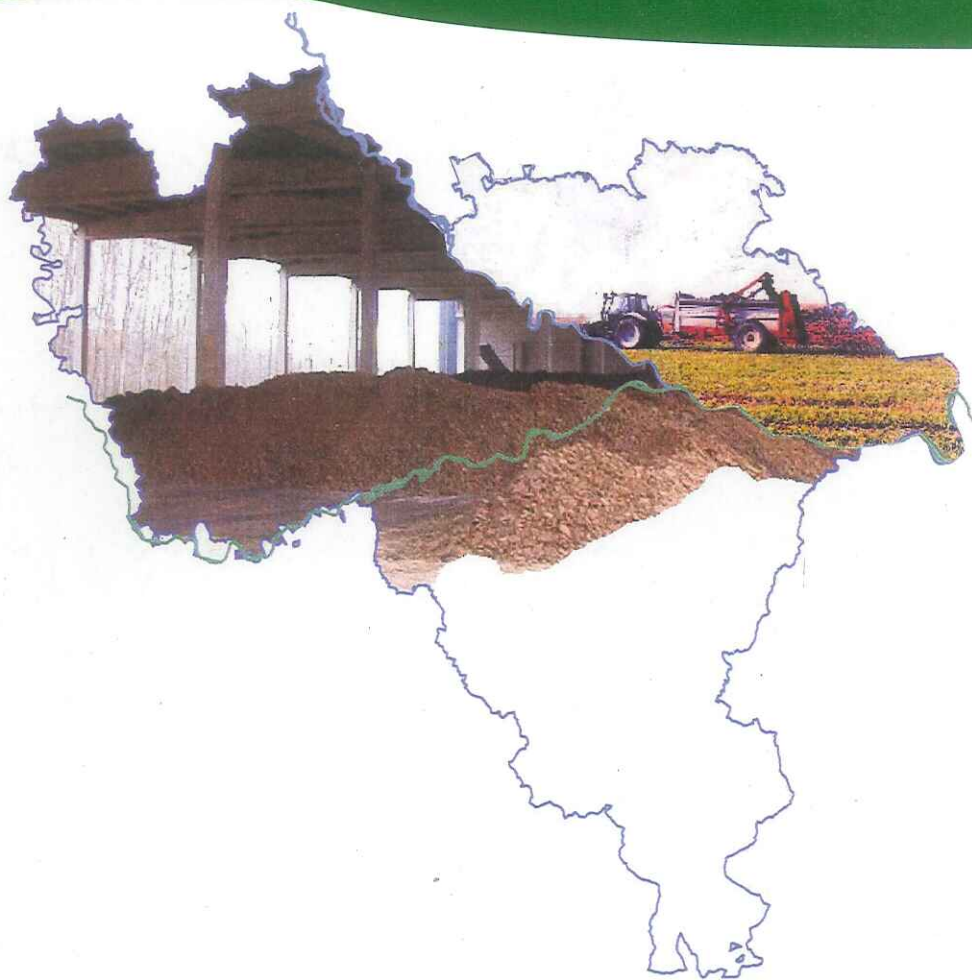




Provincia di Pavia
Settore Agricoltura
Settore Tutela Ambientale

Il recupero dei Rifiuti a fini agronomici in Provincia di Pavia: rapporto sulle attività di ricerca.





Provincia di Pavia
Settore Agricoltura
Settore Tutela Ambientale

Il recupero dei Rifiuti a fini agronomiche in Provincia di Pavia: rapporto sulle attività di ricerca.

Dirigente Settore Tutela Ambientale: **Roberto Braghieri**

Dirigente Settore Agricoltura: **Anna Betto**

Redazione documento a cura di: **Ilaria Vecchio, Irene Pansini, Giuseppe Annunziata,
Marco Negri**

La Provincia di Pavia dedica, da sempre, grande attenzione alle politiche di governo del territorio conseguite attraverso l'acquisizione e l'analisi di quegli elementi conoscitivi di base del territorio che sono imprescindibili per una corretta pianificazione degli interventi compatibili con la salvaguardia ambientale e l'organizzazione di una attività agricola sostenibile.

In tal senso, dato che nel territorio della Provincia di Pavia l'utilizzo dei rifiuti in agricoltura rappresenta un'attività notevolmente praticata da anni, nonché una "fetta" importante nel panorama del recupero dei rifiuti, il Settore Tutela Ambientale e il Settore Agricoltura hanno svolto da anni un'azione sinergica atta a favorire una ricerca scientificamente elevata delle caratteristiche del territorio sottoposto a tale attività di recupero a fini agronomici, nonché degli eventuali effetti che esso può apportare all'ambiente agricolo stesso.

Infatti, anche se l'utilizzo dei fanghi nella pratica agronomica ha una precisa utilità, specie in un'area a forte vocazione agricola quale la nostra, resta però, e soprattutto per le aziende, il problema di orientarsi sul territorio e di gestire questa pratica evitando un impatto negativo sull'ambiente.

In questa prospettiva la Provincia si è attivata al fine di:

- creare degli strumenti comuni atti ad agevolare il lavoro delle ditte e del personale della Provincia di Pavia deputato alle verifiche;
- intraprendere un percorso volto alla conoscenza più approfondita di alcuni aspetti del territorio. Ciò alla luce del fatto che i vincoli dettati dalla legislazione vigente risultano spesso limitati o contraddittori ed è necessario acquisire dati che rispecchino più da vicino la realtà del territorio della Provincia di Pavia, per avere dunque dei nuovi mezzi di supporto dell'attività di utilizzo fanghi al fine di un suo miglioramento, sia dal punto di vista tecnico (risultati di fertilizzazione), sia del rispetto dell'ambiente e delle normative.

In questo opuscolo sono dunque presentati sinteticamente i risultati dei progetti promossi dalla Provincia di Pavia, in collaborazione con altri Enti quali l'Agenzia Regionale Protezione Ambiente, l'Università di Milano e L'Ente Nazionale Risi, relativamente all'attività di recupero dei rifiuti a fini agronomici e precisamente:

- il "Progetto mappatura dei terreni sul territorio provinciale al fine dell'impiego dei rifiuti nella pratica agronomica";
- il "Progetto valutazione sperimentale degli effetti sul terreno e sulla granello di riso dell'impiego dei fanghi da depurazione in agricoltura".

Il primo progetto nasce nel 2000 dall'esigenza da parte della Provincia di Pavia, quale ente di controllo sull'attività di gestione dei rifiuti, e da parte delle Ditte utilizzatrici quali utenti del territorio, di attivare una collaborazione, sfociata in un accordo di programma ed in ben 3 protocolli d'intesa successivi, finalizzata alla elaborazione di una cartografia per la definizione delle aree soggette a vincoli o restrizioni, previsti dalle normative vigenti, sull'utilizzo di rifiuti speciali in agricoltura. Esso è stato svolto in due fasi i cui risultati sono presentati nella presente pubblicazione:

- realizzazione di una banca dati informatica e relativa cartografia dei vincoli e/o restrizioni di tipo fisico in ambiente GIS;
- indagine conoscitiva in merito alla compatibilità dei suoli a ricevere rifiuti sulla base di indagini analitiche (pH, CSC, Metalli pesanti).

Il secondo progetto, giunto al suo sesto anno di realizzazione, propone la valutazione degli effetti produttivi, ambientali e di salubrità del riso conseguenti alla fertilizzazione del terreno con fanghi di depurazione. Esso nasce da una collaborazione fra la Provincia di Pavia e l'Ente Nazionale Risi e si prefigge di valutare gli effetti sulle colture del riso della fertilizzazione con fango di depurazione, attraverso la valutazione di tutti i principali parametri riguardanti la fertilità del suolo, quali la quantità e qualità della sostanza organica, la componente biologica ed il contenuto dei metalli, confrontandoli con testimoni di terreno altrimenti fertilizzati. I risultati descritti nella presente pubblicazione, forniscono indicazioni ai risicoltori circa i possibili benefici produttivi, le conseguenze sulla fertilità dei terreni ed il rischio di contaminazione da inquinanti, legato all'utilizzo dei fanghi di depurazione su colture di riso. D'altra parte gli operatori degli impianti di trattamento di tali fanghi ricevono informazioni circa i parametri critici da considerare per un impiego sicuro ed efficace di tali rifiuti in agricoltura.

La Provincia di Pavia ha dunque svolto in questo modo una duplice azione di qualità: su un'attività fortemente radicata sul proprio territorio favorire l'approfondimento delle conoscenze sia territoriali sia scientifiche.

Confidiamo che questa pubblicazione possa dimostrarsi utile strumento di conoscenza e che favorisca la sinergia tra soggetto pubblico e soggetti economici per una migliore gestione dei fanghi in agricoltura e per una sempre più efficace salvaguardia del territorio.

L'Assessore alla Tutela Ambientale
Ruggero Invernizzi

Il Presidente della Provincia
Vittorio Poma

L'Assessore all'Agricoltura e Riserve Naturali
Mario Anselmi

INDICE

Introduzione	pag. 7
Normativa di riferimento	pag. 15
Progetto mappatura dei terreni sul territorio provinciale al fine dell'impiego dei rifiuti nella pratica agronomica (Settore Agricoltura e Settore Tutela Ambientale della Provincia di Pavia)	pag. 17
Modalità di prelievo e analisi del terreno agrario (ARPA – Dipartimento di Pavia)	pag. 37
Utilizzo dei fanghi di depurazione in risaia: risultati di una sperimentazione a medio termine. (Ente Nazionale Risi)	pag. 45
“Studio degli effetti di differenti tecniche di fertilizzazione (organica e minerale) sui parametri agronomici ed ambientali di suoli di risaia” (Università di Milano – Dipartimento di Produzione Vegetale)	pag. 59

Introduzione

Ci è parso utile introdurre alcune notizie riguardanti la nostra Provincia.

La Provincia di Pavia è situata nella parte sud-occidentale della Lombardia, ha una superficie di 2.965 KM2 e confina a nord con le Province di Novara, Milano e Lodi, a est con la Provincia di Piacenza ed a ovest con le Province di Alessandria e Vercelli.

Il territorio è prevalentemente situato nella pianura Padana ed è pianeggiante (74%), il resto è collinare (16%) e montano (10%).

Il territorio provinciale è storicamente suddiviso in tre zone nettamente distinte sia geograficamente dal corso dei due fiumi principali, sia economicamente e culturalmente: il Po costituisce il limite settentrionale dell'Oltrepò Pavese, il Ticino divide la Lomellina (ad ovest) dal Pavese (ad est). Solo queste ultime due aree sono interessate dall'attività di recupero agronomico di rifiuti trattato nella presente pubblicazione.

La popolazione provinciale, che nel 2006 ammontava a 522.331 abitanti, è distinta su 190 Comuni, 51 dei quali si trovano nel Pavese, 60 in Lomellina e 79 in Oltrepò.

I tre maggiori comuni sono Pavia, Voghera e Vigevano che raggruppano il 32% della popolazione, tuttavia vi è una netta prevalenza di comuni medio piccoli con una popolazione che varia fra i 5000 e meno di 1000 abitanti.

La Provincia di Pavia ha da sempre una vocazione fortemente agricola con una Superficie Agricola Utilizzabile di circa 181.000 ettari di cui 160.000 interessati da seminativi. La Lomellina, per caratteristiche pedologiche e tradizione culturale è da sempre patria della coltivazione del riso e del mais, mentre nel Pavese a queste due colture si affiancano i cereali autunno vernini. In Oltrepò si concentra la produzione viticola con 13.000 ettari coltivati da circa 3.800 aziende.

Per semplificare la lettura dei dati e delle carte contenute nel fascicolo abbiamo qui pubblicato una cartina dell'inquadramento della Provincia riportante la collocazione dei Comuni e la loro appartenenza ad una delle tre zone citate.

1 ALAGNA	65 FRASCAROLO	128 ROMAGNESE
2 ALBAREDO ARNABOLDI	66 GALLIIVOLA	129 RONCARO
3 ALBONESE	67 GAMBARANA	130 ROSASCO
4 ALBUZZANO	68 GAMBOLO'	131 ROVESCALA
5 ARENA PO	69 GARLASCO	132 RUINO
6 BADIA PAVESE	70 GENZONE	133 SAN CIPRIANO PO
7 BAGNARIA	71 GERENZAGO	134 SAN DAMIANO AL COLLE
8 BARBIANELLO	72 GIUSSAGO	135 SAN GENESIO ED UNITI
9 BASCAPE'	73 GODIASCO	136 SAN GIORGIO DI LOMELLINA
10 BASTIDA DE' DOSSI	74 GOLFERENZO	137 SAN MARTINO SICCOMARIO
11 BASTIDA PANCARANA	75 GRAVELLONA LOMELLINA	138 SANNAZZARO DE' BURGONDI
12 BATTUDA	76 GROPELLO CAIROLI	139 SANTA CRISTINA E BISSONE
13 BELGIOIOSO	77 INVERNO E MONTELEONE	140 SANTA GIULETTA
14 BEREGUARDO	78 LANDRIANO	141 SANT' ALESSIO CON VIALONE
15 BORGARELLO	79 LANGOSCO	142 SANTA MARGHERITA DI STAFFORA
16 BORGO PRIOLO	80 LARDIRAGO	143 SANTA MARIA DELLA VERSA
17 BORGORATTO MORMOROLO	81 LINAROLO	144 SANT' ANGELO LOMELLINA
18 BORGO SAN SIRO	82 LIRIO	145 SAN ZENONE AL PO
19 BORNASCO	83 LOMELLO	146 SARTIRANA LOMELLINA
20 BOSNASCO	84 LUNGAVILLA	147 SCALDASOLE
21 BRALLO DI PREGOLA	85 MAGHERNO	148 SEMIANA
22 BREME	86 MARCIGNAGO	149 SILVANO PIETRA
23 BRESSANA BOTTARONE	87 MARZANO	150 SIZIANO
24 BRONI	88 MEDE	151 SOMMO
25 CALVIGNANO	89 MENCONICO	152 SPESSA
26 CAMPOSPINOSO	90 MEZZANA BIGLI	153 STRADELLA
27 CANDIA LOMELLINA	91 MEZZANA RABATTONE	154 SUARDI
28 CANEVINO	92 MEZZANINO	155 TORRAZZA COSTE
29 CANNETO PAVESE	93 MIRADOLLO TERME	156 TORRE BERETTI E CASTELLARO
30 CARONARA AL TICINO	94 MONTALTO PAVESE	157 TORRE D'ARESE
31 CASANOVA LONATI	95 MONTEBELLO DELLA BATTAGLIA	158 TORRE DE' NEGRI
32 CASATISMA	96 MONTECALVO VERSIGGIA	159 TORRE D'ISOLA
33 CASEI GEROLA	97 MONTESCANO	160 TORREVECCHIA PIA
34 CASORATE PRIMO	98 MONTESEGALE	161 TORRICELLA VERZATE
35 CASSOLNOVO	99 MONTICELLI PAVESE	162 TRAVACO' SICCOMARIO
36 CASTANA	100 MONTU' BECCARIA	163 TRIVOLZIO
37 CASTEGGIO	101 MORNICO LOSANA	164 TROMELLO
38 CASTELLETTO DI BRANDUZZO	102 MORTARA	165 TROVO
39 CASTELLO D'AGOGNA	103 NICORVO	166 VAL DI NIZZA
40 CASTELNOVETTO	104 OLEVANO DI LOMELLINA	167 VALLEGGIO LOMELLINA
41 CAVA MANARA	105 OLIVA GESSI	168 VALLE LOMELLINA
42 CECIMA	106 OTTOBIANO	169 VALLE SALIMBENE
43 CERANOVA'	107 PALESTRO	170 VALVERDE
44 CERETTO LOMELLINA	108 PANCARANA	171 VARZI
45 CERGNAGO	109 PARONA	172 VELEZZO LOMELLINA
46 CERTOSA DI PAVIA	110 PAVIA	173 VELLEZZO BELLINI
47 CERVESINA	111 PIETRA DE' GIORGI	174 VERRETTO
48 CHIGNOLO PO	112 PIEVE ALBIGNOLA	175 VERRUA PO
49 CIGOGNOLA	113 PIEVE DEL CAIRO	176 VIDIGULFO
50 CILAVEGNA	114 PIEVE PORTO MORONE	177 VIGEVANO
51 CODEVILLA	115 PINAROLO PO	178 VILLA BISCOSSI
52 CONFENZA	116 PIZZALE	179 VILLANOVA D' ARDENGGHI
53 COPIANO	117 PONTE NIZZA	180 VILLANTERIO
54 CORANA	118 PORTALBERA	181 VISTARINO
55 CORNALE	119 REA	182 VOGHERA
56 CORTEOLONA	120 REDAVALLE	183 VOLPARA
57 CORVINO SAN QUIRICO	121 RETORBIDO	184 ZAVATTARELLO
58 COSTA DE' NOBILI	122 RIVANAZZANO	185 ZECCONE
59 COZZO	123 ROBBIO	186 ZEME
60 CURA CARPIGNANO	124 ROBECCO PAVESE	187 ZENEVREDO
61 DORNO	125 ROCCA DE' GIORGI	188 ZERBO
62 FERRERA ERBOGNONE	126 ROCCA SUSELLA	189 ZERBOLO'
63 FILIGHERA	127 ROGNANO	190 ZINASCO
64 FORTUNAGO		

Il recupero dei rifiuti a fini agronomici nell'ambito territoriale della nostra provincia, proprio per la sua vocazione agricola, è molto consistente.

In provincia di Pavia operano 11 aziende autorizzate al recupero agronomico di rifiuti, 9 di esse vi hanno ubicato anche l'impianto di trattamento.

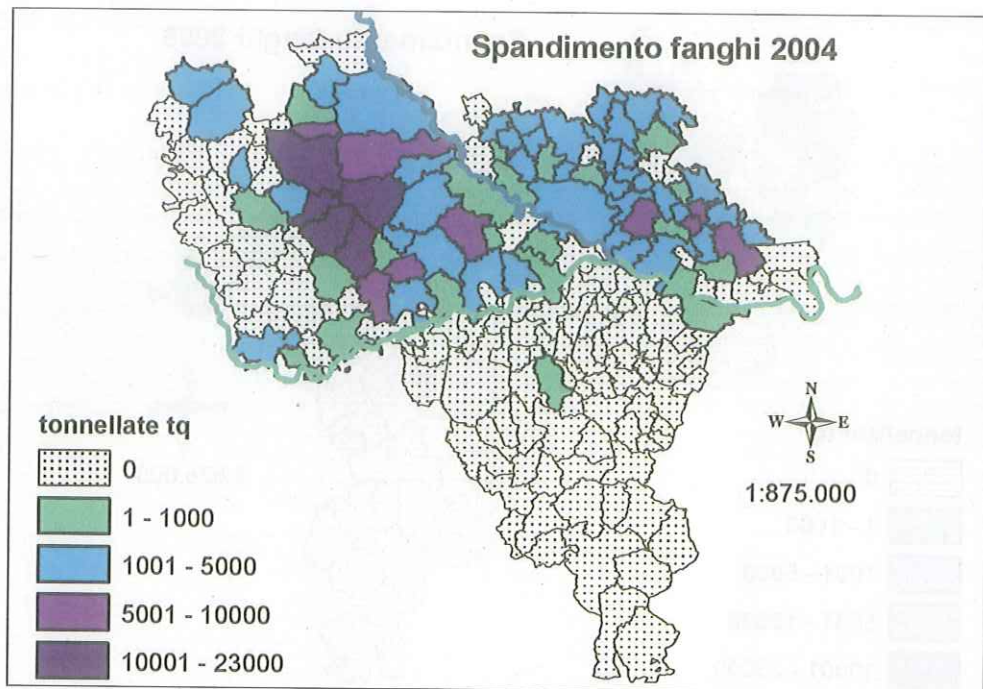
Dal 2001 al 2007 l'attività ha avuto un incremento:

- per le quantità di rifiuti utilizzati è superiore al 50% (i fanghi distribuiti nel 2007 ammontano a 336.505,90 tonnellate);
- per le superfici di SAU è superiore al 70% (gli ettari utilizzati nel 2007 sono stati 12.892,2).

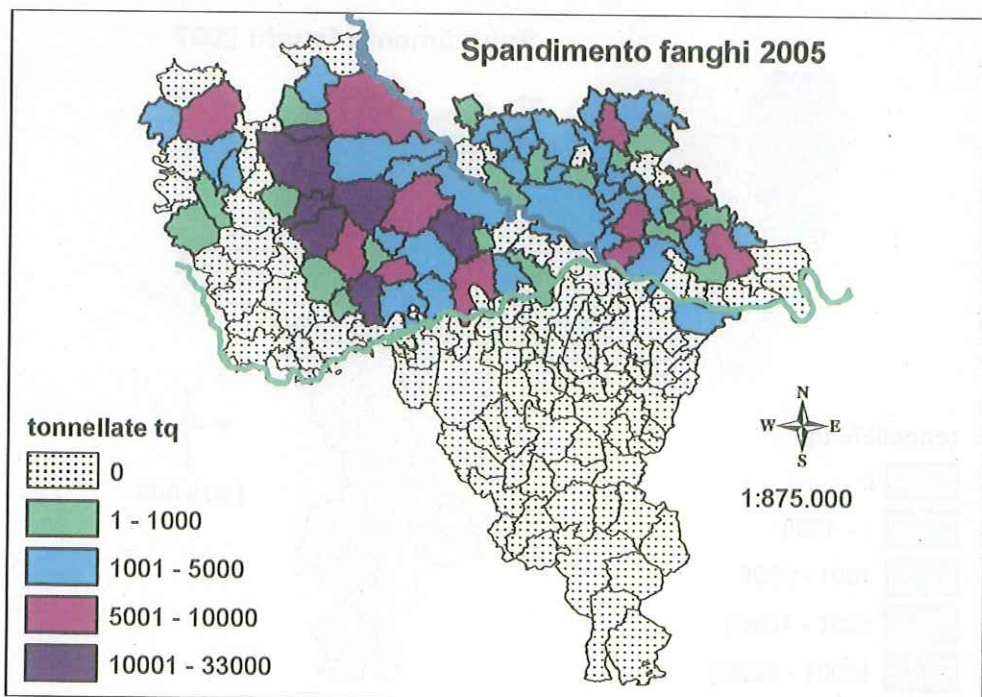
Le Aziende Agricole che utilizzano tale tipo di fertilizzazione sono (dato aggiornato alla fine del 2008) 629 per un territorio stimato di circa 29.000 ettari. Di tale disponibilità di terreni nel 2007 le ditte recuperatrici ne hanno utilizzato il 40 %.

I Comuni nel cui territorio si recuperano agronomicamente i rifiuti sono circa 90 ubicati per la quasi totalità nell'area provinciale a nord del Po. Le quantità maggiori sono distribuite nei Comuni centrali della Lomellina, area caratterizzata da un'alta percentuale di pioppeti, dove è possibile la distribuzione dei rifiuti anche nel periodo estivo. (carte seguenti)

Spandimento fanghi 2004

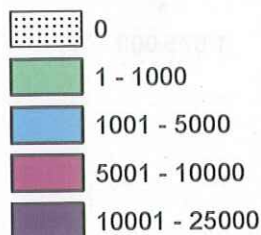


Spandimento fanghi 2005



Spandimento fanghi 2006

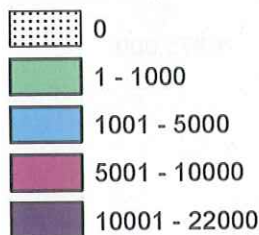
tonnellate tq



1:875.000

Spandimento fanghi 2007

tonnellate tq



1:875.000

E' necessario qui premettere che il riutilizzo a fini agronomici di rifiuti speciali, quali i residui dei processi di depurazione degli impianti che trattano acque reflue civili e delle industrie agroalimentari e tessili, rappresenta un'utile forma di recupero dei rifiuti: oltre al risparmio sull'utilizzo di fertilizzanti chimici di sintesi, permette di contrastare l'impoverimento della componente umica del terreno dovuto al costante aumento della superficie agricola utilizzata a colture (cereali in particolare) e, parallelamente, al rapido declino della superficie destinata a coltivazioni migliorative della fertilità dei suoli (foraggiere poliennali). La progressiva perdita di sostanza organica nei terreni agricoli non è più adeguatamente compensata nemmeno dal flusso di sostanza organica che, in passato, arrivava ai coltivi grazie alla ormai desueta pratica dell'allevamento degli animali.

L'utilizzo dei fanghi in agricoltura permette dunque di controbilanciare le perdite umiche dei terreni agricoli, preservandone la fertilità, con l'apporto di adeguati quantitativi di sostanza organica non di sintesi.

Autorevoli studi hanno dimostrato che tali fanghi possiedono un buon potere ammendante e fertilizzante e producono effetti positivi su numerose caratteristiche del suolo come la tessitura e la componente biotica.

È tuttavia necessario che l'utilizzo dei rifiuti come fertilizzanti non provochi effetti nocivi sul suolo, sulla vegetazione, sulla fauna e sulla salute dell'uomo. A tal fine l'utilizzo è regolato dalla normativa sui rifiuti (parte quarta del D.lgs. 152/2006), da una norma nazionale specifica, il D.lgs. 99/1992, oltre che da legislazioni regionali che dettano prescrizioni specifiche cui attenersi per svolgere tale attività.

Un elenco della normativa specifica e collaterale a tale attività di recupero è riportato nella presente pubblicazione.

