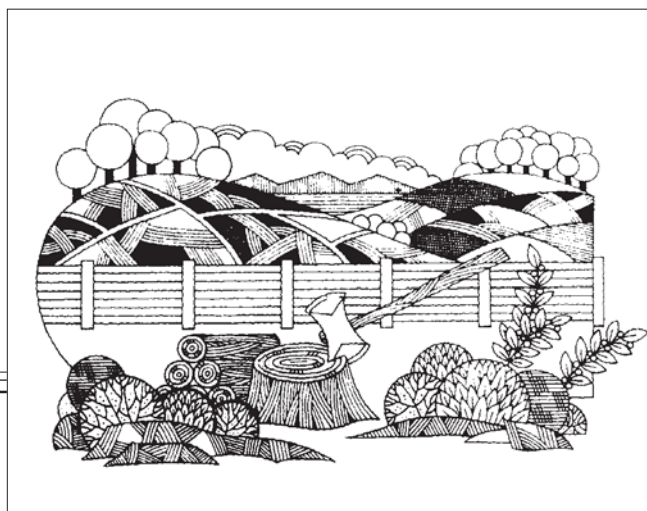


MONITORAGGIO AMBIENTALE



Progetto di Ricerca “Il monitoraggio ambientale nell’azienda biologica” Controllo dell’inquinamento da traffico stradale nell’azienda biologica

Andrea Pirondini¹

PREMESSA

Questo articolo riassume in modo sintetico la prima parte di lavoro del Progetto di Ricerca “Il monitoraggio ambientale nell’azienda biologica”.

Promossa dall’AIAB (Associazione Italiana Agricoltura Biologica) nazionale e dell’Emilia Romagna, la ricerca è stata svolta in collaborazione con l’ARPA, Sezione provinciale di Modena, che ha messo a disposizione le risorse tecnico-strumentali per l’esecuzione delle analisi di laboratorio.

Il progetto di ricerca ha lo scopo di elaborare una metodologia di monitoraggio per valutare il contesto ambientale in cui opera un’azienda biologica. Questo primo lavoro affronta i problemi da un punto di vista scientifico, per arrivare ad indicare delle linee guida da seguire.

È sbagliato pensare l’azienda biologica come un’oasi svincolata dal contesto che la circonda; occorre, invece, limitare i numerosi fattori esterni che possono influire sulla qualità dei prodotti biologici. Un moderno sviluppo integrale dell’agricoltura biologica deve valutare attentamente le condizioni ambientali del territorio in cui un’azienda è inserita. L’inquinamento ambientale può infatti rappresentare un serio rischio per la produttività delle aziende agricole.

Questo lavoro prende in esame il caso concreto di un’azienda agricola biologica (nella Provincia di Modena) confinante con una strada densamente trafficata e valuta l’impatto ambientale causato dalla circolazione dei veicoli a motore. In particolar modo è stata controllata la ricaduta dei metalli pesanti –piombo, cadmio e zinco– sul terreno agricolo, sulle coltivazioni e su alcune componenti della comunità biotica degli artropodi terrestri. Lo studio ha anche permesso di valutare l’efficacia di una siepe quale barriera protettiva nei confronti di questi agenti inquinanti.

¹ Biologo, collaboratore AIAB
Coordinatore del Progetto di Ricerca

L'INQUINAMENTO DA TRAFFICO VEICOLARE

Gli autoveicoli determinano inquinamento ambientale sia di tipo chimico (emissioni di sostanze tossiche) che fisico (rumore). L'inquinamento chimico è imputabile essenzialmente alla combustione delle benzine e dei gasoli, nonché al movimento dei pneumatici sull'asfalto.

I combustibili sono costituiti da miscele di idrocarburi della serie paraffinica, olefinica, naftenica ed aromatica e da additivi antidetonanti a base di piombo. Dalla polverizzazione dell'asfalto, dall'usura dei pneumatici, dei freni e della frizione delle vetture, dal tubo di scappamento dei motori a combustione, proviene la più vasta gamma di sostanze cancerogene (o sospette tali) che sia possibile mettere insieme: idrocarburi aromatici policiclici, idrocarburi alogenati, ammine aromatiche, amianto, chetoni, aldeidi, epossidi, perossidi, radicali liberi, ioni diversi.

Negli ultimi anni l'industria automobilistica ha dedicato una certa attenzione alla riduzione delle emissioni allo scarico. L'introduzione delle marmitte catalitiche, il controllo elettronico dell'alimentazione, l'uso di sonde e sensori che guidano la combustione, sono alcuni accorgimenti in tal senso. Come risultato i veicoli oggi hanno ridotto di oltre il 90% le emissioni rispetto a quanto avveniva nei primi anni '70.

Altri interventi strutturali come l'incentivo alla rottamazione ed il rinnovo del parco macchine circolanti contribuiscono non poco alla drastica riduzione delle emissioni. Ma il problema dell'inquinamento provocato dal traffico stradale è ancora lontano dall'essere risolto.

L'ossidazione dei combustibili dovrebbe dare luogo come prodotti di reazione unicamente ad acqua ed anidride carbonica, ma la presenza di impurità ed additivi e le condizioni non perfette di combustione portano alla formazione di diverse sostanze di natura tossica.

L'elenco che segue è una breve carrellata per ricordare alcuni principali inquinanti presenti negli scarichi di tutti i veicoli (ad eccezione del Pb, presente solo nelle benzine). Tranne che per CO ed NO_x, tipici di tutti gli scarichi, gli altri inquinanti sono presenti in quantità quasi trascurabili negli scarichi dei veicoli a metano; la loro concentrazione aumenta progressivamente per GPL, benzina e veicoli a diesel.

Ossido di carbonio

Formula chimica CO, rappresenta il primo stadio di ossidazione del carbonio. In pratica nei processi di combustione si formano sia CO che CO₂. L'anidride carbonica predomina a basse temperature, l'ossido di carbonio a quelle elevate. La formazione di CO è favorita da una combustione in difetto di aria. La concentrazione di CO nei gas di scarico è strettamente connessa alle condizioni di funzionamento del motore. Anche la quantità totale di ossido di carbonio emessa da un autoveicolo dipende dalle modalità di condotta ed avanzamento del veicolo.

Idrocarburi

Gli idrocarburi presenti negli scarichi degli autoveicoli sono in parte rappresentati dai costituenti dei combustibili (paraffine, olefine, cicloparaffine, aromatici) che non vengono bruciati e in parte da frammenti di idrocarburi più complessi che si originano vicino alle pareti di combustione, dove la temperatura è più bassa e non si raggiunge l'ossidazione totale delle molecole dei combustibili. Anche la quantità di queste sostanze emesse in atmosfera dipende dalle condizioni di funzionamento, di manutenzione e di usura del motore.

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Molti di questi idrocarburi sono noti per la loro azione cancerogena (3.4 benzopirene, 3.4 benzofluorantene, 3.4.8.9 dibenzopirene, ecc.). La concentrazione di IPA negli scarichi è influenzata dal regime di funzionamento del motore, soprattutto per quelli diesel.

Aldeidi e chetoni

Le aldeidi rappresentano la classe di composti organici di parziale ossidazione presente in maggior quantità negli scarichi. Le aldeidi presenti in più elevata quantità sono l'aldeide formica (H-CHO) e l'acetica (CH₃-CHO).

Ossidi di Azoto

A causa dell'elevata temperatura nella camera di combustione si ha reazione fra ossigeno ed azoto con formazione di ossidi di azoto. Questi composti tossici, oltre alla formazione di nitrosammine cancerogene, determinano un incremento di nitrati nel suolo e nelle

acque. I principali ossidi che possono formarsi dalla combinazione di N_2 e O_2 sono il monossido NO ed il biossido NO_2 . La concentrazione negli scarichi segue l'andamento opposto a quello del CO: si osservano concentrazioni più alte in accelerazione ed in marcia di crociera, e concentrazioni più basse in decelerazione ed al minimo.

