

Distribuzione spaziale dei contaminanti nel suolo e stima dei tempi di risanamento delle aree agricole

Giuseppe Raspa

Sito contaminato SIN Brescia-Caffaro: i risultati del fitocontenimento e della sperimentazione di tecnologie di bioremediation nei terreni agricoli

13 giugno 2019 Brescia

Dipartimento
Ingegneria Chimica Materiali Ambiente



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fase 3 dell'indagine conoscitiva

Consiste nel campionamento di dettaglio dei terreni di interesse del progetto e nel trattamento delle relative informazioni da diversi punti di vista.

Questa presentazione tratterà della distribuzione spaziale dei contaminanti (As, Hg, PCDD/F, PCB), importante per orientare le attività di sperimentazione della tecnologia e la pianificazione degli interventi di bonifica.

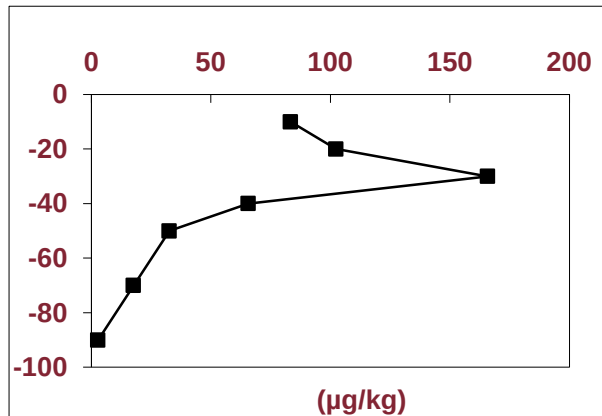
Più in particolare sarà illustrata la tecnica di mappatura delle concentrazioni impiegata

- evidenziare i livelli e il grado di omogeneità della contaminazione;
- individuare il sito dove prelevare il materiale per la sperimentazione;
- applicare puntualmente il modello di degradazione degli inquinanti risultante dalla sperimentazione per produrre la mappa dei tempi di disinquinamento

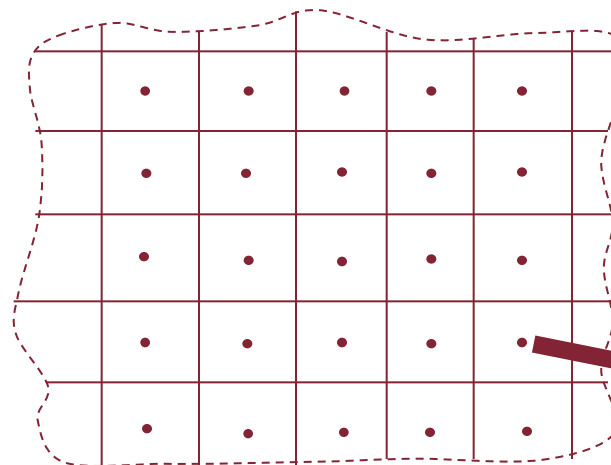
Campionamento

- Punto di partenza: i risultati della fase 2 che hanno suggerito di campionare fino a una profondità di 40 cm
- È stato scelto quale schema di campionamento una maglia di 50 × 50 m con un campione composito al centro, costituito da 5 prelievi ai vertici e al centro di un quadrato di 1m di lato.

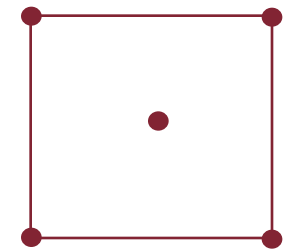
Andamento lungo la verticale delle concentrazioni



