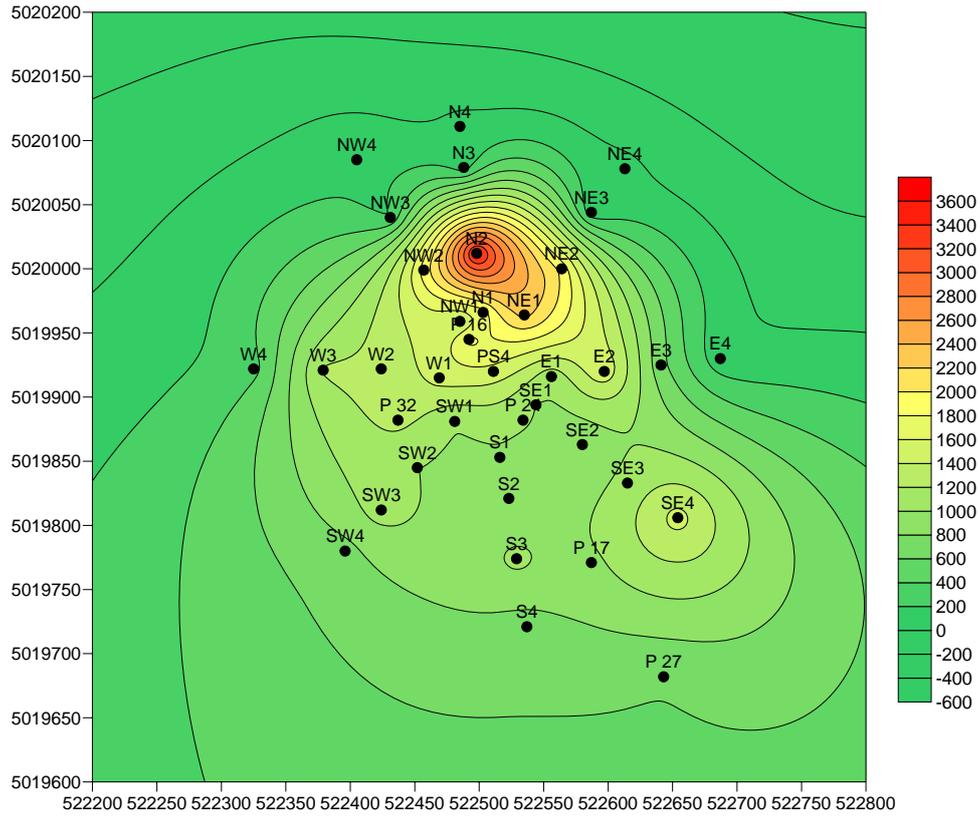


Figura 14. Distribuzione di Zn ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

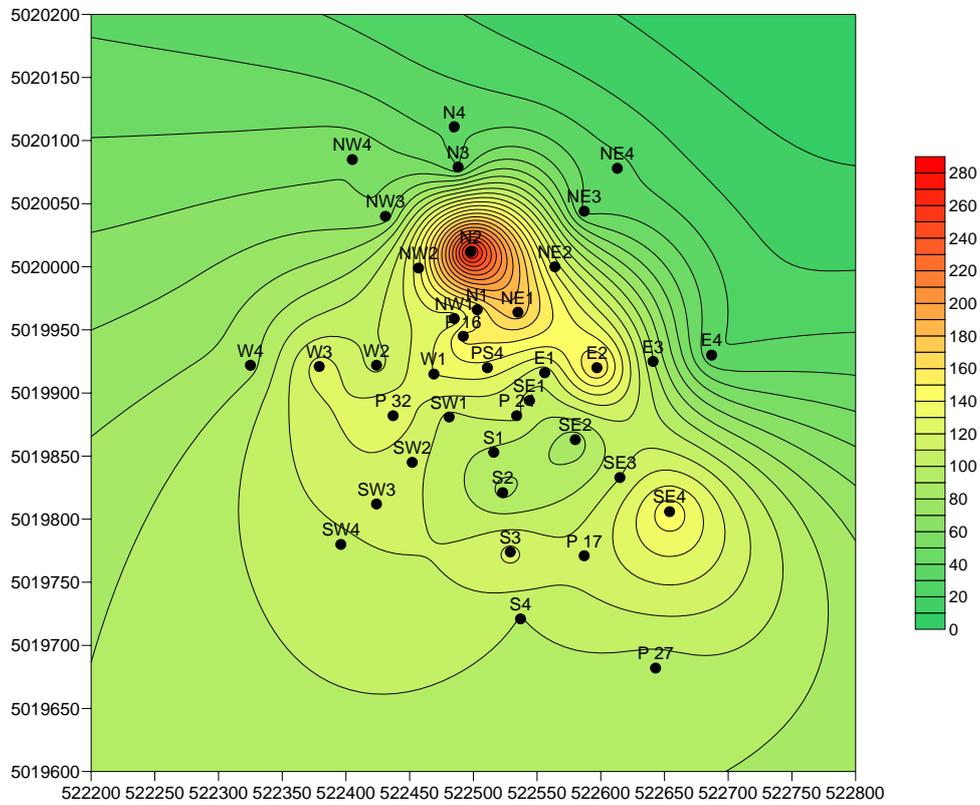


Figura 15. Distribuzione di Cr ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