Biossido di zolfo

È presente soprattutto nelle emissioni dei veicoli diesel. In fase di combustione lo zolfo si ossida totalmente a SO_2 e SO_3 . L'anidride solforosa nell'aria si combina con l'acqua formando acido solforico che è una delle principali cause delle piogge acide.

Inquinanti di origine fotochimica

Questi inquinanti derivano da un complesso di reazioni in atmosfera fra alcune delle sostanze emesse dai gas di scarico (idrocarburi, ossidi di azoto ecc.) per effetto della radiazione solare ultravioletta.

Piombo

È aggiunto alle benzine come piombo tetraetile e tetrametile con funzione antidetonante e per aumentare il rapporto di compressione. La maggior parte del piombo è emesso nell'atmosfera sotto forma di particelle con diametro inferiore ad un micron. La combustione della benzina provoca la decomposizione del piombo alchile con formazione di alogeni (bromuro e cloruro di piombo).

Il piombo viene assunto dall'uomo sia per respirazione, che per ingestione di alimenti contaminati; si accumula nell'osso compatto e viene distribuito dal sangue in tutti i tessuti, in ciascuno dei quali manifesta la sua azione tossica, essendo un veleno inattuabile di ogni cellula e di ogni forma di vita.

Gli effetti nocivi sull'uomo, in particolare su soggetti in tenera età, possono assumere una rilevanza a carattere epidemiologico, trattandosi di effetti subclinici. La patologia vera e propria consiste in disturbi che il piombo tetraetile causa a livello del sistema nervoso centrale con carattere di encefalopatia psicotica.

RETE STRADALE, VIABILITÀ E TRASPORTI IN PROVINCIA DI MODENA

Il reticolo portante della viabilità della Provincia di Modena, indicato nel Piano dei Trasporti di Baci-

no redatto nel 1984, si orienta secondo le due direttrici principali est-ovest, e nord-sud che definiscono la maglia ortogonale in cui si inseriscono le principali infrastrutture.

Lungo la direttrice est-ovest corrono la via Emilia (SS 9) e l'Autostrada A1 con i due caselli di Modena sud e Modena nord. Nella direttrice nord-sud, il corridoio centrale della provincia è percorso dalla SS 12 dell'Abetone e del Brennero, che è la strada oggetto di questo studio. Nel tratto esaminato prende il nome di strada Nuova Estense.

Come noto il settore dei trasporti in Italia ha vissuto un'esperienza del tutto originale rispetto agli altri paesi europei. La scarsa pianificazione delle politiche di trasporto ha portato, nel corso degli anni, consistenti investimenti sulle infrastrutture stradali a scapito dei vettori ferroviario e fluvio-marittimo. Ciò ha determinato un sistema basato esclusivamente sul trasporto su strada.

L'intensità del traffico stradale, che aumenta per rispondere ad una domanda sempre crescente di trasporto di passeggeri o di merci, porta sempre più spesso a fenomeni di congestione delle infrastrutture esistenti, la quale comporta un impatto accresciuto sull'ambiente con, al tempo stesso, un sovraccarico in termini di tempo perso e di minor efficienza energetica.

Dagli ultimi dati disponibili, pubblicati nella 2° Relazione sullo Stato dell'Ambiente, rilevati negli anni 1994-1995, nella fascia oraria 7.00-19.00, risulta per la strada SS 12 Nuova Estense nel tratto oggetto dello studio, un flusso medio di 5283 veicoli in direzione sud-nord, ai quali si aggiungono 5142 veicoli che transitano in direzione opposta.

L'area della provincia di Modena, insieme a quella di Reggio Emilia, è quella che registra il maggior quantitativo di merci movimentate nella Regione Emilia Romagna.

Complessivamente il parco immatricolato per la città di Modena è di 120.000 autoveicoli di cui 38.400 sono catalizzate, 3.000 sono alimentate a GPL o metano, 2.000 dotate di retrofit, 10.000 equipaggiate con motore diesel; dei rimanenti 66.000 autoveicoli a benzina non catalizzati, il 10% è ad iniezione mentre il 90% è a carburatore. Sono inoltre immatricolati 11.000 mezzi pesanti ed 11.000 motocicli ciascuno dei quali costituisce l'8% dei mezzi immatricolati.

LA NATURA DEL TERRITORIO

La Provincia di Modena si estende dal crinale appenninico alla bassa Pianura Padana, ricoprendo una superficie di circa 2690 Km².

L'orografia del territorio modenese è caratterizzata da una serie di dorsali montuose con direzione trasversale a quella della catena appenninica che digradano lentamente ed irregolarmente da sud verso nord, da quote superiori ai 2100 m s.l.m. fino alla pianura.

La zona interessata da questo studio è la fascia collinare che si estende tra i 400 ed i 100 m s.l.m. e rappresenta il 12,5 % del territorio. Essa comprende la zona pedemontana dove si trovano gli abitati di Sassuolo, Fiorano Modenese, Maranello, Torre Maina, Castelvetro e Vignola.

L'analisi del territorio è importante nello studio nei fenomeni legati all'inquinamento atmosferico. Esso dipende certamente dalla natura, dall'entità e dalla distribuzione delle emissioni, ma se le sostanze inquinanti si distribuissero uniformemente in atmosfera, la loro presenza non contribuirebbe a variarne in modo rilevante le caratteristiche. Il problema dell'inquinamento atmosferico di origine antropica è legato alla scarsa diffusione degli inquinanti; questi rimangono concentrati in aree limitate sia a causa di barriere geomorfologiche che ne limitano la diffusione, sia per le caratteristiche meteorologiche della zona considerata.

Nella pianura modenese, ad esempio, sono spesso presenti situazioni di scarsa diffusione atmosferica prodotte dall'instaurarsi di periodi di forte stabilità. Le ragioni di questa stabilità atmosferica sono da ricercarsi nel fatto che la Pianura Padana, chiusa tra le Alpi e l'Appennino Tosco-Emiliano, è caratterizzata da venti di debole entità. Durante il periodo estivo poi, l'alta pressione e le inversioni termiche favoriscono l'accumulo al suolo di particelle sospese (polveri), monossido di carbonio e ossidi di azoto, in gran parte generati dal traffico veicolare.

Le forme del paesaggio osservabili in provincia di Modena sono il risultato di una serie di processi morfogenetici che hanno agito nel passato e che agiscono tuttora determinando fenomeni di erosione, trasporto ed accumulo di rocce e detriti.

Le emergenze principali affioranti sono rocce sedimentarie. Nella zona appenninica si tratta di rocce di origine marina di età compresa tra i 2-4 e 120-

140 milioni di anni.

Al contrario in pianura si trovano prevalentemente depositi alluvionali di ambiente continentale di età inferiore al milione di anni.

In base alle loro caratteristiche (mineralogia, granulometria, strutture, contenuto fossilifero, età, origine, etc.) le formazioni sedimentarie dell'Appennino modenese sono riferibili alle unità toscane, alle unità liguri o Liguridi ed alla successione epiligure.

Anche lo studio dei suoli assume notevole importanza per la conoscenza di un territorio. Lo sviluppo di un suolo è infatti funzione di diverse variabili, tra queste le più importanti sono il tempo di esposizione, la litologia del substrato, il clima, la morfologia del terreno, il fattore biotico, l'uomo ed altro ancora.

Per quanto riguarda i suoli della fascia collinare, nel basso Appennino a quote tra 100 e 600 m troviamo superfici ripide tra il 10% ed il 35%. Questi suoli si sono originati su rocce a forte componente carbonatica, facilmente alterabili (arenarie e peliti stratificate ma anche argille e marne con assetto caotico).

I METALLI PESANTI ED IL TERRENO

In condizioni naturali il suolo può considerarsi un sistema dinamico con un suo bilancio: le entrate sono costituite dai composti derivanti dalla roccia madre, dai residui vegetali od animali e dalle piogge; le uscite sono invece rappresentate dalle sostanze utilizzate, dagli organismi viventi e dalle perdite di lisciviazione, volatilizzazione ed erosione.