Normativa di riferimento

A cura di Ilaria Vecchio - U.O. Rifiuti – Settore Tutela Ambientale

Comunitaria

- direttiva 86/278/CEE del Consiglio del 12 giugno 1986 concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura.

Statale

- d.lgs. 27 gennaio 1992 n. 99: "Attuazione della direttiva 86/278/CEE concernente la protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura".
- d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 : "Norme in materia ambientale" e s.m.i..

Regionale

- l.r. 12 dicembre 2003, n. 26 "Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche" e s.m.i.
- D.G.R. 30 dicembre 2003 n. 7/15944: "Delega alle province delle funzioni amministrative, ai sensi degli artt. 27 e 28 del d.lgs. 5 febbraio 1997 n. 22 e successive modifiche ed integrazioni, in materia di approvazione dei progetti ed autorizzazione alla realizzazione degli impianti ed all'esercizio delle inerenti operazioni di messa in riserva (R3), trattamento/condizionamento (R3) e spandimento sul suolo a beneficio dell'agricoltura (R10) di rifiuti speciali non pericolosi"

Complementare

- L.R. 15 dicembre 1993 n. 37 Norme per il trattamento, la maturazione e l'utilizzo dei reflui zootecnici.
- D.M. 5 febbraio 1998 Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22.
- D.M. 1 aprile 1998 n. 148 Regolamento recante approvazione del modello dei registri di carico e scarico dei rifiuti ai sensi degli articoli 12, 18, comma 2, lettera m), e 18, comma 4, del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22.
- D.M. 1 aprile 1998 n. 145 Regolamento recante la definizione del modello e dei contenuti del formulario di accompagnamento dei rifiuti ai sensi degli articoli 15, 18, comma 2, lettera e) e comma 4, del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22.
- D.M. 28 Aprile 1998, n. 406 Regolamento recante norme di attuazione di direttive dell'unione europea, avente ad oggetto la disciplina dell'albo nazionale delle imprese che effettuano la gestione dei rifiuti.
- D.M. 19 aprile 1999 Approvazione del codice di buona pratica agricola.
- D.G.R. 2 agosto 2002 n. 10161 Legge regionale 7 giugno 1980, n. 94 - d.p.r. 10 settembre 1982, n. n. 915 - documentazione di rito da presentare per l'istruttoria relativa ad attività e/o impianti di smaltimento dei rifiuti
- Legge Regionale 12 dicembre 2003 n. 26 e succ. modifiche ed integrazioni
- D.G. R. Lombardia 27 giugno 2005 n. 8/220 – Approvazione del PRGR
- D. LGS. 29 aprile 2006, n. 217 Revisione della disciplina dei fertilizzanti.
- D.G.R. Lombardia 21 novembre 2007 n. 5868 (nitrati)

Progetto mappatura dei terreni sul territorio provinciale al fine dell'impiego dei rifiuti nella pratica agronomica: rapporto sui risultati

Ilaria Vecchio e Giuseppe Annunziata – Provincia di Pavia - Settore Tutela Ambientale

Irene Pansini – Provincia di Pavia – Settore Agricoltura

Marco Negri – Fertilvita srl – rappresentate nel progetto delle ditte operatrici del settore

Come è già stato accennato nell'Introduzione alla presente pubblicazione annualmente sono utilizzati in agricoltura su tutto il territorio provinciale circa 300.000 tonnellate di rifiuti (dati del 2006 e del 2007) per una superficie di circa 12 milioni di mq di terreno agricolo.

E' dunque sorta sin dal 2000 l'esigenza da parte della Provincia di Pavia, quale ente di controllo sull'attività di gestione dei rifiuti, e da parte delle Ditte utilizzatrici quali utenti del territorio, di attivare una collaborazione che è sfociata in un accordo di programma finalizzato alla elaborazione di una cartografia per la definizione delle aree soggette a vincoli o restrizioni, previsti dalle normative vigenti, sull'utilizzo di rifiuti speciali in agricoltura.

L'intento è stato quello di:

- costituire un rapporto di collaborazione Provincia – Ditte utilizzatrici al di là della logica del "command and control";
- creare degli strumenti comuni atti ad agevolare il lavoro delle ditte e del personale della Provincia di Pavia deputato alle verifiche;

intraprendere un percorso volto alla conoscenza più approfondita di alcuni aspetti del territorio.

Alla luce di tutto ciò nel 2000 è stato varato un accordo di programma tra la Provincia di Pavia (Settore Tutela e Valorizzazione Ambientale e Settore Politiche Agricole, Faunistiche e Naturalistiche) e le aziende utilizzatrici dei rifiuti in agricoltura. E' stata inoltre nominata una commissione di indirizzo e controllo del progetto formata da un rappresentante per ogni soggetto coinvolto ed è stato individuato, tramite avviso pubblico, un soggetto, lo Studio Associato AGRIBIO di Pavia, cui è stato affidato l'incarico di provvedere alla realizzazione della I fase del progetto.

Le ditte che operano nella Provincia di Pavia e che hanno collaborato al progetto sono:

- ALAN s.r.l. - Zinasco (PV)
- Allevamenti Valbossa s.r.l. - Azzate (VA)
- Azienda Agricola Allevi s.r.l - Ferrera Erb. (Pv)
- C.R.E. s.r.l. - Arcore (Mi)
- Cesa - Cuggiagio (CO)
- Cogher s.r.l - Voghera (Pv)
- Eco-Trass s.a.s. - Almè (BG)
- Eli Alpi Service s.r.l. - Voghera (PV)
- Evergreen s.r.l - Tromello (PV)
- Fertilvita - Corteolona (PV)
- Galbani Egidio S p A. - Giussago (PV)
- Galbani Egidio S p A. - Corteolona (PV)
- VAR s.r.l - Belgioioso (PV)

Descrizione del progetto

Il progetto, sfociato in tre successivi protocolli d'intesa (2002, 2004 e 2006) fra la Provincia di Pavia e le Ditte utilizzatrici di fanghi in agricoltura, è così strutturato:

STRUTTURA DEL LAVORO	<p>Fase 1: realizzazione informatica di una banca dati e relativa cartografia dei vincoli e/o restrizioni di tipo fisico.</p> <p>Fase 2: indagini conoscitive in merito alla compatibilità dei suoli a ricevere rifiuti sulla base di indagini analitiche (pH, CSC, Metalli pesanti) e cartografazione dei terreni.</p>
SOGGETTI COINVOLTI	<p>Promotori e finanziatori: Provincia di Pavia (Settore Tutela Ambientale, Settore Agricoltura) e Ditte utilizzatrici di fanghi sul territorio provinciale.</p> <p>Esecutori:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Studio associato AGRIO BIO per la fase I e la fase II dal 2002 al 2006. • ARPA – Dipartimento di Pavia per la parte analitica della fase II. • Provincia di Pavia – U.S. Rifiuti Speciali e U.S. SITIDA e GPS per aggiornamento definitivo parte informatica banca dati e cartografia della fase I e II dal 2007 al 2008.
TEMPI	<ul style="list-style-type: none"> • Completamento fase I – cartografazione vincoli fisico-normativi (aggiornata nel dicembre 2007): luglio 2003. • Completamento fase II - cartografazione analisi dei terreni svolte da ARPA: dicembre 2008.

Realizzazione

Finalità della fase I del progetto è stata la realizzazione di una banca dati e della cartografia dei vincoli e/o restrizioni di tipo fisico.

Il metodo di lavoro scelto ha previsto degli step, da realizzarsi anche contemporaneamente, di acquisizione dei dati (vedi vincoli), della loro analisi e della loro divulgazione in formato cartografico. I vincoli sono stati scelti sulla base sia della legislazione (nazionale, regionale, locale) vigente, sia delle prescrizioni adottate dalla Regione Lombardia sulle delibere autorizzative alle attività di utilizzo dei rifiuti in agricoltura e sono i seguenti:

- 1 soggetti ad esondazioni e/o inondazioni naturali, acquitrinosi o con falda acquifera affiorante o con frane in atto
- 2 con pendii maggiori del 15% (tale vincolo, soprattutto, ha portato all'esclusione dall'area di studio della zona dell'Oltrepo')
- 3 soggetti a vincolo idrogeologico
- 4 destinati a giardini pubblici, a campi da gioco e spazi comunque destinati ad uso pubblico

- 5 situati in prossimità dei centri abitati (esclusa la presenza di case coloniche ed insediamenti produttivi) per una fascia di almeno 100 m
- 6 situati nelle zone di rispetto delle sorgenti di montagna per una fascia a semicerchio con raggio di 500 m a monte (sono assimilate le sorgenti tipo "fontanili" della nostra Provincia)
- 7 situati entro una fascia di 100 m dalle sponde dei laghi, fiumi, torrenti ed entro una fascia di almeno 200m dalla zona di rispetto dei pozzi di captazione di acqua potabile così come definita dalla normativa vigente
- 8 situati nelle zone di drenaggio per il prosciugamento di carrarecce, interessati da sentieri e strade interpoderali
- 9 situati in zone soggette a vincoli paesaggistici, artistici e di tutela ambientale (vedi zone a parco, SIC, ZPS....).

Vista la finalità del progetto si è deciso che tutti i dati utilizzabili, sui vincoli sopraccitati, fossero derivati da basi dati ufficiali, questo per evitare di utilizzare dati contestabili.

Inoltre utilizzando tali vincoli ne è derivato che dal Progetto sia stata esclusa un'ampia fetta del territorio provinciale, coincidente con gran parte dell'Oltrepò, dove, soprattutto per la presenza di pendii ma anche per le caratteristiche pedologiche, l'attività di recupero non è diffusa.

Fatta questa premessa l'acquisizione dei dati è stata realizzata utilizzando:

Base dati su supporto cartaceo

- Base planimetrica terreni soggetti a esondazioni (Magistrato del Po)
- Base cartacea per vincoli idrogeologici (Corpo Forestale dello Stato)
- Base cartacea e cartografica per vincoli naturalistici (Parco del Ticino, Settore politiche agricole, faunistiche e naturalistiche della Provincia di Pavia)

Basi dati digitali in formato vettoriale

- CT10 - Base dati geografica alla scala 1:10000 (Regione Lombardia)
- Strato delle cave autorizzate (Provincia Pavia- Settore Tutela Ambientale)
- Strato pozzi ad uso potabile (Provincia Pavia - Settore Tutela Ambientale)
- SIBA - Sistema Informativo dei Beni Ambientali (Regione Lombardia)
- Mosaico informatizzato degli strumenti urbanistici comunali (Regione Lombardia)
- Piano territoriale di Coordinamento (Provincia di Pavia - Settore Territorio)
- Piano cave (Provincia di Pavia - Settore Tutela Ambientale)
- Piano territoriale di Coordinamento (Parco del Ticino)
- PAI Piano assetto idrogeologico (Autorità di bacino - fiume Po)
- DUSAF - Destinazione d'uso dei suoli agricolo forestali (ERSAF)

Basi dati digitali in formato RASTER

- Carta tecnica regionale formato digitale raster alla scala 1:10000 (Regione Lombardia)
- Cartografia di base formato digitale Raster alla scala 1:50000 (Regione Lombardia)

- Ortofoto digitali a colori programma IT2000 (CGR di Parma)

L'analisi dei dati si è sviluppata secondo la seguente sequenza:

- Classificazione dei dati provenienti dalle varie fonti in rapporto al tipo di vincolo.
- Estrapolazione dei dati necessari per l'analisi e lo studio del territorio provinciale.
- Aggiornamento: ove necessario il dato originale è stato integrato/aggiornato da AGRIO BIO e successivamente dalla U.S. SITIDA e GPS della Provincia di Pavia.
- Analisi e interpretazione "incrociata" dei vari strati informativi.
- Creazione e formazione di una banca dati digitale dedicata all'analisi con strumenti GIS.
- Estrapolazione dati progetto mappatura dalla banca dati digitale e loro organizzazione per soddisfare le richieste del progetto.

Per la realizzazione sono stati impiegati i seguenti strumenti:

- Microsoft Access 2000 per analisi alfanumerica dei dati
- Esri ArcView GIS 3.3 e ArcView GIS 9 per analisi geometrica e restituzione cartografica

La fase II del progetto si prefiggeva di determinare la compatibilità dei suoli agricoli a ricevere rifiuti, attraverso l'indagine analitica; in particolare si è fatto riferimento ai limiti ed alle restrizioni indicati nel D.lgs 99/92.

Non possono essere utilizzati terreni che superino le seguenti concentrazioni per i parametri:

PARAMETRO	Valore Limite nei terreni
pH	<5
C.S.C.	<8 meq/100 grammi
Cadmio	1.5 mg/kg s.s.
Mercurio	1 mg/kg s.s.
Nichel	75 mg/kg s.s.
Piombo	100 mg/kg s.s.
Rame	100 mg/kg s.s.
Zinco	300 mg/kg s.s.

La quantità massima annua di fanghi utilizzabili in agricoltura deve essere pari a:

5 t/ha di sostanza secca per i terreni con una C.S.C. > a 15 meq/100 grammi e $6 < \text{pH} < 7,5$.

2,5 t/ha di sostanza secca per i terreni con una C.S.C. < a 15 meq/100 grammi e $\text{pH} < 6$.

3,7 t/ha di sostanza secca per i terreni con una C.S.C. > a 15 meq/100 grammi e $5 < \text{pH} < 6$ o con una C.S.C. < a 15 meq/100 grammi e il $6 < \text{pH} < 7,5$.

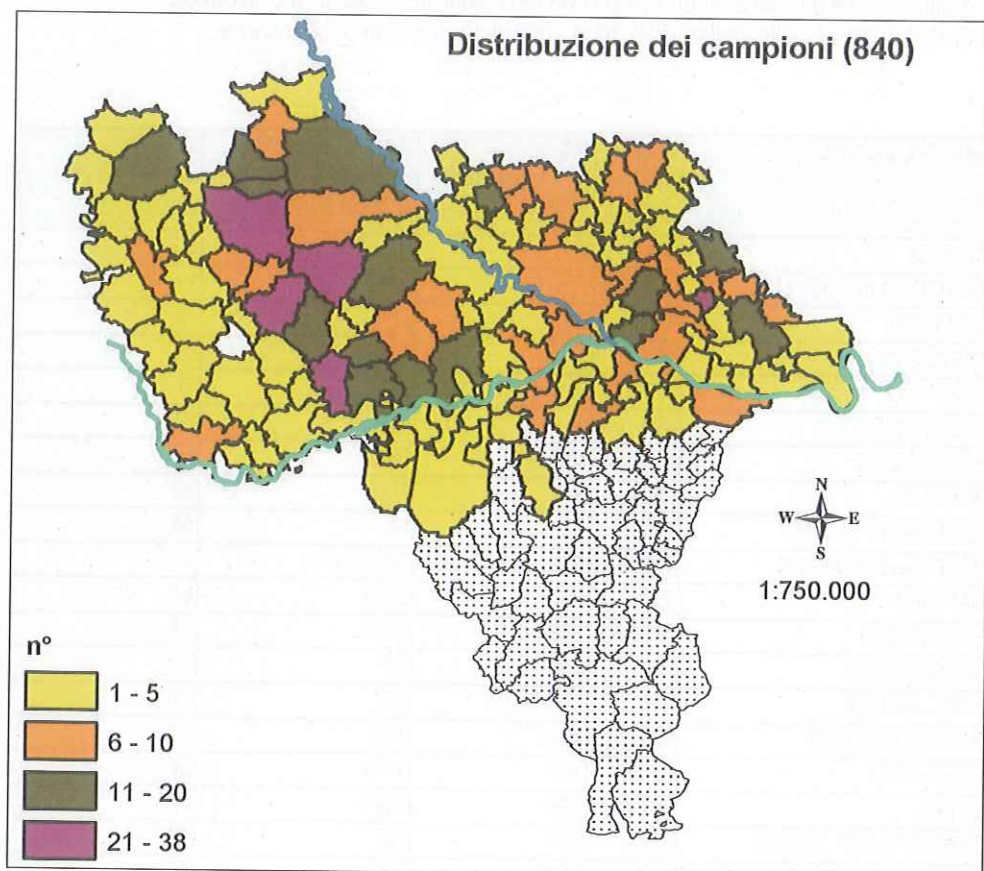
7,5 t/ha di sostanza secca per i terreni con $\text{pH} > 7,5$.

Inoltre, ai sensi dell'art.3 comma 5 del suddetto decreto, i fanghi provenienti dall'industria agro-alimentare possono essere impiegati in quantità massima fino a tre volte quella indicata precedentemente alla condizione che i limiti dei metalli pesanti non superino i valori di concentrazione pari ad 1/5 di quelli normati.

Sulla base del fatto che spesso tali parametri, soprattutto pH e C.S.C., risultano piuttosto instabili, è emersa l'esigenza, da parte delle ditte e dell'ente di controllo, di "testare", dal punto di vista analitico, la maggior parte dei terreni utilizzabili al netto dei vincoli legislativi, oltre che analizzare l'andamento nel tempo in particolare in quei terreni che presentano variabilità di dati.

I terreni da campionare ed analizzare sono stati scelti, in un primo tempo dalle ditte utilizzatrici secondo un criterio per il quale ogni ditta ne proponeva per l'analisi un numero proporzionale al quantitativo di spandimento fanghi relativo all'anno precedente. Dal secondo anno di analisi a quelli scelti dalle Ditte ne sono stati aggiunti una quantitativo indicato dalla Provincia di Pavia con la finalità sia di coprire il più possibile il territorio, sia di approfondire le informazioni scaturite dalla prima serie di analisi (terreni golenali del Po, terreni su cui ripetere l'analisi per più anni...).

Dal 2003 al 2008 sono stati campionati ed analizzati da ARPA 692 campioni di terreno per un totale di 138 comuni, con una distribuzione della frequenza di campionamento visibile dalla carta seguente:



Risultati

Il progetto ha portato alla realizzazione di:

- 1 una serie di CD (2005 e 2006 AGRIO BIO, 2007 e 2008 US SITIDA e GPS) in continuo aggiornamento (allegata alla presente pubblicazione è la versione 04/2008). Il CD contiene l'applicativo per la visualizzazione e consultazione dei dati geografici, fornendo la possibilità di creare mappe alla scala 1:10000 sulla CTR con evidenziazione dei vincoli e delle aree del territorio provinciale in cui si è fatto il campionamento nei vari anni. Nel CD sono inoltre cartografate altre analisi di terreni (circa 148), svolte da ARPA dal 2002 nell'ambito della normale attività di controllo svolta con la Provincia di Pavia.
- 2 Carta (allegata al presente fascicolo), in aggiornamento a cura della U.S. SITIDA e GPS del Settore Tutela Ambientale, dei vincoli fisico normativi all'attività di recupero.
- 3 La seguente tabella suddivisa per comune in cui si evidenzia, anche in percentuale, la superficie territoriale che è possibile utilizzare per l'attività di recupero rifiuti al netto di tutti i vincoli normativi e fisici vigenti (per netto 5% si intende una correzione finalizzata a considerare ulteriori vincoli quali: strade e relative aree di rispetto non calcolabili alla scala cui si è lavorato).
- 4 Carte tematiche delle analisi ARPA 2004-2008 della presente pubblicazione.

NOME COMUNE	Ettari (HA)	HA non utilizzabili	HA utilizzabili al netto 5% (*)	% HA utilizzabili (**)
ALAGNA	871	134	701	80
ALBAREDO ARNABOLDI	904	278	595	66
ALBONESE	428	94	317	74
ALBUZZANO	1542	235	1242	81
ARENA PO	2270	1063	1146	51
BADIA PAVESE	504	63	419	83
BARBIANELLO	1194	185	958	80
BASCAPE'	1324	141	1123	85
BASTIDA DE' DOSSI	173	74	94	54
BASTIDA PANCARANA	1349	987	344	25
BATTUDA	710	69	608	86
BELGIOIOSO	2628	1726	857	33
BEREGUARDO	1743	1197	519	30
BORGARELLO	489	118	353	72
BORGO SAN SIRO	1769	706	1010	57
BORNASCO	1288	188	1045	81
BREME	1879	796	1029	55
BRESSANA BOTTARONE	1292	554	702	54
BRONI	2105	675	1358	65
CAMPOSPINOSO	351	112	227	65

NOME COMUNE	Ettari (HA)	HA non utilizzabili	HA utilizzabili al netto 5% (*)	% HA utilizzabili (**)
CANDIA LOMELLINA	2751	785	1868	68
CARBONARA AL TICINO	1553	775	739	48
CASANOVA LONATI	451	101	332	74
CASATISMA	548	252	281	51
CASEI GEROLA	2460	611	1757	71
CASORATE PRIMO	953	241	676	71
CASSOLNOVO	3201	1181	1919	60
CASTEGGIO	1785	569	1155	65
CASTELLETTO DI BRANDUZZO	1128	324	764	68
CASTELLO D'AGOGNA	1095	265	789	72
CASTELNOVETTO	1846	250	1516	82
CAVA MANARA	1780	1039	704	40
CERANOVA	526	73	431	82
CERETTO LOMELLINA	730	285	423	58
CERGNAGO	1346	221	1069	79
CERTOSA DI PAVIA	1076	228	805	75
CERVESINA	1248	819	408	33
CHIGNOLO PO	2336	601	1648	71
CILAVEGNA	1809	297	1436	79
CONFENZA	2703	293	2289	85
COPIANO	433	117	301	69
CORANA	1303	549	717	55
CORNALE	258	239	18	7
CORTEOLONA	1004	287	681	68
CORVINO SAN QUIRICO	448	95	335	75
COSTA DE' NOBILI	1188	134	1001	84
COZZO	1744	251	1418	81
CURA CARPIGNANO	1094	264	789	72
DORNO	3051	580	2347	77
FERRERA ERBOGNONE	1954	583	1302	67
FILIGHERA	823	118	669	81
FRASCAROLO	2423	1048	1306	54
GALLIAVOLA	854	276	549	64
GAMBARANA	1184	247	890	75
GAMBOLO'	5458	1779	3495	64
GARLASCO	3903	1069	2692	69
GENZONE	402	97	289	72

NOME COMUNE	Ettari (HA)	HA non utilizzabili	HA utilizzabili al netto 5% (*)	% HA utilizzabili (**)
GERENZAGO	539	94	423	78
GIUSSAGO	2485	372	2007	81
GRAVELLONA LOMELLINA	2044	319	1638	80
GROPELLO CAIROLI	2627	735	1797	68
INVERNO E MONTELEONE	985	168	776	79
LANDRIANO	1580	357	1161	74
LANGOSCO	1540	315	1163	76
LARDIRAGO	545	113	410	75
LINAROLO	1302	731	542	42
LOMELLO	2222	839	1313	59
LUNGAVILLA	691	228	440	64
MAGHERNO	510	129	362	71
MARCIGNAGO	1023	118	860	84
MARZANO	933	203	693	74
MEDE	3317	455	2719	82
MEZZANA BIGLI	1872	975	852	46
MEZZANA RABATTONE	638	321	301	47
MEZZANINO	1253	831	401	32
MIRADOLO TERME	961	384	548	57
MONTEBELLO DELLA BATTAGLIA	1579	254	1260	80
MONTICELLI PAVESE	2026	953	1019	50
MORTARA	5220	1091	3922	75
NICORVO	811	432	360	44
OLEVANO DI LOMELLINA	1534	476	1005	66
OTTOBIANO	2449	371	1974	81
PALESTRO	1893	848	992	52
PANCARANA	668	316	334	50
PARONA	915	240	641	70
PAVIA	6287	3302	2835	45
PIEVE ALBIGNOLA	1742	441	1236	71
PIEVE DEL CAIRO	2631	991	1558	59
PIEVE PORTO MORONE	1623	792	790	49
PINAROLO PO	1105	260	802	73
PIZZALE	711	171	513	72
PORTALBERA	440	328	107	24
REA	210	173	36	17
REDAVALLE	544	120	403	74

NOME COMUNE	Ettari (HA)	HA non utilizzabili	HA utilizzabili al netto 5% (*)	% HA utilizzabili (**)
ROBBIO	4023	554	3296	82
ROBECCO PAVESE	693	102	562	81
ROGNANO	944	109	793	84
RONCARO	499	58	419	84
ROSASCO	1960	663	1232	63
SAN CIPRIANO PO	681	447	222	33
SAN GENESIO ED UNITI	936	294	610	65
SAN GIORGIO DI LOMELLINA	2597	511	1982	76
SAN MARTINO SICCOMARIO	1369	476	849	62
SANNAZZARO DE' BURGONDI	2323	919	1334	57
SANTA CRISTINA E BISSONE	2211	261	1853	84
SANTA GIULETTA	1166	236	884	76
SANT'ALESSIO CON VIALONE	649	173	452	70
SANT'ANGELO LOMELLINA	1047	162	840	80
SAN ZENONE AL PO	707	359	331	47
SARTIRANA LOMELLINA	2974	1033	1844	62
SCALDASOLE	1166	199	919	79
SEMIANA	991	66	879	89
SILVANO PIETRA	1358	276	1028	76
SIZIANO	1200	271	882	74
SOMMO	1628	415	1153	71
SPESSA	1225	814	391	32
STRADELLA	1879	798	1027	55
SUARDI	999	591	388	39
TORRE BERETTI E CASTELLARO	1742	407	1268	73
TORRE D'ARESE	438	97	324	74
TORRE DE' NEGRI	402	138	251	62
TORRE D'ISOLA	1638	1001	605	37
TORREVECCHIA PIA	1643	287	1288	78
TORRICELLA VERZATE	352	81	257	73
TRAVACO' SICCOMARIO	1714	1321	374	22
TRIVOLZIO	386	106	266	69
TROMELLO	3510	486	2873	82
TROVO	817	64	715	88
TORRICELLA VERZATE	352	81	257	73
TRAVACO' SICCOMARIO	1714	1321	374	22
TRIVOLZIO	386	106	266	69

NOME COMUNE	Ettari (HA)	HA non utilizzabili	HA utilizzabili al netto 5% (*)	% HA utilizzabili (**)
TROMELLO	3510	486	2873	82
TROVO	817	64	715	88
VALEGGIO	975	50	880	90
VALLE LOMELLINA	2728	245	2358	86
VALLE SALIMBENE	792	300	467	59
VELEZZO LOMELLINA	837	188	617	74
VELLEZZO BELLINI	796	179	586	74
VERRETTO	274	100	165	60
VERRUA PO	1103	483	589	53
VIDIGULFO	1521	323	1138	75
VIGEVANO	7909	4104	3615	46
VILLA BISCOSSI	502	44	435	87
VILLANOVA D'ARDENGI	568	100	445	78
VILLANTERIO	1475	383	1037	70
VISTARINO	953	180	734	77
VOGHERA	6335	901	5163	81
ZECCONE	551	88	440	80
ZEME	2485	447	1936	78
ZERBO	649	332	301	46
ZERBOLO'	3747	2660	1032	28
VOGHERA	6335	901	5163	81
ZECCONE	551	88	440	80
ZEME	2485	447	1936	78
ZERBO	649	332	301	46
ZERBOLO'	3747	2660	1032	28
ZINASCO	2880	901	1880	65
TOTALE	228063	71372	148857	65

(*) $[HA\ tot - (HA\ non\ spandibili + HA\ tara)]$

(**) $[HA\ spandibili\ al\ netto\ 5\% / HA\ tot * 100]$

Per l'elaborazione dei dati analitici relativi a pH e CSC si sono presi in considerazione i valori medi di tutte le analisi svolte in ogni singolo Comune.