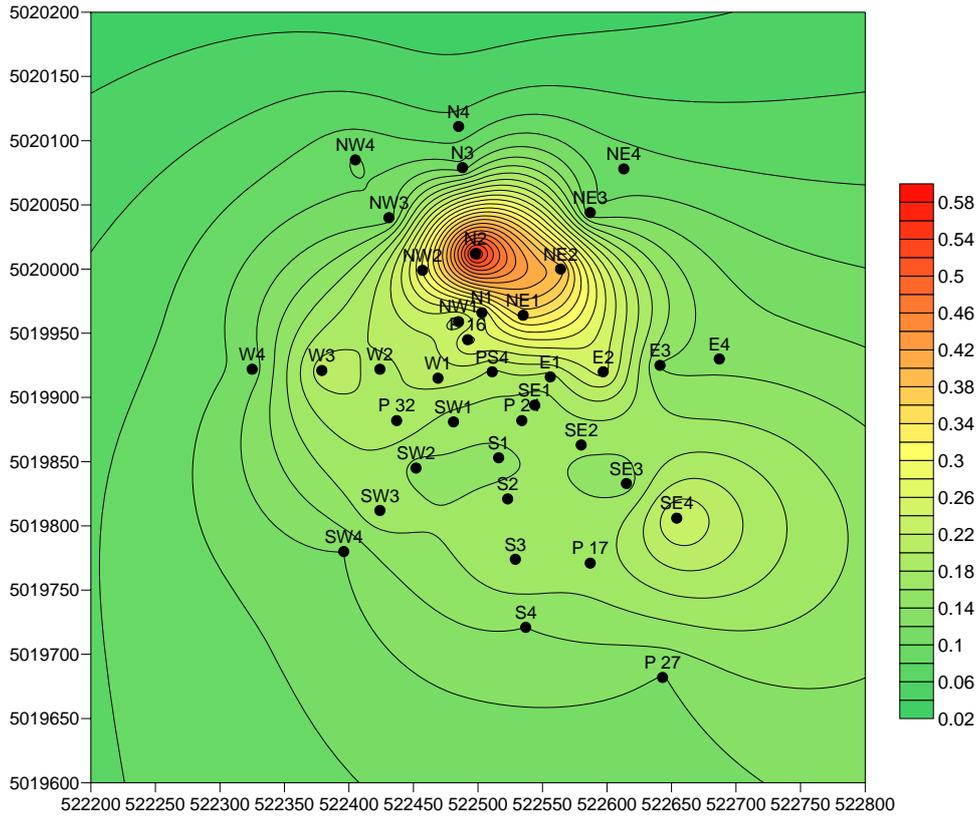


Figura 16. Distribuzione di P (%) nel sito PS 4

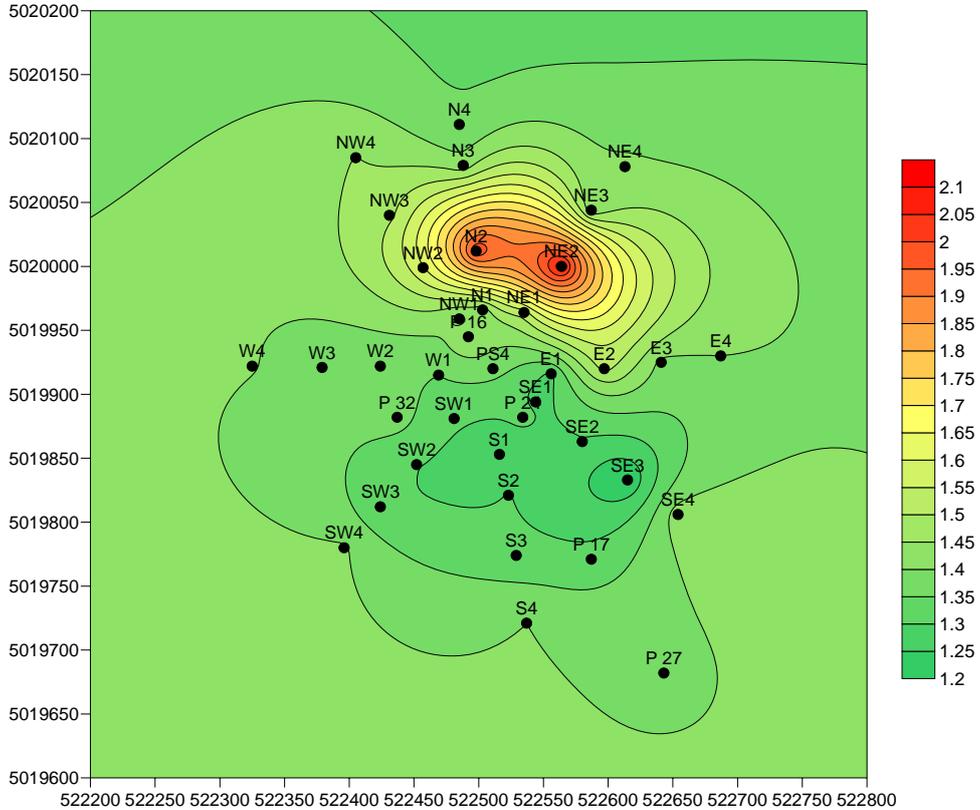


Figura 17. Distribuzione di Ca (%) nel sito PS 4

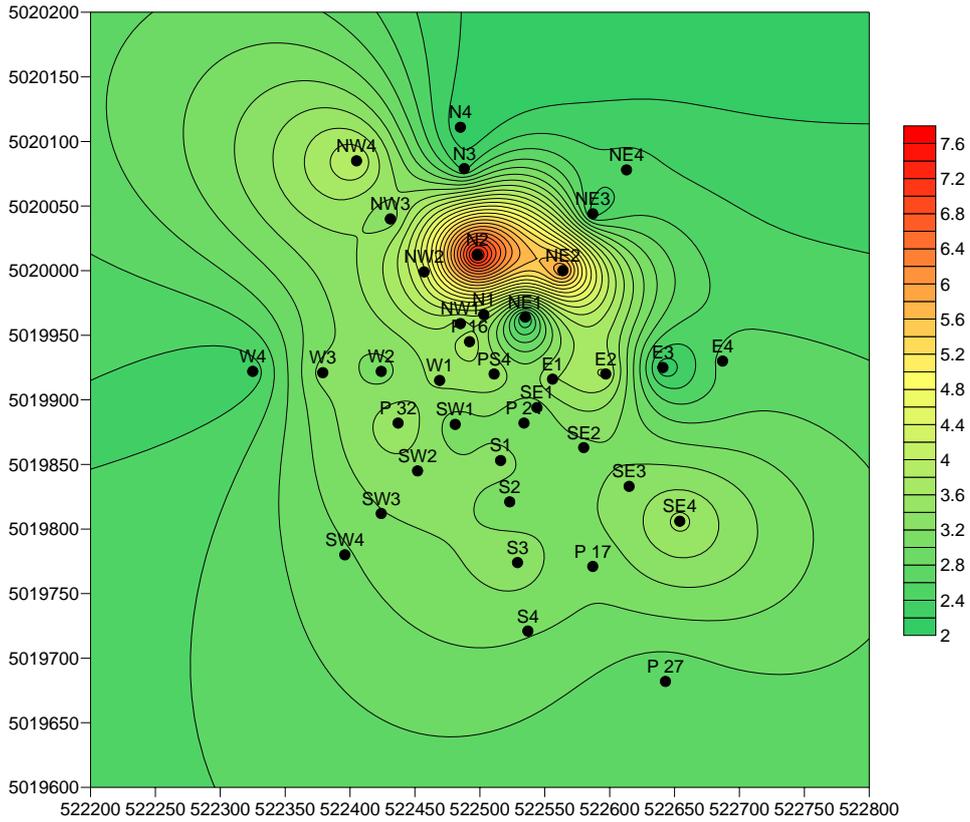


Figura 18. Distribuzione del C (%) totale nel sito PS 4

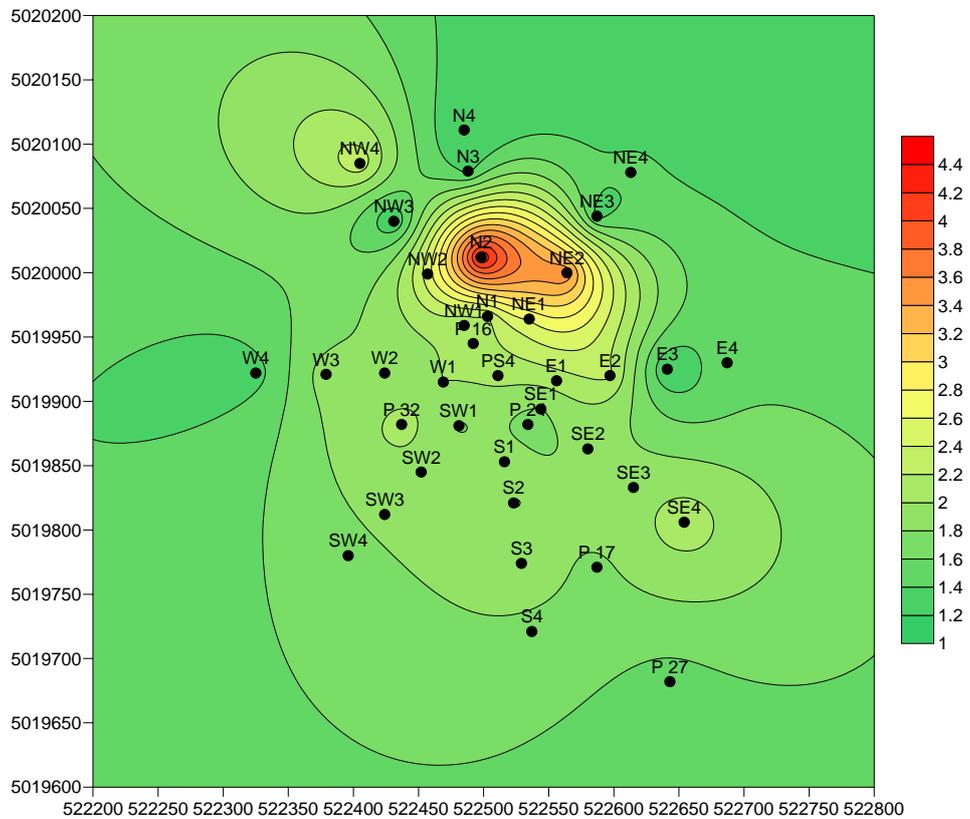


Figura 19. Distribuzione del C organico (%) nel sito PS 4

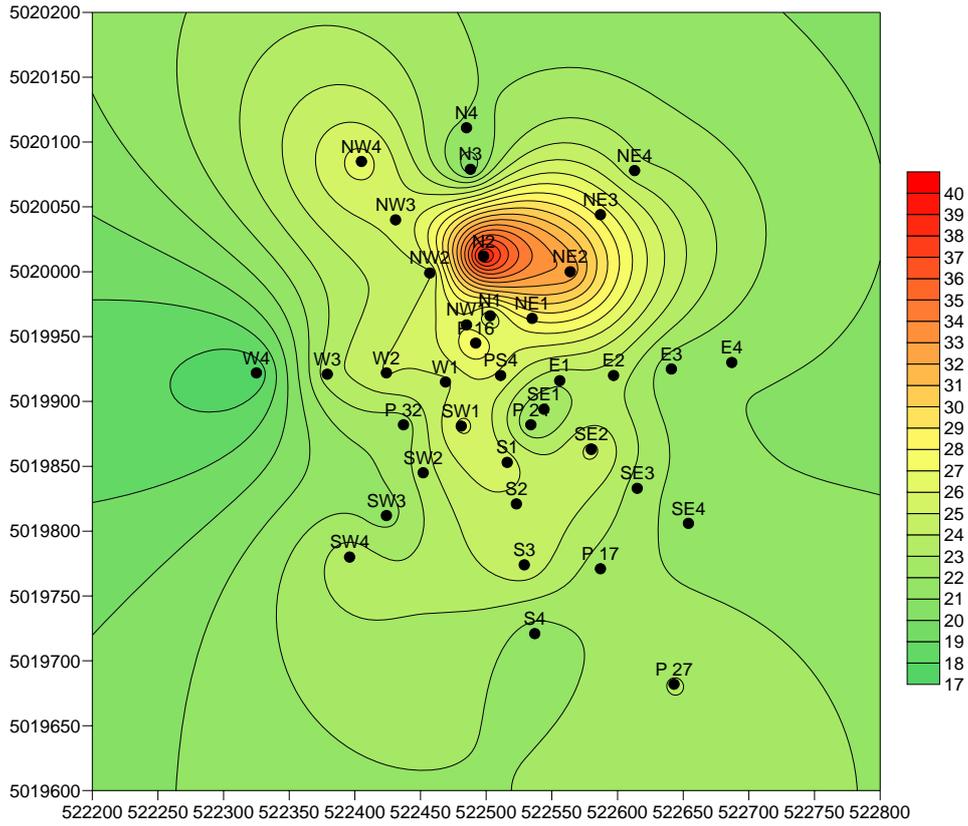


Figura 20. Distribuzione dell'umidità (%) nel sito PS 4

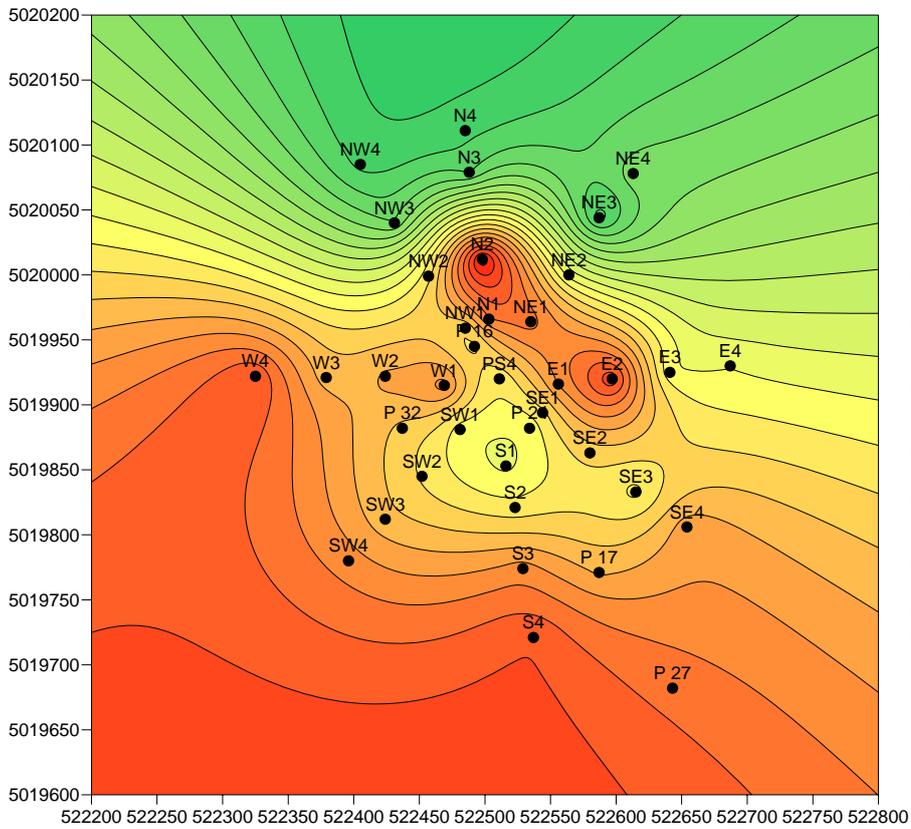


Figura 21. Distribuzione di Fe (%) nel sito PS 4

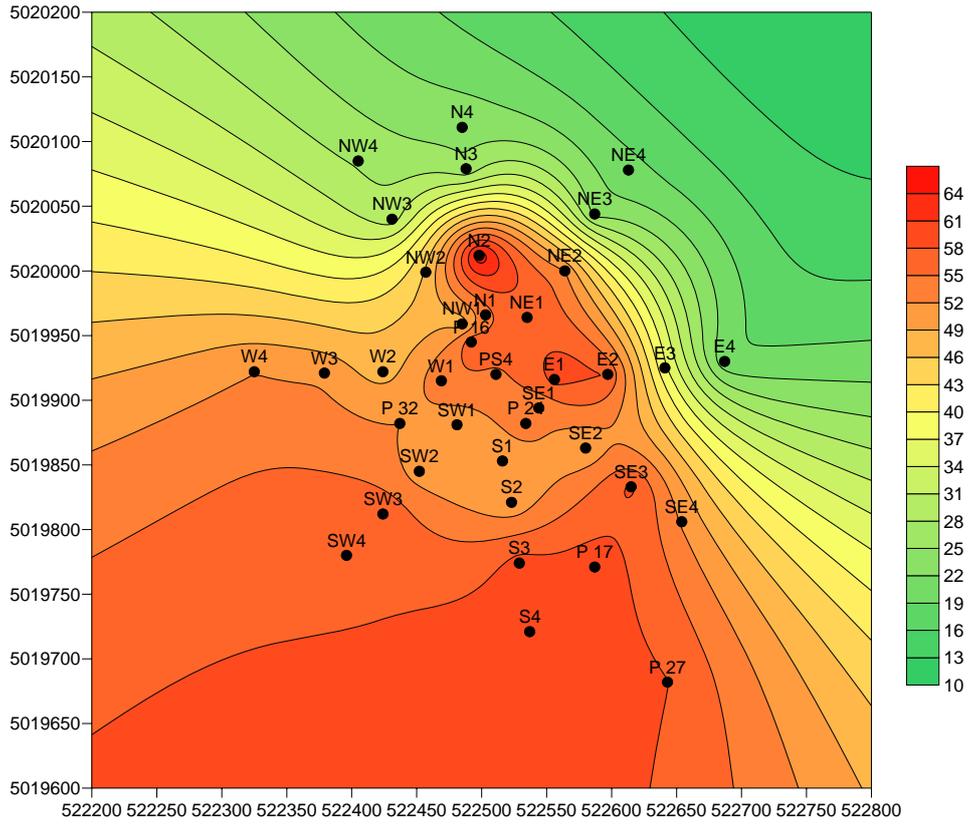


Figura 22. Distribuzione di Ni ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

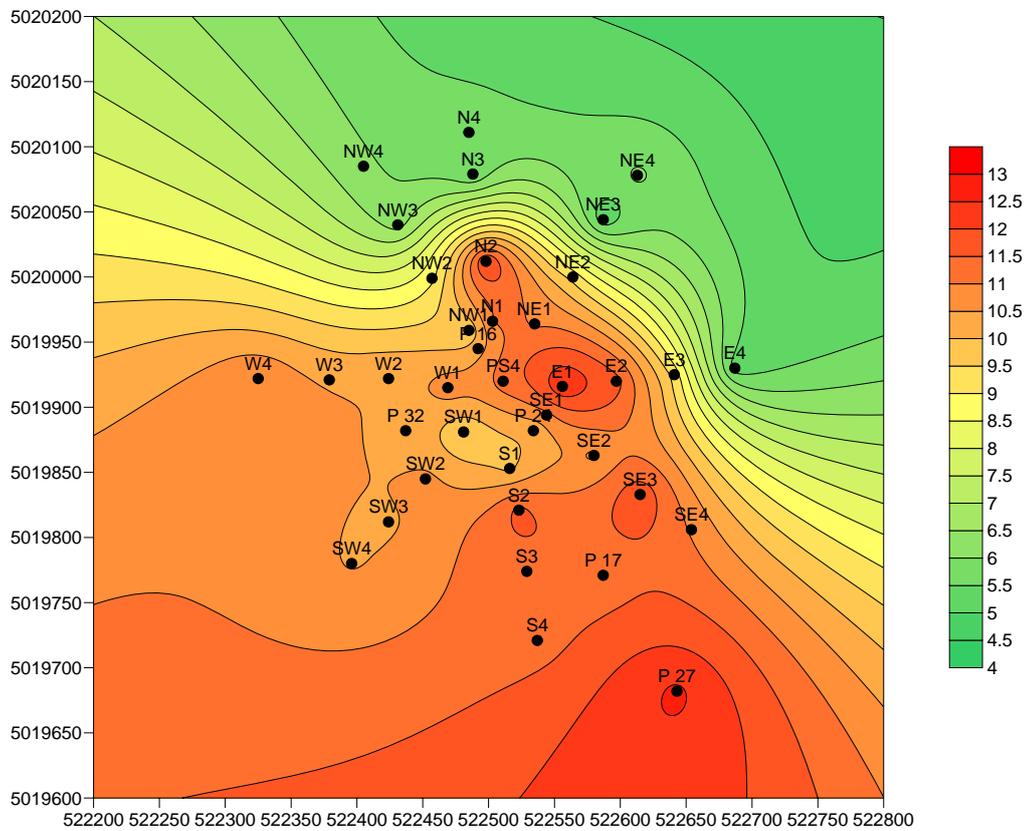


Figura 23. Distribuzione di Co ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

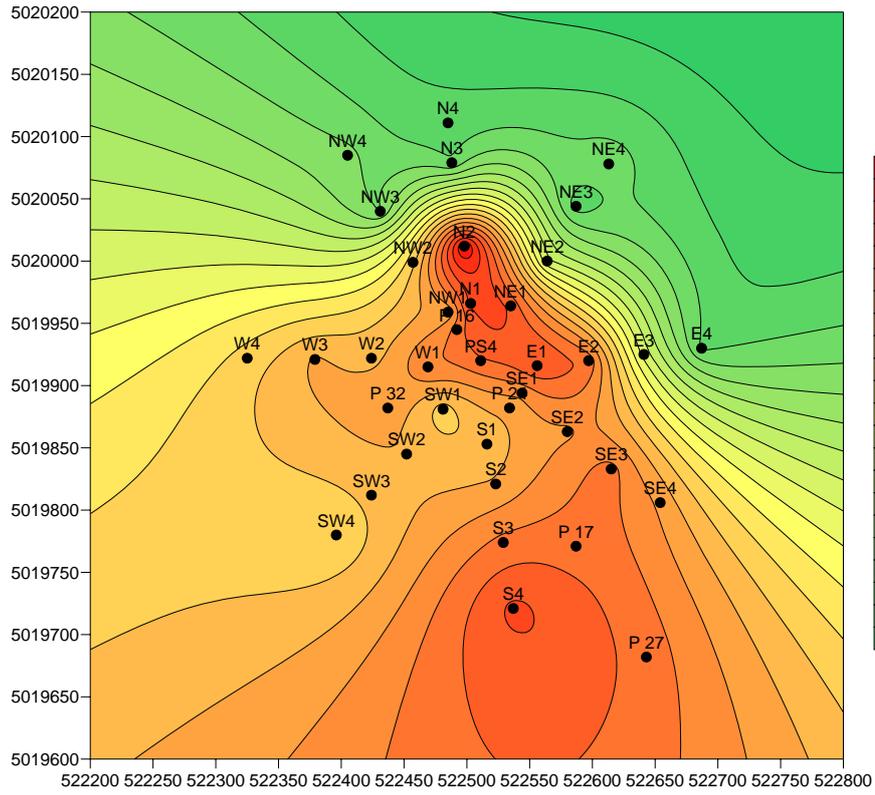


Figura 24. Distribuzione di As ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