Maglia di campionamento
50 x 50 m



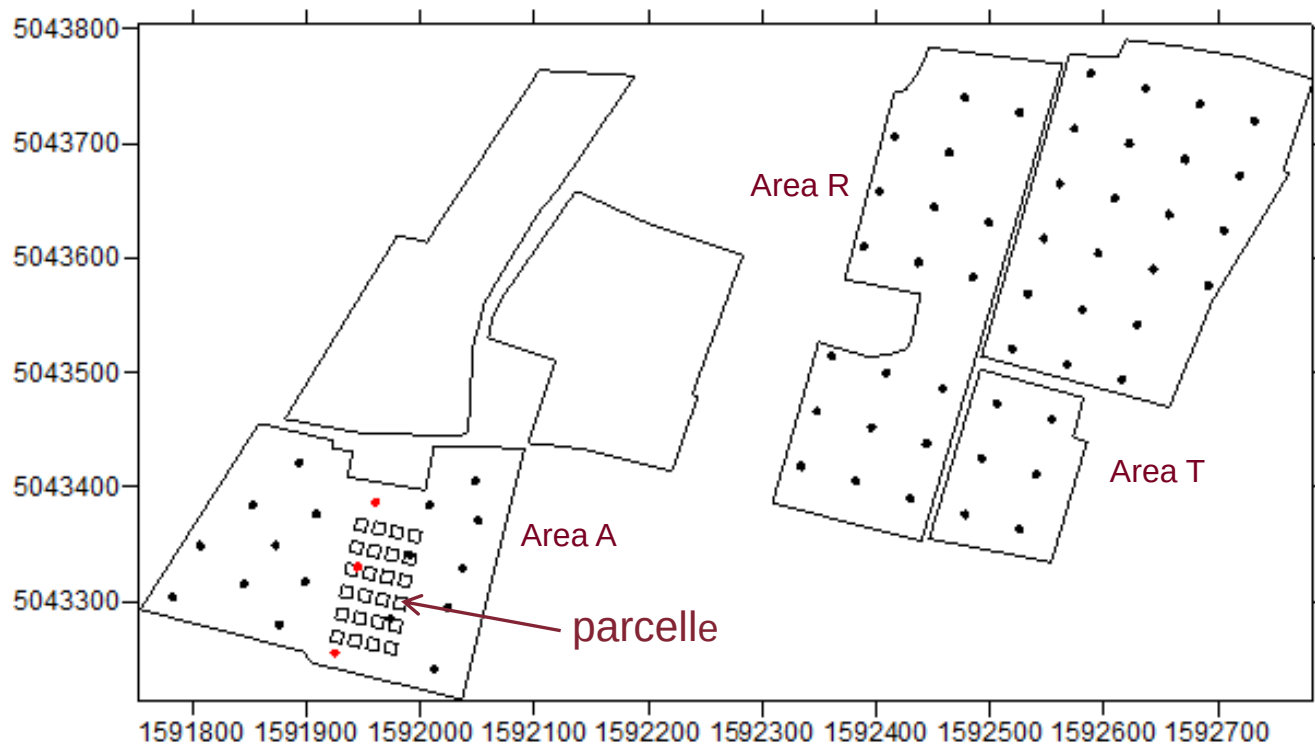
Campione composito
in ogni punto-stazione



Piano di campionamento

Numero di campioni

- 17 nell'area A
- 19 nell'area R
- 28 nell'area T
- 3 campioni della fase 2
- 24 campioni compositi di parcelle nell'area A



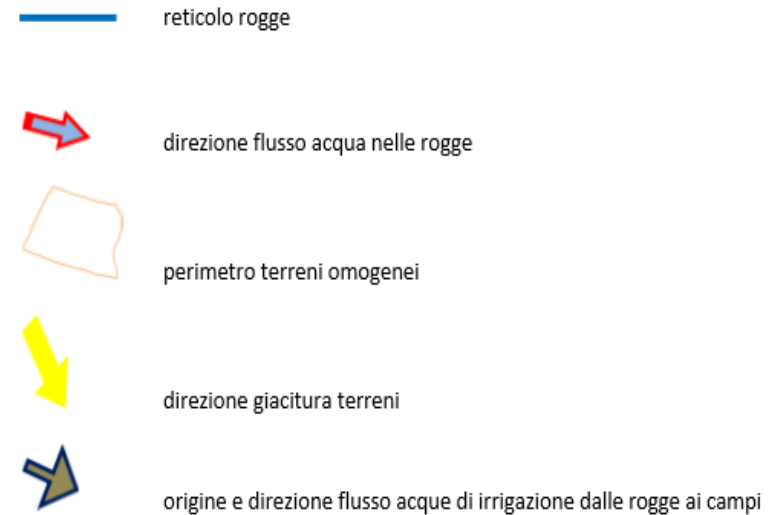
Approccio alla mappatura

Sorgente dell'inquinamento

- La contaminazione dei terreni agricoli oggetto dell'indagine è portata dalla acque di irrigazione
- Le acque di irrigazione rilasciano i contaminanti fluendo dalle rogge ai campi
- Il processo determina una distribuzione delle concentrazioni che presenta un trend in diminuzione (più o meno accentuato) nella direzione di scorrimento delle acque.