Sulla base dei risultati ottenuti per questi due parametri si è elaborata una carta con l'indicazione delle quattro classi di spandimento (t/ha s.s.) previste dalla normativa vigente (Art. 3 comma 4 del D.lgs. 99/92), e derivanti dai valori di pH e CSC dei terreni.

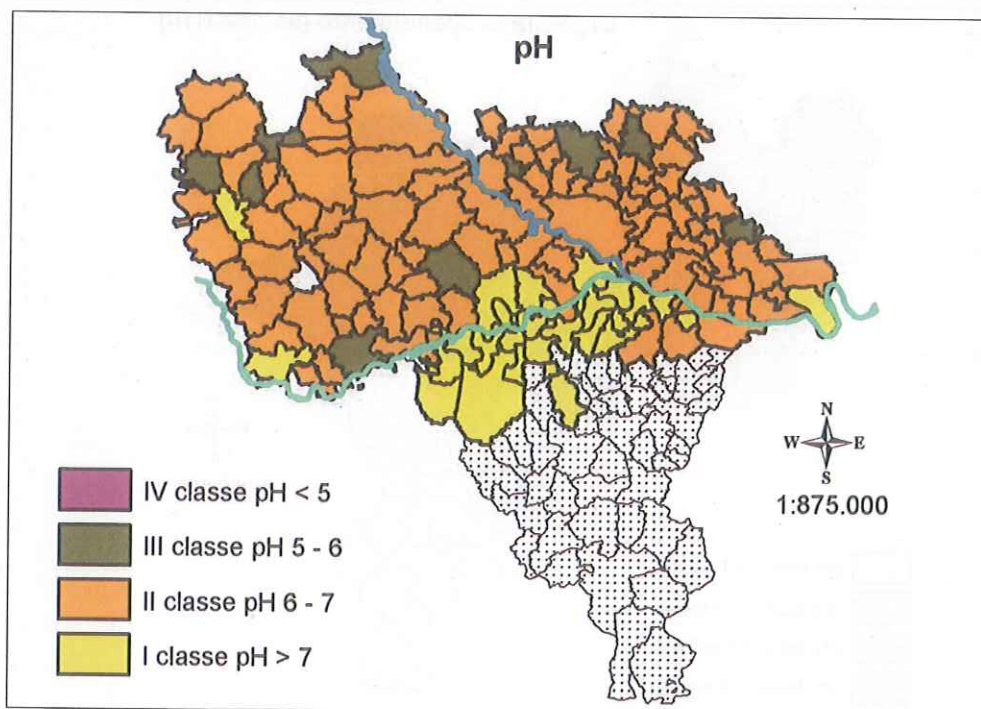
Il pH anche detto "potenziale idrogeno" è la scala con cui si misura il grado di acidità o di basicità di un composto, fra cui i terreni, (i composti acidi hanno un valore pH compreso tra 0 e 7 e sono tanto più acidi quanto più basso è l'indice; quelli neutri hanno un pH 7, quelle alcalini da 7 a 14).

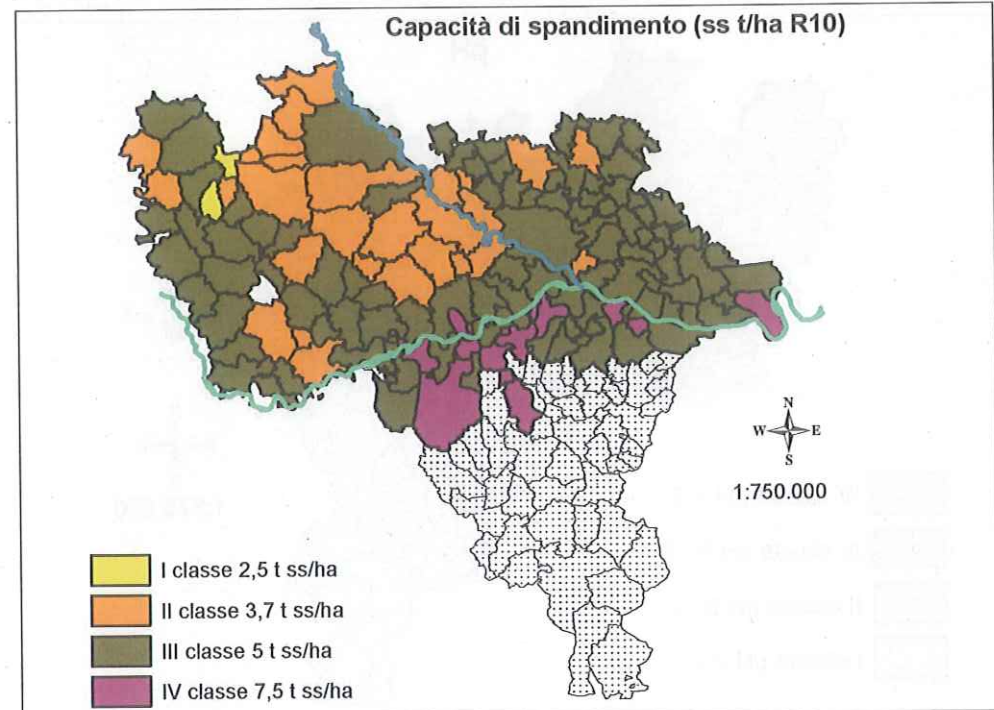
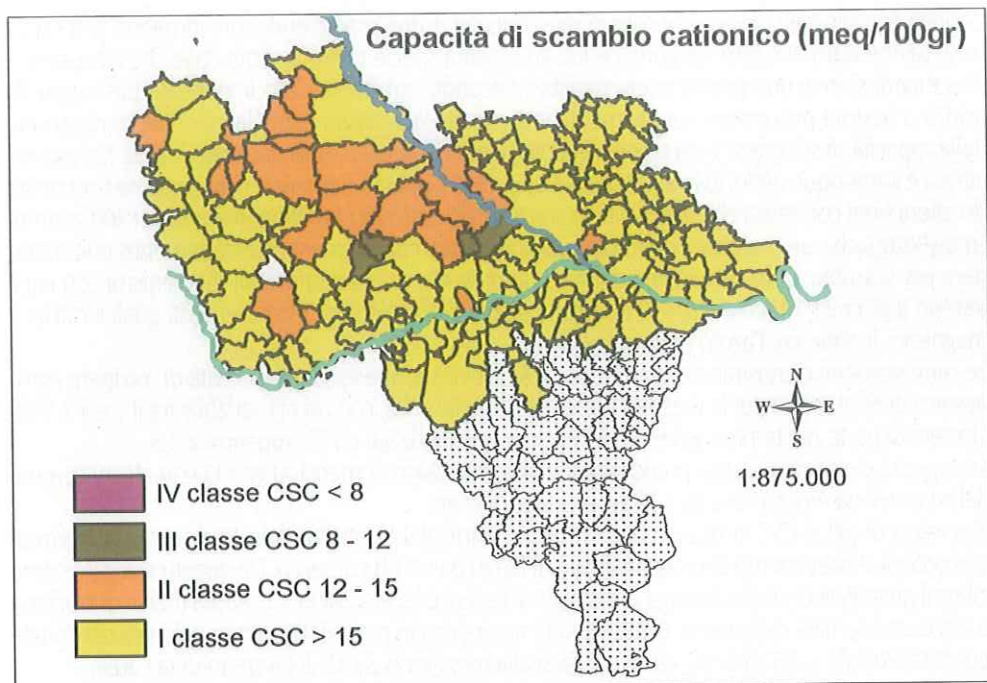
L'acidità è la capacità di un composto di dissociarsi in acqua producendo ioni idrogeno con carica positiva che normalmente vengono ceduti ad un'altra specie chimica, detta base che all'opposto, dissociandosi in acqua produce ioni negativi. Secondo questo assunto il graduale passaggio da acidità a basicità può essere generalmente interpretato nei terreni come la graduale diminuzione della capacità di sciogliere i sali e conseguentemente rilasciare metalli allo stato ionico. Questa reattività è comunque deducibile anche dalla Capacità di Scambio Cationico, definita come la quantità di cationi (ioni con carica elettrica positiva) scambiabili, espressa in **milliequivalenti** per 100 grammi (meq/100g), che un materiale, detto *scambiatore*, dotato di proprietà di adsorbimento può trattenerne per scambio ionico. Lo scambio ionico rappresenta uno dei principali meccanismi con cui il terreno trattiene e mette a disposizione delle piante e dei microrganismi elementi quali il calcio, il magnesio, il potassio, l'azoto ammoniacale.

Le carte seguenti ci mostrano che i territori della Provincia, interessati dall'attività di recupero agronomico di rifiuti, sono per la maggior parte debolmente acidi, con un pH variabile fra il 6 e il 7. Solo i terreni di parte dei territori golenali del Po sono caratterizzati da Ph superiori a 7,5.

La capacità di scambio ionico predominante presenta valori di meq/100 gr >15 e in alcuni comuni della Lomellina è compresa fra i 12 ed i 15 meq/100 gr.

Dai valori di pH e CSC si ricava che la maggior parte del territorio considerato presenta terreni compatibili al ricevimento di un quantitativo di fango pari 5 t/ha di secco. Da quanto spiegato sopra infatti il quantitativo medio di fango applicabile ai terreni è legato alla loro capacità media di reazione e alla buona fertilità del terreno. È interessante notare che in parte del territorio golenale del Po tale quantitativo sale a 7,5 t/ha s.s., da ricollegarsi alla maggior basicità del terreno di tali aree.





Riguardo al contenuto dei metalli pesanti, come accennato, il D.lgs 99/92 fissa dei precisi limiti di concentrazione dei principali metalli pesanti nei terreni, al di sopra dei quali il recupero dei rifiuti è precluso.

Con la definizione metalli "pesanti" vengono identificati quegli elementi chimici che presentano le seguenti caratteristiche comuni:

- hanno una densità superiore a $5,0 \text{ g/cm}^3$;
- si comportano come cationi, ossia come ioni dotati di carica positiva quando entrano in un campo elettromagnetico;
- presentano una bassa solubilità dei loro idrati;
- hanno una tendenza a dare vita a legami complessi;
- hanno una grande affinità con i solfuri, nei quali tendono a concentrarsi;
- hanno diversi stati di ossidazione a seconda delle condizioni di pH ed Eh.

All'interno dei metalli pesanti si distinguono i metalli indispensabili per gli organismi viventi, con potenziale tossicità, vale a dire: ferro, cobalto, cromo, rame, manganese, molibdeno, selenio, zinco, dai metalli ritenuti prevalentemente tossici: alluminio, arsenico, berillio, cadmio, mercurio, nichel e piombo. Quando si parla di inquinamento da metalli pesanti, normalmente però ci si riferisce a quattro di questi elementi, che sono i maggiori responsabili dei danni ambientali, ossia: il mercurio, il cadmio, il piombo e l'alluminio.

La loro tossicità è elevata sia per l'uomo sia per tutte le specie viventi perché si legano con le strutture cellulari in cui si depositano, ostacolando lo svolgimento di determinate funzioni vitali, per cui gli organismi spesso non sono in grado di eliminarli dal loro interno

Il cadmio, la cui presenza nell'ambiente è dovuta principalmente all'uso di fertilizzanti chimici, alle aziende che fabbricano batterie e semiconduttori, al fumo delle sigarette e agli inceneritori di materiali plastici e gommosi, è ritenuto il responsabile dell'insorgere di ipertensione, di disturbi gastrointestinali e dell'apparato riproduttivo, di forme di arteriosclerosi e di diverse forme tumorali.

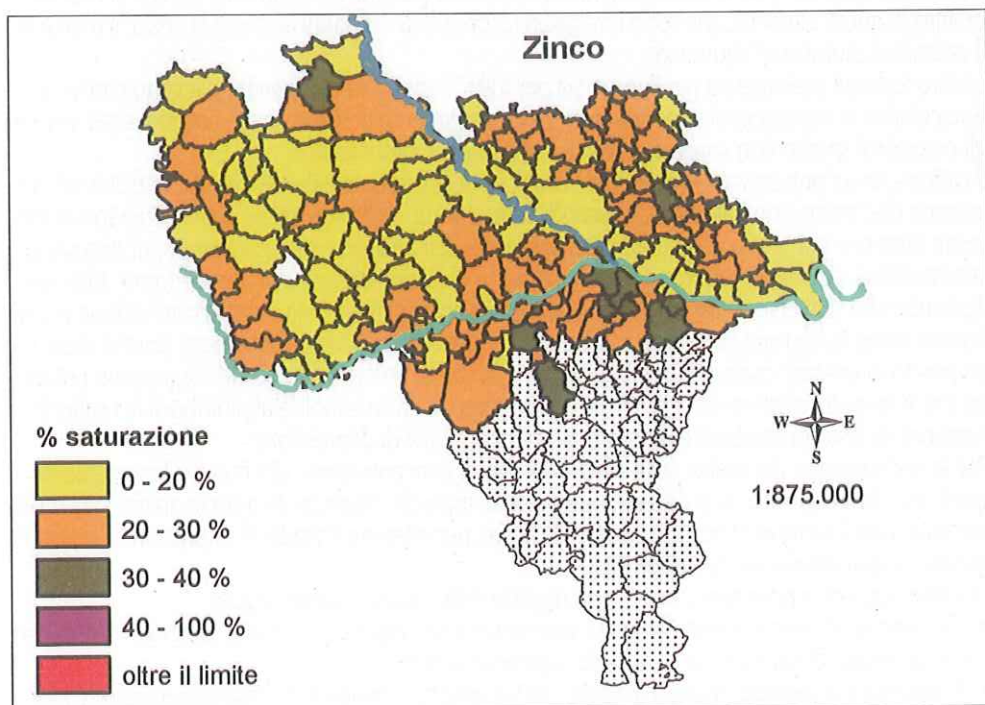
Il piombo che si riversa nell'ambiente soprattutto da scarichi industriali e dalla combustione di carburanti come la benzina tradizionale, produce i suoi effetti negativi sia sulle ossa, poiché viene incorporato in esse in sostituzione del calcio, sia a livello di processi chimici dell'organismo umano, poiché è ritenuto inibitore della produzione di numerosi enzimi. Inoltre al piombo si fa risalire l'insorgenza di disturbi cerebrali e di forme più o meno gravi di depressione.

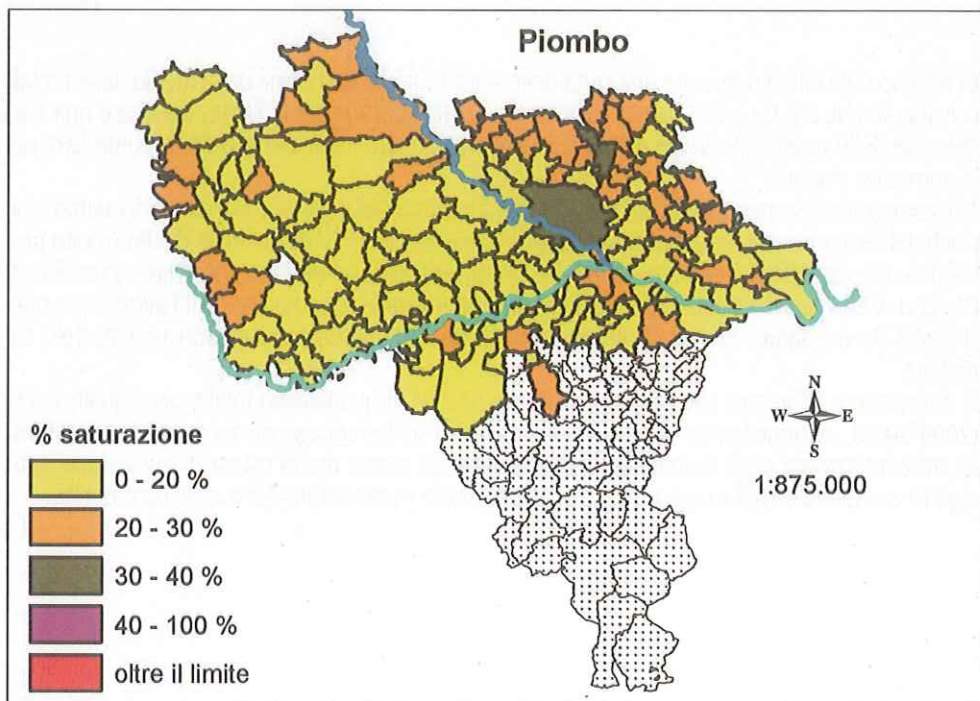
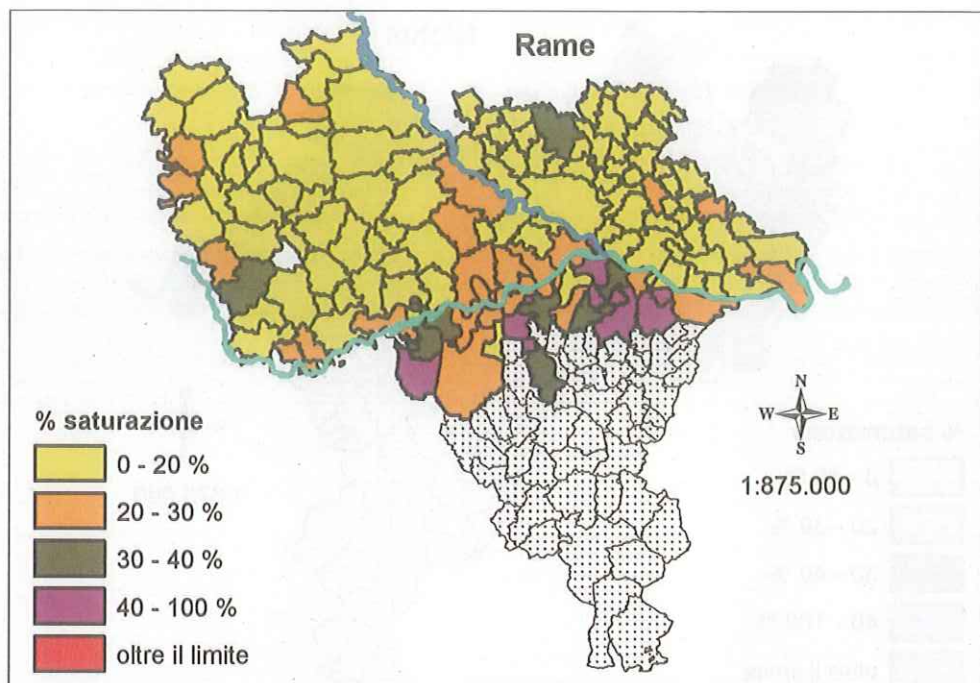
Per la realizzazione dei grafici sulle caratteristiche di concentrazione dei metalli, limitatamente a quelli con limiti normati, si è deciso di rapportare la media ottenuta da tutte le analisi svolte per comune, con il limite di concentrazione della legge, per ottenere il grado di saturazione dei terreni rispetto al quantitativo limite consentito.

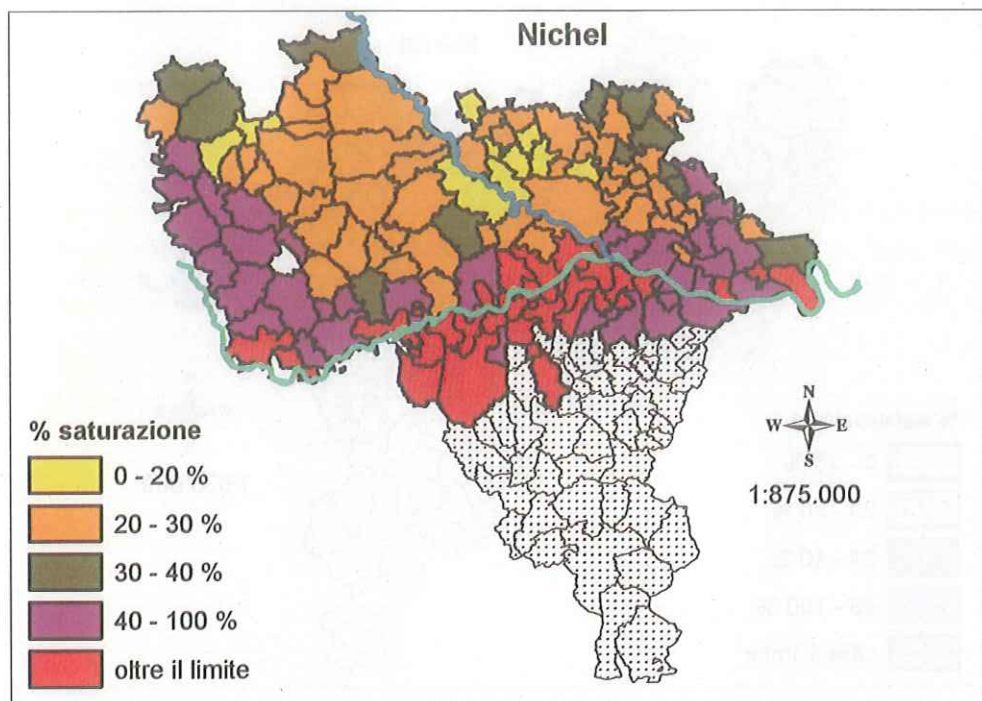
Le carte seguenti evidenziano, nella zona oggetto dello studio, quanto segue:

- il contenuto di zinco rispetto al limite normativo (300 mg/kg s.s.) risulta generalmente basso con un grado di saturazione raramente superiore al 30%;
- il contenuto di piombo, rispetto al limite (100 mg/kg s.s.), risulta anch'esso generalmente basso con un grado di saturazione non superiore al 20%, e con alcuni comuni, individuabili verso la parte settentrionale del Pavese, in cui varia dal 20 al 30%, solo il Comune di Pavia e quello di Bornasco presentano una saturazione che varia dal 30 al 40%;
- il contenuto di rame presenta un grado di saturazione rispetto al limite (100 mg/kg s.s.) non superiore al 20 % per le aree centrali sia della Lomellina sia del Pavese. Il grado di saturazione si

- presenta più alto sui terreni di molti Comuni localizzati sugli assi dei due fiumi principali, fino a raggiungere una saturazione variabile dal 40 al 100% per i comuni di Casei Gerola, Castelletto di Branduzzo, Mezzanino Po, Casanova Lonati, Canneto Pavese, Stradella, Broni e Portalbera;
- i risultati più interessanti si sono ottenuti dalla cartografazione della saturazione percentuale del nichel (limite normato di 75 mg/kg s.s.). Le saturazioni, anche oltre il limite, si concentrano per i comuni posti sull'area golenale del Po. Tali terreni quindi, che risultano generalmente poco interessati dall'attività di recupero, anche perché sono per gran parte vicolati dal punto di vista idrogeologico, sembrerebbero essere caratterizzati pedologicamente da frazioni minerali ricche di nichel. Le aree vicine alla golaena del Po devono dunque essere considerate "più vulnerabili" anche dal punto di vista delle caratteristiche analitiche dei terreni per l'attività di recupero agronomico di rifiuti;
 - non si è proceduto alla cartografazione dei valori di concentrazione del mercurio e del cadmio perché in tutti i terreni la concentrazione si è dimostrata molto inferiore, quindi trascurabile, rispetto ai rispettivi limiti normati (per il mercurio 1 mg/kg s.s e per il cadmio 1,5 mg/kg s.s).