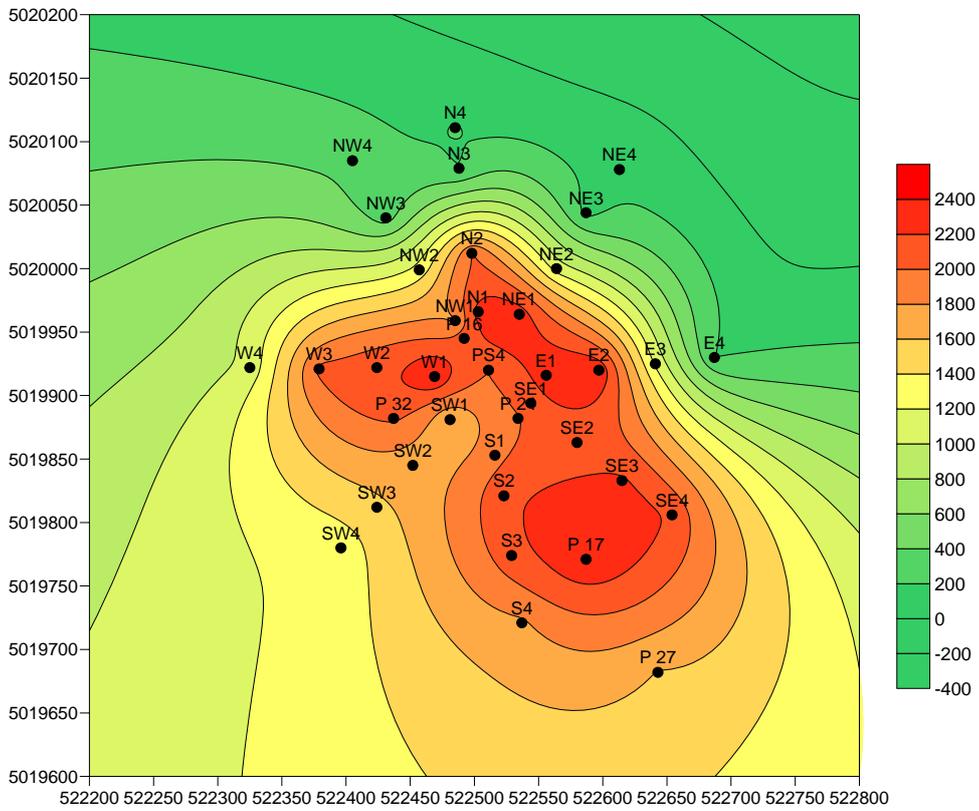


Figura 25. Distribuzione di Mn ($\mu\text{g/g}$) nel sito PS 4

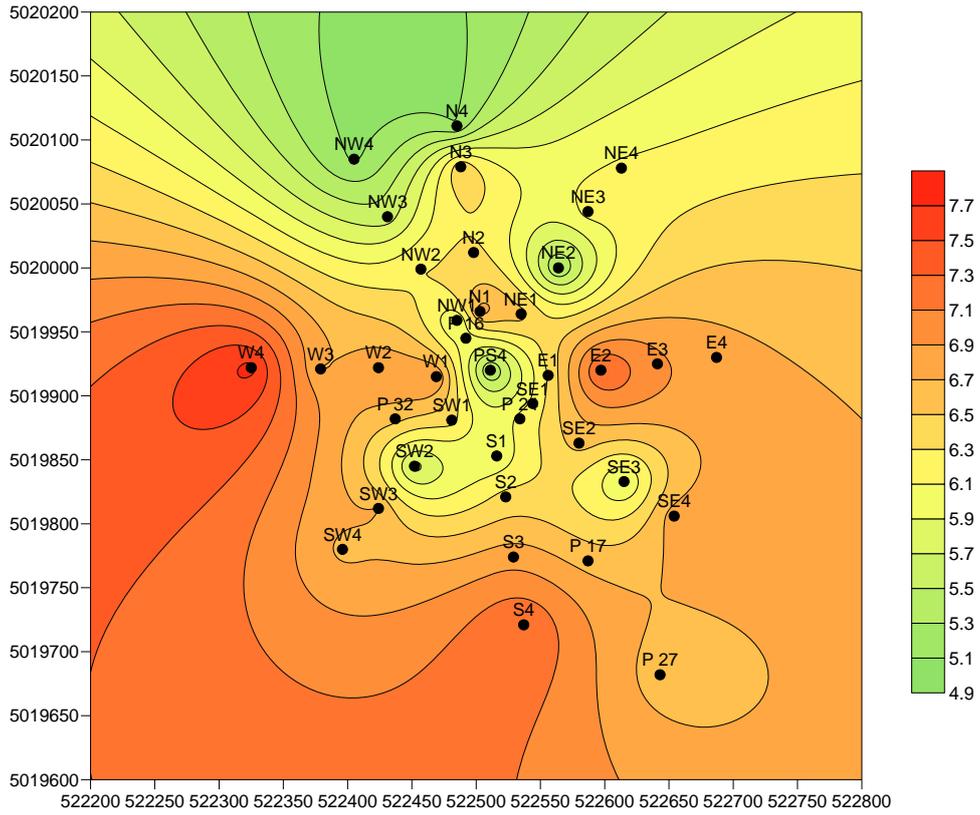


Figura 26. Distribuzione di Al (%) nel sito PS 4

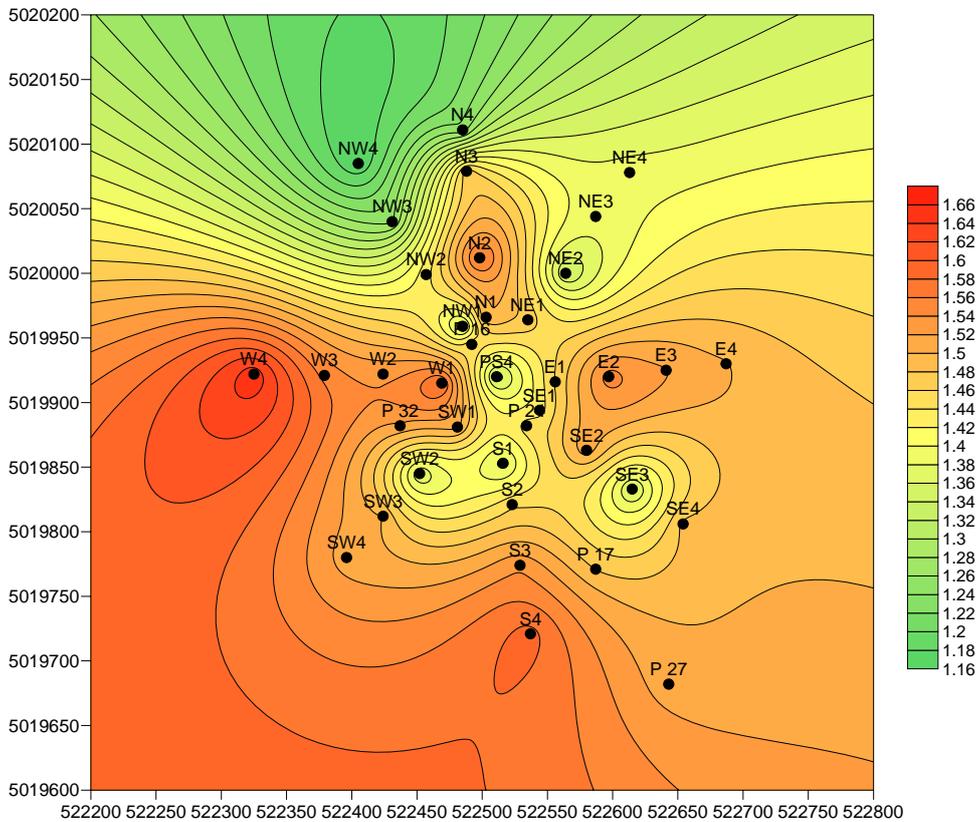


Figura 27. Distribuzione di K (%) nel sito PS 4

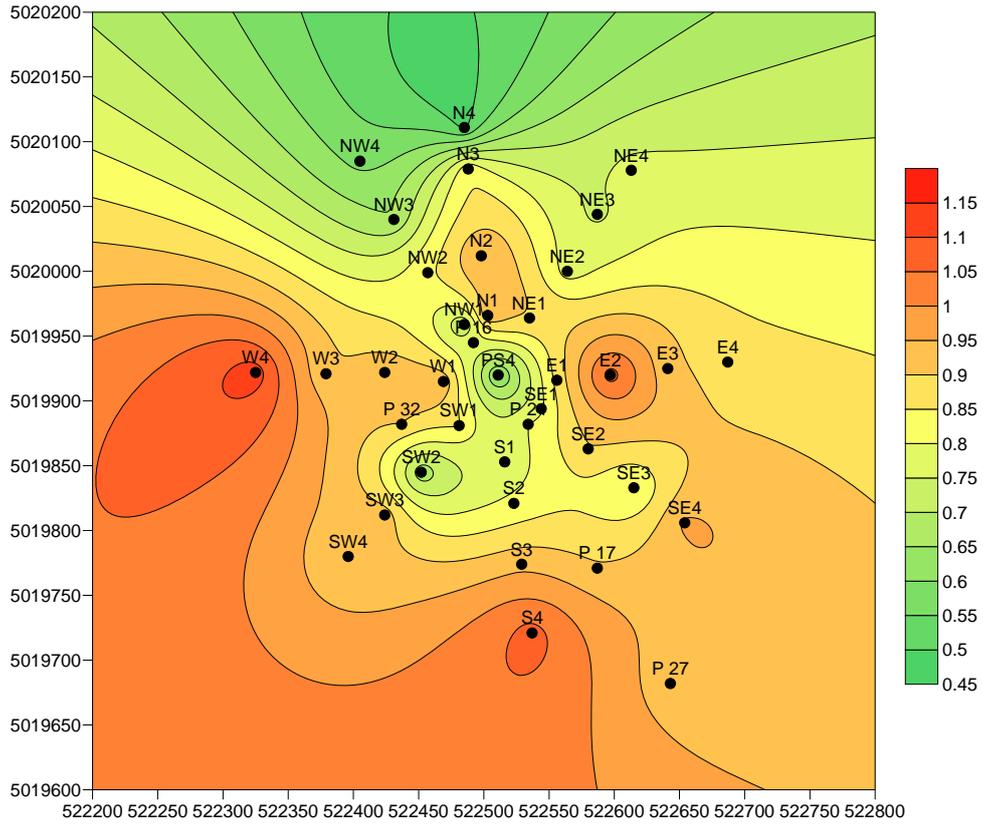


Figura 28. Distribuzione di Mg (%) nel sito PS 4

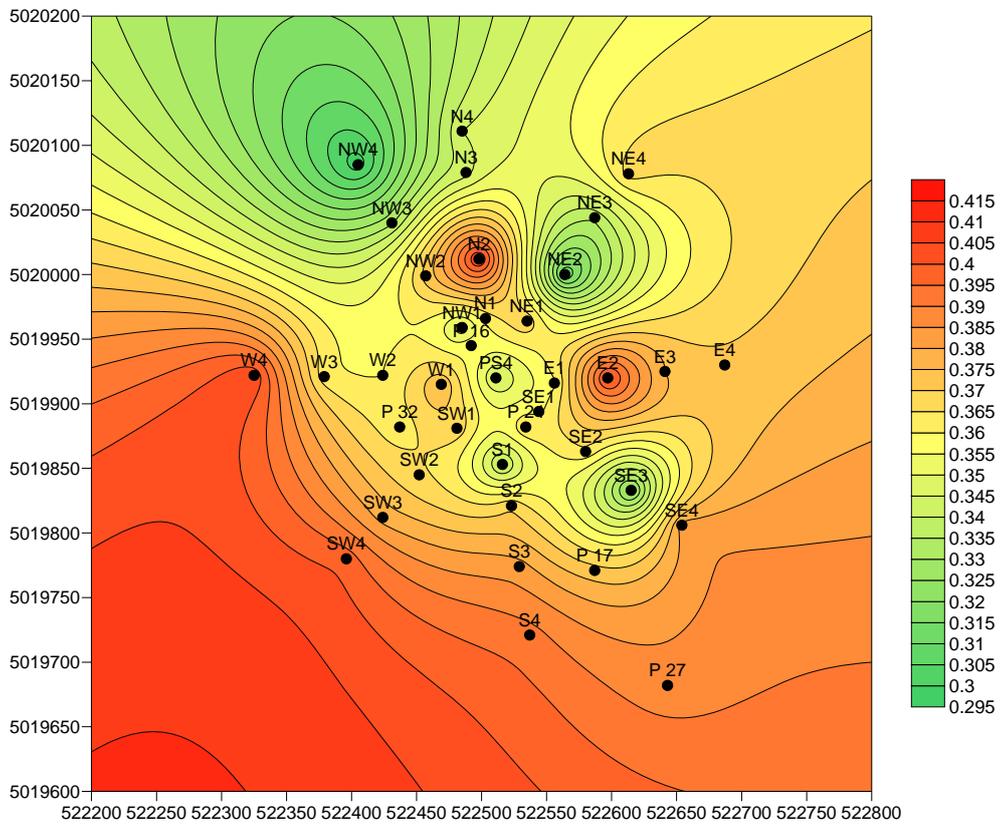


Figura 29. Distribuzione di Ti (µg/g) nel sito PS 4

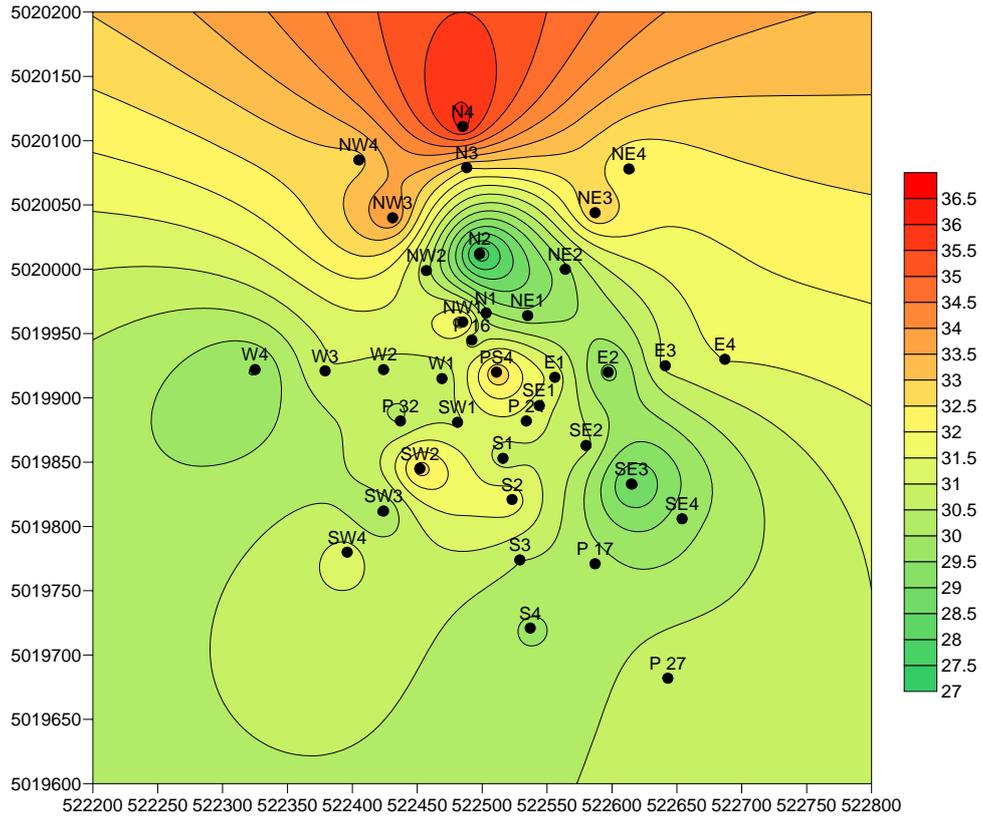


Figura 30. Distribuzione di Si (%) nel sito PS 4

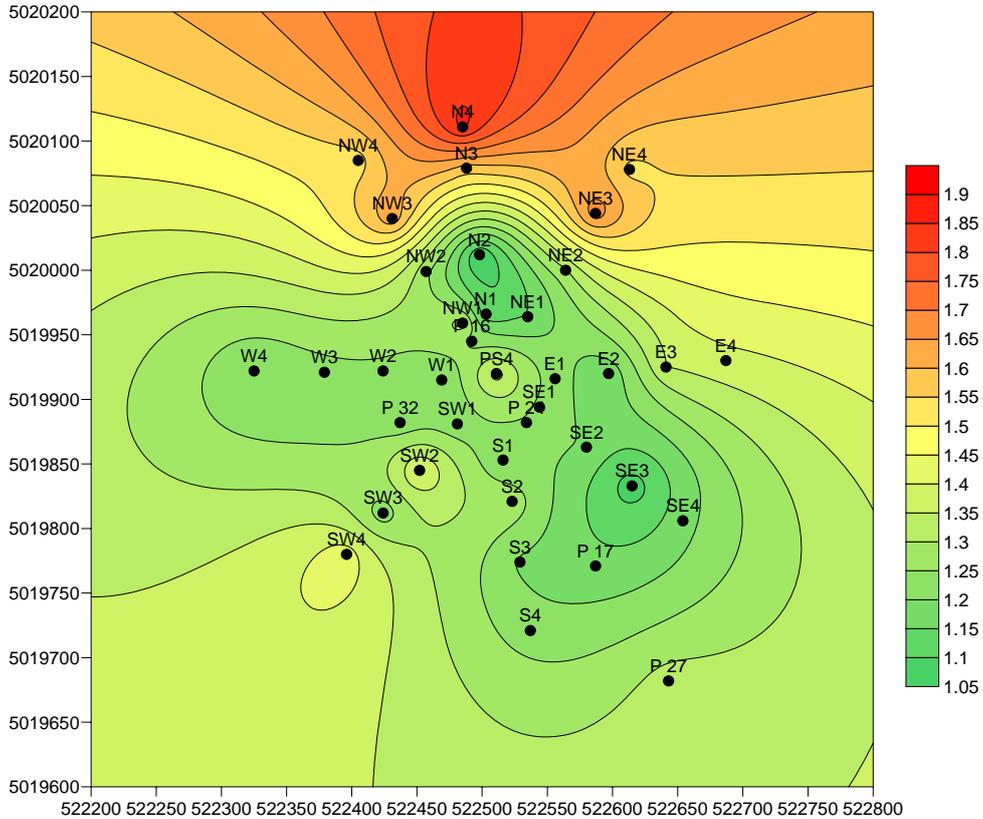


Figura 31. Distribuzione di Na (%) nel sito PS 4

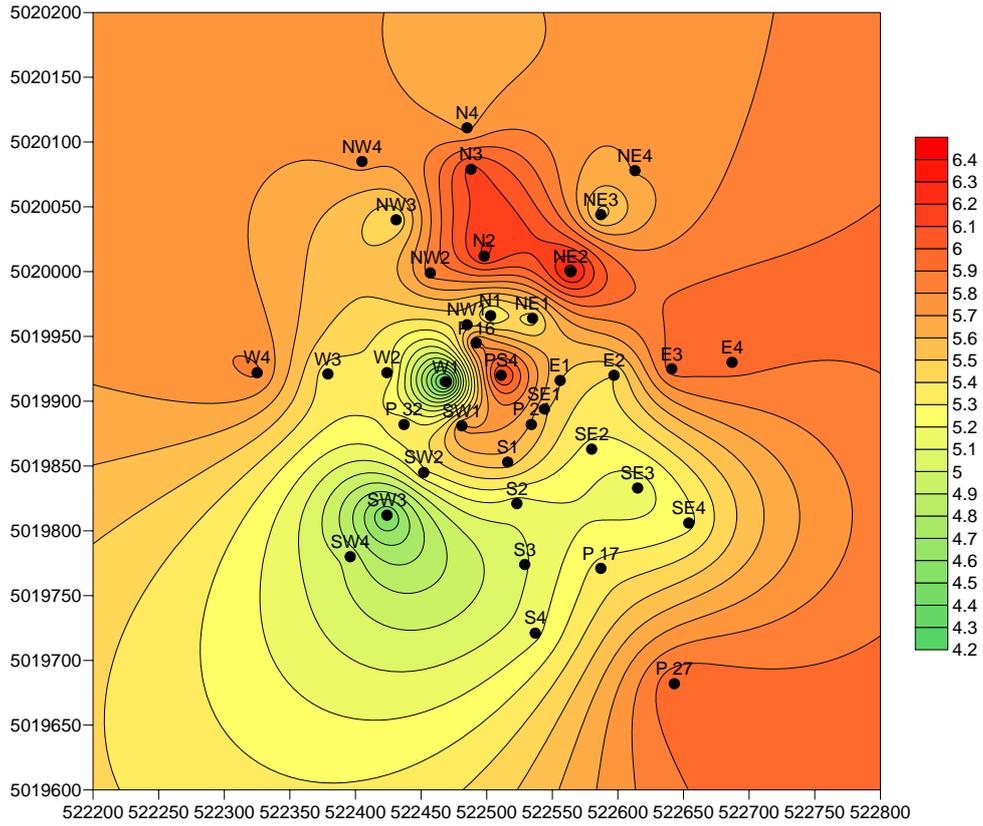


Figura 32. Distribuzione dei valori di pH nel sito PS 4

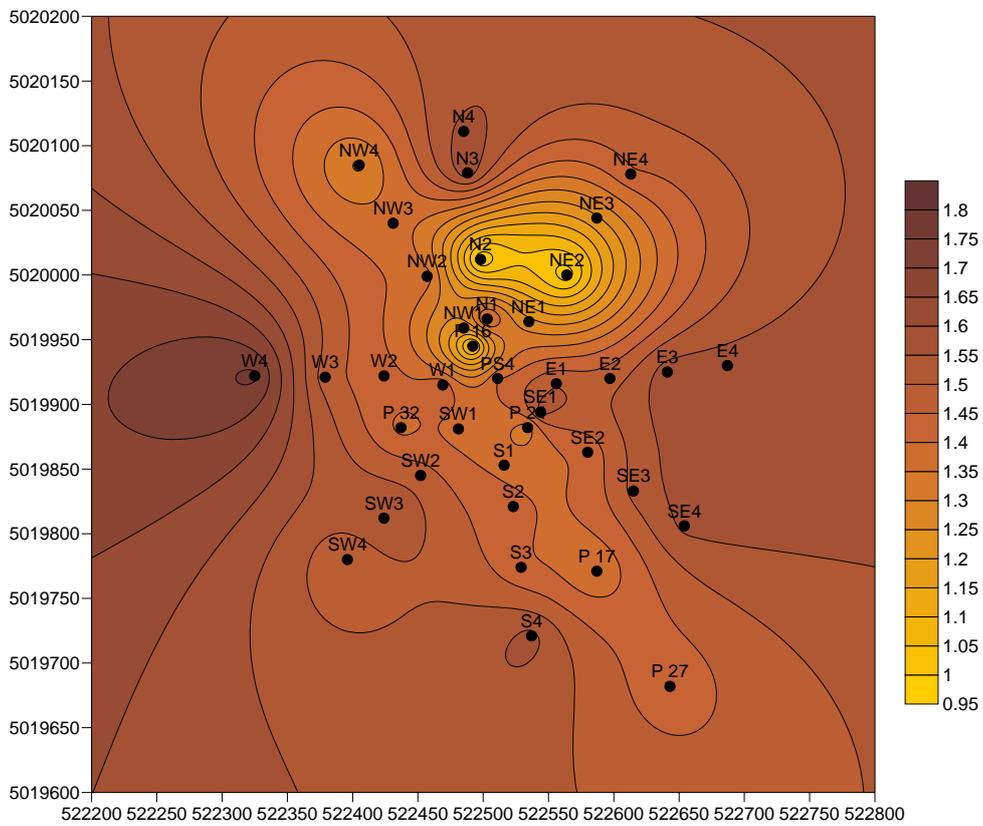


Figura 33. Distribuzione della bulk density (g/cm^3) nel sito PS 4

Tabella 4. Correlazioni tra tutti i valori dei campioni di suolo

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si	Ti	ph	C _{tot}	C _{org}	
As	1.00																						
Cd	0.62	1.00																					
Co	0.95	0.47	1.00																				
Cr	0.79	0.93	0.69	1.00																			
Cu	0.66	0.98	0.55	0.95	1.00																		
Hg	0.65	0.96	0.54	0.93	0.98	1.00																	
Mn	0.94	0.51	0.90	0.70	0.53	0.54	1.00																
Ni	0.94	0.56	0.95	0.78	0.64	0.63	0.88	1.00															
Pb	0.47	0.90	0.33	0.83	0.89	0.87	0.36	0.43	1.00														
Zn	0.71	0.95	0.59	0.96	0.95	0.94	0.65	0.69	0.85	1.00													
Al	0.34	0.06	0.36	0.17	0.07	0.05	0.30	0.29	-0.10	0.06	1.00												
Ca	-0.04	0.55	-0.07	0.44	0.58	0.58	-0.15	0.06	0.61	0.53	-0.15	1.00											
Fe	0.85	0.57	0.83	0.75	0.63	0.62	0.78	0.83	0.41	0.65	0.64	0.10	1.00										
K	0.51	0.26	0.51	0.37	0.29	0.25	0.44	0.47	0.04	0.28	0.92	-0.03	0.76	1.00									
Mg	0.47	0.23	0.50	0.36	0.27	0.25	0.41	0.46	0.10	0.27	0.94	0.07	0.75	0.92	1.00								
Na	-0.85	-0.55	-0.83	-0.69	-0.59	-0.57	-0.82	-0.82	-0.44	-0.65	-0.50	-0.04	-0.83	-0.60	-0.66	1.00							
P	0.53	0.90	0.44	0.84	0.90	0.89	0.44	0.53	0.83	0.90	0.02	0.74	0.51	0.23	0.25	-0.56	1.00						