Nel caso di terreni agrari l'equilibrio naturale viene turbato dall'asportazione dei raccolti e dall'apporto di sostanze estranee al sistema, ai quali si aggiungono gli apporti esogeni dovuti all'inquinamento ambientale.

Tra gli inquinanti inorganici assumono una predominante importanza i metalli pesanti, sia per la loro diffusione che per la loro persistenza e tossicità.

Sono di norma definiti metalli pesanti gli elementi che presentano una densità maggiore di 5 g/cm³, che si comportano usualmente come cationi, che sono caratterizzati da diversi stati di ossidazione, da bassa solubilità dei loro idrati, da grande attitudine a formare complessi, da alta affinità per i solfuri.

La dizione "metallo pesante" è tuttavia imprecisa e discutibile, senza alcun significato biologico;

infatti molte delle caratteristiche sopra elencate si riscontrano anche in altri elementi. Gli elementi più comunemente coinvolti nei fenomeni di inquinamento sono i seguenti: Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn nonché Mo. Alcuni risultano essenziali per molti organismi, ma diventano tossici quando le loro concentrazioni superano determinate soglie variabili da elemento ad elemento e da organismo ad organismo. Altri invece, quali Cd, e Pb, non risultano a tutt'oggi essenziali per gli organismi.

Allorché un metallo pesante potenzialmente tossico viene accumulato da un organismo vivente in concentrazioni superiori alla norma può produrre direttamente danni strutturali, oppure può inibire attività enzimatiche con conseguente alterazione del metabolismo cellulare.

Pur potendo seguire numerose vie di diffusione nell'ambiente, in genere i metalli presenti nei terreni sono assorbiti dall'apparato radicale, trasportati nelle parti eduli delle piante ed utilizzati direttamente dal consumatore primario (uomo o animale) oppure dal consumatore secondario (uomo), allorché questi si nutre di prodotti animali o vegetali contaminati; si completa così la catena alimentare (Fig. 1).

LA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO ED IL TRAFFICO STRADALE

L'origine dei metalli pesanti che alterano la qualità dell'ambiente, della pedosfera in particolare, è riconducibile a fonti sia naturali, quali il substrato pedogenetico, che antropiche, quali le attività industriali, civili ed agrarie.

I metalli originati dal substrato possono essere definiti "inquinanti geochimici", anche se i fenomeni di contaminazione attribuibili al materiale originario ed in grado di produrre danni biologici sono di norma limitati ad aree ristrette. La presenza di un metallo in un substrato dipende dal fatto che esso può sostituire nella struttura cristallina altri elementi, a raggio ionico ed a carica simile: tipico esempio di tale vicarianza è quello del Ni che può sostituire il Mg nelle olivine e nei pirosseni.

Così quando si conosce la natura del materiale originario, si può pronosticare, con una certa approssimazione, il contenuto in metalli dei terreni. In particolare ciò è possibile quando il minerale primario è

ancora presente nel suolo, mentre non lo è più per i terreni evoluti nei quali i minerali primari siano stati completamente decomposti.

Per quanto riguarda le fonti di origine antropica, numerosi processi industriali possono dare luogo a contaminazione sia direttamente (fumi, acque di scarico), sia indirettamente attraverso la produzione di sostanze a loro volta inquinanti (vernici, pneumatici, combustibili, ecc.).

In particolare per il traffico veicolare, dalla combustione dei carburanti e dei lubrificanti si diffondono prevalentemente Pb e Cd, mentre dal consumo dei pneumatici si liberano soprattutto Cd e Zn.

Il D.L. 27 gennaio 1992, n. 99 indica un valore limite legale per la concentrazione di alcuni metalli pesanti nei suoli. Tali valori massimi di concentrazione sono da prendere come riferimento in quanto stabiliti per suoli agricoli destinati all'utilizzazione dei fanghi di depurazione.

Nel 1994 è stato eseguito dall'ARPA di Modena un monitoraggio dei suoli della Provincia di Modena. Nella Tab. I sono riportati i valori medi di metalli pesanti riscontrati in tale monitoraggio su 1163 campioni di suolo; vengono riportati anche altri valori di riferimento, tratti dalla letteratura internazionale, sulla concentrazione dei metalli pesanti nei suoli non contaminati e nei suoli agrari.

I valori limite sono da intendere come soglia che non dovrebbe essere superata sia per non danneggiare la fertilità e la rigenerazione naturale dei terre-

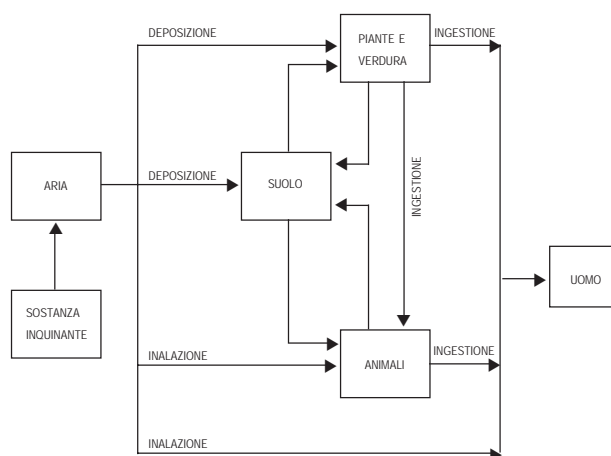


Fig. 1. Trasferimento delle sostanze inquinanti dall'aria ad altri compartimenti (da Vismara, 1992, modif.).

Tab. 1 Valori di riferimento dei metalli pesanti nei terreni (espressi in mg/kg di sostanza secca)

Elemento	Valore limite nel terreno DL 99/92 mg/kg SS	Monitoraggio suoli provincia di Modena mg/kg SS	Suoli non contaminati (valori medi) mg/kg SS	Valori normali suoli agricoli mg/kg SS
Piombo Pb	100	29,7	10-40	5-40
Cadmio Cd	1,5	0,7	0,1-0,35	0.01-3
Zinco Zn	300	98,2	10-70	10-300

ni, sia per impedire il trasferimento di sostanze nocive dal suolo alle piante e nella catena alimentare, sia per impedire uno spostamento di sostanze nocive in strati più profondi o nella falda.

Tali valori limite però devono essere interpretati con accuratezza in quanto l'azione dei metalli pesanti nel terreno dipende notevolmente dalle situazioni particolari del luogo: la capacità di scambio cationico (C.S.C.), il pH, il potenziale redox, la tessitura, la quantità ed il tipo di colloidali inorganici ed organici, la temperatura, il contenuto idrico, la microflora batterica e fungina, sono tra i principali fattori che influiscono assieme alle concentrazioni naturali che, come si è detto, possono differire notevolmente in dipendenza dalla composizione geogena dei terreni.

Viceversa il terreno influisce sulle sostanze estranee immesse che possono, a seconda del tipo di terreno, essere solubilizzate o fissate, traslocate o legate sullo strato di immissione, rese assimilabili per le piante o trasformate e neutralizzate in composti chimici.

MATERIALI E METODI

L'attività sperimentale di ricerca si è svolta nei mesi di Aprile, Maggio, Giugno 1998. L'azienda biologica presa in esame è l'Azienda della Govana, ubicata a Maranello in Provincia di Modena. La superficie aziendale è di 51 ettari, prevalentemente a seminativo cerealicolo, in conversione dal 1996.

Alcuni appezzamenti aziendali considerati marginali dall'agricoltore sono lasciati ad erba medica utilizzata per l'alimentazione di capi bovini. È su una di queste aree, posta in prossimità della strada SS 12 Nuova Estense, che è stato eseguito lo studio per verificare la ricaduta degli inquinanti dovuti al traffico autoveicolare.

L'area di campionamento (Fig. 2) è sita in prossimità della strada SS n. 12 Nuova Estense, in locali-

tà Torre Maina, a 19 km da Modena e 23 Km da Pavullo. La zona di riferimento è la prima fascia collinare della Provincia di Modena.