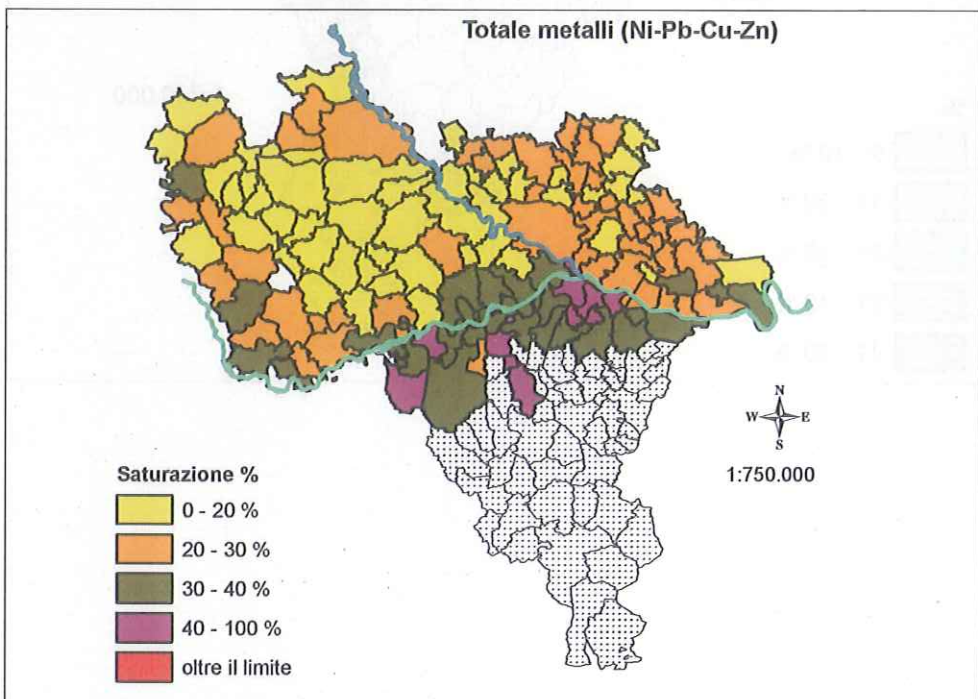
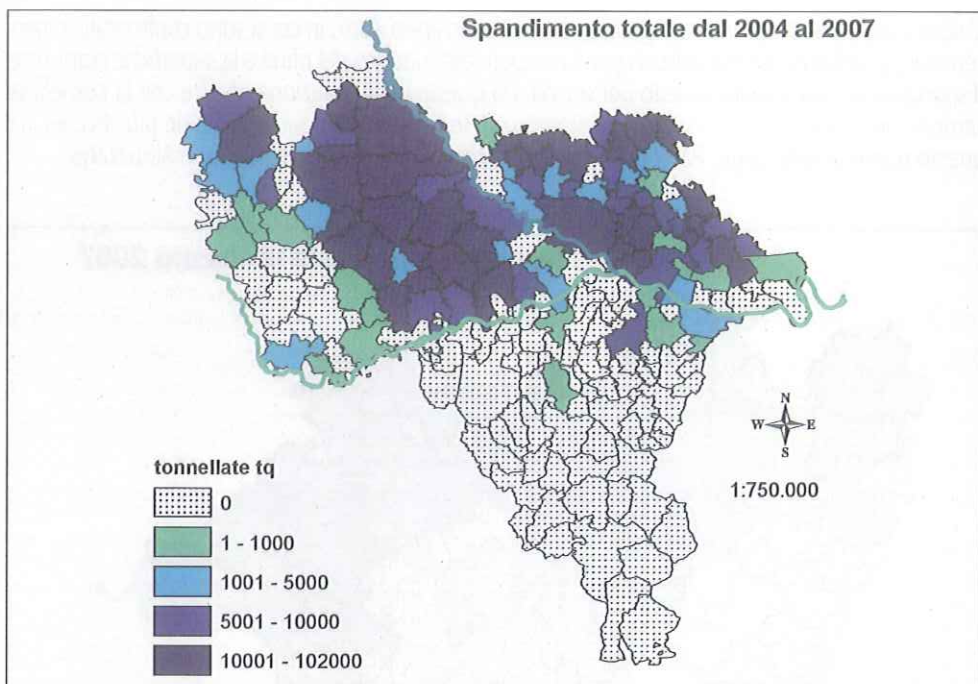




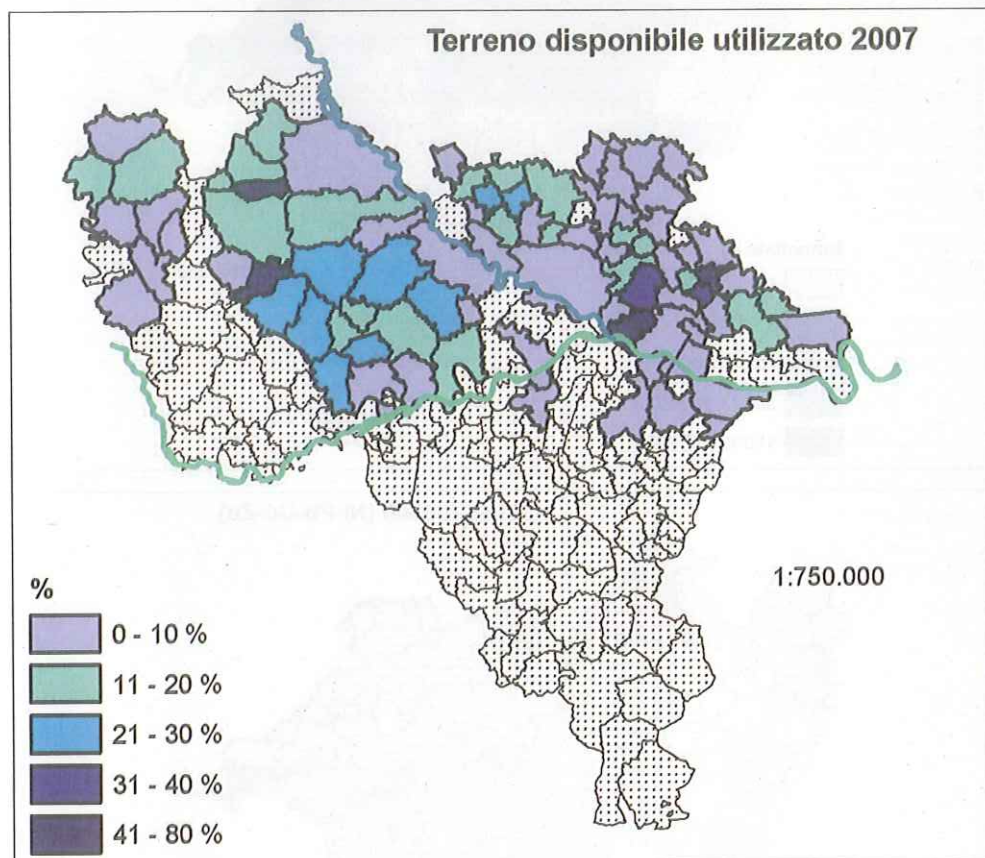
Ci è parso utile infine preparare una carta delle saturazioni della somma delle medie dei 4 metalli considerati (Ni, Pb, Cu e Zn) rispetto alla somma delle concentrazioni limite, per avere una idea generale delle caratteristiche dei terreni rispetto al contenuto totale dei metalli da controllare per la normativa vigente.

Tale cartografia permette di evidenziare una situazione abbastanza confortante in quanto gran parte del territorio non supera una saturazione totale del 30%, l'area golenale del Po (molto probabilmente per l'effetto della concentrazione del nichel) viene confermata come area a rischio per tale tipo di attività di recupero. Infine appare una differenza fra la Lomellina ed il Pavese, area quest'ultima dove le saturazioni totali, pur non superando il 30% appaiono superiori a quelle della Lomellina.

E' interessante affiancare tale cartina con quella relativa al quantitativo totale, per i quattro anni (2004-2008), in tonnellate tal quale di rifiuti recuperati sui terreni agricoli del medesimo territorio. La zona interessata dagli spandimenti effettivi, oltre ad essere meno estesa di quella analizzata, appare anche nelle aree maggiormente sfruttate, quella meno satura dei metalli considerati.



E' stata inoltre elaborata una cartografia, relativa al solo anno 2007, in cui si sono confrontati, in percentuale, gli ettari di terreno utilizzati per il recupero agronomico dei rifiuti e la superficie comunale disponibile per tale attività al netto dei vincoli. Da questa cartografazione appare che la Lomellina centrale presenta i comuni nei quali è utilizzato più territorio. I comuni in generale più sfruttati, da questo punto di vista sono: Parona, Cernago, Genzone, Gerenzago, Linarolo, e Albuzzano.



Conclusioni e prospettive future

I risultati complessivi del lavoro svolto permettono di avere sicuramente a disposizione un mezzo aggiornato e pratico per una gestione più corretta del territorio rispetto all'attività di recupero rifiuti in agricoltura.

Senza dimenticare il fatto che costituisce una banca dati unica a livello nazionale, consente un controllo più mirato da parte degli Enti preposti nonché una maggiore consapevolezza delle caratteristiche dei terreni agricoli, rispetto al loro utilizzo, sia da parte delle aziende che si occupano dell'attività di recupero sia da parte degli operatori agricoli.

Dall'indagine analitica dei terreni si è evidenziato che l'area di studio prescelta, coincidente per gran parte all'effettivo svolgimento dell'attività, è generalmente adatta al corretto svolgimento di tale recupero. Tuttavia si sono evidenziate alcune aree "critiche" per contenuto di metalli nonché Comuni in cui lo sfruttamento del territorio disponibile è molto elevato.

Nel corso della ricerca alcuni terreni sono stati analizzati per più anni, tuttavia l'elaborazione dei dati non ha permesso finora di ottenere risultati statisticamente significativi sull'andamento dei metalli nei terreni in cui si è svolta l'attività di recupero. L'approfondimento di questo argomento sarà oggetto dell'eventuale sviluppo del progetto.

Il lavoro ha comunque aperto altri scenari da investigare, come uno studio più puntuale sul contenuto in nichel dei terreni lungo le aree terrazzate che portano alla gola del fiume Po, ed un approfondimento sulla variabilità stagionale dei valori di pH sulle diverse tipologie di terreni agrari...

Le ditte che fino ad ora hanno collaborato alla realizzazione del progetto, si sono dichiarate disponibili a proseguire la ricerca, che, al di là dei risultati, è stata l'occasione per dimostrare come un fattivo spirito di collaborazione fra Enti e soggetti economici privati, rappresenti sicuramente la miglior via per un approfondimento delle conoscenze del territorio al fine di giungere ad una gestione più precisa e consapevole del patrimonio ambientale.

Modalità di prelievo e analisi del terreno agrario

Dott.sa Luigina Patricola, Dr. Piero Sandro Assanelli, Dott.sa Lia Broglia
A.R.P.A. – Dipartimento di Pavia

Presentazione

Nell'ambito del progetto "Mappatura terreni della provincia pavese" finalizzato a individuare e monitorare i livelli di incidenza che l'attività di spandimento rifiuti speciali esercita sul suolo, l'ARPA Dipartimento di Pavia ha svolto l'attività di campionamento di suoli agricoli per la determinazione del valor medio di pH, capacità di scambio cationico, potere ossidante e della concentrazione di nichel, cromo, rame, piombo, zinco, mercurio e arsenico.

Sia il campionamento sia le determinazioni analitiche sono state effettuate secondo le norme disposte dal DM 13 settembre 1999, che riporta i: "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo" e s.m.i. In particolare il prelevamento dei campioni sottoposti ad analisi è stato condotto applicando il protocollo di campionamento di suoli ad uso agricolo in uso presso l'ARPA Dipartimento di Pavia, che consiste nell'adozione di una strategia di **campionamento non sistematico a X**.

Tale attività ha avuto inizio nel novembre 2004, si è protratta nel corso di questi anni sostanzialmente sempre nel periodo tra novembre e giugno dell'anno successivo e ha previsto il campionamento e l'analisi, fino ad oggi, di circa 730 campioni di terreno scelti in modo che la distribuzione territoriale risultasse il più possibile omogenea.

Prima di procedere a descrivere nel dettaglio quanto svolto nell'ambito di tale progetto, appare utile approfondire alcune criticità correlate proprio all'attività di campionamento, al fine di spiegare i motivi che hanno portato alla stesura di un protocollo operativo che prevede, tra le varie strategie e strumentazioni di campionamento adottabili, il tipo "non sistematico ad X" con campionatori vanga e paletta e prelievo di campione composito per particella di terreno.

Introduzione

MOTIVAZIONI CHE HANNO PORTATO ALLA SCELTA DELLA STRATEGIA DI "CAMPIONAMENTO NON SISTEMATICO A X"

Il prelevamento dei campioni di terreni da sottoporre ad analisi costituisce uno dei punti più critici degli studi per la caratterizzazione di un suolo e deve essere effettuato tenendo conto di alcune considerazioni poiché tessitura, struttura e contenuto di sostanza organica ed elementi nutritivi e/o inquinanti, hanno una loro variabilità specifica anche in suoli relativamente omogenei.

Se da un lato le attività di campionamento rappresentano una fase critica del processo di misura nel suo complesso, contribuendo significativamente all'incertezza della misura stessa, dall'altro la scelta delle modalità di campionamento, il punto e il numero dei prelevamenti devono essere scelti in relazione con le finalità dell'indagine e con il grado di dettaglio che si intende raggiungere, tenendo conto anche della necessità pratica di limitare un altrimenti insostenibile carico analitico

conseguente ad un elevato numero di campioni prelevati.

Nell'ottica pertanto di accrescere il livello di qualità delle operazioni di campionamento e al tempo stesso la comparabilità dei dati di monitoraggio, l'APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici) ha coinvolto su base nazionale, nel 2003, alcuni laboratori del sistema delle agenzie regionali per la protezione dell'ambiente in un circuito di interconfronto, denominato APAT-IC003, avente per oggetto il campionamento di suoli per la determinazione del valor medio della concentrazione di arsenico, cromo, ferro, scandio e zinco in un'area agricola di 10000 metri quadrati.

Il Circuito di Interconfronto APAT-IC003 "Interconfronto sulle strategie di campionamento di suolo in area agricola" è stato organizzato nell'ambito del progetto a gestione diretta APAT "Circuiti di interconfronto per l'individuazione di un gruppo tecnico permanente regionale o multi regionale (GTP) per il monitoraggio continuo della qualità dei dati prodotti dai laboratori regionali che svolgono attività di controllo ambientale" e si è svolto sul sito di riferimento di Pozzuolo del Friuli (Udine), presso l'ERSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo Rurale del Friuli Venezia-Giulia).

Tale sito è stato caratterizzato chimicamente nel corso delle attività sperimentali connesse al progetto internazionale SOILSAMP coordinato da APAT "ASSESSMENT OF UNCERTAINTY ASSOCIATED WITH SOIL SAMPLING IN AGRICULTURAL, SEMINATURAL, URBAN AND CONTAMINATED ENVIRONMENT".

Al circuito APAT-IC003 hanno partecipato 14 laboratori, quali rappresentanti di 14 differenti Agenzie Regionali, tra cui il Dipartimento provinciale di Pavia e l'interconfronto prevedeva che le squadre di campionamento di ciascuna Agenzia accedessero al sito di riferimento ad intervalli di tempo pre-definiti, nell'arco di tre giorni.

Ciascun laboratorio partecipante all'esercizio doveva applicare liberamente il proprio protocollo di campionamento di suoli, impegnandosi ad effettuare il campionamento con la stessa accuratezza normalmente posta nelle attività di routine eseguite dal laboratorio stesso e utilizzando i propri strumenti di campionamento, incluse le attrezzature accessorie per lo svolgimento delle operazioni di prelievo e di eventuale preparazione del campione in campo.

L'ARPA Dipartimento di Pavia ha pertanto svolto tale esercizio di interconfronto adottando la propria strategia di "Campionamento non sistematica a X", consegnando un campione di tipo *composito*, ottenuto cioè dall'unione di più incrementi, raccolti entro lo strato arabile (circa 30 cm di profondità) e utilizzando come strumenti di campionamento una vanga, una paletta e un sacchetto in polietilene.

Tutti i campioni di laboratorio ricevuti sono stati trattati dall'ERSA in collaborazione con l'APAT e successivamente analizzati dal laboratorio del Josef Stefan Institute di Ljubljana (Slovenia) mediante tecnica di attivazione neutronica strumentale (INAA), precedentemente utilizzata per la caratterizzazione del sito di riferimento.

Per quanto concerne l'elaborazione statistica, avendo i laboratori partecipanti all'interconfronto, adottato strumenti e strategie di campionamento diversificati, i risultati analitici sono stati suddivisi in funzione:

- dello strumento di campionamento (vanga e trivella manuale);

- della strategia di campionamento (sistemica, stratificata casuale e non-sistemica).

I risultati delle misure sono stati sottoposti ai seguenti test statistici:

- Test di Grubbs : individua i valori abnormi fra i valori medi di tutti i laboratori (ISO 5725-2: 1994)
- Test di Skapiro-Wilk per la normalità : verifica la "normalità" della distribuzione dei valori medi di tutti i laboratori (S.P. Millard, et al., 2001)
- Test di Kolmogorov – Smirnov per la normalità: verifica la "normalità" della distribuzione dei valori medi di tutti i laboratori (S.P. Millard, et al., 2001)
- Valutazione dello scostamento dal valore di riferimento (D) : (ISO 13528:2005 (E))
- Valutazione di accettabilità (z'-score): (ISO 13528:2005 (E))

Senza entrare nel dettaglio dei criteri statistici adottati che esulano da questa presentazione, si riportano di seguito le conclusioni dell'elaborazione statica effettuata.

I dati ottenuti dall'interconfronto sono stati pertanto riassunti secondo la scala proposta nella tabella 1, che pone a confronto i valori degli scostamenti (D), ottenuti da ciascun laboratorio, con diversi intervalli dello scarto tipo robusto del circuito APAT-IC003 (2 s e 3 s) e nella tabella 2, che riporta i valori di z'-score di laboratorio per ciascun elemento:

Tabella 1 - Scala di valutazione dei risultati dell'interconfronto secondo gli scostamenti D

$ D = 2s$	Strategia appropriata
$2s < D = 3s$	Strategia discutibile
$ D > 3s$	Strategia da correggere

dove "s" è lo scarto di tipo robusto del circuito APAT-IC003 per ogni elemento misurato (n=14); la valutazione conseguente circa la strategia di campionamento adottata (appropriata, discutibile, da correggere) è strettamente dipendente dal sito su cui essa è stata applicata

Tabella 2 - Scala di valutazione dei risultati dell'interconfronto secondo i punteggi z'-score

$ z' = 2s$	Strategia appropriata
$2s < z' = 3s$	Strategia discutibile
$ z' > 3s$	Strategia da correggere

Anche in questo caso, come per il caso della scala di valutazione dello scostamento D (Tab.1), la valutazione è pertinente solo per l'area su cui è stato effettuato il campionamento ed ha la finalità di fornire in forma più oggettiva possibile un'indicazione circa la qualità del campionamento eseguito.

Nelle tabelle riportate di seguito vengono riassunte sia le diverse strategie di campionamento adottate dai vari laboratori sia la valutazione dei risultati dell'interconfronto secondo le scale di valutazione proposte in tab. 1 e 2, assegnando, per motivi di riservatezza, un codice numerico a tutti gli altri laboratori partecipanti :

Tabella 3 - Strategie di campionamento

Laboratorio	Strategia	Tipo campione	Campionatore
1	Non sistematica a zig-zag o W	4 campioni composti ad incrementi variabili (5,4,4,2)	Vanga e paletta
2	Sistematica	15 campioni composti ad incrementi variabili (3,4)	Trivella manuale Edelmann
3	Non sistematica, casuale	6 campioni composti	Trivella manuale Edelmann
4	Stratificata casuale	1 campione composto costituito da 15 incrementi	Trivella manuale Edelmann
5	Sistematica/Stratificato casuale	6 campioni composti costituiti da 5 incrementi ognuno	Vanga
6	Non sistematica a X	6 campioni composti ad incrementi variabili (5,9)	Trivella manuale Edelmann
7	Sistematica	7 campioni composti ad incrementi variabili (4,5)	Vanga
ARPA PV	Non sistematica a X	1 campione composto costituito da 19 incrementi	Vanga e paletta
9	Stratificata casuale	6 campioni composti costituiti da 5 incrementi ognuno, più 2 campioni singoli	Trivella manuale Edelmann
	Stratificata casuale	15 campioni composti ad incrementi variabili (2,3)	
11	Sistematica	6 campioni composti ad incrementi variabili (3,4,8,9)	Trivella manuale Edelmann
12	Sistematica/Stratificato casuale	15 campioni singoli	Trivella manuale Edelmann
13	Sistematica/Stratificato casuale	1 campione composto costituito da 515 incrementi	Trivella manuale Edelmann
14	Non sistematica, casuale	4 campioni composti, costituiti ognuno da 4 incrementi, più 11 campioni singoli	Trivella manuale Edelmann

Tabella 4 - APAT-IC003 Valutazione dei risultati dell'interconfronto secondo i valori di scostamento D

Laboratorio	Arsenico (mg/kg)		Cromo (mg/kg)		Ferro (mg/kg)		Scandio (mg/kg)		Zinco (mg/kg)	
	2 s	3 s	2 s	3 s	2 s	3 s	2 s	3 s	2 s	3 s
	0,8	1,2	15	22	952	1428	0,3	0,5	4,7	7,1
1	0,4		- 13		- 1428		- 0,5		2,6	
2	- 0,3		- 10		- 1064		- 0,4		- 3,3	
3	0,4		- 8		- 1416		- 0,5		- 3,9	
4	0,8		2		- 574		- 0,2		- 0,9	
5	- 0,1		- 6		- 171		- 0,1		- 2,3	
6	- 0,3		- 20		- 2254		- 0,8		- 8,0	
7	- 0,2		- 6		- 1331		- 0,5		- 3,2	
ARPA PV	- 0,1		- 20		- 1052		- 0,3		- 7,4	
9	- 0,5		- 3		- 837		- 0,3		- 2,9	
10	0,1		- 14		- 1127		- 0,3		- 3,8	
11	0,6		- 14		- 654		- 0,2		0,9	
12	- 0,3		- 3		- 1464		- 0,5		- 4,5	
13	0,0		- 11		- 1062		- 0,4		- 3,7	
14	- 0,2		- 2		- 438		- 0,1		- 1,3	

Tabella 5 - APAT-IC003 Valutazione dei risultati dell'interconfronto rispetto ai valori di z'-score

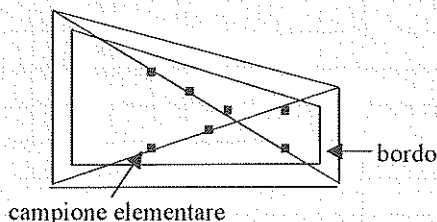
Laboratorio	Arsenico	Cromo	Ferro	Scandio	Zinco
1	1,1	-1,8	-2,9	-2,7	1,0
2	-0,5	-1,4	-2,1	-2,1	-1,3
3	1,1	-1,1	-2,8	-2,7	-1,6
4	2,1	0,2	-1,2	-1,4	-0,4
5	-0,2	-0,8	-0,3	-0,5	-0,9
6	-0,6	-2,7	-4,5	-4,6	-3,2
7	-0,4	-0,9	-2,7	-2,6	-1,3
ARPA PV	- 0,2	- 2,7	- 2,1	- 1,5	-3,0
9	-1,1	-0,5	-1,7	-1,5	-1,2
10	0,4	-1,9	-2,3	-2,0	-1,5
11	1,6	-1,9	-1,3	-1,0	0,4
12	-0,5	-0,4	-2,9	-2,9	-1,8
13	0,0	-1,5	-2,1	-2,1	-1,5
14	-0,5	-0,3	-0,9	-0,8	-0,5

Parte sperimentale

MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO

Il prelievo dei campioni elementari è stato effettuato seguendo una procedura di "campionamento non sistematico a X".

I punti di prelievo sono cioè stati scelti lungo un percorso tracciato sul mappale da investigare, formando un'immaginaria lettera X, come rappresentato dalla figura sottostante:



In ogni punto è stato prelevato un campione elementare evitando i bordi della zona di campionamento e le aree dove sono stati accumulati fertilizzanti, prodotti o sottoprodotti.

METODICA DI CAMPIONAMENTO

NUMERO DI CAMPIONI ELEMENTARI

In ogni mappale individuato dal progetto "Mappatura terreni" è stato preparato un campione medio finale ottenuto dalla mescolanza di 5 prelievi per ettaro con prelevamento minimo di 15 campioni elementari.

Nel caso in cui si sono riscontrate particolari disomogeneità del terreno, si è proceduto al prelevamento di un maggior numero di prelievi per ettaro rispetto a quanto sopra indicato.

PROFONDITÀ

I campioni elementari sono stati prelevati alla profondità di lavorazione del suolo (strato arabile) tra 15-30 cm, dopo aver rimosso, quando necessario, la vegetazione che copriva il suolo.

ESECUZIONE DEL PRELEVAMENTO

Il prelevamento è stato eseguito scavando con la vanga una piccola buca a pareti verticali fino alla profondità sopra indicata e prelevando una fetta verticale che interessava tutto lo strato.

In nessun caso è stato necessario utilizzare la trivella in quanto il terreno non è mai risultato così compatto e/o con scarsa presenza di scheletro tale da non permettere l'uso della vanga.

FORMAZIONE DEL CAMPIONE FINALE

I campioni elementari, man mano che venivano prelevati sono stati inseriti in un secchio; terminati i prelievi, si procedeva a mescolare accuratamente il terreno, in modo da ottenere un campione medio finale omogeneo.