Una mappatura realistica della distribuzione dei contaminanti nel terreno necessita di una ricostruzione della rete delle rogge che hanno portato le acque le acque di irrigazione

Schema del flusso dalle rogge ai campi



La metodologia di mappatura adottata prevede di trattare separatamente i campi delimitati da canali, in quanto l'andamento delle concentrazioni, tra un campo e l'altro, è indipendente e può presentare discontinuità.

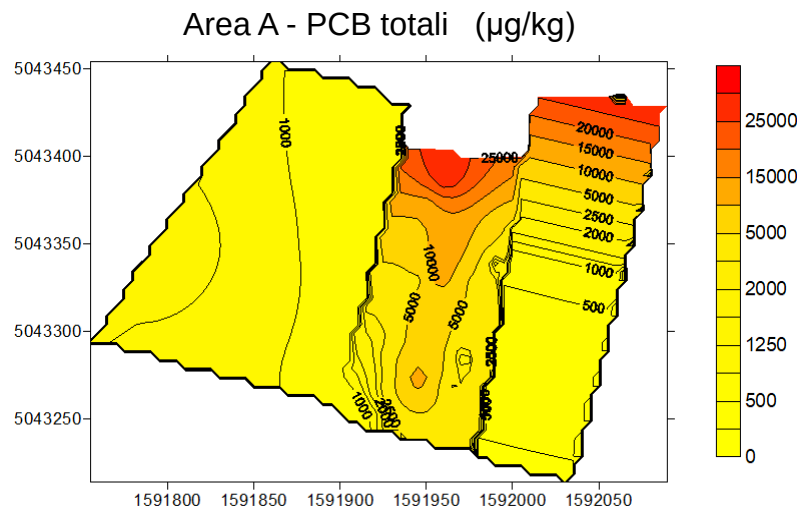
Nel caso in questione, i campi 1, 2 sono stati raggruppati in quanto condividono le direzioni del flusso, ma non il 3 e il 4 che presentano un ritardo nel flusso.

Metodologia di mappatura

- Suddivisione dell'area in campi omogenei
- Stima, per ogni campo, delle concentrazioni nei punti di una griglia
- Unione delle griglie e tracciamento complessivo delle linee iso-valore

La stima delle concentrazioni è stata effettuata mediante le tecniche geostatistiche, che si distinguono da quelle tradizionali perché basate su un modello di variabilità spaziale, preventivamente costruito.

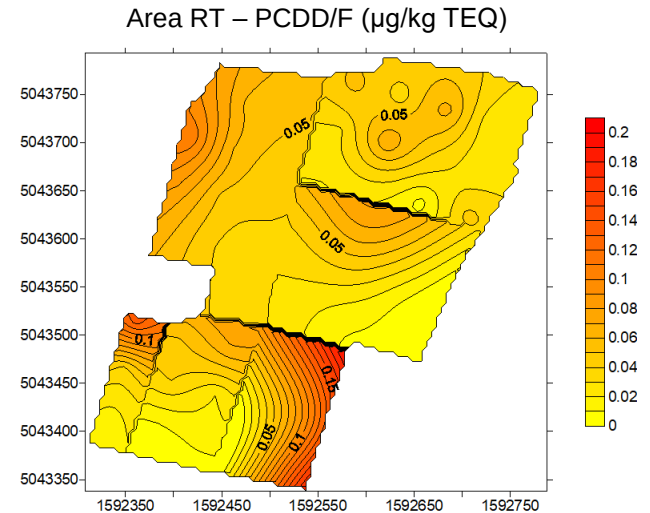
Mappa ottenuta per i PCB totali



Mappa ottenuta per le aree R e T



Si nota nella mappa una minore disomogeneità della contaminazione dovuta a una dimensione dei campi più piccola che nell'area A