Tra il sito in esame e la strada non ci sono ostacoli o barriere, ma solo il normale ciglio stradale e la scolina che raccoglie le acque piovane. Il terreno è coltivato ad erba medica mista ad altre erbe spontanee ed infestanti; da almeno due anni non vengono fatte concimazioni né lavori agricoli di superficie,

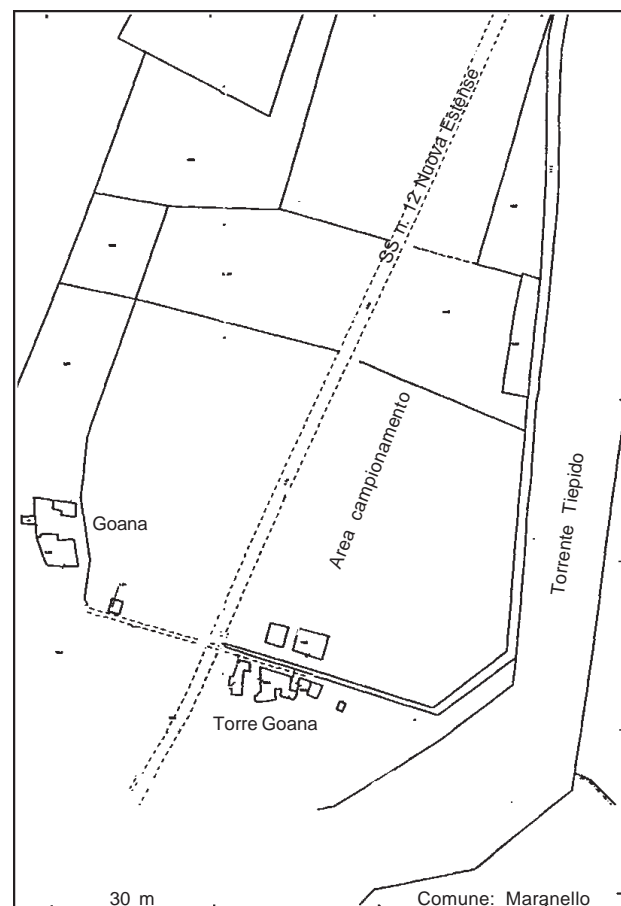


Fig. 2. Appezzamenti di terreno dell'«azienda della Govana» confinanti con la SS n. 12 Nuova Estense.

ma solo periodici sfalci. Rivoltamenti del terreno, dovuti ad esempio ad arature, potrebbero infatti incidere sui risultati analitici.

L'area di campionamento è stata suddivisa in un reticolo lungo 80 m e largo 50 m (Fig. 3). Su questo sono state prelevate 3 serie di campioni di terreno agricolo (A1, A2, A3; B1, B2, B3; C1, C2, C3) distanti 40 m l'una dall'altra. I tre punti di campionamento della stessa serie sono posizionati rispettivamente a 5, 20 e 50 m dal piano stradale.

Ogni campione di terreno, prelevato con una normale vanga, dopo aver asportato lo strato erbaceo corticale superficiale è stato suddiviso in due aliquote (profondità 0-15 cm e 15-30 cm), al fine di verificare se vi fosse stato un trasferimento dei metalli pesanti negli strati inferiori.

In corrispondenza della serie C, sono stati prelevati anche tre campioni delle erbe coltivate come foraggio: E1, E2, E3.

Ogni serie di campioni è stata poi completata con prelievi sul ciglio stradale (As, Bs, Cs); e sul fondo del

fosso scolina che delimita la strada (Af, Bf, Cf).

Un altro gruppo di campioni ha riguardato i rilievi fatti sulla siepe presente nel sito di campionamento (Fig. 3) al fine di valutarne la capacità protettiva come barriera. Si tratta di una siepe di laurocera- so alta circa 1,8 m, larga 1 m, e lunga 25 m.

Sono stati prelevati campioni di terreno davanti (S1, S2) e dietro la siepe (S3, S4), posti ad una distanza di circa 10 m tra loro e 0,5 m dalla siepe. Nei medesimi punti di campionamento sono stati prelevati anche campioni di erba (SE1, SE2, SE3, SE4).

Da ultimo sono stati prelevati quattro campioni di foglie dalla siepe: due nella parte anteriore (F1 ed F2) e due nella parte posteriore (F3, F4).

I campioni di terreno sono stati prelevati in due momenti successivi (2.5.98 e 8.6.98) per evidenziare eventuali variazioni temporali.

Il prelevamento e la successiva preparazione dei campioni per le analisi sono stati eseguiti conformemente alle procedure indicate nel metodo 1 e 2, dei "Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo"

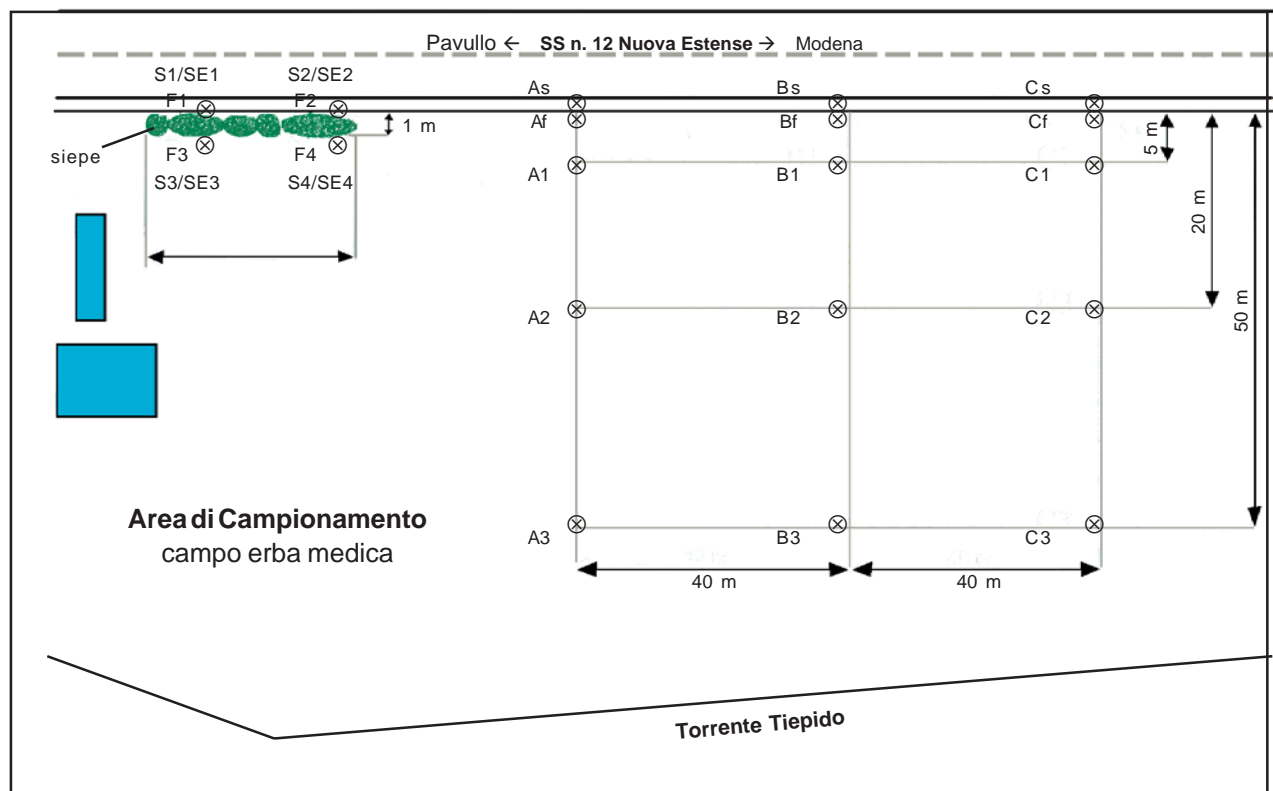


Fig. 3. Area e punti di campionamento.