QUANTITÀ, TRASPORTO E STOCCAGGIO CAMPIONI

Tale campione finale veniva inserito in sacchetto di plastica fino a raggiungere il peso di circa

500 g; l'imballaggio veniva poi trasportato presso i laboratori ARPA di Pavia e stoccato in ambiente chiuso e refrigerato (a temperatura di circa 4° C) fino al momento di inizio analisi.

PREPARAZIONE E ANALISI DEI CAMPIONI

La preparazione e analisi dei campioni è stata eseguita secondo le norme disposte dal DM 13 settembre 1999, che riporta i: "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo", integrato dal Decreto 25 marzo 2002: "Rettifiche al decreto ministeriale 13 settembre 1999 riguardante l'approvazione dei metodi ufficiali di analisi chimica del suolo".

PREPARAZIONE DEL CAMPIONE

Prima di procedere all'analisi chimica ogni campione di terreno è stato essiccato all'aria e poi passato per setaccio con maglie da 2 mm.

Sul terreno così essiccato sono stati determinati i seguenti parametri: pH, CSC, "potere ossidante", Cd, Ni, Cr, Pb, Cu, Zn, Hg, As.

METODICHE ANALITICHE UTILIZZATE

Nello specifico sono state utilizzate le seguenti metodiche:

- la determinazione del grado di reazione (pH) è stata determinata per via potenziometrica su sospensioni di suolo-acqua (Metodo III.1);
- la capacità di scambio cationico con bario cloruro e trietanolammina (Metodo XIII.2);
- il "potere ossidante" del suolo per il cromo con il metodo di Barlett & James (Metodo XII.6);
- per la determinazione dei metalli pesanti i campioni di terreno sono stati pretrattati con perossido di idrogeno e mineralizzati con acqua regia mediante digestione su piastra riscaldante, a refluxo; il contenuto dei metalli è stato poi determinato sia in assorbimento atomico con fornello di grafite sia al plasma induttivamente accoppiato (ICP) (Metodo XI.1); per il mercurio, invece, si è effettuata una mineralizzazione con miscela solfo-nitrica e determinazione in assorbimento atomico con tecnica degli idruri.

CONCLUSIONE E ANALISI DEI RISULTATI

La strategia di campionamento "non sistematico a X" è definita come analisi di caratterizzazione ossia "insieme di determinazioni che contribuiscono a definire le proprietà fisiche e/o chimiche di un campione di suolo" che può portare ad una copertura non completa della superficie da investigare e fornire, conseguentemente, dati solamente orientativi.

Tale procedura si rende tuttavia necessaria quando devono essere prelevati in tempi relativamente ristretti, centinaia di campioni di terreno come previsto dal progetto "Mappatura terreni della provincia pavese" presentato in questo rapporto. Tuttavia, come si evince dalle tabelle riassuntive 4. e 5. sopra riportate, la strategia di campionamento adottata per lo svolgimento di questo lavoro, fornisce per la maggior parte dei parametri indagati un risultato di "strategia appropriata" o "strategia discutibile" ma "non di strategia da correggere" per cui, tenendo conto delle finalità della presente indagine e della difficoltà oggettive di campionamento di un'area così vasta come quella provinciale, tale strategia applicata sembra raggiungere un equo compromesso tra necessità di mantenere un livello soddisfacente di qualità delle operazioni di campionamento (e quindi del dato analitico) e ottimizzazione di risorse umane ed economiche.

Utilizzo agronomico di fanghi di depurazione su riso: la sperimentazione in campo

Marco Romani, Gianluca Beltarre

Ente Nazionale Risi
Centro Ricerche sul riso

L'utilizzo dei fanghi di depurazione come sostituti di ammendanti tradizionali (letame e altri reflui zootecnici) è pratica in continua espansione in Provincia di Pavia.

La loro derivazione è in parte civile ed in parte industriale; si presentano come materiali disidratati, condizionati mediante compostaggio o come fanghi liquidi.

I fanghi vengono impiegati prevalentemente su terreni destinati ai cereali, tra cui mais e riso assumono un'importanza predominante.

La coltivazione del riso viene praticata in regime di prevalente monosuccessione senza alcun legame con ogni tipologia di attività zootecnica. Gli apporti organici al suolo riguardano esclusivamente il reintegro dei residui colturali, attualmente incorporati nel terreno previa trinciatura, rispetto alla tradizionale "bruciatura" diffusa in passato.

Se da un lato l'abbandono dell'incenerimento delle paglie ha favorito un accumulo di sostanza organica nel suolo, oltre che arrecare benefici alla qualità dell'aria, dall'altro si è assistito ad un progressivo aumento, specie nei terreni più sciolti, della comparsa di fenomeni fitotossici riconducibili a sostanze provenienti dal metabolismo anaerobico della risaia.

All'atto dell'aratura, molto spesso si può ancora osservare la presenza di residui colturali solo parzialmente decomposti dopo un anno di interramento nel suolo. Si ritiene, perciò, che nella maggior parte delle condizioni pedologiche in cui si concentra la risicoltura italiana si stia assistendo ad un accumulo di forme poco umificate della sostanza organica del terreno, di limitata utilità ai fini agronomici e talvolta all'origine di composti fitotossici.

Inoltre, la letteratura internazionale ha dimostrato come anche in condizioni temperate l'ambiente anaerobico e la coltivazione in monosuccessione del riso condizioni negativamente l'efficienza della concimazione azotata. Composti recalcitranti prodotti a partire da sostanza organica fresca in ambiente asfittico, svolgono un'azione di immobilizzazione dell'azoto somministrato con le concimazioni minerali, rendendolo indisponibile per la nutrizione della coltura.

Ciò trova evidenza anche nelle nostre situazioni colturali, in cui si utilizzano quantitativi di fertilizzante azotato superiori rispetto al passato, con un aggravio dei costi di produzione ed una maggiore predisposizione della coltura agli attacchi parassitari.

Infine, a completare il quadro della fertilità della risaia andrebbe considerata la componente biologica, spesso trascurata dalla normale caratterizzazione delle realtà pedologiche. Le poche esperienze maturate in risaia evidenziano livelli di fertilità biologica limitati rispetto ad indici elaborati per condizioni da "asciutta" ed ai valori riportati in letteratura per quanto riguarda la quantificazione e la funzionalità della biomassa microbica nelle situazioni colturali asiatiche.

Dal punto di vista della nutrizione della coltura, l'utilizzo di azoto organico si è diffuso nella risicoltura italiana come integrazione alla quantità del macronutriente distribuito in pre-semina. Lo scopo

della tecnica è quello di sopperire ad una limitata capacità di rifornimento dell'elemento da parte del terreno, fondamentale per assicurare una crescita equilibrata ed il mantenimento di un adeguato livello nutritivo nell'ultima parte del ciclo colturale. Le matrici organiche a base di corna ed unghie degli animali ed il cuoio, sono le più comuni in risaia.

L'impiego di fanghi di depurazione sui terreni agricoli si inserisce nel quadro designato quale apporto di sostanza organica parzialmente stabilizzata con potenzialità utili al fine di un miglioramento della qualità della componente organica del suolo, dell'incremento della fertilità biologica e dell'effetto nutritivo legato ai contenuti di azoto e fosforo.

Tuttavia, la somministrazione dei fanghi ai terreni agrari se da una parte ne esalta le caratteristiche di risorsa per gli effetti ammendanti e nutritivi elencati, dall'altra può comportare rischi ambientali, principalmente riconducibili al loro contenuto, spesso elevato rispetto agli ammendanti tradizionali, di metalli pesanti e di altri elementi indesiderati. L'attività deve essere, pertanto, gestita con razionalità in accordo con un piano di utilizzazione agronomica che tenga in considerazione dosi, epoche e tecniche di somministrazione, solo dopo un'accurata caratterizzazione dei fanghi e dei terreni.

Al fine di monitorare gli effetti agronomici, ambientali e quelli relativi alla salubrità del riso è stato allestito un sito sperimentale in cui, attraverso prove parcellari in campo, l'impiego del fango è stato confrontato con programmi di concimazione tradizionali.

Il progetto, iniziato nel 2001 su iniziativa della Provincia di Pavia, si è svolto, solo dal 2005, con la collaborazione del Centro Ricerche sul Riso che, mettendo a disposizione l'attrezzatura parcellare e l'esperienza nel condurre prove di campo, ha permesso di adottare un disegno sperimentale dotato di maggior scientificità.

Si è quindi realizzata la possibilità di valutare le tecniche di concimazione pianificate nelle condizioni reali di impiego (distribuzione delle biomasse con attrezzatura aziendale), rilevando i parametri colturali su parcelle di dimensione contenuta e ripetute nello spazio.

In questo lavoro verranno esposti solo i risultati produttivi conseguiti nel triennio 2005-2007, rimandando ad altre presentazioni la parte riguardante gli aspetti di fertilità del suolo, contaminazione ambientale e salubrità delle produzioni.

Materiali e Metodi

La prova di campo è stata allestita a Pieve Albignola su un terreno sciolto (tabella 1), considerando il disegno sperimentale a blocco randomizzato con 6 ripetizioni e parcelle di circa 700 m².

Il piano sperimentale ha adottato il criterio del confronto tra un trattamento aziendale, esclusivamente minerale, e lo stesso addizionato al fango o al più comune concime organico utilizzato in risicoltura, la cornunghia (tabella 2). Dal 2006 si è aggiunto un ulteriore trattamento che ha previsto il solo fango senza altra aggiunta azotata. A tale scopo i parcelloni destinati al trattamento con fango + urea sono stati suddivisi in due parti.

Tabella 1 - Caratteristiche fisico chimiche dello strato attivo del terreno utilizzato per la sperimentazione (2001)

parametri	unità di misura	Valori
Sabbia	%	70.6
Limo	%	22.4
Argilla	%	7.0
pH	in acqua	5.95
S.O.	%	2.12
N tot.	%	0,26
C/N		10.1
P ₂ O ₅	p.p.m.	113
C.S.C.	meq/100g	8.5
K ₂ O	ppm	234

Tabella 2 - Piano di concimazione

TESI	Azoto (kg ha-1)				TOT
	PRE		Acc. *	Diff. Pann. *	
	Org	Min. *			
Fango (3,7 t/ha di s.s.)+ urea	168	100	40	40	348
Fango (3,7 t/ha di s.s.)**	168				168
Urea		100	40	40	180
Cornunghia	21	100	40	40	201
Testimone	-	-	-	-	-

* sottoforma di urea ** trattamento inserito a partire dal 2006

Relativamente al potassio, sono stati distribuiti 170 kg/ha di K₂O in tutte le tesi fertilizzate, suddividendo la dose in 60% in pre-semina e 40% in copertura. Nel caso del fosforo si è provveduto a distribuire 95 kg/ha di P₂O₅, ad esclusione delle parcelle fertilizzate con fango.

Il criterio adottato per la pianificazione della sperimentazione deriva dall'obiettivo di verificare la performance delle biomasse nelle condizioni reali di utilizzazione, verificando anche l'effetto di accumulo di fertilità nel tempo.

In conseguenza di un pH di 6.0 ed una CSC di 8.5 meq/100g, determinati ad inizio sperimentazione (2001), il quantitativo di fango apportato è stato di 3.7 t/ha di s.s..

Le caratteristiche agronomiche dei fanghi utilizzati nel triennio 2005-2007 sono riportate in [tabella 3](#).

Tabella 3 - Contenuto in macronutrienti e sostanza secca dei fanghi utilizzati nel triennio

parametri		2005	2006	2007	Media
N tot	%	5.37	4.50	3.75	4.54
N-NH4	%	0.88	0.95	0.76	0.86
K2O	%	0.27	0.81	0.46	0.51
P2O5	%	0.94	1.60	1.66	1.40
Sostanza Secca	%	21.66	22.08	26.46	23.40

Le biomasse utilizzate hanno evidenziato un contenuto medio elevato di azoto totale (4.54%), con solo 1% circa della forma ammoniacale. La concentrazione di potassio è di norma bassa nei fanghi di depurazione. Considerando il rapporto con gli altri macronutrienti, ne deriva la necessità di un'integrazione minerale potassica per soddisfare le esigenze colturali.

Diversamente, il fosforo è presente in quantità elevata e potrebbe arrecare problemi agronomici ed ambientali per gli effetti di stimolo alla crescita di alghe.

Per quanto riguarda la tecnica colturale, è stata prevista la tradizionale semina in acqua.

E' stata operata un'aratura primaverile seguita da una discatura allo scopo di provvedere all'interramento del fango e della cornunghia distribuiti a fine marzo.

Dopo il periodo di falsa semina, necessario per il controllo del riso crodo, si è provveduto alla distribuzione dei concimi minerali e all'epicatura finale.

La sommersione è avvenuta a fine maggio, seguita, il giorno successivo, dalla semina della varietà Loto alla dose di 255 kg/ha.

Successivamente all'applicazione degli erbicidi in post-emergenza (fine giugno), si è intervenuti con la prima concimazione in copertura, il riso si trovava nella fase di accestimento.

La seconda distribuzione del fertilizzante è avvenuta nella fase di differenziazione della pannocchia (circa 20 luglio), su terreno asciutto.

Le operazioni colturali prima della raccolta si sono ultimate con l'applicazione del fungicida tricyclazolo (600 g/ha), per il controllo del "Mal del Collo".

Tutti i dati raccolti sono stati sottoposti all'analisi della varianza ed alla comparazione delle medie con il test delle minime differenze significative ($P=0,05$).

Risultati

Nel 2005 la produzione di risone (tabella 4) al 14% di umidità relativa ha evidenziato differenze significative tra le tesi ($P<0,01$).

La produzione più elevata è stata conseguita con l'utilizzo della cornunghia (7,77 t/ha), mentre nessuna differenza è stata riportata tra le tesi con fango e quella interamente minerale. Il testimone non concimato non ha superato 4,5 t/ha.

Ad eccezione dell'investimento, tutti gli altri fattori della produzione (tabella 4) hanno espresso una significatività all'ANOVA ($P<0,01$).

Il peso di 1000 semi è stato inferiore nel fango (30,1) e più elevato nel testimone (33,5).

Il numero di spiglette per pannocchia, pur manifestando il valore più alto nella tesi con fango (66), è risultato significativamente inferiore solo nel testimone non concimato (34,6).

Tabella 4 - Produzione di risone al 14% di umidità e fattori della produzione rilevati nel 2005

TESI	Produzione	LSD .05	Peso 1000 semi	LSD .05	investimento	LSD .05	n° spigchette/ pannocchia	LSD .05	sterilità	LSD .05
	t/ha		g		culmi/m ²				%	
1 FANGO+UREA	7,27	b	30,1	c	765		66,0	a	19,0	a
2 UREA	7,35	b	31,6	b	819		61,7	a	11,4	b
3 CORNUNGHIA	7,77	a	31,2	b	814		64,4	a	13,4	b
4 TESTIMONE	4,42	c	33,5	a	728		34,6	b	6,3	c
	Prod	**	Peso 1000	**	invest.	n.s.	n° spigchette	**	% sterilità	**

* SIGN P<0,05

** SIGN P<0,01

La sterilità ha raggiunto quasi il 20% nel trattamento con fango, mentre gli altri due piani di concimazione si sono attestati su valori leggermente superiori al 10%. Solo nelle parcelle non fertilizzate si è determinata una percentuale di sterilità molto bassa (6,3).

L'andamento dei valori SPAD (figura 1) ha presentato una colorazione fogliare meno intensa nel testimone non concimato durante tutto il ciclo colturale. Per quanto riguarda i trattamenti fertilizzanti, il grafico relativo alle curve SPAD ha mostrato una netta superiorità del fango, una posizione intermedia della concimazione con cornunghia, mentre i valori più bassi sono stati conseguiti con la concimazione minerale.

Occorre sottolineare come la superiorità del fango in termini di colorazione, sia stata maggiormente pronunciata nelle prime fasi del ciclo riproduttivo.

Le produzioni del 2006 sono state decisamente superiori al precedente anno (8-9 t/ha), senza evidenziare differenze significative tra il fango+minerale, il minerale e la cornunghia (tabella 5). Tuttavia, analizzando i fattori della produzione, anche nel 2006 emerge l'elevata efficacia della nutrizione apportata con fango + integrazione minerale. Infatti, sia il numero di culmi per m² e sia il numero di spigchette differenziate, sono risultati più elevati rispetto alle altre tesi. Le prestazioni della biomassa sono state penalizzate da un eccesso di lussureggiamento, che ha provocato un aumento della sterilità e la riduzione del peso di 1000 semi.

Analizzando gli andamenti SPAD (figura 2), la curva riferita al fango+minerale è stata superiore durante tutto il ciclo produttivo, ad eccezione del periodo iniziale. Le parcelle con minerale e con cornunghia si sono posizionate su valori leggermente inferiori.

A conferma delle ottime capacità fertilizzanti della biomassa va considerato il risultato produttivo del fango con solo l'aggiunta del potassio. In questo caso, la produzione, pur essendo significativamente inferiore alle altre tesi fertilizzate, ha superato le 8 t/ha. La curva SPAD ha riportato in questo caso, i maggiori scostamenti rispetto alle altre tesi fertilizzate nella parte intermedia del ciclo colturale.

Figura 1 - Andamento SPAD PROVA FANGHI 05

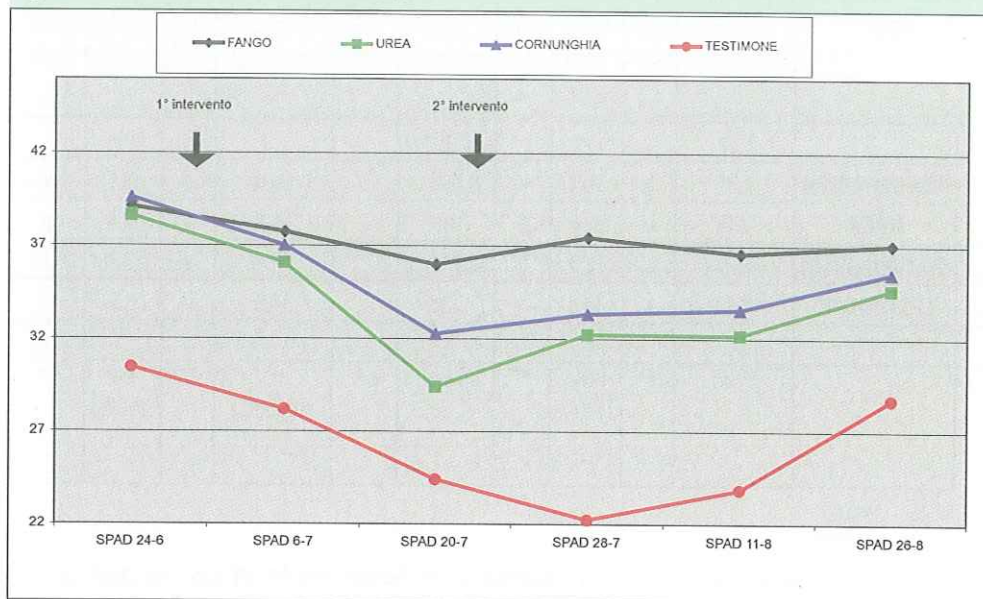


Tabella 5 - Produzione di risone al 14% di umidità e fattori della produzione rilevati nel 2006

TESI	Produzione	LSD	Peso	LSD	investi-	LSD	n°	LSD	sterilità	LSD
	t/ha	.05	1000 semi	.05	mento	.05	spighette/ pannocchia	.05	%	.05
1 FANGO+UREA	8,93	a	30,3	d	639	a	88,5	a	14,7	a
2 FANGO	8,14	b	32,7	b	530	b	75,8	c	6,6	c
3 UREA	8,87	a	31,3	c	598	a	82,2	b	10,0	b
4 CORNUNGHIA	9,05	a	31,2	c	614	a	82,3	ab	9,9	bc
5 TESTIMONE	4,90	c	34,1	a	467	c	61,9	d	6,8	bc
	Prod	**	Peso 1000	**	invest.	**	n° spi- ghette	**	% ste- rilità	**

* SIGN P<0,05

** SIGN P<0,01

Figura 2 - Andamento SPAD PROVA FANGHI 06

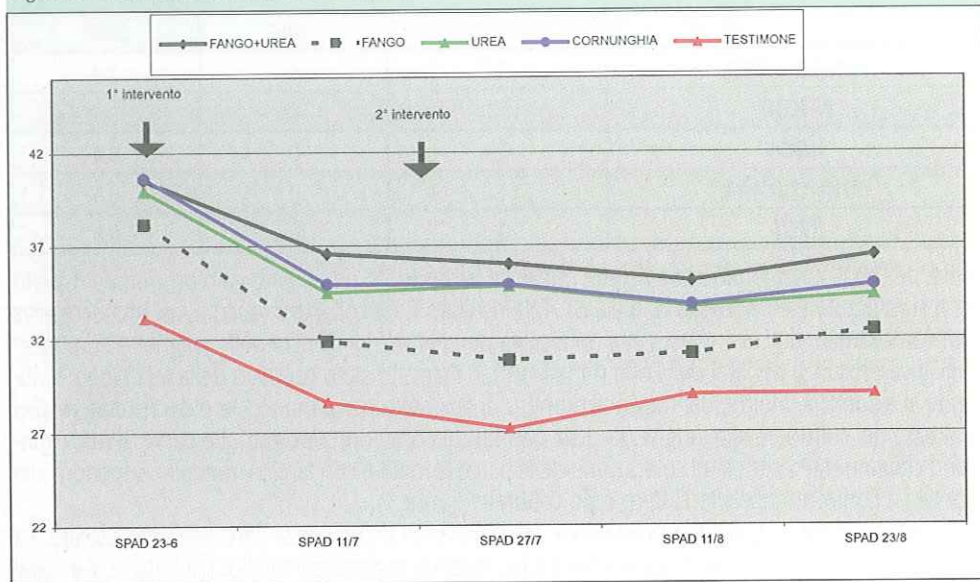


Tabella 6 - Produzione di risone al 14% di umidità e fattori della produzione rilevati nel 2007

TESI	Produzione	LSD	Peso	LSD	investi-	LSD	n°	LSD	sterilità	LSD
	t/ha	.05	1000 semi g	.05	mento culmi/m2	.05	spig- hette/ pannocchia	.05	%	.05
1 FANGO+UREA	6,76	b	30,4	c	637	b	71,6	a	16,2	a
2 FANGO	7,90	a	30,5	c	732	a	64,3	b	12,4	b
3 UREA	7,05	b	30,7	bc	634	b	61,1	b	9,7	c
4 CORNUNGHIA	7,07	b	31,1	b	708	a	63,2	b	12,0	b
5 TESTIMONE	4,24	c	33,7	a	494	c	53,7	c	6,1	d
	Prod	**	Peso 1000	**	invest.	**	n° spi- ghette	**	% steri- lità	**

* SIGN P<0,05

** SIGN P<0,01

Tabella 6bis - Dati mal del collo

	2005	2006	2007
FANGO+UREA	2,7	0	2,9
FANGO		0	0,8
UREA	0,9	0	0,4
CORNUNGHIA	1,1	0	0,3
TEST	0,1	0	0,0

Infine, nel 2007 il fango più integrazione minerale ha riportato un leggero calo produttivo rispetto alle tesi minerale e cornunghia (tabella 6). Tale risultato è da collegarsi, ancora, ad una eccessiva nutrizione azotata da cui è conseguita un'elevata percentuale di sterilità delle spighe e una significativa presenza del Mal del Collo (tabella 6bis). L'elevato stato nutritivo della tesi fango + minerale si evidenzia, inoltre, dal maggior numero di spighe per pannocchia e dai risultati relativi all'altezza del culmo ed alla lunghezza della pannocchia (dati non riportati). Le curve SPAD, esprimono chiaramente l'intensità di colorazione delle parcelle trattate con fango+minerale, superiore alle altre tesi a confronto durante l'intero ciclo colturale (figura 3).