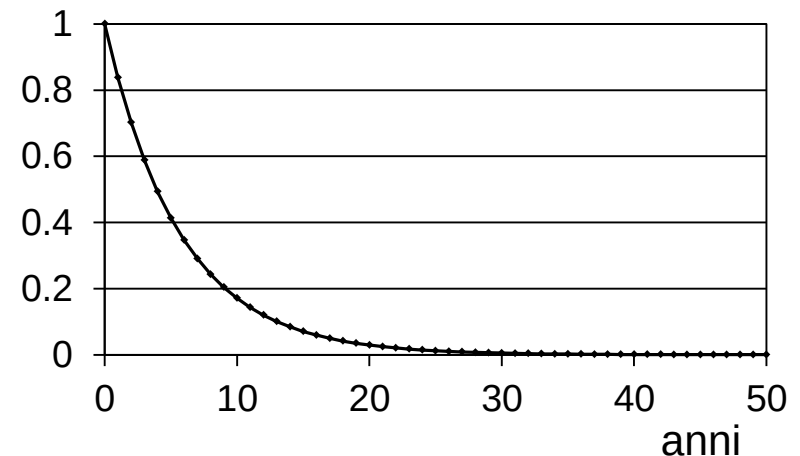
Stima dei tempi di degradazione

Ai fini del calcolo, sono stati presi in considerazione i risultati dei trattamenti P4 (festuca+cucurbita) e P7 (medica), di cui è stato possibile stimare per le varie famiglie di contaminanti le costanti di velocità di degradazione k ($1/t$) con una cinetica del primo ordine.

$$A(t) = A_0 e^{-kt}$$

Per illustrare la metodologia di calcolo sono stati presi in considerazione i risultati del trattamento P4 applicati alle 10 famiglie di PCB e ai 17 congeneri di PCDD/Fs nelle aree del progetto.

Esempio di riduzione di una
concentrazione unitaria ($A_0 = 1$) con
una cinetica del primo ordine con
 $k = 0.1767$
costante di velocità di degradazione
della famiglia degli hexa-cloro



Stima dei tempi di degradazione

Caso di PCB nell'area A

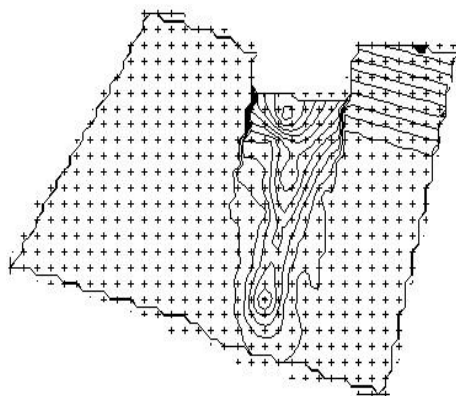
Punto di partenza

Le mappe di concentrazione e le costanti di velocità di degradazione delle 10 famiglie di PCB

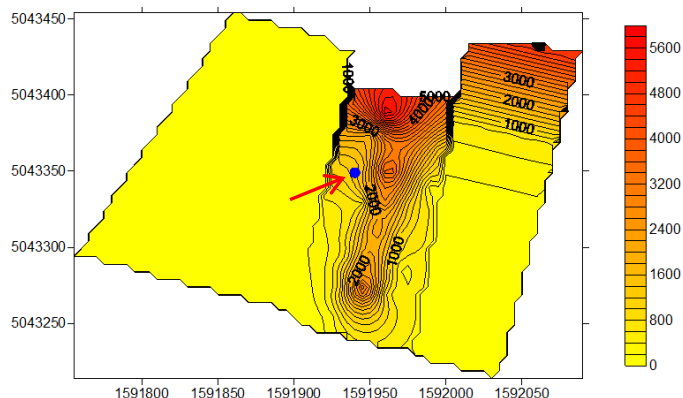
Esempio di stima in un punto di A dei tempi di degradazione di una famiglia

Si consideri una famiglia, per es. quella degli esa.cloro e il punto del grigliato X = 1591940, y = 40433349; Concentrazione stimata: 1305 µg/kg