D.M. 11 maggio 1992 pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale n.79 del 25 maggio 1992. Per la determinazione analitica del pH è stato seguito il metodo ufficiale 7: la misura della reazione è avvenuta in acqua. La determinazione del carbonio organico (metodo Springer e Klee), è stata fatta in base al metodo ufficiale 14, utilizzando per l'analisi 1 g di terreno.

Nei restanti parametri analizzati –determinazione della distribuzione della dimensione delle particelle, tessitura (metodo ufficiale 4); determinazione dei metalli pesanti solubili in acqua regia (metodo ufficiale 13); determinazione dell'azoto totale, metodo Kjeldahl (metodo ufficiale 19); determinazione della capacità di scambio cationico con bario cloruro e trietanolamina (metodo ufficiale 27)– per poter sfruttare al meglio la tecnologia analitica in dotazione al laboratorio, alcuni passaggi dei metodi ufficiali sono stati modificati, così come risulta nei metodi manuali di analisi del suolo adottati dal servizio analisi terreni della Regione Emilia-Romagna.

La ricerca dei metalli pesanti è stata indirizzata su piombo, cadmio e zinco, in quanto questi elementi inquinanti si diffondono a causa del traffico motorizzato, per combustione dei carburanti e lubrificanti (Pb e Cd), dal consumo dei pneumatici (Cd e Zn), e dalla corrosione delle parti zincate (Zn). Sono stati inoltre

ricercati sui campioni di terreno analizzati, anche alcuni parametri agronomici (Tessitura, Sostanza Organica, Azoto, pH, C.S.C.) per verificarne la natura e le possibili interazioni con i metalli pesanti.

RISULTATI

Il contenuto di metalli riscontrato nei campioni di terreno prelevati il 2.5.98 è riportato nelle Tab. 2 e 3 ed è rappresentato nella serie di nove grafici della Fig. 4. I grafici sono suddivisi per tipo di metallo e per serie di campionamento (A, B e C: cfr. Fig. 3). In ogni grafico ciascun campione riporta le due aliquote di profondità 0-15 cm e 15-30 cm.

I risultati delle analisi agronomiche e dei campioni di erba medica sono riportati nelle Tab. 4 e 5.

La seconda serie di tre grafici riassume il contenuto di metalli dei campioni di terreno suddivisi per serie di campionamento A, B, C (Fig. 5). In pratica le tre serie di ciascun grafico rappresentano repliche che consentono di verificare la riproducibilità dei risultati analitici.

Il contenuto di metalli riscontrato nei campioni di terreno prelevati l'8.6.98 è riportato nelle Tab. 6 e 7, mentre la Tab. 8 mostra i risultati analitici dei campioni prelevati al ciglio stradale e sul fondo della scolina.

Un altro lotto di campioni ha preso in esame una

Tab. 2. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di terreno del 2.5.98: strato 0-15 cm.

ELEMENTI	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Piombo Pb	30	29	27	30	27	32	28	23	28
Cadmio Cd	0,24	0,16	0,16	0,56	0,80	0,52	0,32	0,40	0,20
Zinco Zn	162	114	199	105	134	115	111	88	111

Tab. 3. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di terreno del 2.5.98: strato 15-30 cm.

ELEMENTI	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Piombo Pb	29	28	29	28	24	26	24	24	26
Cadmio Cd	0,40	0,52	0,40	0,16	0,32	0,36	0,40	0,40	0,24
Zinco Zn	102	97	108	103	98	105	95	95	97

Tab. 4. Analisi agronomiche (2.5.98)

CAMPIONI	Ph	Sabbia %	Limo %	Argilla %	Sostanza Organica %	Azoto totale %	C.S.C. Meq/100g
A3	7,4	23,8	50,2	26,0	2,01	0,21	19,6
B2	7,8	15,5	55,0	29,5	1,91	0,17	21,0
C1	7,6	19,5	52,5	28,0	2,50	0,19	18,7

siepe di lauroceraso (*Prunus laurocerasus*) presente nel sito di campionamento (a circa 2 m dal piano stradale) per verificarne l'efficacia come barriera protettiva. Queste analisi hanno riguardato il suolo (campioni S1, S2, S3, S4: Fig. 6), lo strato erbaceo (campioni SE1, SE2, SE3, SE4: Tab. 8) e le foglie della siepe stessa (campioni F1, F2, F3, F4: Tab. 9). Tutti i campioni prelevati davanti alla siepe, rispetto al piano stradale, sono stati identificati con il n.1 e 2, con diverse sigle se si tratta di terreno, erba o foglie; viceversa i campioni prelevati dietro la siepe sono

identificati dai n. 3 e 4. Tale distinzione permette di valutare le differenze nella concentrazione dei metalli pesanti.

Tab. 5. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni erba medica (2.5.98)

ELEMENTI	E1	E2	E3
Piombo Pb	7,3	7,6	7,0
Cadmio Cd	<0,1	<0,1	<0,1
Zinco Zn	30	42	27

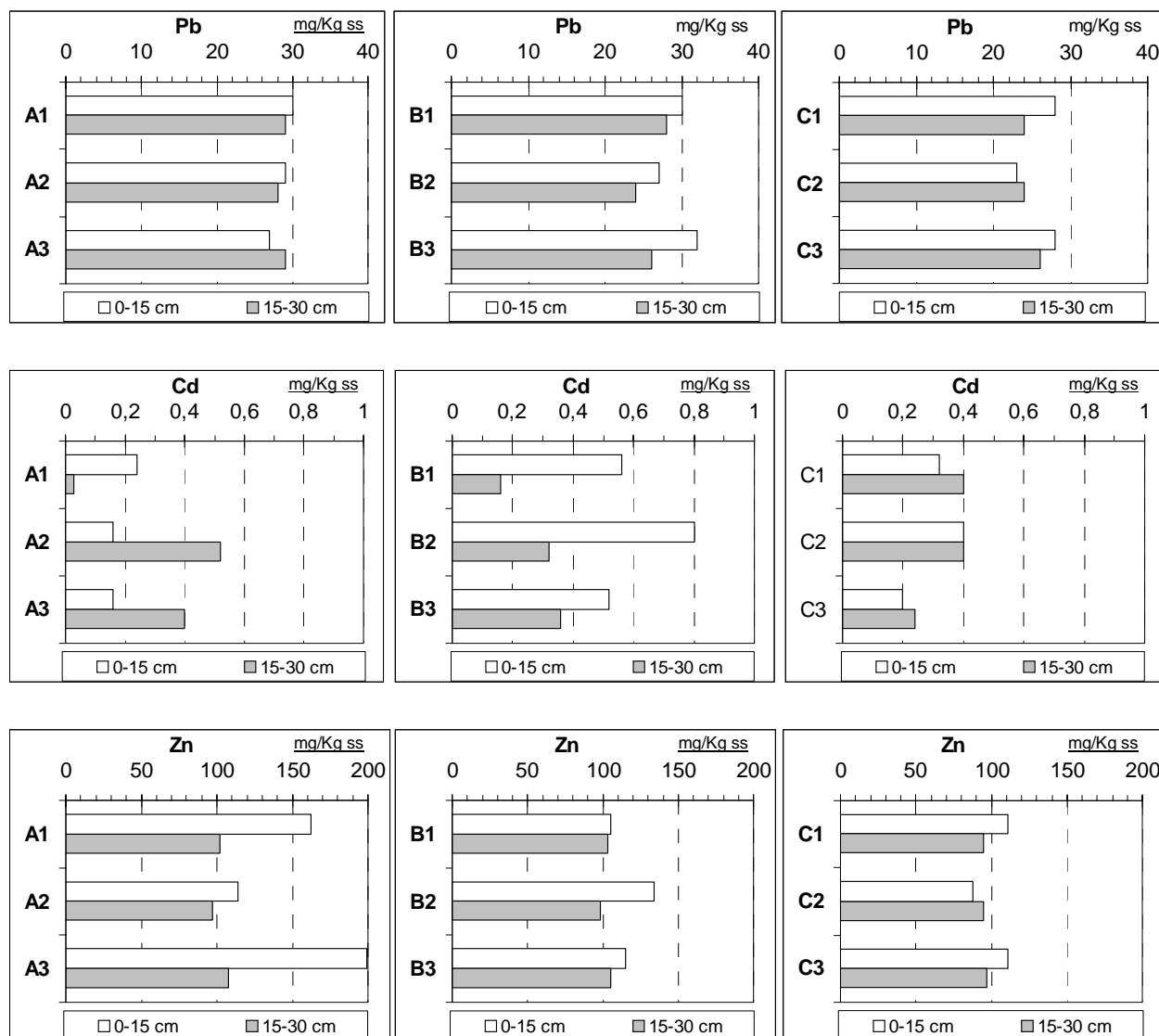


Fig. 4. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di terreno del 2.5.98: strati 0-15 cm e 15-30 cm.

