

Premessa

L' Agenda 21 Laghi, processo di sostenibilità ambientale portato avanti da 20 Comuni aggregatisi nell'intento collettivo di qualificare, salvaguardare e proteggere il territorio limitrofo al Lago Maggiore e ad altri laghi della Provincia di Varese, di Monate, di Comabbio e di Biandronno, ha coinvolto diversi enti, prendendo in esame le tematiche ambientali preminenti per **giungere ad una valutazione complessiva dello stato del territorio**, in modo da poter rilevare eventuali emergenze e criticità e quindi intervenire in merito.

Il processo, avviato ormai dal 2002, ha promosso e porta avanti una fitta serie di iniziative riguardanti impegni innanzitutto in campo ambientale, per valutare lo stato dell'ambiente, e quindi economico e sociale, il tutto tenendo conto della sostenibilità ambientale ed economica locale.

Le **aree tematiche considerate** sono state **l'acqua, l'aria, il territorio, il Progetto locale e lo sportello Ambiente**. Per completare la valutazione ambientale del territorio l'attenzione di Agenda 21 Laghi si è volta quindi al **suolo**, che costituisce, insieme all'acqua, l'ecosistema a cui afferisce tutto ciò che deriva dall'attività umana, e che costituisce il supporto e substrato per l'attività umana stessa e per gli organismi che, come produttori primari, stanno alla base di tutte le forme di vita, vale a dire i vegetali. Le piante costituiscono infatti il punto di partenza di un complesso fittissimo di reti ecologiche che coinvolge l'ambiente e gli esseri che lo popolano, e traggono dal suolo l'acqua e le altre sostanze indispensabili per produrre, attraverso la fotosintesi, la sostanza organica.

Sulla base di queste premesse, lo studio dell'ecosistema suolo sta diventando sempre più necessario e importante, e viene svolto attraverso metodiche che cercano sempre più di rilevarne complessivamente lo stato, tenendo conto di tutte le sue componenti.

La prof.ssa Paola Ferrazzi, docente del Di.Va.P.R.A. (Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali) dell'Università degli Studi di Torino, settore di Entomologia e Zoologia applicate all'Ambiente "Carlo Vidano", si occupa da tempo, con i suoi collaboratori, di ricerche sul suolo condotte con metodi biologici, che consentono di valutarne le condizioni in maniera globale campionando ed esaminando molte delle piccole specie animali che lo popolano.

Il colloquio tra gli Esponenti di Agenda 21 Laghi e la prof.ssa Ferrazzi ha messo in luce le potenzialità di questa ricerca e di una collaborazione che si è tradotta nella stipula

di una convenzione con il Di.Va.P.R.A. (responsabile scientifico prof. Ferrazzi) ed il conferimento di una cifra corrispondente ad un assegno di ricerca, vinto dalla dott.ssa Federica Berger, provvista di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali e dottoranda di ricerca.

L'attività di ricerca svolta a seguito della convenzione ha permesso di approfondire, con indagini specifiche e mirate, le condizioni della qualità dei suoli locali. Sono stati utilizzati metodi globali e riassuntivi basati essenzialmente sullo studio della fauna edafica, vale a dire dei principali invertebrati del suolo, e segnatamente dei microartropodi di questo complesso ecosistema, fornendo un ulteriore contributo al monitoraggio ambientale già effettuato sull'aria del territorio di Agenda 21 Laghi tramite i licheni. L'analisi della biodiversità lichenica aveva fornito infatti risultati non incoraggianti sulla qualità di tale comparto ambientale nell'ambiente di Agenda 21 Laghi, che sembrerebbe invece privilegiato per i suoi aspetti paesaggistici di pregio e per l'ipotizzabile assenza di cospicue fonti di inquinamento.

Introduzione

La qualità della vita risulta legata alla qualità del territorio, in funzione ad un gran numero di fattori: le varie forme di inquinamento dovute all'impatto di emissioni motoristiche e industriali, dei sistemi di produzione di energia e di riscaldamento, dei rifiuti e degli scarichi civili e industriali, dei prodotti fitosanitari, del rumore, le alterazioni del paesaggio, la riduzione degli ambienti naturali e delle attività tradizionali.