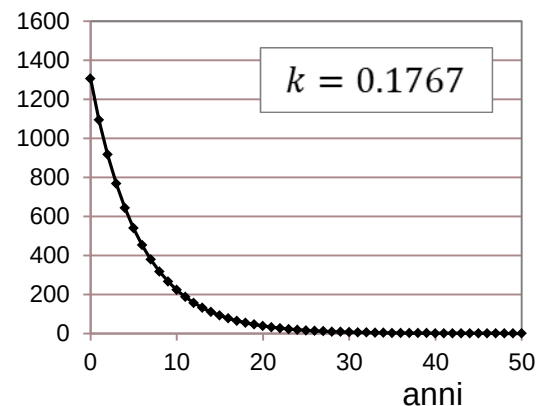
Grigliato di stima



Mapa degli esa-clori



Degradazione nel tempo della contrazione del punto indicato in mappa



Stima dei tempi di degradazione

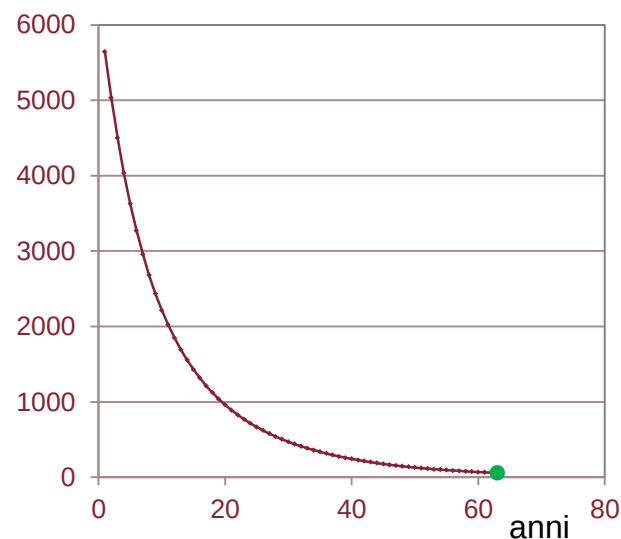
Caso dei PCB nell'area A

Considerando nello stesso punto:

- le stime delle concentrazioni per tutte le famiglie
- Le costanti di velocità di degradazione risultanti dalla sperimentazione

E ommando le concentrazioni ridotte in funzione del tempo si ottiene la degradazione della concentrazione totale nel punto, che raggiunge la CSC di 60 µg/kg (Tab A Dlgs 152/2006) in 63 anni

Famiglie dei clorurati dei PCB	Concentrazione Stimata (µg/kg)	Costante di velocità di degradazione (y^{-1})
Mono	9.	0.1687
Di	95.	0.1418
Tri	201.	0.1358
Tetra	360.	0.1673
Penta	690.	0.1883
Esa	1305.	0.1767
Epta	746.	0.1380
Octa	347.	0.0867
Nona	103.	0.0675
Deca	2493.	0.0607
Totale	6349	

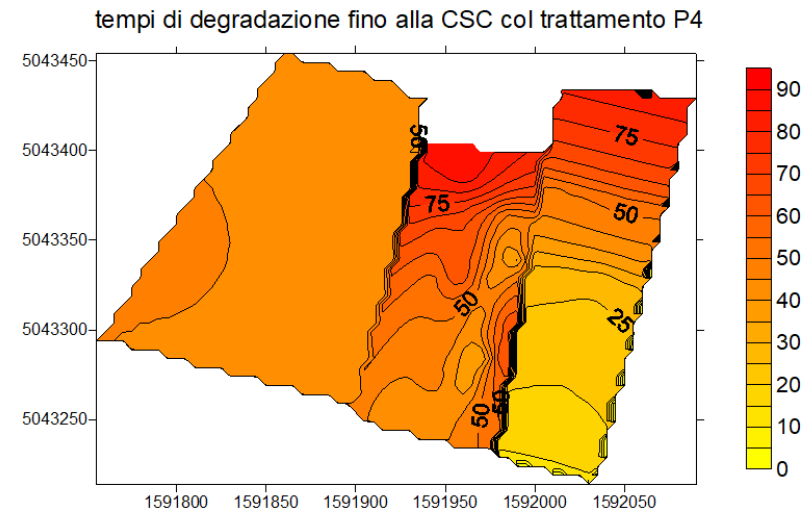
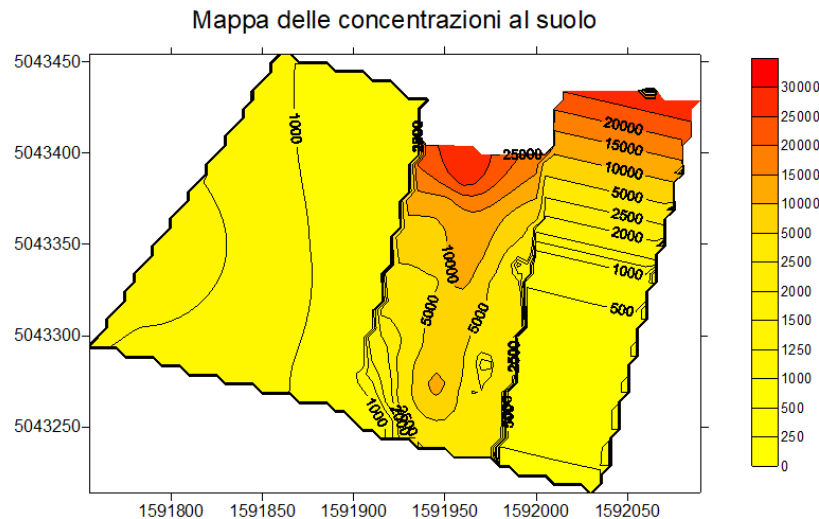


Mappa dei tempi di raggiungimento della CSC

Caso dei PCB nell'area A

Ripetendo l'operazione per tutti i punti del grigliato si ottiene, previa interpolazione delle iso-linee, la mappa dei tempi di raggiungimento della CSC, riportata in basso unitamente a quella della concentrazione al suolo.