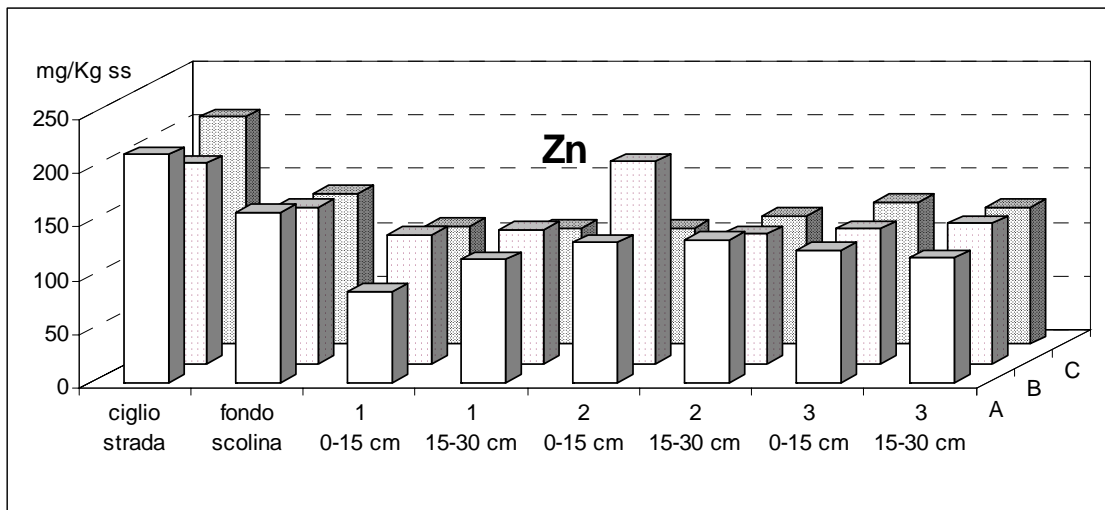
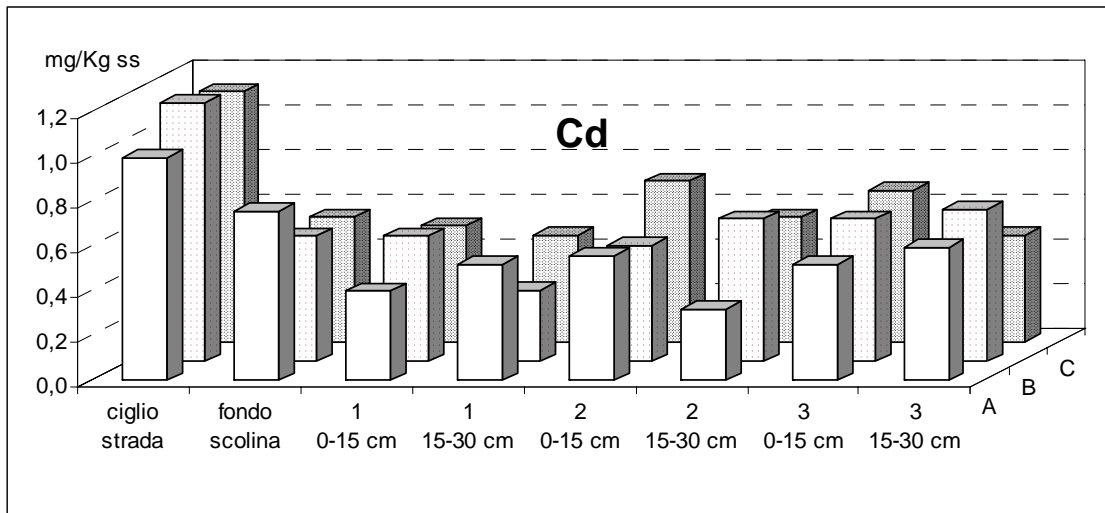
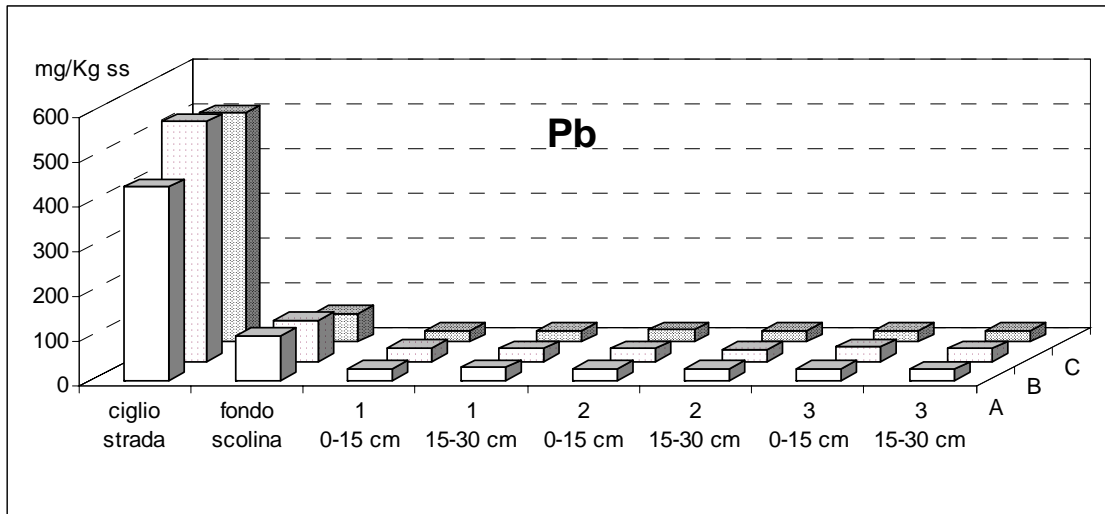


Fig. 5. Andamento di Pb, Cd e Zn (mg/Kg SS) nelle tre serie di campioni (A, B e C) posti a distanza progressivamente crescente dalla strada (posizioni 1, 2 e 3: strati 0-15 cm e 15-30 cm). Per l'ubicazione dei punti di campionamento si veda la Fig. 3.

Tab. 6. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di terreno dell'8.6.98: strato 0-15 cm.

ELEMENTI	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Piombo Pb	27	27	28	29	28	31	25	26	25
Cadmio Cd	0,40	0,56	0,52	0,56	0,52	0,64	0,52	0,72	0,68
Zinco Zn	85	130	123	119	187	125	109	108	132

Tab. 7. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di terreno dell'8.6.98: strato 15-30 cm.

ELEMENTI	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Piombo Pb	29	27	25	28	27	28	25	24	24
Cadmio Cd	0,52	0,32	0,60	0,32	0,64	0,68	0,48	0,56	0,48
Zinco Zn	114	133	116	124	120	130	108	119	127

Tab. 8. Metalli pesanti (mg/kg SS) nei campioni prelevati l'8.6.98 al ciglio stradale e sul fondo della scolina.