Si	-0.66	-0.57	-0.65	-0.66	-0.62	-0.60	-0.58	-0.67	-0.50	-0.62	-0.55	-0.30	-0.75	-0.63	-0.76	0.89	-0.62	1.00					
Ti	0.46	0.31	0.45	0.41	0.36	0.32	0.34	0.41	0.10	0.26	0.78	-0.01	0.73	0.82	0.74	-0.41	0.20	-0.45	1.00				
ph	-0.20	0.03	-0.18	-0.06	0.04	0.02	-0.30	-0.18	0.08	-0.04	-0.23	0.26	-0.21	-0.24	-0.17	0.14	0.08	0.06	-0.16	1.00			
C _{tot}	0.34	0.73	0.27	0.68	0.78	0.77	0.25	0.39	0.80	0.73	-0.21	0.74	0.32	-0.02	0.06	-0.36	0.77	-0.46	0.00	0.10	1.00		
C _{org}	0.45	0.85	0.35	0.79	0.87	0.87	0.36	0.48	0.90	0.86	-0.15	0.75	0.43	0.05	0.12	-0.47	0.90	-0.56	0.05	0.10	0.91	1.00	

I dati della correlazione evidenziano come una parte di metalli pesanti sia strettamente correlata (Cd-Hg 0,96; Co-As 0,95; Cr-Hg-Cd 0,93; Cu-Hg-Cd-Cr 0,95-0,98; Ni-As-Co-Cr 0,78-0,95; Pb-Hg-Cd-Cr-Cu 0,83-0,90; Zn-Hg-As-Cd-Cr-Cu-Ni-Pb 0,69-0,96). Il livello di correlazione, legato ai valori elevati di concentrazione in una precisa area inducono a ipotizzare ad uno spargimento pirata.

Tale osservazione è confermata anche dal contenuto di

acqua, dai valori di pH e dalla densità apparente. Tali valori, come per i metalli pesanti e per le diossine, sono riferiti all'intero territorio.

Un alto livello di correlazione si osserva tra la quasi totalità dei metalli pesanti e il carbonio organico, inoltre i valori di concentrazione di questo ultimo possono essere giudicati medio-alti. Tale aspetto riduce la mobilità dei metalli pesanti tenendoli più fortemente legati al suolo stesso.

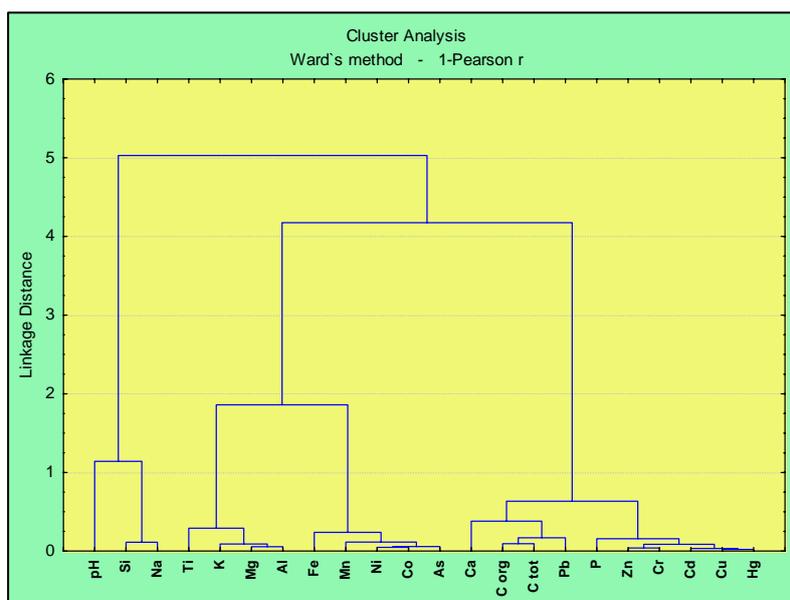


Figura 34. Rappresentazione grafica dei risultati ottenuta mediante la Cluster Analysis

Occorre considerare anche l'acidità dei suoli esaminati; i valori di pH sono mediamente attorno a 5, quindi tendenzialmente acidi. La correlazione con i metalli pesanti è ridotta o negativa. Tale aspetto porta a supporre una mobilità dei metalli pesanti verso altri comparti. Ci si deve preoccupare considerando i livelli di concentrazione nei suoli di Hg 3,2; As 44; Cd 37; Pb 870 e Zn 3500 (µg/g), metalli la cui pericolosità è scientificamente attestata.