Il territorio deve essere visto come un'entità globale, che comprende ambiente urbano e rurale, una grande varietà di ecosistemi: pianura, collina, montagna, fiumi e torrenti, laghi, coltivi, e tutti i comparti ambientali, atmosfera, acqua e suolo, che non possono essere disgiunti, in quanto le molecole e gli organismi passano in continuità da uno all'altro.

Per promuovere uno sviluppo sostenibile nell'ambito dell'ecosistema suolo, come per l'atmosfera e l'ambiente acquatico, è essenziale conoscere e monitorare la situazione vigente.

La **qualità del suolo** può essere definita come la funzionalità di un suolo nel proprio ambiente, la capacità di sostenere la produttività delle piante e degli animali e di preservare o migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua. L'interesse per la qualità e la salute del suolo è stimolato dalle recenti informazioni riguardo l'importanza che esso

riveste sia per la produzione di cibo che per il generale funzionamento degli ecosistemi (Doran, 2002).

La crescente attenzione per il monitoraggio dei suoli deriva dall'esigenza sempre più sentita di mantenere o ricreare l'integrità di questa matrice, in particolare nei suoli coltivati. Questi ambienti, rispetto agli incolti, sono soggetti agli effetti delle sostanze utilizzate per la difesa delle colture e l'incremento della produttività, subendo continui attacchi alla loro integrità, essenziale per uno sviluppo rispettoso dell'ambiente. Il suolo è un fattore fondamentale per il settore agricolo: mantenere un'elevata qualità del suolo deve essere tra i primi obiettivi di un'agricoltura sostenibile. La qualità e la fertilità del suolo sono essenziali per consentire lo sviluppo di un'agricoltura di pregio soprattutto in territori in cui tale attività riveste un ruolo più ambientale e paesaggistico che economico. Particolari prodotti agricoli di valore, collegati ad un ambiente integro, possono richiamare un turismo gastronomico, indiscussa fonte di riconoscimento e pubblicità.

La scienza può dare un contributo essenziale alla gestione sostenibile del suolo, trasferendo le conoscenze scientifiche e le informazioni sulle funzioni del suolo in strumenti e approcci pratici dai quali i "gestori" pubblici e privati del suolo stesso possono stimare la sostenibilità delle loro pratiche di gestione (Doran, 2002).

L'obiettivo principale del progetto è apportare un maggior grado di conoscenza della qualità dei suoli presenti nel territorio compreso all'interno dei comuni aderenti all'Agenda 21 Laghi.

L'importanza e l'utilità degli organismi del suolo come indicatori della qualità e determinanti della salute del suolo è ormai comprovata. Tra i molteplici indicatori della qualità del suolo, gli organismi edafici e i parametri biotici (es. abbondanza, diversità, struttura delle reti trofiche o stabilità delle comunità) rispondono bene ai criteri richiesti per stimare la sostenibilità delle pratiche agricole (Doran, 2000).

Poiché la **pedofauna** rappresenta l'indicatore fondamentale dei delicati equilibri del suolo, della sua fertilità e di ogni alterazione dell'ambiente, naturale o antropica, è stata presa in esame al fine di produrre una caratterizzazione della zona analizzata tramite monitoraggio del suolo, utilizzando indici biotici, qualitativi e quantitativi, in modo da ottenere un quadro preciso della situazione, base necessaria per ogni successivo intervento di gestione e valorizzazione ambientale.

Tale progetto integra quelli già condotti o in fase di svolgimento nella zona, rappresentati da un'indagine sull'atmosfera, attraverso il monitoraggio dei licheni, e da un'indagine sulle acque, fornendo un quadro completo della situazione ambientale in linea con gli obiettivi dell'Agenda 21.

Alcuni degli indici utilizzati nella ricerca forniscono i valori di biodiversità dell'area, indicatore chiave della sostenibilità e capacità tampone di un ambiente (Wolfgang, 2003), fattore molto importante per uno sviluppo sostenibile.

Lo studio della biodiversità è uno strumento chiave nelle politiche ambientali presupponendo che gli animali, le piante, i microrganismi e le loro complesse interazioni siano direttamente condizionati dalla gestione e dagli impatti sul territorio in diversi modi: ...alcuni organismi rispondono più velocemente e più definitivamente di altri (Paoletti, 1999).

Tale studio contribuisce allo stato dell'arte per quanto riguarda la biodiversità degli animali associati ai suoli e la loro risposta alle perturbazioni che intervengono sul territorio e in questo ecosistema.