ELEMENTI	s (ciglio stradale); f (fondo scolina)					
	As	Af	Bs	Bf	Cs	Cf
Piombo Pb	432	100	534	92	510	64
Cadmio Cd	1,00	0,76	1,16	0,56	1,12	0,56
Zinco Zn	212	158	186	145	211	140

Tab. 8. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di erba dell'8.6.98 prelevati davanti alla siepe (SE1 e SE2) e dietro di essa (SE3 e SE4).

ELEMENTO	SE1	SE2	SE3	SE4
Cd mg/Kg SS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pb mg/Kg SS	6,0	11	4,5	5,7
Zn mg/Kg SS	39	41	34	30

Tab. 9. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di foglie dell'8.6.98 prelevati davanti alla siepe (F1 e F2) e dietro di essa (F3 e F4).

ELEMENTO	F1	F2	F3	F4
Cd mg/Kg SS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pb mg/Kg SS	4,2	4,3	1,80	1,68
Zn mg/Kg SS	36	32	33	31

DISCUSSIONE

I campioni per la determinazione dei parametri agronomici sono stati presi lungo la diagonale del reticolo di campionamento (C1, B2, A3). Le analisi agronomiche (Tab. 5) indicano che l'area in esame ha un terreno di medio impasto, limoso-argilloso, con pH neutro-subalcalino, dotazione media di sostanza organica e tenore elevato di azoto totale. La capacità di scambio cationico (C.S.C.) è su valori medi.

È noto che generalmente con il diminuire del pH del terreno aumenta la concentrazione dei metalli in soluzione per effetto sia della diminuzione di siti disponibili per l'adsorbimento che della protonazione degli anioni deboli precipitanti, con conseguente spostamento dei metalli dalla fase solida.

Per quanto riguarda i metalli presi in esame, in particolar modo per il Pb, essi vengono legati come complessi metallorganici dalla sostanza organica presente nel terreno ed adsorbiti sulle particelle di limo ed argilla, con ordine di sequenza: Cd<Zn<<Cu<=Pb.

In linea generale i terreni più pesanti e ricchi di sostanza organica aumentano la capacità di ritenzio-

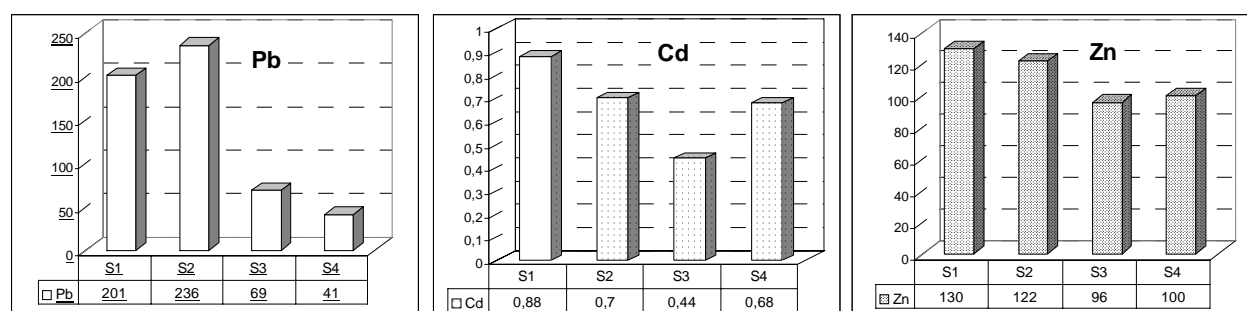


Fig. 6. Metalli pesanti (mg/Kg SS) nei campioni di suolo dell'8.6.98 prelevati davanti alla siepe (S1 e S2) e dietro di essa (S3 e S4).

ne dei metalli pesanti. Valori bassi della C.S.C. (il D.L. 99/92 indica come valore di riferimento 15 meq/100 g), aumentano la mobilità dei metalli pesanti ed il loro maggior assorbimento da parte delle colture.

Le analisi evidenziano dunque uno stato normale del terreno agrario, situazione che è pienamente giustificata dalla vicinanza della zona golenale del Torrente Tiepido e dal tipo di coltivazione (erba medica, nota leguminosa azotofissatrice, che da alcuni anni ricopre l'area presa in esame).

Le analisi fatte sui campioni di erba medica (Tab. 5), mostrano un contenuto di Pb alto, ma inferiore a quello stabilito per legge dal D.M. 24 settembre 1990, n. 322, relativo alle sostanze indesiderabili nei mangimi. Il contenuto di Cd è, invece, basso.

Tale Decreto fissa per il Pb il contenuto massimo nei mangimi semplici a 10 mg/Kg e, per il Cd, a 1mg/Kg.

I valori di Zn sono nella media. Un'indagine eseguita dall'ARPA, sezione provinciale di Modena, nel 1992-93, su un totale di 70 campioni di fieno, dà come valore medio 24,3 mg/Kg di Zn.

I campioni di erba medica prelevati a 5-20-50 m dall'asse stradale presentano un contenuto omogeneo di Pb, Cd, Zn; questo significa che la progressiva distanza dalla strada, fino a 50 m, non influisce sulla presenza di metalli pesanti.

Per quanto riguarda il terreno, in genere i metalli pesanti sono poco solubili; perciò, se esiste un apporto dall'esterno, si arricchiscono gli strati superiori.

In senso generale le analisi chimiche sui campioni di terreno agrario (Tab. 2, 3, 6 e 7) hanno evidenziato un contenuto di metalli pesanti basso, sotto i limiti di legge del D.L. 99/92 ed in linea con i valori del monitoraggio dei suoli della Provincia di Modena (Tab. 1).

Mediamente le aliquote di terreno superficiale (0-15 cm) mostrano un contenuto di Pb e Zn superiore alle aliquote poste a profondità di 15-30 cm. Per il Cd, elemento più mobile nel terreno, tale gradiente è meno evidente.

La presenza di questo gradiente di concentrazione, che diminuisce con la profondità, mostra che – pur trattandosi nel complesso di apporti bassi – una parte dei metalli pesanti contenuti nel terreno agrario ha origine esogena, dovuta al traffico stradale.

Le radici, in genere, rappresentano valide barriere biologiche verso l'assorbimento del piombo. Il cadmio, viceversa, risulta il metallo più assorbito dalle piante. Il cadmio può essere facilmente solubilizzato: ciò comporta una sua grande mobilità ed il suo possibile traslocamento verticale.

Lo zinco nel terreno è legato soprattutto alla sostanza organica ed alle particelle limose: la sua traslocazione dipende perciò anche dalla distribuzione di queste due frazioni granulometriche.

Le serie di campioni (A, B, C) fatti a 5-20-50 m mostra livelli omogenei nel contenuto complessivo di Pb, Zn e Cd. A tali distanze quindi i metalli si distribuiscono uniformemente sul terreno. Viceversa nelle immediate vicinanze della strada, più precisamente sul ciglio stradale (campioni As, Bs, Cs), e sul fondo della scolina che raccoglie le acque piovane e che costeggia la strada (campioni Af, Bf, Cf), le concentrazioni di metalli pesanti sono molto più alte (Tab. 8). In particolare, il Pb raggiunge concentrazioni fino 500 mg/Kg e per Cd e Zn si raggiungono concentrazioni doppie rispetto a quelle del terreno agrario circostante.

LA SIEPE COME BARRIERA PROTETTIVA

La presenza nel sito di campionamento di una siepe di lauroceraso ha consentito di valutarne l'efficacia quale barriera protettiva contro l'inquinamento da metalli pesanti provocato dal traffico stradale. La posizione della siepe è ottimale, in quanto è praticamente a ridosso del piano stradale e non ci sono altri ostacoli che possano inficiare i risultati dei campionamenti.

Non si tratta di una delle tipiche siepi di campagna (caratterizzate da diverse specie, sia arbustive che arboree) ma, non perdendo le foglie durante il periodo invernale, è una preziosa testimone del flusso veicolare stradale nell'arco dell'intero anno.