La Cluster Analysis è stata applicata a tutti i risultati ottenuti, eccetto diossine e furani. La rappresentazione grafica è riportata in *figura 34* e conferma quanto descritto in precedenza. Ci sono 4 raggruppamenti distinti dove la sostanza organica, rappresentata dal carbonio totale e organico è strettamente legata con alcuni metalli pesanti. In contrapposizione il valore di acidità dei suoli, è correlato con due componenti principali del suolo, Si e Na e diametralmente opposto alla sostanza organica. Gli altri due gruppi sono formati dai componenti principali del suolo, quali Ti, K, Mg e Al e da altri macroelementi strettamente legati con Co, As e Ni.

Si può notare che coesistono due aspetti che agiscono in opposizione, pH e sostanza organica; questa ultima è più appropriata che non il carbonio organico. Il carbonio organico può essere inteso come una barriera biochimica che serve per legare i metalli pesanti limitandone i processi di lisciviazione e successivo trasferimento verso la falda acquifera. In questo caso il passaggio dei metalli pesanti avviene in prevalenza verso l'alto, cioè verso i prodotti che si coltivano sul suolo incriminato. Questo fenomeno è però contrastato dall'acidità dei suoli (pH 5). Tale valore facilita i

processi di lisciviazione liberando i metalli pesanti che migrerebbero verso la falda acquifera.

L'Analisi delle Componenti Principali è stata effettuata su tutti i dati ottenuti. I risultati confermano l'esistenza di due aree contaminate a differente tipo di contaminazione. Le *tabelle 5 e 6* rappresentano il "peso" dei risultati ed evidenziano come la quasi totalità dei dati analitici è stata rappresentata (87%). Come già descritto sussistono elementi strettamente collegati tra loro, essi sono rappresentati in *tabella 6*, dove si osservano due distinti gruppi. La componente 1 associa Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Cr, P, Ca, precedentemente descritti, alla sostanza organica, al fosforo e al calcio. Il secondo gruppo è dato da As, Mn, Co e Ni. Una visione grafica è data dalla *figura 35* che raggruppa, nei 4 quadranti, tutti i punti di campionamento ciascuno con il proprio "peso". Il quadrato in basso a destra raffigura i punti N2 e NE2 dove i valori di metalli pesanti sono elevati. Il quadrato in alto a sinistra rappresenta le aree interessate prevalentemente da As, Mn, Co e Ni, mentre il quadrato in basso a sinistra raffigura i punti di campionamento i cui valori di concentrazione del suolo sono tipici dell'area in esame.

Per quanto riguarda i valori riscontrati in alcuni campioni di suolo per le diossine e furani (*tabella 3*), si osserva come le aree a maggior concentrazione di metalli pesanti siano le stesse per diossine e furani.

L'area più contaminata corrisponde al punto N2 con un valore di WTO-TEQ (Van den Berg, 1998) pari a 25,43 pg/g. Tale valore eccede significativamente il limite tabellare del D.Legislativo n. 152. Il valore base dell'area dovrebbe essere attorno a 1 pg/g (AA.VV., 2006).

Tabella 5. Valori di varianza

Component	Total Variance Explained								
	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	12.317	55.986	55.986	12.317	55.986	55.986	8.949	40.679	40.679
2	4.954	22.518	78.504	4.954	22.518	78.504	5.431	24.684	65.363
3	1.996	9.073	87.578	1.996	9.073	87.578	4.887	22.214	87.578
4	.795	3.615	91.192						
5	.606	2.754	93.947						
6	.383	1.742	95.689						
7	.250	1.138	96.826						
8	.154	.702	97.528						
9	.127	.578	98.106						
10	.090	.411	98.517						
11	.077	.348	98.865						
12	.060	.275	99.140						
13	.051	.231	99.371						
14	.042	.189	99.560						
15	.029	.131	99.690						
16	.022	.102	99.792						
17	.019	.084	99.876						
18	.012	.057	99.933						
19	.007	.033	99.966						
20	.003	.016	99.981						
21	.002	.010	99.992						
22	.002	.008	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Tabella 6. Valori di correlazione relativi alle tre componenti

Component Matrix^a

	Component		
	1	2	3
Hg_(ppm)	.901	.342	.010
As_(ppm)	.847	-.311	-.379
Cd_(ppm)	.879	.362	.046
Co_(ppm)	.774	-.393	-.380
Cr_(ppm)	.956	.153	-.089
Cu_(ppm)	.916	.329	.035
Mn_(ppm)	.752	-.352	-.496
Ni_(ppm)	.833	-.272	-.370
Pb_(ppm)	.765	.527	.031
Zn_(ppm)	.924	.291	-.079
Na_(ppm)	-.831	.348	.121
Al_(%)	.340	-.785	.485
Si_(%)	-.812	.237	-.209
Ca_(%)	.424	.659	.486
K_(%)	.531	-.682	.429
Fe_(%)	.852	-.447	.028
Mg_(%)	.546	-.648	.480
Ti_(%)	.493	-.571	.402
P_(%)	.844	.419	.133
pH	-.049	.533	.414
C tot_(%)	.668	.591	.077
C org_(%)	.781	.561	.067

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 3 components extracted.

L'indagine conoscitiva ha permesso di valutare la vastità dell'area impattata quantificando i livelli di concentrazione di metalli pesanti e diossine. L'area incriminata ha una estensione di alcuni ettari, là dove le concentrazioni di metalli pesanti e diossine sono risultati eccedenti ai valori di legge.

In alcuni campioni di suolo, precisamente gli stessi analizzati per le diossine, si è proceduto all'analisi dei

batteri per una più ampia lettura e per meglio interpretare i fenomeni legati ai contaminanti metallici e organici. Lo studio viene riportato in appendice.

I valori elevati di metalli pesanti e diossine sembrano non influire negativamente sui processi di respirazione dei batteri stessi, ciò potrebbe essere dovuto all'alto livello di concentrazione del carbonio organico che potrebbe mascherare effetti negativi dovuti ai contaminanti inorganici e organici.

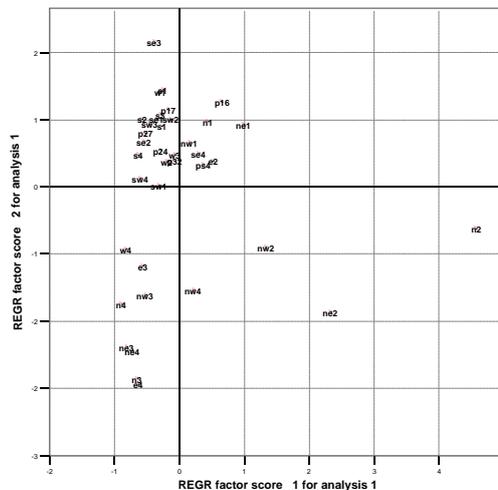


Figura 35. rappresentazione grafica delle componenti

Conclusioni

Il Progetto Pavia ha permesso di ottenere uno schedario molto ampio di dati chimici, fisici e biologici circa lo stato di qualità dei suoli pavesi. Questi dati servono e serviranno per una corretta gestione del suolo e per una politica mirata a salvaguardare la salute dei cittadini.

Il progetto ha inoltre indicato un aspetto importante, ha permesso di identificare una zona “anomala” per il suo grado di contaminazione di sostanze inorganiche e organiche.

L’area coinvolta ha un’estensione di alcuni ettari ed è adibita ad agricoltura.

I valori di concentrazione di diversi metalli pesanti, metalloidi e diossine superano i valori riportati nel Decreto Legislativo del 2006.

Sussistono due aspetti che inducono ad una doverosa riflessione. Alcuni metalli pesanti analizzati, la cui tossicità e pericolosità è nota, sono legati alla sostanza organica, questa ultima può essere intesa come una barriera biochimica che compartimenta, lega, immobilizza i metalli pesanti non lasciandoli passare verso la falda acquifera. Tale aspetto, positivo per

l’acqua, non è altrettanto per i prodotti che si coltivano, questi tenderebbero ad arricchirsi di metalli pesanti.

Il secondo aspetto riguarda il livello di acidità dei suoli, attorno alle 5 unità pH, quindi suoli acidi, suoli che tendono a liberare metalli pesanti che potrebbero passare nella falda freatica.

Si ha quindi una situazione di equilibrio instabile per l’ambiente, per l’area direttamente interessata e per le aree limitrofe. Due azioni che si contrappongono ma che, nel tempo potrebbero modificare inaspettatamente il loro percorso.

Si sottolinea che variazioni nella concentrazione del carbonio organico o processi di acidificazione dei suoli derivanti dall’utilizzo del suolo stesso, dalle pratiche agricole o dai cambiamenti climatici in corso, potrebbero accentuare e accelerare uno dei due aspetti arrecando quindi danni all’ambiente e alla popolazione. Occorre iniziare subito a monitorare l’area, tramite analisi che interessino sia le acque superficiali che di falda, il suolo ed i vegetali coltivati. Occorre inoltre ampliare lo spettro d’indagine controllando anche la concentrazione dei PoliCloroBifenili (PCBs) e degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

Bibliografia

- AA.VV. (2006). “Il suolo della Provincia di Pavia. Valutazione della concentrazione di composti organici e inorganici persistenti attraverso lo sviluppo di una rete di monitoraggio del suolo”. EUR 22132 IT. ISBN 10-92-894-8619-8. 128 pp.
- M. van den Berg, L. Birnbaum, A. T. C. Bosveld, B. Brunstrom, P. Cook, M. Feeley, J. P. Giesy, A. Hanberg, R. Hasegawa, S. W. Kennedy, T. Kubiak, J. C. Larsen, F. X. R. van Leeuwen, A. K. D. Liem, C. Nolt, R. E. Peterson, L. Poellinger, S. Safe, D. Schrenk, D. Tillit, M. Tysklind, M. Younes, F. Waern, Zacharewski.* (1998). “Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife”. *Environ. Health Persp.* 106, 775-792 pp.
- R.M. Cenci and F. Sena (Editors).* AA.VV. (2007). “Il suolo della Provincia di Pavia (Parte due)”. EUR 22132 IT/2. ISBN 92-79-03877-x. 238 pp.
- I. Clark and W. V. Harper.* (2004). “Practical Geostatistics”. Geostokos Ltd, Scotland.
- Eurostat.* (2003). “The Lucas survey. European statistical monitor territory, updated edition”. June 2003. European Commission ISBN 92-894-4984-5.
- E. H. Isaaks and R. M. Srivastava.* 1989.” *Applied Geostatistic*”, Oxford University, New York.
- ISO 11466 International standard, 1995. “Soil Quality – Extraction of trace elements soluble in aqua regia”. 6 pp.
- ITALIA, 2006.” Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale Parte IV - Titolo V- Bonifica dei siti contaminati”. Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14.04.2006.
- U. Springer, J Klee.* (1954). „Profung der Leistungfuhagkeit von einigen wichtigeren verfahren zur Bestimmung des Kohlemstoffs mittels Chromschwefelsaure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode. *Z. Pflanzenernohr*“. *Deng. Bodenk.*, 64,1.
- V. Stolbovoy, N. Filippi, L. Montanarella, M. Piazzi, F. Petrella, J. Gallego, S. K. Selvaradjou,* 2006. “Validation of the soil sampling protocol to verify the changes of organic carbon stock in mineral soil” (Piemonte Region, Italy). EUR 22339 EN. 41 pp.

APPENDICE

STUDIO DI INDICATORI DELLA SOSTANZA ORGANICA E DELLA BIOMASSA MICROBICA SU CAMPIONI DI SUOLO DELLA PROVINCIA DI PAVIA

RIASSUNTO

A seguito dei risultati raggiunti dal progetto, “Il suolo della provincia di Pavia”, riguardante la comprensione dello stato di salute dei suoli della provincia di Pavia mediante l'utilizzo di differenti tipi di indicatori specifici utilizzati da diversi gruppi di ricerca, sono stati analizzati alcuni campioni di suolo per i quali si è ritenuto necessario un approfondimento analitico in conseguenza di elevate concentrazioni in metalli pesanti, quali Cd, Pb, Hg, etc.

Lo studio presentato in questo lavoro illustra l'elaborazione di dati ottenuti attraverso l'impiego di analisi chimiche e biochimiche, concernenti la sostanza organica e la biomassa microbica, effettuate su 38 campioni di suolo, dei quali 33 si estendono a raggiera attorno al punto 4PS (long. 1.531.553; lat. 5.001.930), secondo le direzioni dei punti cardinali. Il campione 4PS è uno dei numerosi punti individuati nel precedente progetto dalla rete di campionamento LUCAS EUROSTAT nella Provincia di Pavia (AA.VV., 2006).

La valutazione complessiva dello stato di fertilità biologica dei campioni di suolo considerati, tiene conto del contributo di ciascun parametro stimato secondo quanto riportato in Pompili e Benedetti (2007),

pertanto il valore del carbonio organico totale, il carbonio della biomassa microbica, la stima della respirazione, lo studio cinetico della mineralizzazione della sostanza organica, il quoziente metabolico e il quoziente di mineralizzazione vengono impiegati e considerati nel complesso per poter ottenere un indice della fertilità biologica del suolo che meglio si avvicini alla realtà di campo.

I risultati emersi da questo approfondimento hanno messo in evidenza una condizione di fertilità biologica dei suoli analizzati che si colloca all'interno di un range di valore medio.

In conseguenza dei suggerimenti scaturiti dalla collaborazione tra la Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca di Ispra – Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità e il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma, si è proceduto con la stima della fertilità biologica, comprensiva della valutazione dei parametri chimici e biochimici, su 16 dei 38 campioni analizzati mentre sui restanti 22 sono stati valutati solo gli indicatori riguardanti i valori del carbonio organico totale e del carbonio della biomassa microbica.

Introduzione

L'area sperimentale dove è stata condotta la presente ricerca, ovvero la zona nord orientale della provincia di Pavia è già stata oggetto di studio nel progetto "Il suolo della provincia di Pavia", i cui risultati sono riportati in AA.VV. (2006), che ha riguardato la comprensione dello stato di salute dei suoli dell'intero territorio della provincia mediante l'utilizzo di indicatori ambientali specifici utilizzati da diversi gruppi di ricerca, e coordinato dal Prof. Roberto Cenci. Questo lavoro si inserisce quindi come prosecuzione e elemento aggiuntivo dei risultati ottenuti dal complesso progetto già citato.