La consapevolezza che il suolo rappresenti una risorsa limitata e vulnerabile è un'acquisizione di questi ultimi anni, tale, quindi, da richiedere la promulgazione di normative efficaci con il duplice scopo di conservarne la vocazionalità produttiva e di proteggerlo dalle differenti forme di degrado.

Suolo

Il suolo è un ecosistema che si situa nell'interfaccia tra atmosfera, litosfera e biosfera, dal quale la vita terrestre attinge larga parte dei suoi fabbisogni e al quale infine restituisce i prodotti delle sue biosintesi.

All'interno della matrice suolo possiamo individuare tre distinte frazioni: la frazione solida (minerale e organica), la frazione acquosa e quella gassosa che deriva dall'atmosfera e dai processi respiratori effettuati dagli organismi edafici.

Il suolo è una risorsa dinamica composta da particelle minerali, sostanza organica e numerose specie di organismi che lo rendono un ecosistema estremamente complesso e tra i più ricchi della biosfera.

E' in questo habitat complesso che avvengono i processi pedogenetici e la componente biotica e quella abiotica, interagendo tra loro, regolano la degradazione e il riciclo della sostanza organica e dei nutrienti.

Reti trofiche nel suolo

I nutrienti essenziali (circa 30 elementi) si riciclano tra l'ambiente abiotico e l'ambiente biotico attraverso l'attività dei produttori primari, dei consumatori e dei decompositori. I produttori primari introducono gli elementi nell'ambiente biotico incorporandoli in composti organici, i consumatori e decompositori restituiscono gradatamente gli elementi all'ambiente abiotico degradando molecole organiche complesse in molecole inorganiche semplici.

Le reti trofiche nel suolo non sono mai complete, in quanto mancano praticamente gli organismi autotrofi (produttori primari) e prevalgono gli organismi decompositori. Sono poi presenti reti parallele, come ad esempio i predatori, che hanno soprattutto la funzione di controllare la densità e la struttura delle comunità edafiche.

Fauna edafica

Gli organismi maggiormente rappresentati nel suolo sono i Batteri, i Funghi, i Protisti e diversi gruppi di animali, soprattutto Nematodi, Anellidi, Insetti e Acari; gli ultimi due gruppi appartengono al phylum Artropodi.

La fauna del suolo svolge un ruolo fondamentale nella degradazione della sostanza organica, soprattutto operandone la frammentazione, così che le molecole possono essere più facilmente raggiunte e degradate dai microrganismi che portano a termine i cicli geochimici degli elementi.

Sono inoltre importanti le trasformazioni che gli animali edafici arrecano nel suolo grazie ai loro movimenti, effettuando un rimescolamento degli strati e portando i nutrienti in profondità, migliorando così importanti caratteristiche fisiche e chimiche come porosità, areazione, struttura del suolo e capillarità.

Importanti esponenti delle comunità animali del suolo sono i microartropodi, invertebrati appartenenti, per le loro dimensioni, per lo più alla mesofauna (0,2-4 mm), che hanno un'importante funzione regolatrice nei processi microbici della rizosfera e quindi influenzano significativamente il ciclo dei nutrienti e la crescita delle piante (de Ruiter et al., 1998).

La mesofauna del suolo gioca un ruolo essenziale soprattutto negli agroecosistemi, mantenendo la loro funzionalità e produttività (Wardle et al., 1995).

La fauna edafica, insieme agli altri organismi presenti nel suolo, è quindi essenziale nei processi di degradazione della sostanza organica e, di conseguenza, per la fertilità del suolo medesimo.

Gli animali edafici hanno sviluppato degli **adattamenti morfologici e comportamentali** per vivere in questo ambiente; maggiore è il grado di adattamento e più l'animale risulta essere vulnerabile alle alterazioni dell'habitat perché incapace di abbandonarlo in condizioni avverse.

Vari sono gli adattamenti degli animali alla vita edafica e vari sono anche i gradi di questi adattamenti, i più frequenti sono la microftalmia o anoftalmia, la depigmentazione, presenza di organi igrorecettori, chemiorecettori e termorecettori e la riduzione delle appendici del corpo.

Conseguenze dell'oscurità che vi è nel suolo sono la microftalmia, riduzione degli organi visivi, e l'anoftalmia, assenza degli organi visivi, che vengono sostituiti da altri organi sensoriali idonei alla vita ipogea.