I campioni di terreno raccolti davanti alla siepe, in corrispondenza al piano stradale (S1, S2), mostrano concentrazioni di metalli pesanti superiori ai rispettivi campioni di terreno raccolti dietro la siepe (S3, S4). Ciò è particolarmente evidente per il Pb, con valori di oltre 200 mg/Kg davanti alla siepe e valori medi di circa 55 mg/Kg dietro di essa. Meno evidenti i risultati per Cd e Zn.

I campioni di erba raccolti davanti (SE1, SE2) e dietro alla siepe (SE3, SE4), mostrano un contenuto omogeneo di metalli pesanti (Tab. 9). Questo riscon-

tro è giustificato dalla rapida crescita dell'erba e, quindi, al limitato tempo di esposizione alla sorgente inquinante (periodo tra uno sfalcio e il successivo).

Viceversa i campioni di foglie della siepe (Tab. 10), mostrano un contenuto di Pb mediamente di 4,2 mg/Kg per i campioni raccolti davanti (F1, F2), cioè più del doppio rispetto al valore medio (1,7 mg/Kg) delle foglie prelevate dietro di essa (F3, F4). Il Cd ha valori molto bassi; lo Zn presenta valori omogenei.

CONCLUSIONI

La sperimentazione ha permesso di mettere in luce alcuni risultati importanti.

Il primo dato rilevante è il basso contenuto totale di metalli pesanti presenti nei campioni di terreno agrario esaminati. Le concentrazioni di Pb, Cd, Zn sono al di sotto dei valori limite indicati dal D.L. 99/92 e sono confrontabili con i dati medi provinciali.

Le analisi hanno evidenziato, nei campioni di terreno, mediamente una concentrazione maggiore di Pb e Zn nello strato superiore (0-15 cm), rispetto allo strato inferiore (15-30 cm). Tale gradiente di concentrazione è attribuibile ad un apporto esterno di elementi inquinanti provenienti dal traffico stradale. Le concentrazioni di Cd sono più disomogenee a causa della alta mobilità di questo elemento nel terreno.

L'alta velocità di transito dei veicoli che percorrono il tratto di strada preso in esame (mediamente superiore a 80 Km/ora) ed il conseguente spostamento d'aria provocano la dispersione uniforme degli inquinanti almeno fino ad una distanza di 50 m dalla strada. Tale distribuzione risulta infatti omogenea per i campioni di terreno presi a 5, 20 e 50 m.

I campioni a immediato ridosso della strada (raccolti sul ciglio stradale e sul fondo del fosso scolina delle acque piovane che delimita la strada stessa) mostrano concentrazioni di metalli molto più alte.

La ricaduta di Pb, Cd e Zn provenienti dal traffico veicolare è dunque massima sul piano stradale; questi elementi si distribuiscono invece in maniera uniforme sui terreni circostanti.

Tali dati sono in linea con quelli pubblicati per le autostrade in Trentino Alto Adige, dal Laboratorio chimico per l'agricoltura Laimburg.

Non risulta quindi un pericolo immediato legato al contenuto di metalli pesanti per le coltivazioni biologiche dell'azienda in esame, come dimostrato

anche dalle analisi eseguite sui campioni di erba medica, ma piuttosto un problema generale di conservazione dell'ecosistema agrario. Anche se lento, il continuo apporto di tali sostanze inquinanti comporta infatti un progressivo innalzamento dei valori di concentrazione.

L'agroecosistema e la fertilità del suolo sono i due beni principali di ogni azienda biologica e come tali vanno difesi, non solo per proteggere le coltivazioni dell'annata agraria, ma con una visione più lungimirante capace di guardare al futuro.

L'adozione di siepi può essere un ottimo sistema di protezione. I risultati della sperimentazione sono migliori dei dati reperibili in letteratura, che stimano l'azione filtrante delle siepi in circa un terzo delle emissioni inquinanti. La siepe di lauroceraso sita nell'area di campionamento – forse a causa del suo carattere sempreverde – è in grado di abbattere (o, meglio, filtrare) circa la metà dell'emissione di piombo dovuta al traffico stradale.

Questi risultati, pur fornendo delle valide indicazioni, non sono da considerare definitivi; andrebbe maggiormente approfondito lo studio delle siepi, mettendo a confronto l'efficacia di diverse altezze e la capacità filtrante di diverse specie vegetali e, soprattutto, andrebbe ulteriormente approfondita l'indagine dell'influenza degli inquinanti provenienti dal traffico stradale sull'agroecosistema.

Quest'ultimo argomento sarà oggetto di una prossima pubblicazione. La ricerca è stata infatti approfondita con l'analisi della biodiversità dell'ecosistema agrario, con il calcolo di indici statistici e con l'utilizzo dei Coleotteri Carabidi come bioindicatori. È stata cioè analizzata la comunità biotica degli artropodi terrestri presenti nel sito di campionamento per cercare di capire come la presenza dei metalli pesanti possa influire sull'entomofauna utile.

Ringraziamenti:

L'autore ringrazia tutti i preziosi collaboratori che hanno reso possibile la realizzazione del presente lavoro, in particolare modo: Il Dr. U. Marverti, la Dr.ssa P. Rossi, G.L. Fogliani, il Dr. V. Boraldi e la Dr.ssa L. Barbieri di ARPA- Sezione provinciale di Modena. Il Dr. M. Coladangelo ed Antonio Compagnoni di AIAB. Il sig. C. Manni per aver messo a disposizione l'azienda biologica.

Bibliografia consultata

- AA.VV., 1991 - Il Tiepido. *Ed. Provincia di Modena*.
- AA.VV., 1997 - Seconda relazione sullo stato dell'ambiente. *Ed. Provincia di Modena*, 607 pp.
- AA.VV., 1998 - La qualità dell'aria nella Provincia di Modena, 7° relazione annuale 1996-1997. *Ed. Provincia di Modena*, 90 pp.
- AA.VV., 1994 - Il controllo dell'ambiente. *Pitagora Editrice*, Bologna, 533 pp.
- R. ATKINSON, A. C. LLOYK, L WINGES, 1982 - Atmospheric environment.
- R.G. BARRY, R.J. CHARLEY, 1968 - Atmosphere, weather and climate. *Methuen*, Londra.
- G. BETTELLI, U. BONAZZI, P. FAZZINI, 1989 - Schema introduttivo alla geologia delle epiliguri dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe. *Mem. Soc. Geol. It.*
- V. DEL VECCHIO, P. VALORI, A. GRELLA, C. MERCHIORRI - Inquinamento atmosferico da autoveicoli. *Il Pensiero Scientifico Ed.*, WHO rapporto n. 410.
- G. GASPERI, M. CREMASCHI, M.P. UGUZZONI, 1988 - Evoluzione plio-quadernaria, del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. *Mem. Soc. Geol. It.*
- A. GRIMALDI - Principi di agronomia. *Edagricole*, Bologna, 325 pp.
- J. HEICHLEN, 1976 - Atmospheric chemistry, *Accademic Press*.
- W. HUBER, 1991 - La contaminazione del terreno ed il traffico stradale. *Monografie Laimburg* n.2, 63 pp.
- P. MAZZALI, 1989 - L'inquinamento atmosferico. *Pitagora Editrice*, Bologna, 224 pp.
- V. NEPOTE, S. DI CARLO - Il veicolo e l'ambiente. *Noi e l'ambiente*, anno XII, n.48, pp.25-27
- F. PASQUILL, 1968 - Atmospheric diffusion. *Van Nostrand Co*, Londra.
- W. RUSSEL - Il terreno e la pianta. *Edagricole*, Bologna, 564 pp.
- P. SEQUI, 1989 - Chimica del suolo. *Patron Editore*, Bologna, 608 pp.
- A. SACCHETTI - Relazione introduttiva al dibattito CRIAER su problemi del traffico autoveicolare. *Regione Emilia Romagna*
- E. TIEZZI, 1997 - Analisi di sostenibilità ambientale. Città di Vignola.
- R. VISMARA, 1992 - Ecologia applicata. *Hoepli Editore*, Milano, 771 pp.