Come già accennato gli indicatori specifici della qualità del suolo esaminati in questo lavoro, contribuiscono all'assegnazione di classi di fertilità biologica sebbene influenzata da innumerevoli variabili.

La valutazione del contenuto in sostanza organica e della cinetica di mineralizzazione della sostanza organica ad opera dei microrganismi del suolo mette in relazione la quantità di s.o. con la sua decomposizione e quindi il rilascio di nutrienti per la crescita vegetale.

La presenza di sostanza organica favorisce la disponibilità degli elementi nutritivi essenziali per il ciclo biologico dei vegetali ed è substrato di crescita per la biomassa microbica del suolo.

La presenza delle comunità di microrganismi presenti nel suolo contribuisce assieme ad altri fattori ambientali alla decomposizione della sostanza organica e rende disponibili all'assorbimento da parte delle radici delle piante gli elementi essenziali come i macro e micro nutrienti e gli elementi minerali.

La determinazione della quantità di sostanza organica e di carbonio organico totale presente nel suolo, della

respirazione, della biomassa microbica ed il calcolo del quoziente metabolico permettono di assegnare una scala di giudizio di fertilità biologica relativa all'attività funzionale dei microrganismi e presenza in quantità di s.o. (Pompili e Benedetti, 2007).

I parametri utilizzati in questa ricerca consentono di analizzare il sistema suolo considerando il flusso di carbonio veicolato dai microrganismi che a seconda del loro stato biologico possono utilizzare il substrato carbonio della sostanza organica per produrre biomassa e anidride carbonica in proporzioni differenti utilizzando strategie di sopravvivenza indicative del loro stato e del loro uso più o meno economico delle risorse disponibili.

Ad esempio il parametro cinetico della mineralizzazione potenziale del carbonio della sostanza organica portata avanti dalla biomassa microbica è strettamente collegato con l'attività metabolica dei microrganismi contenuti nel suolo che influiscono sulla produttività biologica influenzando la disponibilità degli elementi nutritivi per le piante.

Un uso non economico delle risorse disponibili da parte dei microrganismi con una veloce degradazione della fase labile della sostanza organica e con attività metabolica principalmente indirizzata alla produzione di CO₂ piuttosto che alla produzione di biomassa può avere le caratteristiche di fattore limitante la disponibilità di elementi nutritivi per i vegetali incidendo negativamente sulla fertilità biologica.

I campioni analizzati in questo studio provengono dalla zona nord orientale della provincia di Pavia. Secondo il precedente studio questa area era stata classificata a fertilità biologica media, così come tutta la zona centrale del territorio della provincia di Pavia.

Materiali e metodi

Trentadue campioni di suolo sono stati prelevati attorno ad un punto centrale secondo lo schema riportato in *figura 1*, seguendo le direzioni dei punti cardinali.

Il campione 4PS appartiene ad uno dei sette nodi di primo livello della precedente campagna di campionamento, comprendente 3 azioni di monitoraggio ad approfondimenti successivi (AA.VV., 2006).

Tutti i campioni sono stati prelevati ad una profondità di 0-40 cm.

Per tutti i campioni, preventivamente seccati all'aria e setacciati a 2 mm, sono state effettuate due repliche per le analisi chimiche relative al carbonio organico totale e alle determinazioni dell'attività microbica sulla mineralizzazione del carbonio della sostanza organica.

Il contenuto in carbonio della biomassa microbica è stato invece determinato in triplo.

Il contenuto in sostanza organica è stato stimato in maniera indiretta determinando la concentrazione di carbonio organico totale [g C organico / 100 g suolo] mediante il metodo analitico di Springer e Klee (1954), e moltiplicando il valore del TOC % ottenuto, per il coefficiente di Van Bemmelen (1,724), che si basa sull'assunzione secondo la quale, la sostanza organica del suolo contiene circa il 58% di carbonio organico.

La stima della respirazione [(mg C-CO₂ / Kg suolo) gg⁻¹] del suolo, che consente di quantificare l'attività microbica, è stata eseguita secondo il metodo descritto da Isermeyer (1952), il cui principio si basa sulla misura dell'anidride carbonica che si libera durante l'incubazione del suolo in un sistema chiuso. Tale esperimento è stato portato avanti per 21 giorni.

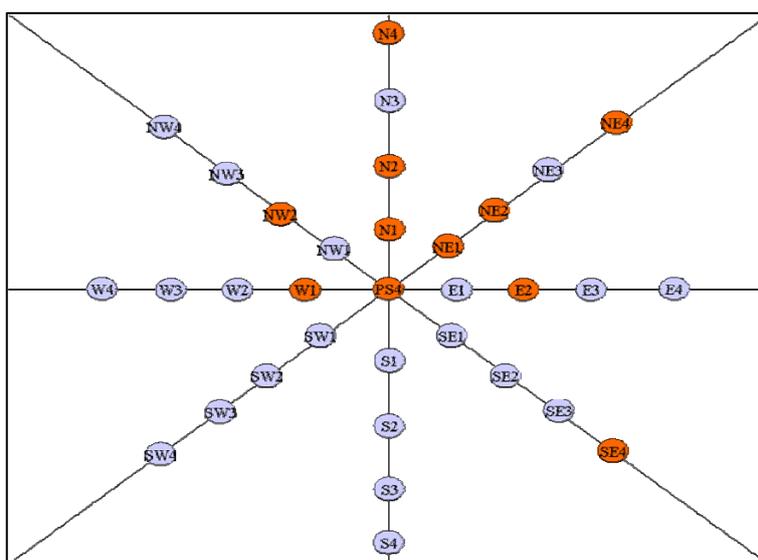


Figura 1 – disposizione dei punti di campionamento attorno al punto 4PS. I campioni segnati in arancione sono stati analizzati anche dal punto di vista biochimico.

Lo studio cinetico della mineralizzazione della sostanza organica da parte dei microrganismi del suolo è stato effettuato secondo la funzione esponenziale di primo ordine ($C_t = C_0 \cdot (1 - \exp(-kt))$) proposta da Riffaldi et al. (1996), dove C_0 , asintoto orizzontale della funzione esponenziale, è il carbonio potenzialmente mineralizzabile, k è la costante cinetica espressa in $1/\text{giorni}$ e t è il tempo di incubazione. L'elaborazione statistica della cinetica di primo ordine è stata effettuata mediante l'utilizzo del programma Statistica for Windows 5.0.

Il carbonio della biomassa microbica C_{micr} [mg C microbico / kg suolo] è stato determinato seguendo il metodo della fumigazione-estrazione (Vance et al., 1987).

Il quoziente metabolico, $q(\text{CO}_2)$ [(mg C- CO_2 / mg C microbico) h^{-1}], indicatore ecofisiologico di popolazione (Anderson 2003), esprime la quantità di carbonio mineralizzato nell'unità di tempo dai microrganismi presenti nell'unità di suolo (Anderson e Domsch, 1990).

Il quoziente di mineralizzazione, $q(M)$ [(mg C- CO_2 / kg suolo)/TOC%], esprime la capacità del terreno di mineralizzare sostanza organica del suolo in 21 giorni di incubazione (Dommergues, 1960).

È stato calcolato, inoltre, il rapporto $(C_{micr} / \text{TOC})\%$, utilizzato come controllo interno dello stato di equilibrio della comunità microbica nei confronti della sostanza organica presente (Brookes, 1995; Anderson e Domsch, 1990), anch'esso considerato come indicatore ecofisiologico per la valutazione della qualità del suolo (Anderson 2003).

Tutti i risultati relativi ai parametri descritti sono riferiti a peso secco (105°C).

Risultati e Discussione

I valori della caratterizzazione chimica riportati in *tabella 1* e gli istogrammi riportati in *figura 2*, permettono di comprendere quanto sia importante, nello studio della qualità del suolo, considerare il maggior numero di parametri disponibili per approssimare al meglio la situazione di campo.

Per i 16 campioni di *figura 2a* è stato possibile rappresentare un range di fertilità biologica che va da medio alta a medio bassa spostandoci verso destra nel grafico. Per tali campioni sono state effettuate anche le analisi di tipo biochimico, essenziali per l'assegnazione di una classe di fertilità biologica.

I campioni riportati in *figura 2b* non sono stati ordinati secondo un range di fertilità in quanto è stata effettuata la sola determinazione della s.o.

Prima di procedere con la discussione dei risultati di questo lavoro occorre precisare che l'indice di fertilità proposto da Pompili e Benedetti (2007) è stato messo a punto per suoli a tessitura franco/argillosa e pH compreso tra 6,5 e 7,5 e che sono stati tarati per un tipo di analisi di laboratorio che prevede essiccazione del terreno e ricondizionamento a temperatura ed umidità ottimali per l'attività microbica.

Precisato ciò un campione con elevata quantità di sostanza organica e carbonio organico totale non necessariamente ha una condizione di fertilità ottimale. Si osservi ad esempio il campione N2 (*figura 2a*) che ha un valore di fertilità medio basso ma elevata quantità in sostanza organica e Corg. Bisogna, infatti sempre tenere in considerazione l'utilizzo che i microrganismi fanno del loro substrato sostanza organica e carbonio organico totale.

Il campione NW2 (*figura 2a*) ha rispetto agli altri una percentuale intermedia di sostanza organica e carbonio

organico totale. Nonostante questo si trova a sinistra del grafico (fertilità elevata) perché considerando nel complesso tutti i parametri utilizzati, si può ipotizzare un uso oculato delle risorse disponibili sotto forma di sostanza organica da parte dei microrganismi.

In altre parole ciò permette alla fase labile della sostanza organica di non essere degradata troppo velocemente e nel contempo di non essere mineralizzata in eccesso di anidride carbonica piuttosto che trasformata in carbonio della biomassa microbica.

Una situazione opposta a quella del campione NW2 si può osservare per il campione P17 il quale è caratterizzato da valori di s.o. e Corg intermedi, ma è in condizioni di fertilità biologica medio bassa. In questo caso è ragionevole supporre che i microrganismi del punto di campionamento P17 tendono a degradare la sostanza organica con strategia di sopravvivenza che denota una situazione di stress

relazionata a quelle dei campioni di *figura 2a*. In questo caso la fase labile della sostanza organica viene persa per eccessiva mineralizzazione in forma di CO₂.

I valori percentuali di sostanza organica e carbonio organico totale dei campioni raffigurati in *figura 2b*, sono relativamente simili tra loro fatta eccezione per i campioni N3, NE3, E3 e W4. Questi ultimi campioni menzionati divergono leggermente dalla media di tutti gli altri, mettendo in luce una differenza statisticamente significativa.

Tuttavia alla luce delle considerazioni scaturite dall'analisi dei campioni nelle vicinanze dell'area sperimentale attorno al campione PS4 nello studio condotto nel corso della ricerca pregressa, si può ipotizzare per i 22 campioni per i quali sono state effettuate solo le analisi di determinazione della sostanza organica, una condizione media di fertilità biologica.

Tabella 1. Caratterizzazione chimica riguardante i valori percentuali della sostanza organica e del carbonio organico totale (g di C / 100g suolo). Le lettere in apice indicano le differenze statisticamente significative. Lettere uguali per valori non diversi tra loro.

Sigle campioni	Sostanza Organica	C organico totale
	SO	Corg
	%	%
N1	3,78	2,19
N2	7,60 ^a	4,41
N3	2,32 ^b	1,35
N4	2,07 ^b	1,20
NE1	4,52	2,62
NE2	6,10 ^a	3,54
NE3	2,30 ^b	1,34
NE4	2,53	1,47
E1	3,60	2,09
E2	3,84	2,23
E3	2,03 ^b	1,18
E4	2,67	1,55
SE1	3,09	1,79
SE2	3,16	1,83
SE3	3,26	1,89
SE4	3,68	2,13
S1	3,31	1,92
S2	3,08	1,79
S3	3,33	1,93
S4	3,02	1,75
SW1	3,07	1,78
SW2	3,32	1,93
SW3	3,19	1,85
SW4	2,97	1,73
W1	3,44	2,00
W2	3,09	1,79
W3	3,30	1,91
W4	2,27	1,32
NW1	3,46	2,01
NW2	4,32	2,51
NW3	3,27	1,90
NW4	4,05	2,35
PS4	3,59	2,08
P16	3,75	2,17
P17	3,03	1,76
P24	2,98	1,73
P27	2,63	1,52
P32	3,58	2,08

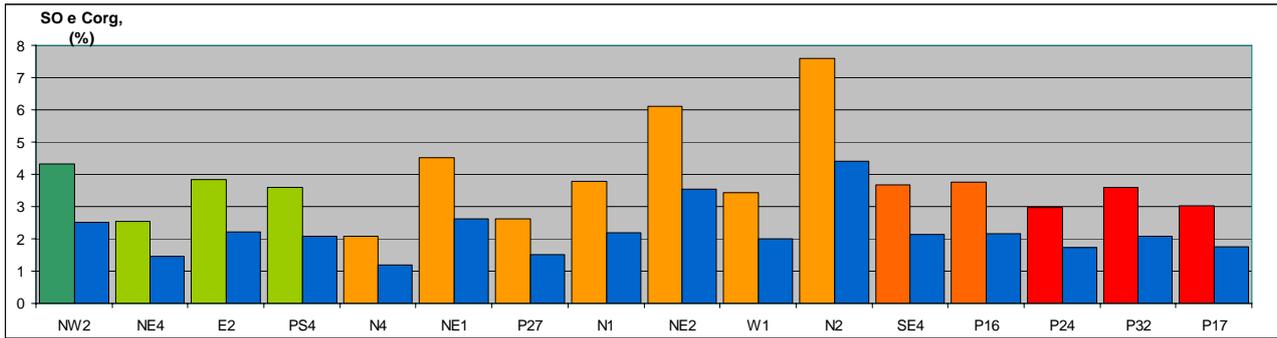


Figura 2 a

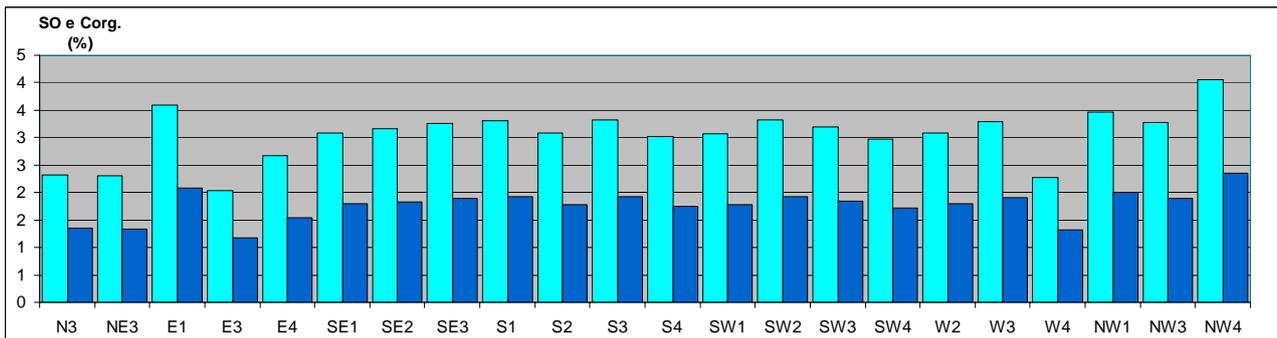


Figura 2 b

Figura 2 – a) istogrammi del carbonio organico totale (in blu) e della sostanza organica (diverso colore) secondo il gradiente di fertilità biologica che decresce spostandosi verso la destra del grafico.

b) istogrammi dei campioni per i quali sono state effettuate solo le analisi di tipo chimico e che quindi non possono essere disposti in gradiente di fertilità biologica.