Molto interessante è risultata la prestazione produttiva del fango senza altre aggiunte azotate. La produzione di risone ha quasi raggiunto le 8 t/ha, facendo registrare il miglior risultato nell'annata. Le parcelle in cui è stato somministrato il fango hanno presentato un equilibrato sviluppo di tutti i fattori della produzione, con particolare effetto sulla differenziazione dei culmi di accostamento. Dalle curve SPAD emerge, infatti, un elevato livello nutritivo nella prima parte del ciclo colturale ed il mantenimento di un'adeguata fertilità in fase riproduttiva e durante il periodo di riempimento

Figura 3 - Andamento SPAD PROVA FANGHI 07

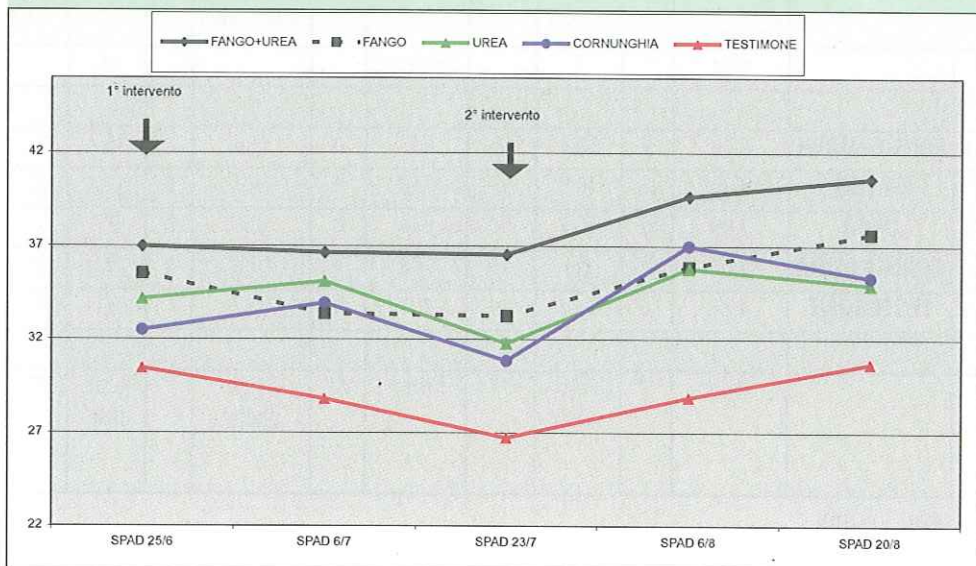
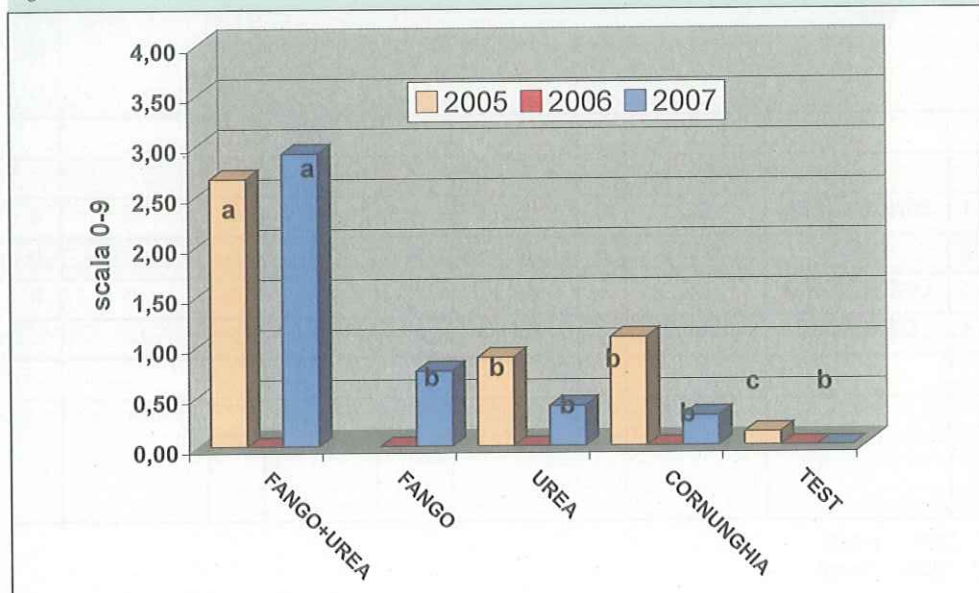


Figura 4 - Presenza del mal del collo nel triennio 05-07



A lettere diverse nell'ambito dello stesso anno corrispondono valori diversi per $P < 0.01$

della granella.

La figura 4 riporta l'andamento del Mal del Collo nel triennio, a seconda del trattamento fertilizzante. Ad eccezione del 2006, in cui la malattia è comparsa in maniera sporadica e del tutto ininfluente sulla produzione, dal grafico appare evidente l'incremento di suscettibilità delle parcelle trattate con fango + urea. Il fenomeno è attribuibile all'eccessivo livello nutritivo raggiunto con il piano di concimazione in questione.

Considerando i dati qualitativi del risone prodotto nel 2005 (tabella 7), è stata verificata una riduzione, sia a livello di resa globale e sia in percentuale di grani interi, nel piano di concimazione con fango+minerale. Nel caso della resa in intero, il valore più elevato è stato raggiunto dalla fertilizzazione minerale (61,5), mentre il testimone, pur riportando un'elevata resa globale (72), ha mostrato una drastica riduzione della percentuale in grani interi (44,3).

Relativamente ai difetti, solo il gessato ha evidenziato differenze significative ($P < 0,01$), ottenendo il valore più basso nel testimone (0,2).

Nel 2006, tutti i parametri qualitativi valutati hanno riportato differenze significative all'ANOVA (tabella 8). La resa globale è stata superiore nella tesi con fango e nel minerale, mentre i valori più bassi si sono registrati nel testimone e nel fango + minerale.

La resa in grani interi ha evidenziato il risultato inferiore con il fango+minerale. Per quanto riguarda i difetti del riso bianco, la percentuale in grani gessati è stata maggiore nel fango + minerale e nelle parcelle concimate con cornunghia. La presenza di riso danneggiato, invece, si è ridotta di circa la metà nel fango+minerale rispetto a tutti gli altri trattamenti.

Tabella 7 - Qualità merceologica ottenuta nella sperimentazione del 2005

TESI		Resa globale	LSD .05	Resa intero	LSD .05	Gessato	LSD .05	Danneggiato	LSD .05
		%		%		%			
1	FANGO+UREA	70,2	c	52,8	c	1,4	a	1,3	a
2	UREA	71,4	b	61,5	a	1,1	a	1,3	b
3	CORNUNGHIA	71,2	b	59,3	b	1,5	a	1,3	b
4	TESTIMONE	72,0	a	44,3	d	0,2	b	1,2	c
		Globale	**	Intero	**	Gessato	**	Danneggiato	n.s.

* SIGN P<0,05

** SIGN P<0,01

Tabella 8 - Qualità merceologica ottenuta nella sperimentazione del 2006

TESI		Resa globale	LSD .05	Resa intero	LSD .05	Gessato	LSD .05	Danneggiato	LSD .05
		%		%		%			
1	FANGO+UREA	71,1	c	53,6	b	0,7	a	0,7	b
1	FANGO	72,1	ab	58,7	a	0,3	cd	1,2	a
3	UREA	72,3	a	59,9	a	0,5	bc	1,3	a
4	CORNUNGHIA	71,9	b	59,7	a	0,6	ab	1,4	a
5	TESTIMONE	71,3	c	58,8	a	0,3	d	1,3	a
		Globale	**	Intero	**	Gessato	**	Danneggiato	*

* SIGN P<0,05

** SIGN P<0,01

Tabella 9 - Qualità merceologica ottenuta nella sperimentazione del 2007

TESI		Resa globale	LSD .05	Resa intero	LSD .05	Gessato	LSD .05	Danneggiato	LSD .05
		%		%		%			
1	FANGO+UREA	71,4	c	60,3	a	2,1	a	4,5	a
1	FANGO	71,9	b	59,7	a	2,0	a	2,1	bc
3	UREA	72,8	a	59,7	a	1,4	b	2,8	b
4	CORNUNGHIA	72,6	a	59,4	a	1,7	ab	3,9	a
5	TESTIMONE	72,2	b	54,7	b	0,1	c	1,4	c
		Globale	**	Intero	**	Gessato	**	Danneggiato	*

* SIGN P<0,05

** SIGN P<0,01

Nell'ultimo anno di sperimentazione (tabella 9), sia il trattamento con solo fango e, soprattutto, la concimazione minerale in aggiunta al fango hanno evidenziato un calo della resa globale ed un leggero incremento dei granelli gessati. Il riso danneggiato, invece, è stato piuttosto elevato in tutte le tesi fertilizzate, raggiungendo il 4.5 % nel fango+minerale.

Conclusioni e discussione

Nel primo anno del triennio, l'esame di tutto l'insieme dei parametri colturali rilevati ha permesso di esprimere un giudizio più preciso sugli effetti nutritivi dei piani di concimazione confrontati, rispetto alla semplice valutazione della resa unitaria.

Infatti, nonostante un'apparente similarità delle prestazioni produttive della tesi minerale e di quella con fango + urea, i fattori della produzione e la maggior parte dei parametri biometrici rilevati hanno consentito di evidenziare una situazione di eccessiva nutrizione azotata nelle parcelle trattate con la biomassa, tale da ridurre la propria produttività.

L'eccesso azotato ha determinato la riduzione del peso di 1000 semi e l'aumento drastico della percentuale di sterilità. Inoltre, il maggior lussureggiamento della coltura fertilizzata con fango, evidente anche dall'andamento SPAD, ha favorito l'attacco del fungo *Pyricularia grisea*, conseguendo una perdita produttiva riferibile alla necrosi dei culmi a livello dell'internodo paniculare.

Anche i parametri qualitativi sono stati condizionati negativamente dall'eccessiva vigoria della coltura concimata con fango.

L'integrazione della concimazione minerale con il concime organico a base di cornunghia, ha, invece, mostrato un maggior equilibrio nutritivo durante tutto il ciclo colturale.

Si ritiene, quindi, che l'effetto nutritivo del fango, così spinto durante tale campagna, sia stato attribuibile, oltre che alla più elevata percentuale di azoto in esso contenuto (5,74%), superiore di quasi un punto alla media del triennio, al raggiungimento di una maggiore fertilità nelle parcelle da ormai 5 anni trattate con la biomassa, alla dose di 3,7 t/ha di sostanza secca.

La presunta maggiore fertilità deriverebbe, non solo da un accumulo di azoto organico, ma anche da una maggiore attività biologica e quindi di più veloce mineralizzazione della sostanza organica. Con l'inserimento nel piano sperimentale della tesi con solo fango senza alcuna integrazione con azoto minerale si è dimostrato come la fertilità raggiunta nei terreni trattati da 6 anni con distribuzioni di 3,7 t/ha di biomassa (peso secco) fosse sufficiente a garantire ottimi livelli produttivi.

I risultati 2007 hanno confermato in pieno quanto affermato. L'effetto agronomico dell'aumento della fertilità è risultato esaltato dall'ottenimento di una equilibrata e regolare nutrizione azotata della coltura, che si è tradotta, anche, in minori rischi di attacchi di Mal del Collo e problemi di sterilità fiorale.

Riassumendo dai risultati del triennio (figura 5), appare evidente come la performance del solo fango sia stata estremamente positiva.

Nelle annate in cui gli squilibri azotati sono stati particolarmente penalizzanti, per l'incremento della suscettibilità al Mal del Collo, la concimazione esclusivamente organica in pre-semina ha consentito la minor incidenza della malattia.

Dal confronto tra il trattamento con fango e quello con fango + integrazione minerale è emerso come l'effetto dell'impiego della biomassa non può essere limitato alla sola proprietà ammendante. La somministrazione di una matrice organica meno stabile rispetto ad un classico ammendante e dotata di una discreta quantità di azoto organico facilmente mineralizzabile, ha permesso di soddisfare gran parte delle esigenze azotate della coltura. L'interazione tra il fango ed residui colturali, inoltre, facilita la trasformazione di questi ultimi, aumentando l'attività microbica.

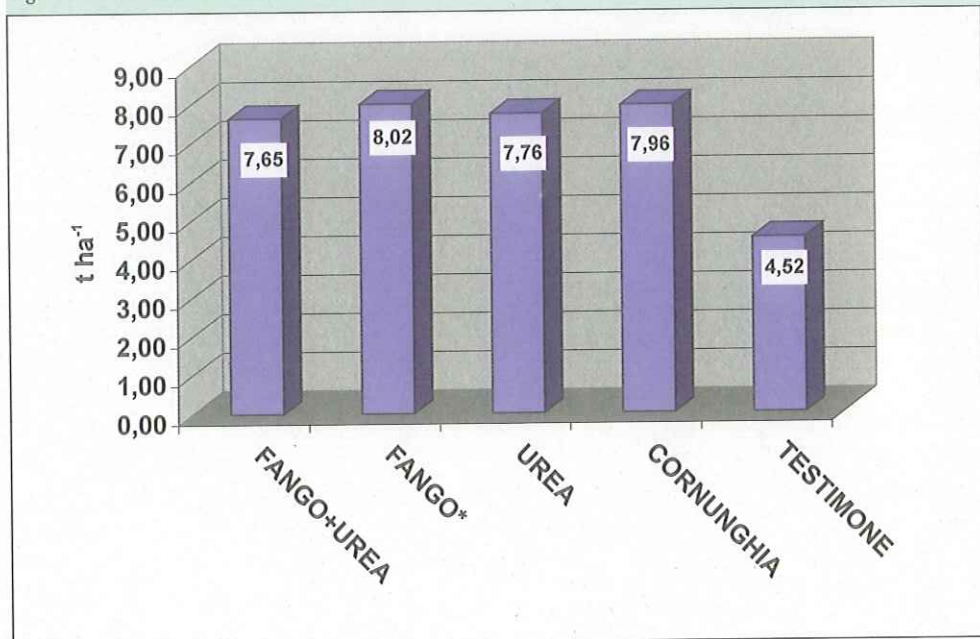
Dopo 7 anni di sperimentazione, si sono rilevati importanti elementi circa gli effetti fertilizzanti dei fanghi di depurazione in risaia.

La ricerca riveste un importante punto di riferimento, oltre che per la valutazione della pratica dal

punto di vista agronomico, ambientale e di sicurezza delle derrate prodotte, al fine della conoscenza della dinamica della sostanza organica nelle condizioni culturali della Lomellina.

Con la premessa di una ormai ridotta sostenibilità della gestione della fertilizzazione con l'esclusivo impiego di concimi minerali, la conoscenza delle variazioni in un medio-lungo periodo indotte dall'apporto dei fanghi di depurazione sulla componente organica del suolo, potrà fornire indicazioni utili all'impostazione di una corretta tecnica culturale.

Figura 5 - Produzione di risone media 05-07



Produzione medie

	2005	2006	2007	media 05-07
FANGO+UREA	7,270	8,930001899	6,759207199	7,653
FANGO*		8,141977576	7,896242834	8,019
UREA	7,350	8,871441752	7,053411742	7,758
CORNUNGHIA	7,770	9,047252104	7,069888512	7,962
TESTIMONE	4,420	4,900905187	4,239518929	4,520

*medie 06-07

“Studio degli effetti di differenti tecniche di fertilizzazione (organica e minerale) sui parametri agronomici ed ambientali di suoli di risaia”

Fulvia Tambone e Fabrizio Adani

Dipartimento di Produzione Vegetale – Università degli Studi di Milano
Via Celoria 2 – 20133 Milano Italy

Premessa

La problematica del trattamento e smaltimento dei fanghi prodotti dai processi di depurazione delle acque reflue urbane assume sempre più importanza sia a livello nazionale che internazionale. Nella Comunità Europea infatti la progressiva attuazione della Direttiva 91/271/CEE, concernente il trattamento delle acque reflue urbane, recepita in Italia dal D. Lgs. 152/99, ha comportato e comporterà un costante aumento dei quantitativi di fanghi originati dai processi di depurazione.

L'utilizzo agronomico dei fanghi di depurazione, se da un lato ne valorizza il contenuto in elementi nutritivi quali fosforo e azoto, oltre che carbonio organico, può comportare dei rischi per l'ambiente (principalmente riconducibili al loro contenuto, spesso non trascurabile, di metalli pesanti e di altre sostanze indesiderate) e per la salute (possibile diffusione di patogeni). A tale proposito, il D.Lgs. n. 99 del 27 gennaio 1992 fissa: valori limite di concentrazione per alcuni metalli pesanti che devono essere rispettati sia nei suoli che nei fanghi; le caratteristiche agronomiche e microbiologiche dei fanghi (limiti inferiori di concentrazione di carbonio organico, fosforo e azoto totale, nonché valori massimi di salmonella); le quantità massime dei fanghi che possono essere applicate sui terreni.

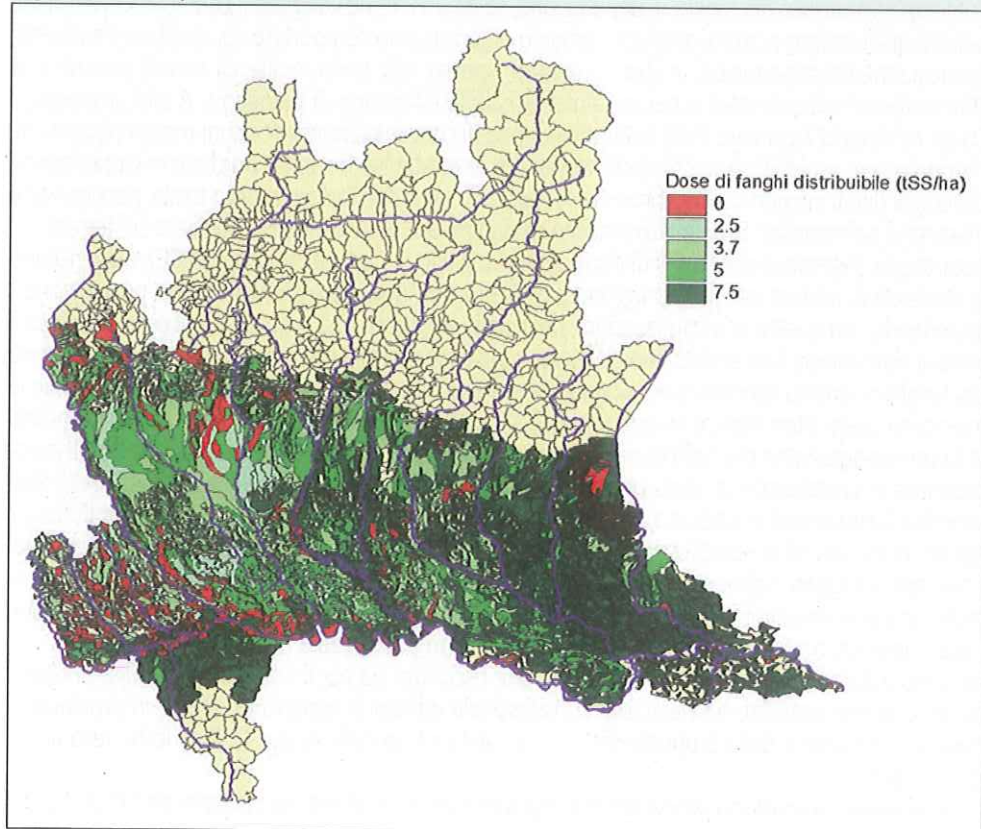
Le strategie di gestione dei fanghi di depurazione a livello di Comunità Europea (CE) suggeriscono la necessità di ispirare tale pratica agronomica ai principi “dell'uso sostenibile” e di “precauzione”, intendendo con questo la minimizzazione del rischio mediante una valutazione di pericolosità preventiva elaborata su basi scientifiche. Sebbene venga riconosciuta una certa importanza al recupero dei fanghi in ambito agricolo quale pratica volta al riutilizzo di risorse, tale modalità di utilizzo deve intendersi quale alternativa, e quindi non esclusiva, ad altre forme di smaltimento. A tale proposito la Commissione Ambiente dell'Unione Europea ha avviato la preparazione della nuova Direttiva comunitaria e ha elaborato un documento di lavoro grazie alla consultazione di vari esperti degli Stati Membri; l'ultimo draft è tuttavia aggiornato al 2000 (Working Document on sludge-3° Draft del 27 aprile 2000) perché la complessità del tema pone al confronto posizioni ed esigenze diverse nel panorama europeo. Sebbene non sia sicuro alcun divieto, le prescrizioni previste potranno essere molto inasprite mediante l'introduzione di requisiti qualitativi più severi (valori limite per gli inquinanti contenuti nei fanghi, limitazioni d'impiego sui campi coltivati a foraggio ecc.).

In Lombardia questa problematica trova un forte riscontro, sia per il notevole quantitativo di fanghi di depurazione prodotti, sia per il loro considerevole utilizzo in agricoltura, specie in provincia di Pavia e la redazione della proposta di Piano di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) lo ha reso ancor più evidente.

In Lombardia non esistono provvedimenti regionali successivi all'entrata in vigore del D.Lgs. 99/92,

pertanto vale la norma nazionale, integrata da disposizioni tecniche, in particolare la D.G.R. 15944/2003. I punti di maggiore differenziazione rispetto al D. Lgs. 99/92 sono: 1. più ampi divieti o limitazioni per i terreni; 2. più dettagliata definizione delle dosi riutilizzabili annualmente in funzione delle caratteristiche dei suoli; 3. le analisi dei terreni devono essere eseguite ogni due anni; 4. ulteriori o più stringenti limiti su parametri chimici o microbiologici dei fanghi; 5. determinazione di parametri aggiuntivi sui fanghi, senza porvi dei limiti quali: potassio totale, grassi e oli animali e vegetali, tensioattivi, solventi organici clorurati, pesticidi organo clorurati; 6. divieto di riutilizzo di determinati fanghi che non superino un test di eluizione di cui alla L.R. 3/82. La valutazione della possibilità di utilizzare i fanghi di depurazione in agricoltura deriva essenzialmente dalla combinazione di due informazioni: le caratteristiche dei fanghi e la ricettività dei suoli. Per quanto riguarda la ricettività dei suoli è necessario prendere in considerazione alcuni aspetti relativi alle caratteristiche intrinseche degli stessi in modo da evidenziarne eventuali limitazioni per l'utilizzo dei fanghi di depurazione. A questo proposito, particolare rilevante è la recente ridefinizione delle zone vulnerabili ai sensi del d.lgs. 152/2006 da parte della Regione Lombardia (D.G.R. VIII/003297 dell'11 ottobre 2006). Dal punto di vista della distribuzione geografica su scala regionale, i terreni dove l'applica-

Figura 1 - Dose annua di fanghi potenzialmente distribuibile sui terreni in relazione ai limiti previsti dalla normativa vigente (IRER, 2007)



zione potrebbe raggiungere le dosi più elevate si localizzano principalmente nella zona orientale della pianura e nell'oltrepò pavese, dove i terreni hanno un contenuto più elevato di argille, e quindi maggiore CSC, e pH più elevato.

La cartografia tematica (Figura 1) consente di evidenziare ancor meglio la differente ricettività potenziale delle aree lombarde e, in particolare l'elevata dose distribuibile nella zona orientale rispetto a quella acida o subacida occidentale.

Introduzione

L'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura trova applicazione in virtù delle sue proprietà fertilizzanti, con particolare riferimento al contenuto ed alla disponibilità per la nutrizione vegetale di azoto e fosforo ed al basso rapporto C/N (Boyd et al., 1980; Iakimenko et al., 1996); non vi è da trascurare, inoltre, che i fanghi di depurazione, grazie al loro elevato contenuto di carbonio, contribuiscono, sia in termini quantitativi sia qualitativi, al bilancio umico del suolo (Boyd et al., 1980). Numerosi studi sono stati condotti sulle modificazioni che l'utilizzo di fanghi di depurazione induce sui suoli, mettendo in evidenza effetti sia positivi sia negativi. Effetti positivi sono stati evidenziati sulle caratteristiche fisiche dei suoli (Navas et al., 1998; Sort and Alcaniz, 1999) e su quelle chimiche (Navas et al., 1998), nonché sulle sue proprietà nutritive (Nyamangara and Mzezewa, 2001) e biologiche (Banerjee et al., 1997; Wong et al., 1998). Tuttavia, i fanghi, essendo il prodotto dei processi di depurazione delle acque, contengono alte concentrazioni di molecole organiche non completamente degradate durante i trattamenti aerobici o anaerobici (Schnaak et al., 1997; Réveillé et al., 2003). Queste frazioni organiche possono avere origine biogenica (es. steroidi) (Réveillé et al., 2003) o xenobiotica (es. composti organo-clorurati, ftalati, idrocarburi) (Schnaak et al., 1997). Ne consegue, quindi, che l'apporto dei fanghi di depurazione al suolo deve essere praticato ponendo particolare attenzione all'eventuale accumulo di questi contaminanti. Infatti, a seguito del trattamento prolungato dei suoli con fanghi di depurazione è possibile l'accumulo di frazioni organiche recalcitranti che divengono parte integrante della sostanza organica del suolo ed in modo particolare, della frazione umificata (es. acidi umici) (Pacheco et al., 2003).

Le sostanze umiche sono dei polimeri colloidali, polidispersi, caricati negativamente; la loro recalcitranza alla biodegradazione, inoltre, ne determina la conservazione nel suolo per molto tempo (Qualls, 2004).

La frazione umificata dei fanghi si caratterizza per la presenza di molecole alifatiche (es. acidi grassi, steroidi, frazioni proteiche) e proteiche (Réveillé et al., 2003). Un recente studio (Adani e Tambone, 2005), teso a verificare gli effetti dell'ammendamento di un suolo per diversi anni con fanghi di depurazione, ha messo in evidenza che gli acidi umici del fango sono in grado di fornire un rilevante contributo alle caratteristiche degli acidi umici del suolo: in particolare gli acidi umici del suolo risultavano arricchiti nelle frazioni alifatiche tipiche dei fanghi di depurazione.

L'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura, a causa del loro elevato contenuto di metalli può essere causa dell'accumulo di metalli pesanti nei suoli (McBride, 1995). Un recente lavoro (Mantovi et al., 2005) riporta un aumento nella concentrazione di Zn e Cu, in suoli ammendati per dodici anni con fanghi compostati in miscela con scarti organici. Corre tuttavia l'obbligo di precisare che l'accumulo di metalli è da mettere in relazione sia alla loro concentrazione nei fanghi utilizzati ed alle dosi di utilizzo, sia, alle caratteristiche dei suoli, in grado di influenzarne l'accumulo e l'uptake da parte delle colture praticate.