La depigmentazione, cioè la perdita di colore e l'assottigliamento dell'esoscheletro, è conseguenza della mancanza di luce indispensabile per la formazione della chitina (principale componente dell'esoscheletro); questo adattamento espone gli individui a un maggior rischio di disidratazione.

La presenza di organi di senso che percepiscono le variazioni di umidità (igrorecettori), di temperatura (termorecettori) e la presenza di alcune sostanze (chemiorecettori) sono essenziali per permettere all'animale di superare la mancanza di organi visivi e il rischio di disidratazione.

Si assiste negli animali edafici a una riduzione delle appendici (fig.1), come ad esempio antenne, zampe, organi di salto, poiché sarebbero di ostacolo nei movimenti.



Fig.1 - Collemboli con diverso grado di adattamento alla vita edifica. A sx collembolo epiedafico, a dx collembolo euedafico.

Principali gruppi della fauna edafica

Nematoda

I Nematodi sono anche detti “vermi cilindrici”, presentano forma allungata con un'estremità appuntita, sono lunghi da 0,5 a 3 mm e sono generalmente di colore chiaro.

Costituiscono una frazione notevole del popolamento edafico (un suolo in buone condizioni può contenere un numero di individui pari a 10^7 /m² con una biomassa di 355 g) e vivono nel sottile film d'acqua che ricopre le particelle di terreno o nelle radici delle piante.

Possono avere vari regimi alimentari, essere detritivori, predatori, microfagi o parassiti di piante o animali; rivestono un ruolo importante nella degradazione della sostanza organica soprattutto controllando il popolamento microbico.

Annelida Oligochaeta

Come tutti gli anellidi hanno il corpo diviso in segmenti detti metameri e presentano setole sull'epidermide importanti nella determinazione tassonomica.

Gli oligocheti maturi presentano un clitello, regione ghiandolare di un gruppo di segmenti ispessiti nella metà anteriore del corpo, che secerne muco per la copula e il bozzolo, che contiene spermatozoi e uova e quindi i giovani nati dalle uova fecondate.

Hanno respirazione cutanea, quindi risentono delle variazioni di temperatura e umidità reagendo con migrazioni in zone del suolo in cui i valori di tali parametri sono favorevoli; in casi estremi mettono a punto risposte come la diapausa (rallentamento dell'attività fisiologica) e la quiescenza (arresto reversibile dei processi vitali fondamentali) per superare periodi particolarmente sfavorevoli.

Gli habitat favorevoli alla maggior parte degli oligocheti sono i suoli umidi e ricchi di sostanza organica; la loro attività produce, come avviene per la pedofauna in genere, un effetto positivo sulla struttura del suolo, inoltre essi rivestono un ruolo importante nel processo di umificazione della sostanza organica.

Lumbricidae

Famiglia di oligocheti comunemente detti lombrichi o "vermi di terra" (fig.2), le loro setole microscopiche in genere sono quattro coppie su ogni segmento.

Enchytraeidae

Conosciuti come enchitreidi o "vermi bianchi" possono essere sia marini che terrestri, nel suolo preferiscono ambienti molto umidi.

Le setole sono raggruppate in ciuffi e il clitello presenta un solo strato cellulare.

Mollusca Gastropoda

Le specie terrestri sono comuni e hanno dimensioni molto varie, quelle che vivono nel suolo possono misurare anche pochi millimetri.



Fig.2 – Lombrichi.

Molte specie presentano una conchiglia calcarea (chioccioline) ma alcune sono “nude” (limacce).

Il loro regime alimentare è solitamente erbivoro, ma esistono anche specie carnivore.

MICROARTROPODI

Con il termine **microartropodi** si intendono tutti gli artropodi (animali invertebrati, provvisti di esoscheletro e con zampe articolate), di dimensioni (almeno come larghezza) generalmente inferiori a 2 mm. I microartropodi sono di gran lunga il tipo zoologico quantitativamente più importante nella biologia del suolo, sia per numero di individui, biomassa e ruoli trofici, sia per il numero di specie con cui sono rappresentati i vari gruppi (Parisi, 1974). Tra i microartropodi i gruppi più rilevanti quantitativamente sono gli acari e i collemboli.

Arthropoda

Arachnida (4 paia di zampe)

Araneae

Sono i comuni ragni (fig.3), presentano dimensioni molto varie, da 1 mm a pochi cm.