Nella *tabella 2* sono riportati i valori della caratterizzazione biochimica nel loro complesso per avere una visione d'insieme che possa dare un riscontro immediato riguardo lo stato dell'attività funzionale delle comunità microbiche presenti nei singoli campioni.

Il grafico su due assi di *figura 3* osservato singolarmente non fornisce informazioni immediate concernenti il processo metabolico della mineralizzazione della sostanza organica condotto ad opera dalla biomassa microbica.

Nonostante questo è di notevole importanza poiché dà numerose indicazioni riguardo le strategie di sopravvivenza delle comunità microbiche dei campioni di suolo analizzati se relazionato ai valori della sostanza organica, del carbonio organico totale e del carbonio della biomassa dei microrganismi.

Il calcolo della respirazione basale e cumulativa, infatti, è necessario per poter ricavare rispettivamente i valori dei quozienti metabolici e di mineralizzazione.

Dall'osservazione della *figura 3* si denota un andamento discontinuo procedendo da sinistra del grafico verso destra, ossia seguendo l'andamento decrescente di fertilità biologica. In pratica non è distinguibile una linea di tendenza dei valori della mineralizzazione della sostanza organica lungo il gradiente di fertilità.

Nel grafico di *figura 4a* sono riportate in istogrammi, le stime del carbonio della biomassa microbica costituita da batteri, attinomiceti, funghi, alghe e protozoi, che popola, certamente non come unica e sola forma di vita, lo strato più superficiale (0-40 cm) del suolo.

Data l'estrema complessità delle forme biotiche ed abiotiche presenti nel suolo e delle relazioni di competizione che tra esse intercorrono, non sempre esiste una correlazione diretta tra quantità di biomassa dei microrganismi e buona fertilità biologica.

Infatti, come emerge dal grafico di *figura 4a* si ha una disposizione decrescente di fertilità col diminuire della biomassa ma solo come tendenza. Si prenda ad esempio il campione PS4 che pur avendo valori di biomassa inferiori ad altri dello stesso grafico, ha una di fertilità biologica migliore.

E' comunque relativamente indicativa la linea di tendenza che associa la maggior quantità di biomassa con un buono stato di fertilità biologica media. Ad esempio di quanto detto, osservando i campioni P24, P32 e P17, si denota correlazione tra fertilità medio bassa e bassa quantità di biomassa.

Il campione NW2, invece, pur non avendo il valore più alto di biomassa risulta essere il campione con fertilità biologica migliore sempre considerando il fatto che gli altri parametri considerati, per tale campione,

contribuiscono positivamente alla valutazione complessiva della fertilità biologica.

Tabella 2. Caratterizzazione biochimica dei 16 campioni considerati. I valori di C0 e k sono rispettivamente l'asintoto e la costante cinetica della funzione esponenziale di primo ordine ($C_t = C_0 \cdot (1 - \exp(-kt))$) rappresentante le curve di attività di mineralizzazione della sostanza organica da parte dei microrganismi del suolo.

Stile campioni	Resp. basale	Resp. Cumulativa	Asintoto	Cost. cinetica	Cmicr.	Quoziente metabolico	Quoziente di mineralizz.	Cmicr/Ctotale
	C _{basale}	C _t	C ₀	K	Cmicr.	q(CO ₂)	qM	Cmicr/Corg.
	ppm	ppm	ppm	t ⁻¹ (gg)	ppm	10 ⁻⁴ (h ⁻¹)	%	%
N1	6,7	406,6	383,9	0,204	79,6	3,492	1,85	3,63
N2	11,5	555,5	602,2	0,142	71,5	6,711	1,35	1,62
N4	4,3	246,9	248,8	0,143	144,2	1,245	2,06	12,02
NE1	6,2	348,4	326,3	0,202	103,6	2,512	1,33	3,95
NE2	9,4	510,9	477,7	0,205	98,7	3,950	1,44	2,79
NE4	5,8	339,1	310,5	0,268	155,9	1,560	2,31	10,63
E2	7,6	356,5	329,9	0,213	128,8	2,453	1,60	5,79
SE4	5,1	274,5	250,7	0,247	38,5	5,514	1,29	1,80
W1	8,1	413,0	385,3	0,213	53,3	6,338	2,07	2,67
NW2	10,1	447,2	430,0	0,167	121,2	3,458	1,78	4,83
PS4	8,3	440,6	419,9	0,187	94,2	3,679	2,11	4,52
P16	6,3	392,6	370,7	0,212	47,4	5,559	1,81	2,18
P17	5,2	324,6	303,2	0,223	16,7	12,940	1,84	0,95
P24	5,9	327,7	299,1	0,231	31,9	7,697	1,87	1,85
P27	6,3	383,2	355,5	0,237	104,3	2,513	2,52	6,84
P32	7,2	384,2	361,6	0,199	29,3	10,221	1,85	1,41

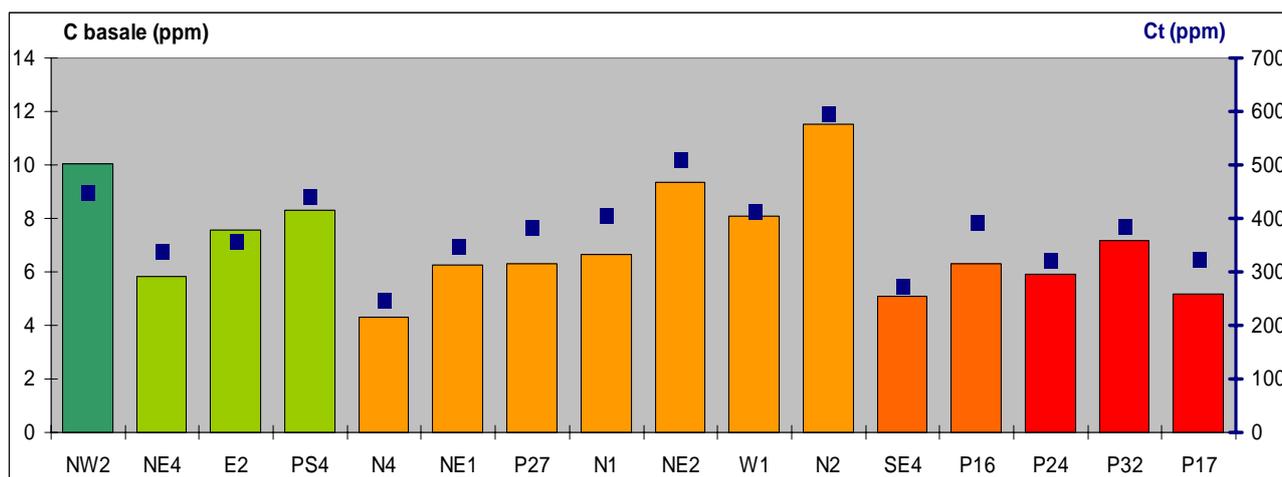


Figura 3. Grafico su due assi riportante i valori della respirazione basale (istogrammi) e valore cumulativo della respirazione Ct (quadrati blu) del suolo. La respirazione basale misura l'anidride carbonica che si libera durante l'incubazione del suolo in un sistema chiuso durante l'ultimo giorno di incubazione del campione ed è la misura considerata più verosimile alla situazione di campo.

La respirazione cumulativa misura l'anidride carbonica che si libera durante l'incubazione del suolo in un sistema chiuso durante tutto il periodo di incubazione del campione in laboratorio.

La figura 4b rappresenta l'andamento dei quozienti metabolici dei 16 campioni analizzati.

I valori espressi in questo grafico, considerati come indicatori ecofisiologici di popolazione (Anderson 2003), forniscono pronte informazioni riguardanti la quantità di carbonio mineralizzato nell'unità di tempo dai microrganismi presenti nell'unità di suolo (Anderson e Domsch, 1990).

Tendenzialmente, ad elevati valori di quoziente metabolico, corrispondono livelli di fertilità biologica medio bassi in quanto la popolazione microbica tende a consumare le riserve di s.o. senza immagazzinare carbonio.

Quando invece la comunità microbica ha bassi valori di respirazione per unità di biomassa nell'unità di tempo ossia quando i valori di qCO₂ sono bassi come nel caso della metà sinistra del grafico in figura 4b, una discreta quantità di carbonio sarà utilizzato per la produzione di biomassa e per l'accrescimento della popolazione microbica, riscontrabile tra l'altro da valori elevati delle percentuali del rapporto carbonio della biomassa su carbonio organico totale (Cmicr / Corg) come visibile nella metà sinistra del grafico in figura 5b (Anderson, 2003; Anderson e Domsch, 1986; Anderson e Domsch, 1993).

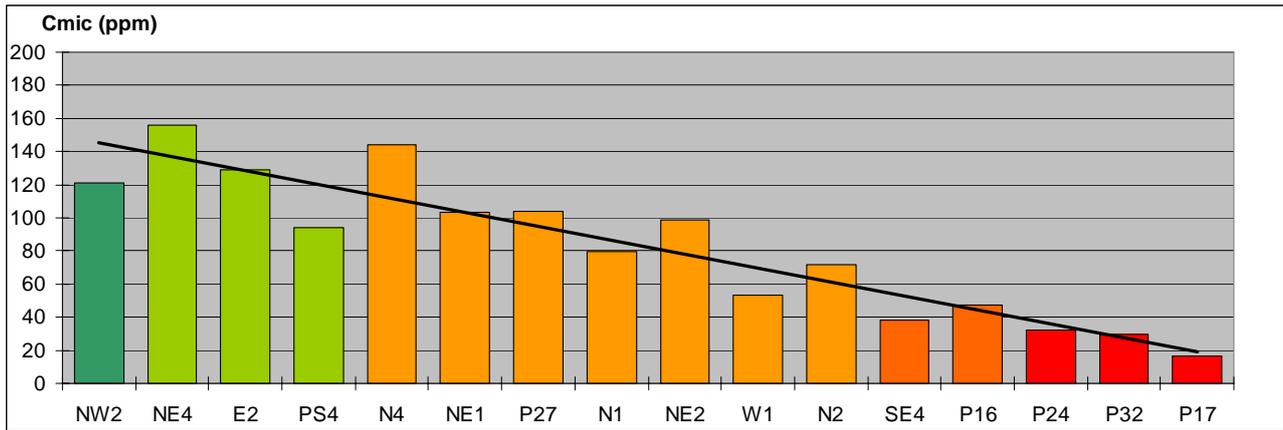


Figura 4 a

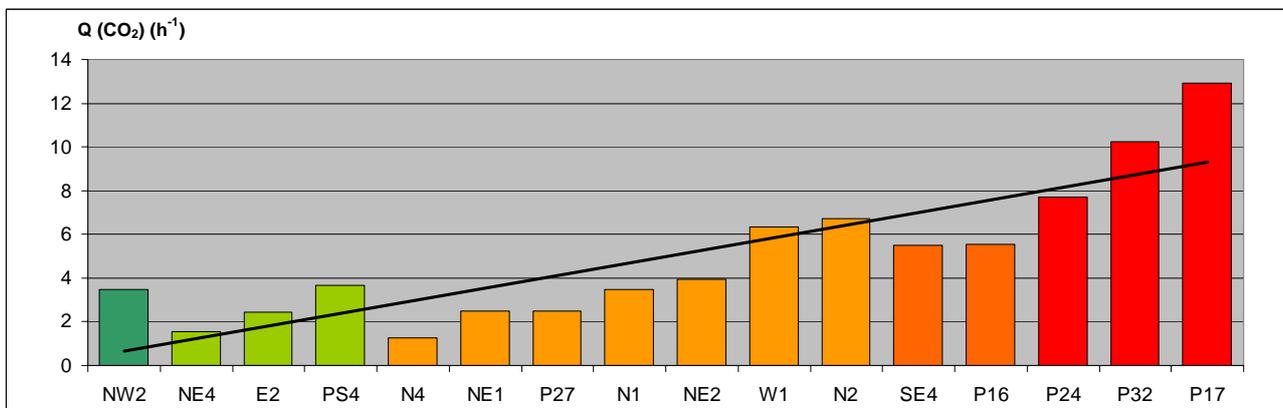


Figura 4 b

Figura 4 – a) istogrammi dei valori del carbonio della biomassa microbica con la linea di tendenza della fertilità biologica che diminuisce spostandosi verso la destra del grafico.

b) valori dei quozienti metabolici con la relativa linea di tendenza che aumenta al diminuire della fertilità biologica.

Se si mette a confronto il grafico di *figura 4b* con quello di *figura 5b* si può verificare quanto appena detto osservando le opposte linee di tendenza.

La *figura 5a* rappresenta gli istogrammi dei quozienti di mineralizzazione dai quali risultano meno immediate le informazioni che è possibile ricavare. Infatti la

quantità di sostanza organica mineralizzata in 21 giorni di incubazione (Dommergues, 1960), per il caso dei campioni analizzati, non presenta una tendenza rilevabile e va invece considerata alla luce delle informazioni provenienti dalle curve cinetiche dell'attività di mineralizzazione di *figura 6*.