Sulla base di tali considerazioni nel 2006 è nata una collaborazione tra la Provincia di Pavia (Settore Risorse Naturale e Settore Agricoltura), l'Ente Nazionale Risi e il Di.Pro.Ve.- Università degli Studi di Milano che, insieme, hanno avviato una sperimentazione triennale, avente come oggetto lo studio degli effetti di differenti tecniche di fertilizzazione (organica e minerale) sui parametri agronomici ed ambientali di suoli di risaia, con particolare riferimento all'utilizzo di fanghi urbani quale complemento nel piano di concimazione.

In particolare, scopo principale della ricerca è stato quello di valutare gli effetti sia sul suolo (variazioni delle caratteristiche chimico-fisiche) sia sulla produzione agraria (rese e salubrità del prodotto) di quattro tesi sperimentali (concimazioni) differenti.

Materiali e Metodi

Il disegno sperimentale, replicato per tre anni consecutivi, ha previsto un blocco randomizzato con parcelle di 700 m² ripetute due volte (Figura 2) e coltivate a riso (varietà Loto), ed il confronto di quattro trattamenti relativi a diversi piani di concimazione, con l'aggiunta del testimone non concimato per quantificare la fertilità naturale dei suoli oggetto della sperimentazione:

Tesi TESTIMONE: nessuna concimazione;

Tesi FANGO+UREA: 3.7 t s.s. ha⁻¹ di fango + 172 unità/ha di azoto apportate con urea + 140 unità/ha di K₂O apportate con concime minerale (cloruro di potassio);

Tesi CORNUNGHIA: 0.15 t s.s. ha⁻¹ di cornunghia + 193 unità/ha di azoto di cui 21 apportate con la cornunghia e 172 integrate con concime minerale (urea) + 59 unità/ha di P₂O₅ (perfosfato) + 185 unità/ha di K₂O (cloruro di potassio);

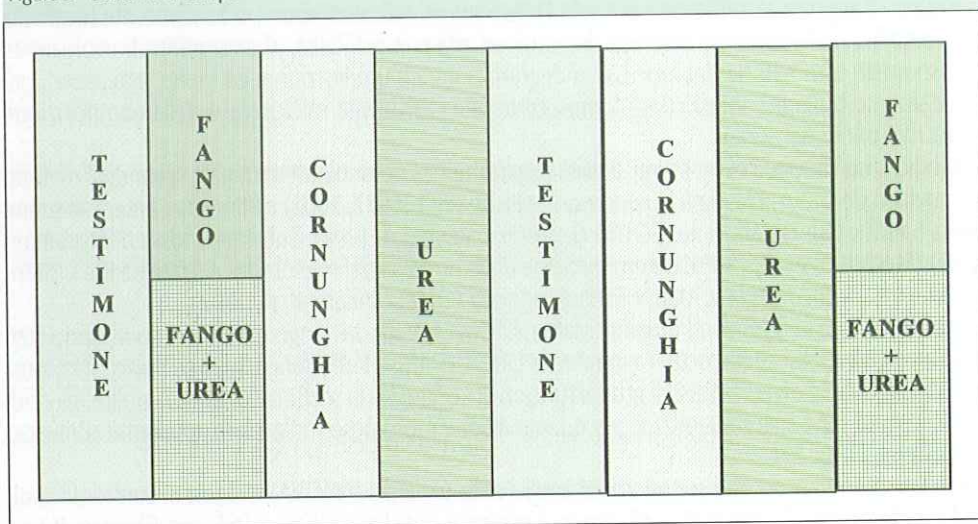
Tesi UREA: 180 unità/ha di azoto (urea) + 95 unità/ha di P₂O₅ (perfosfato) + 170 unità/ha di K₂O (cloruro di potassio).

Tesi FANGO: 3.7 t s.s. ha⁻¹ di fango+potassio (140 unità/ha da cloruro), senza integrazione di altri fertilizzanti azotati.

Le prove di pieno campo (Comune di Pieve Albignola- PV) sono state condotte e monitorate dall'Ente Nazionale Risi che ha provveduto ai campionamenti ed alla gestione delle concimazioni. Il fango utilizzato nelle prove è un fango disidratato proveniente da un impianto di stabilizzazione situato nella provincia di Pavia. Il piano di concimazione è stato impostato considerando le unità fertilizzanti presenti nel fango e la loro disponibilità presunta. Le quantità di fango rispettano le dosi previste dalla legislazione vigente e tengono conto dei valori di capacità di scambio cationico e di pH dei suoli destinati alla sperimentazione. I suoli presentavano una tessitura sabbioso-franca (Classificazione U.S.D.A.).

La presente relazione riporta i risultati relativi ai fanghi utilizzato ed ai campioni di suolo prelevati durante la stagione primaverile, rappresentativi delle diverse tesi sperimentali (due campioni per ogni parcella), meglio schematizzato di seguito (Figura 2).

Figura 2 - Schema di campo



La ricerca è stata condotta articolando il lavoro in differenti fasi: **i.** caratterizzazione chimica di base dei suoli e del fango (D.L. 99/92); **ii.** contenuto inquinanti organici nel fango e loro eventuale accumulo nel suolo; **iii.** determinazione dei principali microinquinanti inorganici (metalli pesanti) nel fango, e dell'eventuale accumulo degli stessi sia nei suoli che nella granella di riso, **iv.** studio delle proprietà biologiche del suolo ed evoluzione delle componenti organica con particolare riferimento alla frazione solubile (DOM - Dissolved Organic Matter) ed umificata.

Il fango utilizzato per l'ammendamento è stato caratterizzato per quanto attiene il pH, la conducibilità elettrica specifica (CES), l'umidità, l'azoto totale e la sua frazione ammoniacale, il carbonio totale e gli indici di umificazione, il fosforo, il potassio e i metalli pesanti (Pb, Ni, Cr totale, Hg, Cu, Cd, Zn, Cr^{VI}, As) (Regione Piemonte, 1997). La fitotossicità del fango è stata invece valutata attraverso il test di vegetazione (Regione Lombardia, 2003).

Per i suoli, il carbonio organico totale (TOC), il contenuto totale di azoto (N), il fosforo assimilabile (Pass.), il potassio scambiabile (Kscamb.), la capacità di scambio cationico (CSC), i metalli pesanti (Cr, Cu, Ni, Pb, As, Cd, Hg, Zn), il pH, la tessitura e gli indici di umificazione dei suoli sono stati determinati con i comuni metodi analitici in uso (MPAF, 2000).

I composti organici determinati nei suoli e nei fanghi sono stati i seguenti: grassi, oli animali e vegetali, oli minerali, tensioattivi, solventi organici clorurati (EPA 8260-1996), solventi aromatici (EPA 8260-1996), pesticidi organici clorurati (EPA 8081-1996), pesticidi fosforati (EPA 8141-1996).

La determinazione dei metalli pesanti nella granella e nella paglia è stata eseguita tramite ICP-MAS (Inductively Coupled Plasma) previa digestione dei campioni in HNO₃ in forno a micro-onde (EPA, 1998).

Nella descrizione della qualità di un suolo, oltre ai classici parametri chimici agrari, importanza primaria assumono gli indici direttamente correlabili alla qualità/quantità della sostanza organica del suolo. Perciò, oltre agli indicatori di stato, capaci di esprimere la condizione della sostanza organica al tempo "t", come ad esempio il carbonio organico totale (TOC) o la CSC, sono stati sviluppati indicatori di tipo dinamico, ovvero indici capaci di evidenziare i cambiamenti di stato nel breve pe-

riodo. A tale proposito, recentemente sono stati proposti nuovi indicatori dinamici particolarmente sensibili all'apporto di carbonio nei suoli. Questi nuovi indicatori sono particolarmente legati alla disponibilità della sostanza organica dei suoli ed alla sua solubilità, al suo grado di evoluzione, inteso quale sommatoria dei processi di degradazione ed umificazione, ed infine, agli aspetti più prettamente biologici, intesi come la misura diretta dell'attività microbica e della composizione della microflora del suolo.

Gli indici studiati sono così riassunti: attività respirometrica del suolo determinata secondo il metodo titrimetrico della CO_2 rilasciata in condizioni statiche (ISO 16072, 2002) e attraverso determinazione dello Specific Our Uptake Rate (SOUR) (Lasaridi e Stentiford, 1998); Substrate Induced Respiration (SIR) (Stenstrom et al., 1998); determinazione delle popolazioni microbiche a strategia K e r (Stenstrom et al., 1998); Organic Matter Evolution Index (OMEI) (Adani et al., 1997).

Gli acidi umici e la Dyssolved Organic Matter (DOM) estratti dal fango e da tutti i suoli, sono stati sottoposti ad analisi spettroscopica infrarossa DRIFT (Diffuse Reflectance Infrared Furier Trasform) per distinguere le diverse classi di gruppi funzionali costituenti la sostanza organica. Inoltre, gli acidi umici estratti sono stati caratterizzati per quanto attiene il loro peso molecolare apparente attraverso un sistema HPLC-SEC.

I risultati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) e al test di confronto multiplo tra le medie (Tuckey test), utilizzando il software statistico "SPSS" (SPSS, Inc. Chicago, IL).

I dati riportati nelle tabelle della presente relazione fanno riferimento ai campioni analizzati per ogni tesi sperimentale, replicati 4 volte, calcolandone le medie e le deviazioni standard. In seguito si è applicata l'ANOVA ed il test di confronto delle medie al fine d'appurare differenze statisticamente significative tra i diversi trattamenti (lettere riportate in parentesi).

Risultati

I dati analitici relativi alle caratteristiche chimiche dei fanghi utilizzati nella sperimentazione hanno messo in evidenza, per tutto il triennio, il rispetto dei limiti previsti dalla L.N. 99/92 che regola l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura. L'andamento delle curve di crescita ottenute mediante applicazione del test di fitotossicità hanno evidenziato che le produzioni medie, fresche e secche, ottenute su substrato trattato con i fanghi, erano in parte superiori e in parte uguali a quelle del testimone non trattato. I fanghi in esame erano quindi idonei all'utilizzo agricolo.

Le principali caratteristiche chimiche dei suoli sono riportate in Tabella 1. La Tabella 2 riporta invece il contenuto in metalli pesanti. Per una più immediata lettura dei risultati, i valori riportati nella Tabella 1 sono stati di seguito elaborati in forma grafica (Figura 3).

Tabella 1 - Caratteristiche dei suoli: confronto statistico tra le diverse tesi

	TESTIMONE	FANGO+UREA	CORNUNGHIA	UREA	FANGO
N tot (g kg ⁻¹)	0.81±0.04 a	1.10±0.02 c	0.92±0.07 ab	0.97±0.14 bc	1.06±0.06 bc
P205 ass. (mg kg ⁻¹)	140.30±9.86 a	237.89±22.93 c	153.15±15.60 b	214.24±68.60bc	221.29±13.67bc
K2O scamb. (mg kg ⁻¹)	91.61±9.62 a	111.18±9.04 a	115.66±27.22 a	102.98±7.67 a	98.86±6.85 a
pH (H ₂ O)	5.84±0.10 b	6.44±0.12 c	5.40±0.23 a	5.55±0.19 ab	6.38±0.16 c
CSC (cmoli+ kg ⁻¹)	8.15±1.21 a	9.58±0.49 a	7.48±1.01 a	8.26±0.69 a	9.29±1.32 a
TOC (g kg ⁻¹)	9.20±0.30 a	11.69±0.22 b	10.14±0.42 a	10.21±0.49 a	12.44±0.80 b
TEC (g kg ⁻¹)	6.19± 0.49a	7.64±0.55a	6.46±1.06a	7.37±0.53a	6.88±0.69a
CAU (g kg ⁻¹)	1.99±0.29a	2.42±0.41a	2.07±0.30a	2.03±0.41a	2.55±0.30a
CAF (g kg ⁻¹)	1.10±0.16a	1.36±0.14a	1.45±0.19a	1.36±0.19a	1.21±0.15a

(*) Medie seguite da lettere diverse differiscono tra loro in modo statisticamente significativo (Test di Tuckey per $\alpha=0.05$)

L'analisi statistica evidenzia una certa uniformità dei dati analitici nell'ambito dei differenti trattamenti, tranne che per il pH, l'azoto totale, il P_{ass}, la CSC e il contenuto in carbonio organico. In particolare, i valori medi di pH dei suoli analizzati variano da un minimo di 5.40 fino a un massimo di 6.44 per le tesi FANGO e FANGO +UREA (Tabella 1). L'utilizzo del fango, quindi, determina l'aumento del pH del suolo. Ciò potrebbe essere dovuto all'apporto di basi di scambio e/o di azoto in forma ammoniacale. Vi è tuttavia da sottolineare che, nonostante l'incremento, i suoli si caratterizzano per una debole acidità.

I valori di CSC dei suoli analizzati (Tabella 1) sono piuttosto bassi, ma in linea col contenuto di sostanza organica e con la loro tessitura sabbiosa. L'uso del fango sortisce un effetto positivo, essendo, la CSC delle tesi trattate con fango, superiore a quella delle altre (più precisamente, la variabilità analitica non permette una netta differenziazione tra le diverse tesi, anche se, i valori medi, sono abbastanza diversi fra loro). E' difficile dare una spiegazione di ciò, se si considera che il contenuto di sostanza organica e delle sue frazioni umificate non aumentano con l'utilizzo del fango. Una spiegazione, che però merita successivi approfondimenti, potrebbe ricercarsi nell'aumento del contenuto di frazione solubile (DOM) come di seguito descritto. La DOM infatti è rappresentata da frazioni di sostanza organica solubili e ricche in gruppi funzionali che potrebbero spiegare l'incremento della CSC.

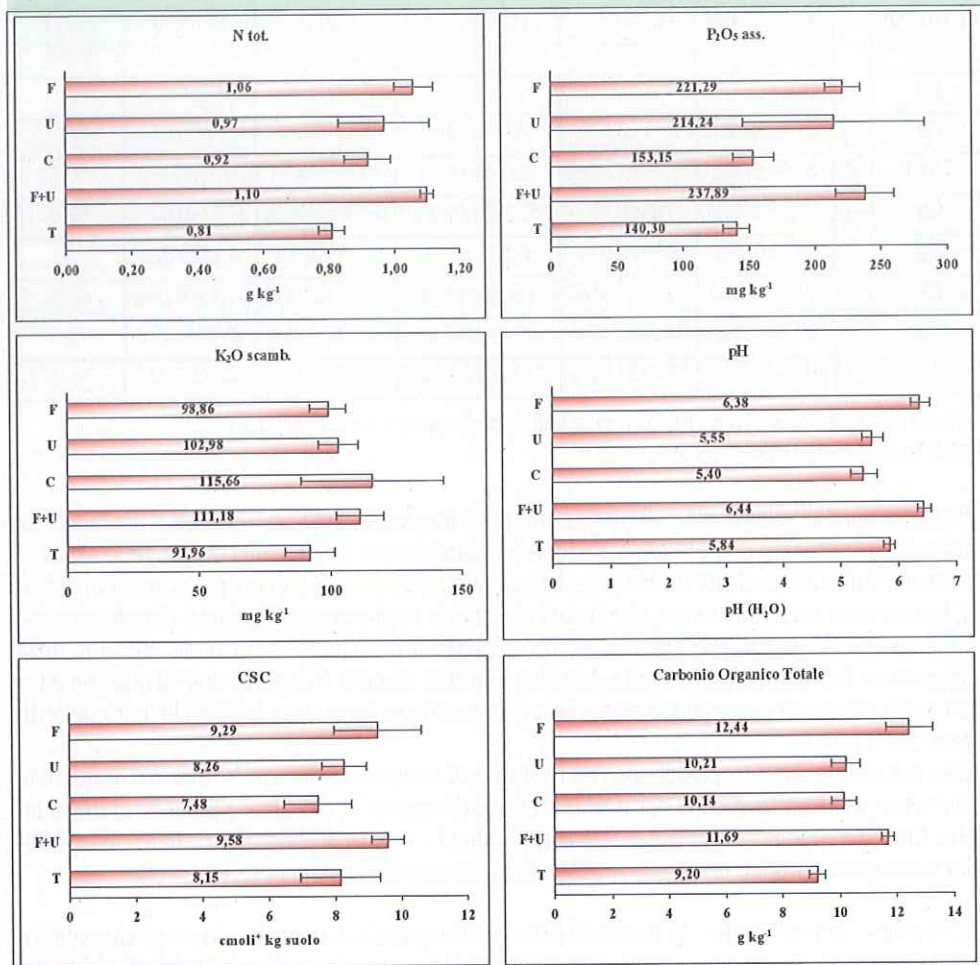
Relativamente al contenuto in fosforo assimilabile, tutti i suoli risultano esserene ben dotati. L'analisi statistica mette in risalto un valore superiore di fosforo per le parcelle ammendate con fango anche se appare evidente (Tabella 1), parcelle TESTIMONE escluse, che anche le altre tesi mostrano un contenuto di tale nutriente significativamente più elevato.

Il contenuto in potassio scambiabile è elevato, soprattutto se messo in relazione alla CSC ed alla tessitura dei suoli. Non si evidenziano differenze tra le diverse tesi.

L'utilizzo del fango sembrerebbe influenzare positivamente anche il contenuto in azoto totale dei suoli rispetto al testimone, che tende comunque ad aumentare anche applicando le altre tecniche di fertilizzazione. Vi è da sottolineare che, pur aumentando il contenuto di azoto nelle parcelle trattate con fango, i valori di C/N rimangono stabili intorno a valori prossimi a 10, valore questo considerato ottimale per un corretto *turn-over* della sostanza organica.

Per quanto attiene il contenuto in sostanza organica, i suoli indagati sono classificabili come "scarsamente dotati". Il contenuto di sostanza organica in un suolo deve essere visto anche in funzione di altri parametri agronomici quali la tessitura e l'azoto totale. Si stima, infatti, che in suoli tendenzialmente sabbiosi, come nel caso in esame, il contenuto di sostanza organica dovrebbe corrispondere almeno a 25 g kg^{-1} , i valori rilevati nei suoli indagati, variabili tra 15.86 e 21.44 g kg^{-1} , si attestano sotto a tale limite minimo e nessuno dei trattamenti è stato in grado di modificare sostanzialmente i contenuti di sostanza organica. Il frazionamento del carbonio organico nelle sue componenti umificate (AU-acidi umici e AF-acidi fulvici e umina) non sembrerebbe essere influenzato dai diversi trattamenti (Tabella 1). Tale dato contrasta con la letteratura (Boyd et al, 1980; Adani e Tambone, 2005). È probabile, quindi, che modificazioni del contenuto di carbonio sotto forma di componenti umificate possa evidenziarsi solo dopo tempi lunghi d'applicazione o per dosaggi molto più elevati. Più probabile risulta invece l'ipotesi che le variazioni di carbonio si possano ricondurre alla componente solubile della sostanza organica (DOM). Come sarà possibile verificare di seguito, sia in termini quantitativi che per il contributo alla respirazione dei suoli, l'aumento di sostanza organica nei suoli sembrerebbe essere proprio a carico di frazioni più facilmente degradabili e quindi non misurabili attraverso lo studio della frazione umificata.

Figura 3 - Caratteristiche dei suoli: confronto tra le diverse tesi



Il contenuto in metalli pesanti dei suoli studiati non mette in evidenza differenze rilevanti (Tabella 2), eccezion fatta per il rame e lo zinco che risultano statisticamente maggiore nelle tesi trattate con fango ed in quelle che hanno ricevuto la sola concimazione minerale. L'incremento in Cu e Zn è pari mediamente al 20%. Si sottolinea che la L.N. 99/92 per l'utilizzo dei fanghi in agricoltura pone quali limiti massimi nei suoli di Cu e Zn rispettivamente 100 e 300 mg kg s.s.⁻¹, molto al sotto quindi di quanto rilevato anche nei suoli che hanno ricevuto il fango. Inoltre, confrontando la concentrazione dei metalli pesanti rilevati nei suoli, indipendentemente dal tipo di trattamento, è interessante notare come tali valori, tranne che per il piombo, siano inferiori a quanto rilevato da uno studio condotto dall'APAT (APAT, 2003). Tale studio era finalizzato alla caratterizzazione dei suoli, nelle diverse regioni italiane, per quanto attiene il contenuto in metalli pesanti e, per la regione Lombardia, considerava alcuni suoli situati nella provincia di Pavia.

Tabella 2 - Contenuto in microinquinanti inorganici nei suoli: confronto statistico tra le diverse tesi

Elemento	TESTIMONE	FANGO +UREA	CORNUNGHIA	UREA	FANGO	APAT 2003
As	0.70±0.16 a	0.77±0.11a	0.74±0.09a	0.89±0.19a	0.86±0.07a	//
Cd	0.06±0.02a	0.11±0.03a	0.07±0.01a	0.06±0.01a	0.08±0.03a	//
Crtot	29.94±1.14a	36.29±12.46a	30.31±1.69a	33.07±3.81a	29.78±1.44a	70.5
Cu	14.61±0.89 a	17.95±0.96 c	15.14±1.20 ab	16.64±0.78 bc	17.27±0.69 c	32.3
Hg	0.11±0.02a	0.10±0.03a	0.09±0.04a	0.08±0.01a	0.10±0.02a	//
Ni	20.71±0.30a	22.50±2.07a	20.76±0.82a	21.75±0.75a	21.73±0.69a	92.3
Pb	18.39±1.49a	18.33±2.97a	18.45±0.92a	18.52±2.05a	18.48±2.01a	13.0
Zn	41.04±1.94 a	50.41±1.07 b	40.24±1.10 a	41.63±2.00 a	48.87±3.02 b	50.3

(*) Medie seguite da lettere diverse differiscono tra loro in modo statisticamente significativo (Test di Tuckey per $\alpha=0.05$)

Dall'analisi dei dati relativi alla determinazione degli inquinanti organici nei suoli e nei fanghi, si evince che il contenuto di molecole organiche xenobiotiche nel suolo risulta essere generalmente inferiore al limite di rilevabilità strumentale. La comparazione dei dati analitici, per i campioni di fanghi, ha messo in evidenza, inoltre, che la concentrazione degli inquinanti organici rilevati, sono assolutamente in linea con precedenti evidenze bibliografiche (Quaghebeur et al., 1988) e, nella maggioranza dei casi, molto al di sotto dei valori tipici per i fanghi di depurazione. Si nota per altro che i valori più elevati, occasionalmente rilevati, non sempre sono riconducibili alle parcelle fertilizzate con il fango.

Risulta tuttavia necessario considerare che l'apporto di molecole xenobiotiche al suolo in quantità così limitate va incontro, da una parte ad un "effetto diluizione" e, dall'altra, a processi di degradazione. Considerando infatti la dose di fango applicata (3.7 t s.s.) sulla base di un ettaro di suolo, risulta immediato calcolare che i diversi contaminanti vengono diluiti di circa 1000 volte.

La determinazione del contenuto in metalli pesanti nella granello di riso aveva lo scopo di verificare l'eventuale traslocazione e accumulo di microinquinanti inorganici, in funzione dei diversi trattamenti di concimazione. La Tabella 3 mette in evidenza che il contenuto in microinquinanti inorganici, non varia in maniera statisticamente significativa per le diverse tesi, ad eccezione del contenuto di Cromo per le piante cresciute sui suoli trattati con UREA. Si precisa inoltre che, per quanto attiene soprattutto il Cadmio, le differenze appaiono limitate e sono notevolmente al di sotto dei limiti massimi stabiliti per legge (0.2 mg kg⁻¹).

Tabella 3 - Contenuto in microinquinanti inorganici nella granella di riso: confronto statistico

Elemento		TESTIMONE	FANGO+UREA	CORNUNGHIA	UREA	FANGO
As	(mg kg s.s. ⁻¹)	0.08±0.02a	0.08±0.01a	0.10±0.03a	0.11±0.01a	0.12±0.04a
Cd		0.04±0.03a	0.03±0.01a	0.03±0.01a	0.05±0.00a	0.04±0.00a
Crtot		0.36±0.05a	0.36±0.04a	0.40±0.07a	0.80±0.18b	0.30±0.04a
Cu		3.09±0.55a	2.64±0.19a	2.54±0.21a	2.83±0.56a	2.54±0.08a
Hg		0.03±0.01a	0.03±0.01a	0.04±0.01a	0.03±0.01a	0.04±0.01a
Ni		0.74±0.31a	0.63±0.30a	0.61±0.21a	1.03±0.30a	0.61±0.08a
Pb		0.15±0.02a	0.17±0.04a	0.15±0.04a	0.13±0.02a	0.15±0.06a
Zn		19.98±2.22a	19.17±4.63a	17.98±4.11a	17.20±3.51a	14.47±1.42a

(*) Medie seguite da lettere diverse differiscono tra loro in modo statisticamente significativo (Test di Tuckey per $\alpha=0.05$)

Parametri relativi all'evoluzione della sostanza organica nei suoli e valutazione della fertilità biologica.

L'estrazione dai suoli della frazione di carbonio solubile (Dissolved Organic Carbon - DOC) è incrementata nei suoli trattati con fango (Tabella 4). L'aumento di carbonio organico solubile può essere la ragione per cui, come in seguito sarà possibile rilevare, i suoli trattati con fango presentano valori di respirazione significativamente più elevati.