Il corpo risulta diviso in due parti: il cefalotorace (prosoma) e l'addome (opistosoma); presso l'apertura boccale i ragni presentano un paio di cheliceri, appendici che introducono il veleno nelle prede; sono tipicamente predatori.

Le specie terricole vivono soprattutto nei primi strati di suolo o in superficie e hanno dimensioni inferiori ai 2 mm.

Palpigrada

I palpigradi hanno dimensioni comprese tra 0,5 e 3 mm, sono animali molto rari che si trovano nel suolo o sotto le pietre, dove c'è un'umidità elevata. Presentano un sottile



Fig.3 - Famiglia Araneae.

tegumento biancastro e sono privi di occhi; il corpo termina con un flagello simile a una frusta.

Opilionida

Gli opilionidi hanno dimensioni mediamente comprese fra 3 e 10 mm, esclusi gli arti, e sono simili ai ragni, ma il corpo è ovoidale e senza strozzatura tra la parte anteriore e posteriore.

Preferiscono habitat umidi, sono frequenti nelle grotte, nell'humus, sul suolo forestale e sul legname in piedi o caduto. Sono generalmente predatori, ma alcuni possono essere detritivori.

Pseudoscorpionida

I pseudoscorpionidi non superano mai gli 8 mm, sono piuttosto comuni ma, per le ridotte dimensioni e gli habitat frequentati (lettiera fogliare, suolo, cortecce) si vedono di rado. Sono simili ai veri scorpioni, con due grandi pedipalpi, ma non presentano l'aculeo addominale. Si nutrono di piccoli artropodi come collemboli e acari, che vengono paralizzati o uccisi con il veleno dei pedipalpi.

Acarida

Le dimensioni degli acari (fig.4) sono ridotte, da 0,1 a 2 mm, la loro forma è sovente tondeggianta od ovalare. Gli stadi giovanili presentano soltanto 6 zampe.

Gli acari costituiscono una delle principali componenti della fauna del suolo; costituiscono un gruppo ubiquitario e con abitudini alimentari molto varie.

Gli acari predatori sono importanti regolatori della microfauna e mesofauna edafica; il loro ruolo è essenziale nel funzionamento delle reti trofiche. Gli acari detritivori accelerano i processi di decomposizione attraverso la distribuzione di Funghi e Batteri, il trasporto di prodotti decomposti e la frammentazione dei detriti vegetali.

Questo gruppo è diviso sistematicamente in sette ordini, quattro dei quali comprendono specie terricole molto importanti nel sistema suolo (Allison, 1973).



Fig.4 – Acari.

Cryptostigmata o Oribatida. Oribatidi o acari “coleotteri”, sono di ridotte dimensioni, molto sclerotizzati, abbondanti nel suolo e nella lettiera. Carattere morfologico esclusivo di questo ordine sono i tricobotrii, presenti sui margini anteriori del dorso. Si cibano di funghi, alghe e materiali animali e vegetali in decomposizione.

Mesostigmata o Gamasida. Lo gnatosoma (regione cefalica che porta le appendici boccali) presenta un’espansione dorsale che copre i cheliceri (primo paio di appendici con funzione alimentare).

Prostigmata o Trombidiformes. Acari con uno o due paia di spiracoli alla base dei cheliceri, hanno il corpo per lo più biancastro e zampe ben sviluppate. Si tratta di un ampio gruppo molto diversificato che comprende numerosi fitoparassiti, come i ragnetti rossi.

Astigmata. Acari con corpo molle, biancastro e con lunghe setole, privi di aperture stigmatiche. Sono specie parassite o a vita libera; alcuni sono predatori fitofagi, saprofagi e fungivori.

Pauropoda

I paupodi sono piccoli animali di dimensioni tra i 0,5 e i 2 mm. Questi animali hanno un corpo non sclerificato, sono ciechi e lucifughi. Il corpo è costituito generalmente da 11 segmenti con 9 paia di zampe; sul capo sono presenti antenne bifide, un ramo delle quali si divide ulteriormente.

Questi artropodi, non essendo in grado di scavare, si trovano solo nei primi strati del suolo in ambienti molto umidi e ricchi di detriti.