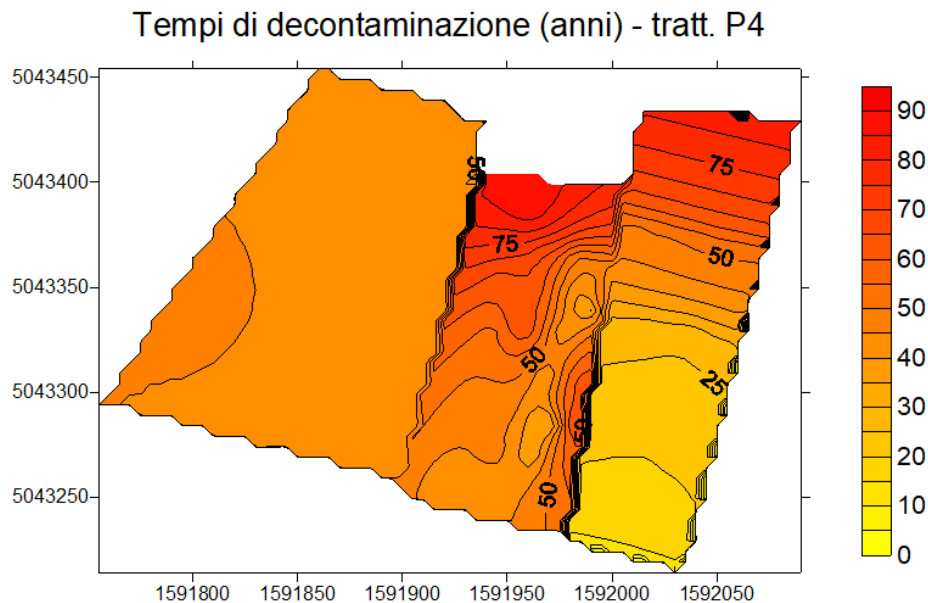
La CSC, secondo questa stima, è raggiunta in tempi che possono variare da 10 a 80 anni seguendo l'andamento della concentrazione totale.



Stima della % di area decontaminata funzione del tempo

Caso dei PCB nell'area A

Dal grigliato dei tempi di raggiungimento della CSC è stato possibile stimare la percentuale di area decontaminata in funzione del tempo



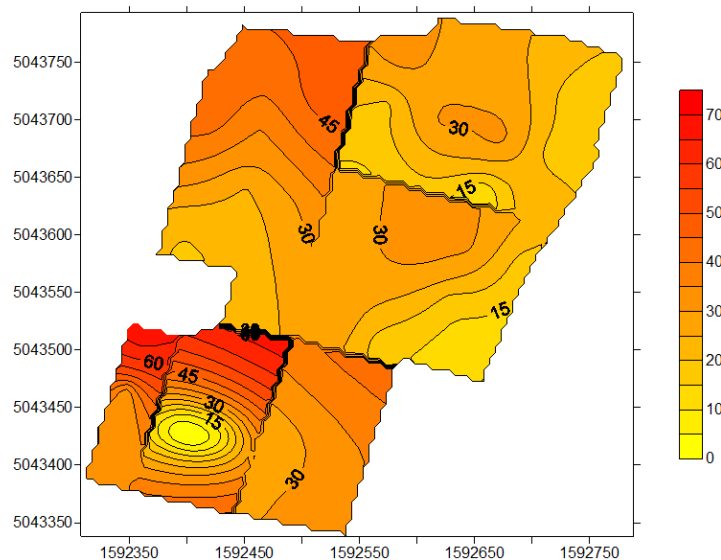
Tempi di decontaminazione in anni	Area decontaminata in %
20	5
40	20
50	75
60	80
80	95
100	100

Stima della % di area decontaminata funzione del tempo

Caso dei PCB nell'area RT

Rispetto all'area A i tempi di decontaminazione sono più rapidi. La tabella sottostante evidenzia un *trend* di degradazione più accentuato. Nell'80% della sua estensione la CSC sarebbe raggiunta dopo 40 anni, mentre nel caso dell'area A sarebbero necessari 60 anni.