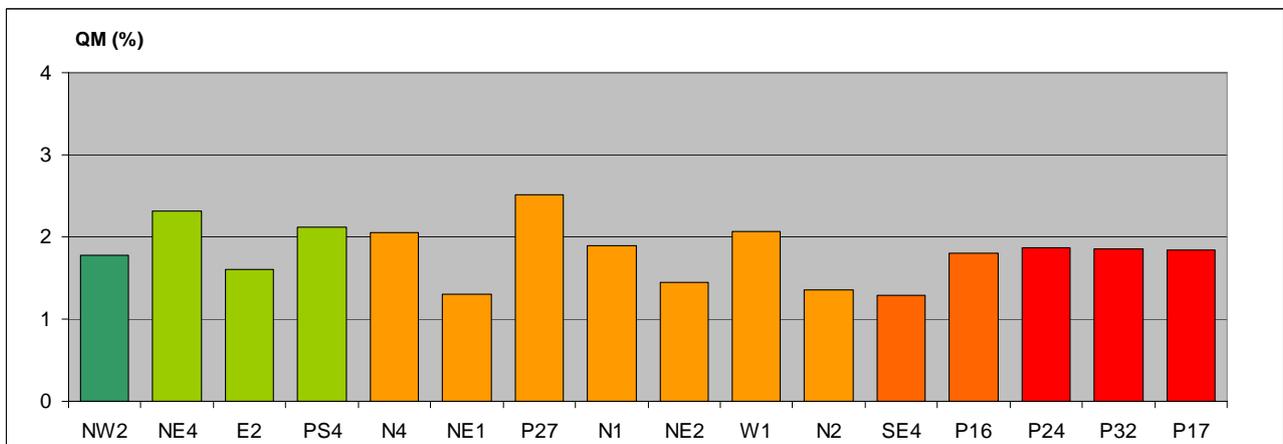


Figura 5 a

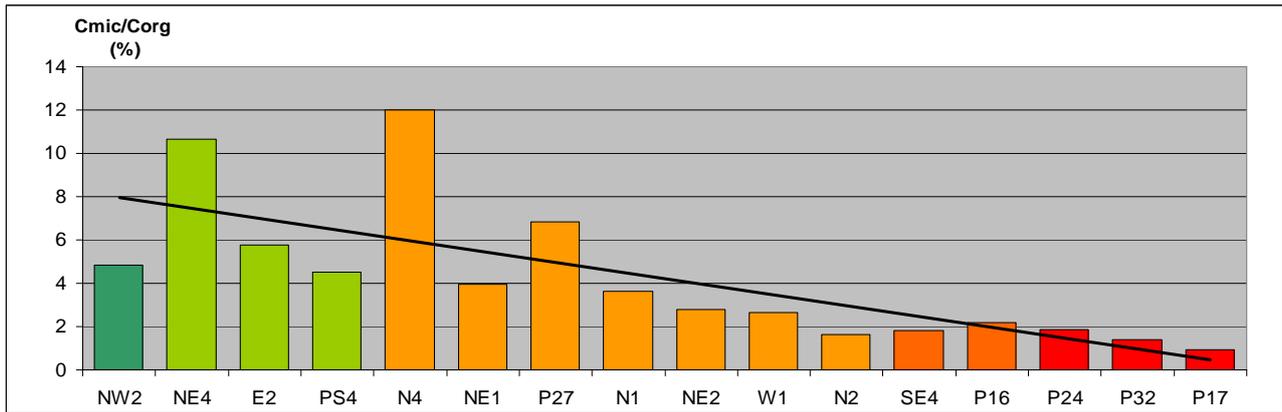


Figura 5 b

Figura 5 – a) valori dei quozienti di mineralizzazione. Non è possibile associarvi una linea di tendenza.
 b) valori percentuali del rapporto tra il carbonio della biomassa microbica e il carbonio organico totale del suolo con la relativa linea di tendenza che decresce con il diminuire della fertilità biologica (destra del grafico).

Nelle curve cinetiche di *figura 6*, sono espressi i grafici delle funzioni esponenziali di primo ordine, relativi alla mineralizzazione potenziale del carbonio nel tempo d'incubazione (21 giorni).

Lo studio cinetico di tali funzioni concorda con quanto fino ad ora discusso. Si osservi ad esempio la cinetica di emissione di anidride carbonica del campione N2 (in rosso) che ha valore di carbonio potenzialmente mineralizzabile più alto rispetto a tutti gli altri campioni. La mineralizzazione condotta dalla comunità microbica del campione N2 però va analizzata anche in relazione alla presenza di carbonio della biomassa microbica che, dall'osservazione del grafico di *figura 4a* non presenta elevato valore ma al contrario, relativamente basso. Questa considerazione suggerisce che i microrganismi presenti in N2, compiono una veloce degradazione della fase labile della sostanza organica, utilizzando la fonte di carbonio loro disponibile in maniera non oculata. Principalmente

indirizzano la loro attività metabolica verso la produzione di anidride carbonica. Questo rende più chiara l'assegnazione della classe di fertilità medio bassa per tale campione.

Al contrario se si osserva la cinetica di mineralizzazione del campione N4 (in blu), si nota che ha valori di C₀, asintoto orizzontale, e della relativa area sottostante la curva esponenziale, minori rispetto a tutti gli altri campioni pur possedendo elevati valori di carbonio della biomassa microbica. I microrganismi del campione N4, allora, risultano avere una strategia di sopravvivenza volta ad un uso oculato delle risorse disponibili sotto forma di fonte di carbonio proveniente dalla sostanza organica. La comunità microbica di N4 ha un'attività metabolica indirizzata principalmente nella produzione di biomassa. A differenza del campione N2, ad N4 è stata assegnata una classe di fertilità biologica medio alta.

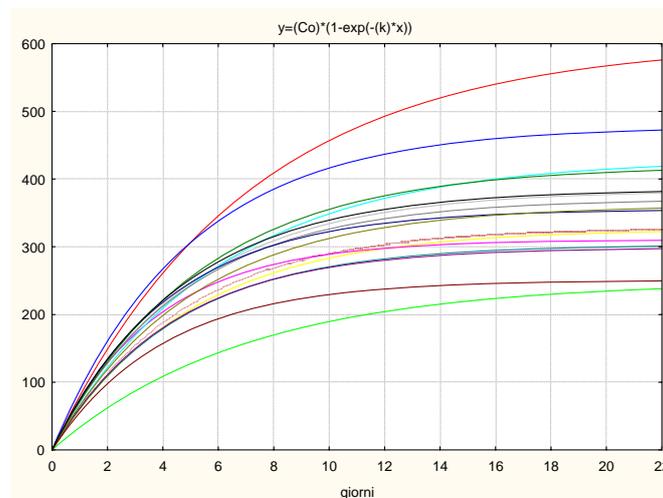


Figura 6. Curve cinetiche dell'attività di mineralizzazione potenziale della sostanza organica disegnate secondo il modello cinetico esponenziale $y=Ct = C_0(1-\exp(-kt))$. Le curve colorate in figura corrispondono ai seguenti campioni: **N4-SE4-P24-P17-NE4-NE1-E2-P32-P27-P16-N1-W1-PS4-NW2-NE2-N2**

Conclusioni

La complessità dei processi biologici studiati su scala ecologica e in atto nell'ecosistema suolo rende assai arduo il compito di fornire dati anche solo sommari che possano semplificare la cognizione del concetto di fertilità biologica del suolo stesso. Per perseguire tale obiettivo occorre allora riuscire a semplificare procedendo con la trattazione dell'argomento mediante suddivisioni nozionistiche appartenenti a differenti discipline che studiano i comparti dell'ecosistema suolo sotto diversi aspetti: pedologici, fisici, chimici, biochimici, fisiologici, microbiologici ecc.

Obiettivo del presente studio è stato dunque quello di porre un tassello nel mosaico di tale molteplicità definendo, sebbene in modo semplicistico, e dunque spesso riduttivo, il concetto di fertilità biologica del suolo con l'ausilio di pochi parametri rispetto agli innumerevoli esistenti, e mediante le interpretazioni delle relazioni che tra essi intercorrono. Per questo motivo sono stati utilizzati parametri di tipo chimico per la caratterizzazione della sostanza organica, biochimico ed ecofisiologico per lo studio funzionale delle comunità microbiche del suolo analizzate nel loro complesso.

Inoltre l'interpretazione del concetto di fertilità biologica proposta si basa sulla considerazione che la principale fonte di energia per la biomassa microbica del suolo è la sostanza organica in decomposizione, e considera la relazione tra la qualità del suolo e l'attività di mineralizzazione di quei microrganismi del suolo che necessitano di carbonio come fonte di nutrimento (eterotrofi).

Come esempio esplicativo, comparando tra loro i campioni elencati in tabella 2, si possono osservare le differenze che intercorrono tra il campione NW2 con fertilità biologica migliore (medio alta) ed il campione P17 con fertilità biologica peggiore (medio bassa).

Bassi valori di respirazione per unità di biomassa microbica nell'unità di tempo (q_{CO_2}), e alta percentuale del rapporto carbonio della biomassa su carbonio organico totale C_{mic}/C_{org} (Anderson, 2003; Anderson e Domsch, 1986) permettono di supporre che la comunità microbica del campione NW2 abbia assunto una strategia di sopravvivenza di tipo k, ossia di tipo conservativo nella quale si predilige un uso oculato delle risorse disponibili sotto forma di energia derivante dalle differenti fonti di carbonio nel suolo. La loro attività metabolica è indirizzata principalmente verso l'accrescimento come produzione di biomassa.

Al contrario per il campione di suolo P17 è ragionevole supporre la presenza di una comunità microbica tipica delle specie con strategia di sopravvivenza di tipo r, ossia riproduttiva, per le quali si possono riscontrare più alti valori di q_{CO_2} e valori minori di C_{mic}/C_{org} . Questo tipo di strategia prevede un uso non economico delle risorse disponibili sotto forma di energia derivante dalle differenti fonti di carbonio nel suolo (veloce degradazione della fase labile della s.o.). L'attività metabolica dei microrganismi è indirizzata principalmente verso la produzione di CO_2 (Dilly, 2005).

I risultati emersi dal presente studio permettono di assegnare una valutazione dello stato di fertilità biologica che si sposta, nell'ambito di una classificazione media, da medio alta a medio bassa, perlomeno per i 16 campioni di tabella 2. Tale valutazione è in accordo con quanto riscontrato nel lavoro svolto nel corso del precedente progetto di ricerca, nel quale si era già potuto assegnare alla zona di origine del punto 4PS (punto centrale nella nuova campagna di campionamento) la classe di fertilità media. Tale risultato fa supporre che la presenza delle alte concentrazioni di metalli pesanti riscontrate non influenzano in modo determinante l'attività metabolica delle comunità microbiche e la relativa fertilità biologica della zona approfondita.

Bibliografia

- AA.VV. (2006). "Il suolo della provincia di Pavia". EUR: LB-NA-22132-IT-C IT, ISBN-10 92-894-8619-8.
- Anderson T.-H. (2003). "Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality". *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98, pp. 285-293.
- Anderson T.-H., Domsch K.H. (1986). "Carbon link between microbial biomass and soil organic matter". In: Megusar, F., Gantar, M. (Eds.), "Perspectives in Microbial Ecology. Slovene Society for Microbiology", Ljubljana, Mladinska Knjiga, pp. 467-471.
- Anderson T.-H., Domsch K.H. (1990). "Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories". *Soil Biol. Biochem.* 10, pp.251-255.
- Anderson T.-H., Domsch K.H. (1993). "The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as pH, on the microbial biomass of forest soils". *Soil Biol. Biochem.* 25, pp. 393-395.
- Brookes P.C. (1995). "The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals". *Biol. & Fert. Soils.* 19, 269-279.
- Dilly O. (2005). "Microbial Energetics in Soils". In: "Microorganism in Soils: Roles in Genesis and Functions" (ed. by F. Buscot and A. Varma). *Soil Biology*, Volume 3, pp. 123-136.
- Dommergues Y. (1960). "La notion de coefficient de minéralisation du carbone Dans les sols". *L'Agronomie Tropicale*. Vol XV, N° 1, pp 54-60.
- Isermeyer H. (1952). "Eine einfache Methode sur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden". *Z. Pflanzenernah Bodenk.* 56, 26-38.
- Pompili L., Benedetti A. (2006). "Proposta per la determinazione di un indice di fertilità biologica del suolo basato sui parametri biochimici". In: "Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo". A cura di: P. Sequi, A. Benedetti, M.T. Dell'Abate. Ed. Delta Grafica.
- Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R. (1996). "Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties". *Biol. Fert. Soils.* 22, 293-298.
- Springer U., Klee J. (1954). "Profung der Leistungsfähigkeit von einigen wichtigeren verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs mittels Chromschwefelsäure sowie Vorschlag einer neuen Schnellmethode". *Z. Pflanzenernahr. Deng. Bodenk.*, 64,1.
- Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. (1987). "An extraction method for measuring microbial biomass C". *Soil Biol. Biochem.* 19, 703-707.

European Commission

EUR 22762 IT – Joint Research Centre, Institute for the Environment and Sustainability
Title: MONITORAGGIO AMBIENTALE DI UN'AREA CONTAMINATA NELLA PROVINCIA DI PAVIA
Authors: R.M. Cenci, F. Sena, A. Benedetti, G.M. Beone, E. Christoph, S. Contini, G. Locoro, G. Mariani, A. S. Mellina, L. Montanarella, L. Pompili, H. Skejo, S. Spalla, E. Sobiecka, G. Umlauf, S. Vaccaro

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
2007 – 60 pp. – 21 x 29.5 cm
EUR - Scientific and Technical Research series; ISSN 1018-5593
ISBN 978-92-79-05652-9

Abstract

Lo scopo di tale indagine è stato quello di valutare l'estensione e l'entità di contaminanti presenti nei suoli superficiali a suo tempo riscontrati mediante il Progetto Pavia.

Il monitoraggio ambientale ha interessato un'area di circa 12 ettari situata nel comune di Carpiano.

Complessivamente sono state identificate 33 aree di campionamento dove sono stati prelevati campioni di suolo sino alla profondità di 30 cm. In ciascun campione di suolo, dopo adeguati trattamenti, è stata valutata la concentrazione di metalli pesanti, metalloidi, macroelementi, sostanza organica, pH, densità apparente, contenuto d'acqua. In alcuni campioni, precisamente 11, si è analizzata la concentrazione di diossine e furani e si è approntato uno studio che ha visto l'utilizzo dei batteri e dei loro prodotti.

Lo studio condotto attraverso l'uso dei batteri ha evidenziato anomalie in alcuni punti ad elevata contaminazione.

I risultati analitici ottenuti hanno identificato la presenza di una importante contaminazione di metalli pesanti, metalloidi, diossine e furani che interessa un'area di alcuni ettari. Tale livello di contaminazione, per la presenza di sostanza organica e per valori ridotti di acidità dei suoli stessi, potrà arrecare danni ingenti all'ambiente.

The mission of the JRC is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of EU policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Union. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of special interests, whether private or national.