Tabella 4 - Concentrazione di carbonio organico solubile (DOC) nei suoli

TESI	DOC (mg kg ⁻¹)
TESTIMONE	30 ± 12 a
FANGO	58 ± 17 b
CORNUNGHIA	20 ± 0 a
UREA	13 ± 5 a

(*) Medie seguite da lettere diverse differiscono tra loro in modo statisticamente significativo (Test di Tuckey per $\alpha=0.05$)

In Tabella 5 vengono riportati i valori di respirazione del suolo. Essi evidenziano che la respirazione aumenta a seguito del trattamento del suolo con il fango. Ciò potrebbe essere messo in relazione all'aumento della DOM, prima indicato. Il risultato della correlazione tra i due parametri (DOC vs Respirazione) rivela infatti un interessante significato statistico ($r=0.861$; $p<0.05$). Tale esito risulta in accordo con precedenti evidenze bibliografiche (Schnurer et al., 1985) che riportano una maggiore attività metabolica della comunità microbica del suolo a seguito dell'apporto di ammendanti organici.

Tabella 5 - Valori di respirazione dei suoli espressi sulla sostanza secca

Tesi	RESPIRAZIONE (mg CO ₂ g s.s. ⁻¹ 35gg ⁻¹)
TESTIMONE	17.15±3.00 a
FANGO+UREA	25.22±0.77 b
CORNUNGHIA	18.21±4.30 a
UREA	20.29±1.48 ab
FANGO	24.55±1.65 b

(*) Medie seguite da lettere diverse differiscono tra loro in modo statisticamente significativo (Test di Tuckey per $\alpha=0.05$)

La determinazione dell'attività respirometrica del suolo utilizzando il SOUR test, conferma quanto riportato in Tabella 5. In particolare, i valori riportati in Tabella 6 evidenziano che i valori di SOUR aumentano a seguito del trattamento del suolo con il fango. Anche in questo caso il risultato della correlazione tra i due parametri (DOC vs SOUR) si rivela interessante dal punto di vista statistico ($r=0.73$; $p<0.05$). Anche i dati cumulati del consumo di ossigeno indicano che dopo 12 (OD₁₂) e 20 h (OD₂₀) (Tabella 6) si verifica un aumento del dato respirometrico per la tesi col fango.

Tabella 6 - SOUR dei suoli espressi sulla sostanza secca: confronto statistico tra le diverse tesi

TESI	SOUR	OD ₁₂ mg O ₂ x g s.s. ⁻¹ x h ⁻¹	OD ₂₀
TESTIMONE	0.018 ± 0.003 a	0.154 ± 0.009 a	0.189 ± 0.020 a
FANGO	0.091 ± 0.021 b	0.541 ± 0.270 b	0.634 ± 0.290 b
CORNUNGHIA	0.025 ± 0.010 a	0.168 ± 0.024 a	0.221 ± 0.030 a
UREA	0.034 ± 0.015 a	0.191 ± 0.046 a	0.260 ± 0.060 a

(*) Medie seguite da lettere diverse differiscono tra loro in modo statisticamente significativo (Test di Tuckey per $\alpha=0.05$)

Substrate-Induced Respiration (SIR)

Il SIR è un indice che permette la stima indiretta della popolazione microbica, misurando la respirazione in seguito all'aggiunta di un substrato costituito principalmente da glucosio (Stenstrom et al., 1998). I dati hanno messo in evidenza che i suoli ammendati con il fango esibiscono, rispetto al testimone, una maggiore percentuale di microrganismi a strategia K (autoctoni). Anche il valore dell'indice SIR aumenta, si ha quindi un aumento della microflora del suolo, in accordo con quanto riportato da Drinkwater et al. (1995) che, valutando l'impatto dell'ammendamento sui microrganismi del suolo, osservavano, un aumento dell'attività e della biomassa totale.

Tipicamente ci si aspetterebbe un aumento dei microrganismi "r" nelle parcelle trattate con fango. I risultati ottenuti, invece, contrastano con quanto atteso (incremento dei microrganismi "K"). Dato il pluriennale utilizzo del fango nelle parcelle, tale risultato potrebbe riflettere la composizione della microflora stessa del fango che, con il tempo, potrebbe avere sostituito quella del suolo (Bhardway,

1995). Un incremento degli "r" è un dato atteso dopo l'immediato incorporamento del fango, quindi, si potrebbe supporre che, la presenza di frazioni organiche recalcitranti abbia stimolato una microflora diversa da quella del suolo. Ciò è in accordo col dato respirometrico, che, se riferito all'unità di carbonio organico solubile, indicava una maggior recalcitranza delle frazioni estratte dal suolo ammendato col fango (dati non riportati nella presente relazione). Ora, proprio tale maggior recalcitranza potrebbe indurre una popolazione più adatta (popolazione k) alla demolizione di tali molecole organiche.

In conclusione si può comunque affermare che l'indice SIR risulta sensibile all'ammendamento col fango che quindi appare in grado di modificare la popolazione microbica, così come rilevato da altri autori (Stenstrom et al., 2001).

Determinazione Organic Matter Evolution Index (OMEI)

L'uso del rapporto core-AU/AU è suggerito quale indicatore dell'evoluzione della materia organica (indice OMEI). L'indice, che ha un "range" compreso fra 0 e 1, tende all'estremo superiore, quando si considera la sostanza organica ad elevato grado di evoluzione (Adani et al., 1995).

I risultati analitici hanno evidenziato un valore dell'OMEI per il fango in accordo con la letteratura (Adani et al., 1995). Il basso valore (0.30 circa) è riconducibile all'elevata presenza di lipidi e proteine, tipici di queste biomasse, estraibili in alcali (sostanze pseudoumiche) ma eliminabili coi processi di purificazione delle sostanze umiche ad ottenere il core-acido umico. L'OMEI del fango, come atteso, suggerisce una biomassa a bassa evoluzione della sostanza organica. A scopo comparativo si consideri l'OMEI della Leonardite (materiale organico fossile che precede la formazione dell'antracite) che essendo pari a 0.9, indica un elevato grado d'evoluzione della sostanza organica (Genevini et al., 1997).

I risultati ottenuti nel presente studio, mettono in evidenza valori dell'OMEI dei suoli simili in tutti i trattamenti, compreso il suolo testimone. Diversamente da quanto ci si poteva attendere l'apporto di biomassa poco evoluta, quale è quella contenuta nel fango, non incide sul grado di evoluzione della sostanza organica, prova ne è anche il contenuto acidi umici (Tabella 1).

Caratterizzazione degli Acidi Umici attraverso spettroscopia infrarossa (DRIFT)

Nel presente studio, la spettroscopia infrarossa è stata utilizzata quale strumento d'analisi qualitativa per il riconoscimento dei principali gruppi funzionali presenti nelle strutture chimiche degli acidi umici estratti dal fango e dai suoli.

Le attribuzioni delle bande di assorbimento sono state eseguite in accordo con quelle riportate in letteratura da altri autori per gli acidi umici del suolo (Stevenson, 1982; Ricca e Severini, 1992; Stevenson, 1994) e per gli acidi umici da fango (Stephen et al., 1980; Adani e Tambone, 2005). Di seguito vengono riportati, a titolo esemplificativo, alcuni degli spettri ottenuti sugli acidi umici estratti dal fango e dai suoli.

Figura 3 - Spettro DRIFT dell'acido umico estratto dal fango

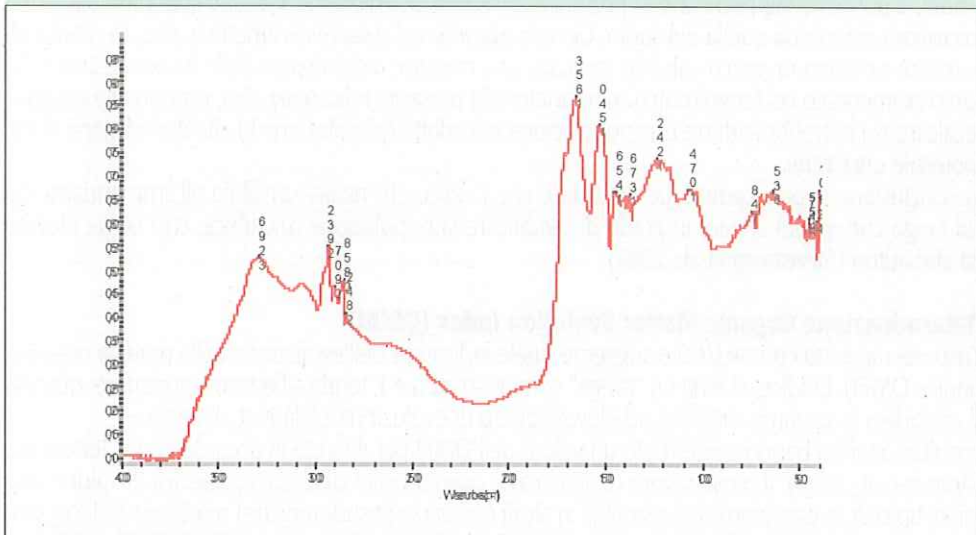
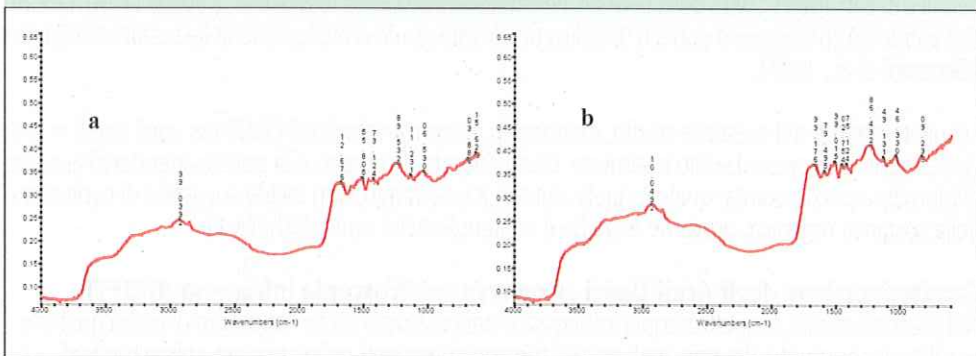


Figura 4 - Spettri DRIFT degli acidi umici estratto dal suolo testimone (a) e dal suolo trattato con fango (b)



Gli AU estratti dal fango (Figura 3) risultano principalmente costituiti da sostanze alifatiche come lipidi (probabilmente steroidi o acidi grassi) e da molecole contenenti azoto organico (indicativamente proteine) (Réveillé et al., 2003; Stephen et al., 1980).

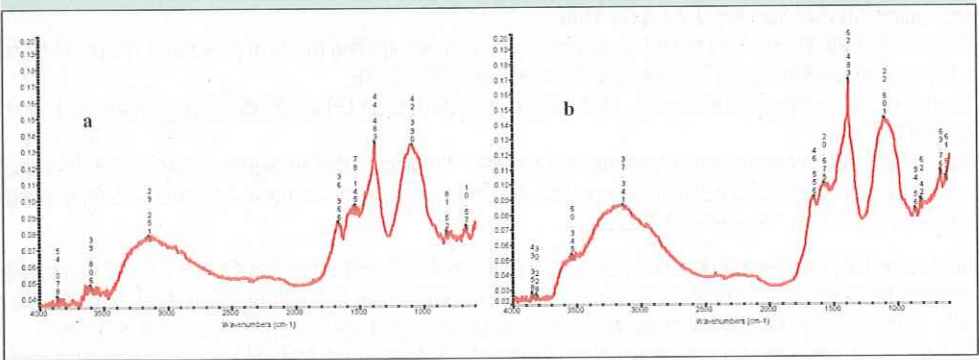
Gli spettri degli acidi umici estratti dai suoli (Figura 4) presentano, in generale, le stesse tipologie di picchi senza distinzioni particolari che possono essere messe in relazione con il tipo di trattamento a cui sono stati sottoposti. Inoltre, i picchi presenti non si distinguono per significative variazioni di intensità.

Gli acidi umici estratti dai suoli risultano, in conclusione, costituiti principalmente da porzioni alifatiche, da molecole azotate come le proteine, da molecole aromatiche come la lignina e in minor parte da polisaccaridi come la cellulosa.

Caratterizzazione della DOM attraverso spettroscopia infrarossa (DRIFT) Campioni di DOM, estratta dai suoli e in seguito liofilizzata, sono stati sottoposti a caratterizzazione mediante spettroscopia infrarossa (DRIFT). Lo scopo era quello di rilevare eventuali differenze nella composizione della stessa a seguito dei diversi trattamenti del suolo. Per la valutazione degli spettri ed il loro confronto sono state impiegate delle tavole di assegnamento che consentono di associare, a ciascuna zona degli spettri DRIFT, un particolare legame chimico o gruppo funzionale (Stevenson, 1982; Smith, 1999; Said-Pullicino and Gigliotti, 2007).

Gli spettri riportati, a titolo esemplificativo, in **Figura 5** mettono tuttavia in evidenza che, pur essendoci state delle variazioni in termini quantitativi nella frazione solubile di carbonio (Tabella 4), le caratteristiche qualitative della stessa risultano sostanzialmente invariate.

Figura 5 - Spettri DRIFT della DOM estratta dal suolo testimone (a) e dal suolo trattato con fango (b)



Conclusioni

La sperimentazione condotta ha messo in evidenza risultati interessanti. In sintesi, l'utilizzo del fango non sembra evidenziare effetti negativi di tipo ambientale, intesi come accumulo di inquinanti organici e inorganici, né nel suolo né nella granella di riso. Vi è da sottolineare però, che l'esiguo contenuto degli stessi nel fango e l'effetto diluizione operato dal suolo, non permettono di trarre conclusioni definitive dopo così poco tempo.

E' stato possibile rilevare effetti importanti sia per quanto attiene le proprietà fertilizzanti che quelle ammendanti riconducibili all'utilizzo pluriennale del fango. In particolare si ricorda le modificazioni indotte sul pH e sulla CSC del suolo, nonché l'arricchimento di nutrienti, in particolare fosforo e azoto. Tutto ciò, nonostante le esigue quantità di fango apportate. Le proprietà ammendanti si sono mostrate attraverso l'incremento di carbonio totale nei suoli trattati. Interessante appare soprattutto l'effetto sulla presenza delle frazioni solubili del carbonio (DOM). Tale frazione ha assunto negli ultimi anni importanza fondamentale per la comprensione del chimismo del suolo, essendo fonte di nutrimento per i microrganismi oltre che veicolo per il trasporto di metalli e molecole organiche. Per quanto sopra detto, dalla sperimentazione emerge un miglioramento della fertilità del suolo nel suo complesso.

Il proseguimento della sperimentazione per più anni, sul modello di quanto avviene all'estero, potrà fornire indicazioni più precise circa il rischio ambientale nell'utilizzo dei fanghi in agricoltura.

BIBLIOGRAFIA

- Adani F. and Tambone F., 2005. Long-term effect of sewage sludge application on soil humic acids. *Chemosphere*, 60, 1214-1221.
- Adani F., Genevini P.L., Gasperi F. and Zorzi G., 1997. Organic matter Evolution Index (OMEI) as a measure of composting efficiency. *Compost Science & Utilization*, 5 (2): 53-62.
- Adani F., Genevini P.L. and Tambone F., 1995. A new index organic matter stability. *Compost Science & Utilization* 3: 25-37.
- APAT, 2003. *Annuario dei dati ambientali*, Cap. 12 – Geosfera, pag. 656.
- Banerjee M.R., Burton D.L. and Depoe S., 1997. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 66. 241-249.
- Bhardway K.K.R., 1995. Improvements microbial compost technology: a special reference to microbiology of composting 115-135. In: S. Khawana and K. Mohan (Eds.). *Wealth from waste* Tata Energy Research Institute, New Delhi, India.
- Boyd S.A., Sommers L.E. and Nelson W., 1980. Change in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 1179-1186.
- Bramryd T., 2001. Effect of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scot pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 147, 197-216.
- Council of the European Community, 1991. Directive 91/271/EC on Urban Waste Water Treatment, Official Journal L135/40.
- D.L. 99/92 Decreto Legislativo 27 Gennaio 1992, n°99. "Protezione dell'ambiente, in particolare del suolo, nell'utilizzazione del suolo, nell'utilizzazione dell'uso dei fanghi di depurazione in agricoltura". Supplemento ordinario alla G.U. n. 38 del 15/02/1992.
- Drinkwater L.E., Letorneau D.K., Workneh F., van Bruggen A.H.C. and Schennan C., 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecol. Appl.* 5, 1098-1112.
- EPA, 1998. Method EPA 3051. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils.
- G.U. n° 29 Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n° 29, del 4.2.1991. Metodo ufficiali di campionamento e analisi dei suoli
- Genevini P.L., Adani F., Villa C., 1997. Rice hull degradation by co-composting with dairy cattle slurry. *Soil Science and Plant Nutrition*, 43 (1): 135-147.
- Iakimenko O., Otabbong E., Sadovnikova L., Persson J., Nilsson I., Orlov D. and Ammosova Y., 1996. Dynamic transformation of sewage sludge and farmyard manure components. 1. Content of humic substances and mineralization of organic carbon and nitrogen in incubated soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 58, 121-126.
- IRER, 2007. Sostenibilità ed evoluzione tecnologica nel sistema di depurazione lombardo: il riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi di depurazione Volume 2: Utilizzo razionale e sostenibile dei fanghi di depurazione. Codice IRer: 2006B039.
- ISO, 2002. International Standard. Soil quality –Laboratory methods for determination of microbial soil respiration. ISO 16072 – 1st Ed. – Switzerland.
- Lasaridi K.E. e Stentiford E.D., 1998. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Wat. Res.*, 32 (12), 3717-3723.
- Mantovi P., Baldoni G. and Toderi G., 2005. reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects on long-term application on soil and crop. *Water Research*, 39, 289-296.
- McBride M.B., 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulation protective? *Journ. Environ.Qual.*, 26, 5-18.
- MPAF, 2000. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali. *Metodi di analisi chimica del suolo*. Franco Angeli Press. Milano. Italy
- Navas A., Bermúdez F. and Machin J., 1998. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. *Geoderma*, 87, 123-135.

- Nyamangara J. and Mzezewa J., 2001. Effect of long-term application of sewage sludge to a grazed pasture on organic carbon and nutrients in clay soil in Zimbabwe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59, 13-18.
- Pacheco M.L., Peña-Méndez E.M. and Havel J., 2003. Supramolecular interactions of humic acids with organic and inorganic xenobiotics studied by capillary electrophoresis. *Chemosphere*, 51, 95-108.
- Quaghebeur D., Temmerman I. and Angeletti G., 1988. Organic contaminants in waste water, sludge and sediments. Elsevier Applied Science, London and New York.
- Qualls R.G., 2004. Biodegradability of humic substances and other fractions of decomposing leaf litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 1705-1712.
- Regione Lombardia, 2003. Linee Guida della Regione Lombardia (D.G.R. 16/04/2003 – N. 7/12764. 2003) - Allegato B - Test di fitotossicità: effetto di matrici complesse sulla crescita di piante superiori.
- Regione Piemonte, 1997. Impiego in agricoltura dei fanghi di depurazione. ed. 1997. n. 10 Collana Ambiente.
- Réveillé V., Mansuy L., Jardé E. and Garnier-Sillam E., 2003. Characterization of sewage sludge-derived organic matter: lipids and humic acid. *Organic Geochemistry*, 34, 615-627.
- Ricca G. and Severini F., 1992. Structural investigations of humic substances by IR-FT, 13-C-NMR spectroscopy and comparison with a maleic oligomer of known structure. Elsevier Science Publishers.
- Said-Pullicino D. and Gigliotti G., 2007. Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting. *Chemosphere*, 68, 1030-1040.
- Schnaak W., Kùchler Th., Kujana M., Henschel K.P., Süßenbach D. and Donau R., 1997. Organic contaminants in sewage sludge and their ecotoxicological significance in the agricultural utilization of sewage sludge. *Chemosphere*, 35 (1/2), 5-11.
- Smith B., 1999. Infrared spectra interpretation: a systematic approach. CRC Press. LLC
- Sort X. and Alcañiz J.M., 1999. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. *Soil & Tillage Research*, 49, 337-345.
- Stenstrom J., Stenberg B. and Johansson M., 1998. Kinetics of Substrate Induced Respiration (SIR): Theory. *Ambio* Vol. 27 (1), 35-39.
- Stephen A.B., Sommers L.E. and Darrel W.N., 1980. Changes in the humic fraction of soil resulting from sludge application. Contribution of the Purdue Agric. Exp. Stn., Journal Paper n. 8087.
- Stevenson F.J., 1994. Humus Chemistry: genesis, composition reactions. Wiley, New York.
- Stevenson, F.J., 1982. Humus chemistry: Genesis, Composition, Reaction. Wiley Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York.
- Wong J.W.C., Lai K.M., Fang M. and Ma K.K., 1998. Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. *Environment International*, 24 (8), 935-943.



Provincia di Pavia
Settore Agricoltura
Settore Tutela Ambientale



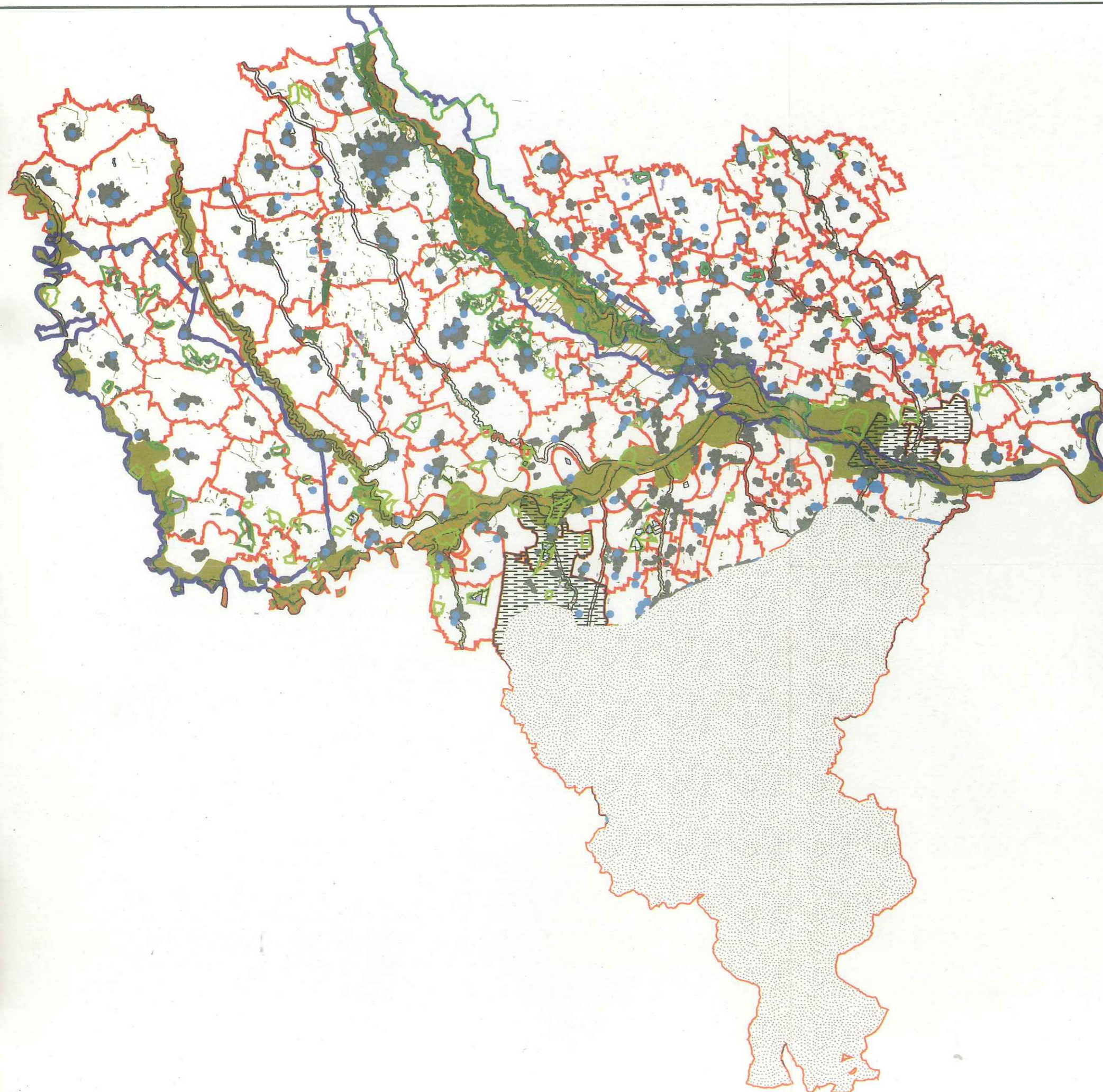
PROVINCIA DI PAVIA

SETTORE TUTELA AMBIENTALE
SETTORE AGRICOLTURA

Vincoli fisico normativi
ai fini dell'impiego dei rifiuti
nella pratica agronomica



1:300.000



Legenda	
	Area esclusa dal progetto
	Fascia di rispetto pozzi acquedottistici 200m
	Bacini idrici
	Boschi naturali
	SIC
	ZPS
	ex Piano cave provinciale - ripristino a laghetto
	ex Piano cave provinciale - ripristino a parco
	Piano cave provinciale - Ambito Territoriale Estrattivo
	Urbanizzato residenziale
	Rispetto urbanizzato residenziale
	Fascia di rispetto dei corsi d'acqua principali
	Aree Vulnerabili
	PAI - Fascia B
	Parco del Ticino - A - Zone naturalistiche integrali
	Parco del Ticino - B1 - Zone naturalistiche orientate
	Parco del Ticino - B2 - Zone naturalistiche di interesse botanico forestale
	Parco del Ticino - B3 - Aree di rispetto zone naturalistiche perfluviali
	Parco del Ticino - C1 - Zone agricole e forestali a interesse faunistico
	Confini Comuni