Tempi di decontaminazione (anni) - trattamento P4



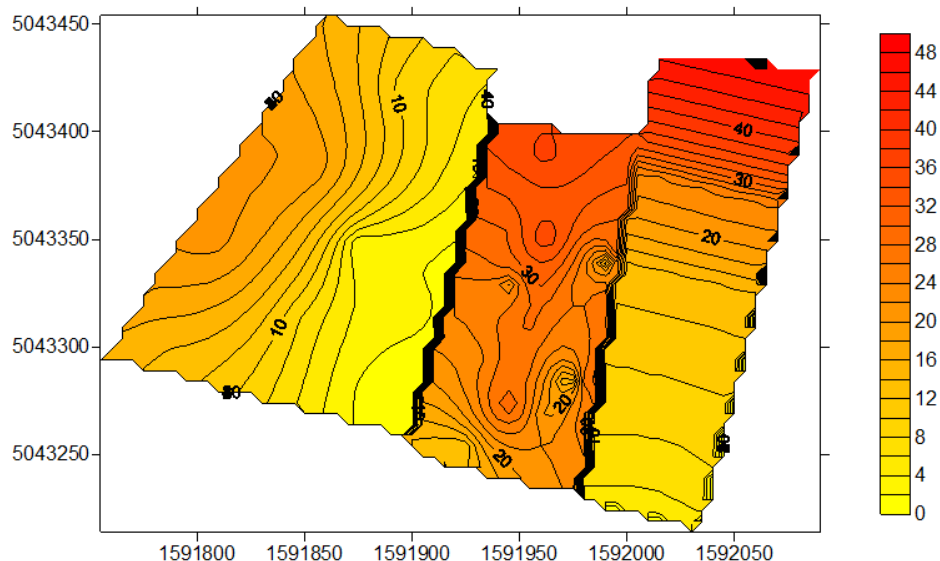
Tempi di decontaminazione in anni	Area decontaminata in %
10	10
20	15
30	45
40	82
50	95
60	97
70	100

Stima della % di area decontaminata funzione del tempo

Caso dei PCDD/F nell'area A

Per la valutazione dei tempi di decontaminazione diossine e furani si applica lo stesso procedimento appena descritto, con la differenza che le concentrazioni degradate al tempo t devono essere sommate dopo ponderazione con i coefficienti di conversione TEF (I-TEF). Il tempo di decontaminazione è raggiunto in ogni punto quando la somma delle concentrazioni ponderate raggiunge il valore della CSC, pari a $0.01 \mu\text{g/kg}$, (Tab A - Dlgs 152/2006)

Tempi di decontaminazione (anni) dei PCDD/D - Tratt. P4



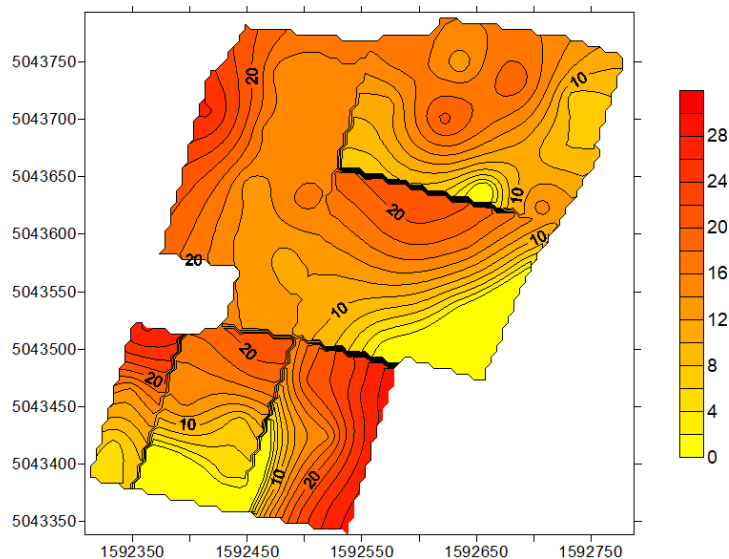
Tempi di decontaminazione in anni	Area decontaminata in %
10	26
20	59
30	83
40	95
50	100

Stima della % di area decontaminata funzione del tempo

Caso di PCDD/F nell'area RT

Rispetto all'area A i tempi di decontaminazione sono più rapidi anche per diossine e furani. La tabella sottostante evidenzia un *trend* di degradazione molto accentuato. Nell'80% dell'area la CSC sarebbe raggiunta dopo circa 20 anni, mentre nel caso dell'area A sarebbero necessari circa 30 anni.

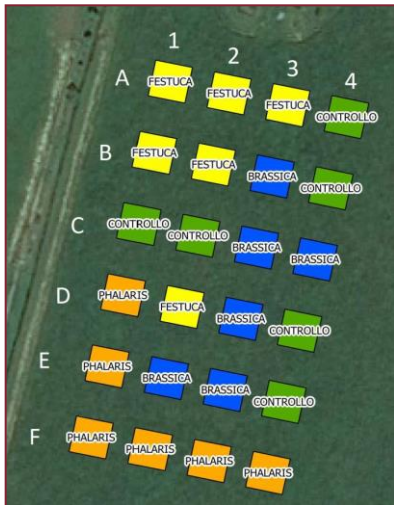
Tempi di decontaminazione dei PCDD/F - Tratt. P4



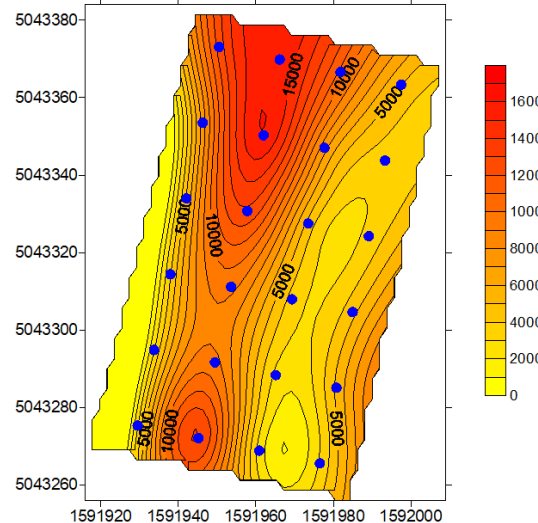
Tempi di decontaminazione in anni	Area decontaminata in %
5	10
10	22
15	46
20	82
25	94
30	100

Confronto delle concentrazioni di PCB in capo prima e dopo trattamento

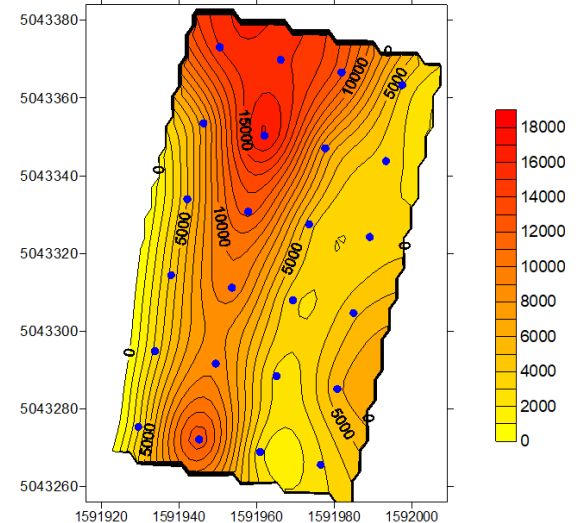
Schema trattamento parcelle



PCB tot - Prima del trattamento



PCB tot - dopo trattamento di 3 anni



Con le più pessimistiche costanti di velocità di degradazione (coincidenti per festuca e medica) di 0.06 y^{-1} , per una concentrazione iniziale di 15000 µg/kg , si otterrebbe

$$A(3) = 15000 * \exp(-0.06 * 3) = 12529$$

Considerazioni finali

- Per *arsenico* e *mercurio* non è stato possibile stimare i tempi di decontaminazione, in quanto non sono stati ottenuti risultati affidabili circa i coefficienti di fitoestrazione.
- Le stime dei tempi di decontaminazione effettuate, come tutte le stime, sono affette da incertezza. Ma per una molteplicità di cause, non è stato possibile associarvi un intervallo di affidabilità. Tra le cause più importanti si possono menzionare
 - l'extrapolazione al campo dei risultati ottenuti in serra
 - la difficoltà di modellizzare adeguatamente la variabilità spaziale, per l'estrema variabilità delle concentrazioni di PCB e PCDD/F nei suoli, soprattutto alla piccola scala.



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



COMUNE DI BRESCIA

- Università degli Studi dell'Insubria - Como
- Università degli Studi di Milano
- Sapienza - Università di Roma
- ERSAF
- Comune di Brescia

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Sito contaminato SIN Brescia-Caffaro: i risultati del fitocontenimento e della sperimentazione di tecnologie di bioremediation nei terreni agricoli

13 giugno 2019 Brescia