Symphyla

L’ordine comprende unicamente forme edafiche che presentano esoscheletro molle e depigmentato (fig.5). Questi miriapodi, lunghi da 1 a 8 mm, sono privi di organi visivi; il corpo è formato da 14 segmenti di cui 12 sono provvisti di zampe; l’ultimo ha un paio di cerci. Le fasi giovanili hanno soltanto sei paia di zampe e ad ogni muta ne acquistano un paio.

I sinfili vivono nel suolo o nella lettiera dove si nutrono di sostanze vegetali.



Fig. 5 – Sinfilo.

Ferrazzi

Exapoda

Protura

Insetti edafici primitivi di dimensioni ridotte, da 0,5 a 2 mm, sono depigmentati con capo conico privo di antenne e di occhi. L'addome è formato da 12 segmenti, il primo paio di zampe è proteso in avanti con funzioni tattili, le altre due paia hanno funzioni deambulatorie.

L'apparato boccale è pungente succhiante, generalmente contenuto in una tasca da cui viene estroflesso durante la nutrizione; il nutrimento è costituito da alghe e miceli fungini presenti nella sostanza organica.

Questi artropodi vivono nell'humus, sotto le cortecce e le pietre in ambienti umidi.

Diplura

Piccoli insetti (fig.6) con corpo di forma allungata e appiattita, biancastro e molle che può raggiungere anche i 10 mm. Il capo è privo di occhi e porta lunghe antenne; all'estremità dell'addome sono presenti due cerci che possono essere uniarticolati o multiarticolati.



Fig.6 – Dipluro.

I dipluri vivono nell'humus, nel legno in decomposizione e sotto pietre e cortecce; come regime alimentare sono detritivori e microfagi.

Collembola



Fig.7 - Collembola Symphypleona.

L'ordine dei collemboli è il più numeroso tra gli apterigoti (insetti primitivi privi di ali).

Ne fanno parte insetti atteri e di piccole dimensioni, la lunghezza può andare dai 0,5 ai 9 mm, suddivisi in due sottordini in cui cambia l'aspetto generale del corpo: nei Symphypleona (fig.7) globoso e senza una visibile divisione dei segmenti addominali, negli Arthropleona (fig.8) allungato con segmenti addominali ben distinti.



Fig.8 -Collembolo Artropleone epiedafico



Fig.9 -Collembolo Artropleone emiedafico



Fig.10 -Collembolo Artropleone euedafico

A seconda del grado di adattamento alla vita edafica (Fig. 8,9,10) la pigmentazione e la sclerificazione del tegumento variano notevolmente; spesso il corpo è coperto di scaglie e peli.

Il capo presenta 2 antenne di 4 - 6 articoli e un numero variabile di ocelli che possono essere circondati da una zona pigmentata che dà l'idea di un occhio composto. Le zampe mancano di segmenti tarsali e terminano con 1 o 2 unghie.

L'addome, a differenza degli altri insetti, è formato soltanto da 6 segmenti.

Nelle specie epigee o intermedie, tra il terzo e quarto segmento addominale è presente un organo per il salto, la furca. Questo organo è tenuto ripiegato sotto l'addome tramite il retinacolo, struttura formata da appendici parzialmente fuse dei segmenti addominali, e viene liberato quando l'insetto deve compiere dei salti.

Questi insetti prediligono habitat molto umidi e con pH acido, si trovano nella lettiera, nel suolo e nel legno marcescente, si nutrono di materiale vegetale in decomposizione e di funghi; sono importanti come bioindicatori.

MACROARTROPODI artropodi di dimensioni > 2 mm

Diplopoda



Fig.11 - Millepiedi

Classe di artropodi noti con il nome comune di millepiedi (fig.11); essi hanno corpo allungato con dimensioni che possono variare dai 2 mm a qualche centimetro, con tegumento duro impregnato di sali di calcio.

Il capo, convesso dorsalmente, porta brevi antenne; il tronco è formato da diversi segmenti, di cui

il primo non porta zampe, il secondo, terzo e quarto ne portano solo un paio mentre i seguenti sono caratterizzati dalla presenza di due paia di zampe.

I millepiedi sono per la maggior parte erbivori, vivono soprattutto nella lettiera, sotto le cortecce e tra le pietre.

Chilopoda

Classe di miriapodi divisa in quattro ordini, generalmente quelli con sagoma filiforme sono adattati a vivere nel suolo (Geophilomorpha) (fig.12), altri, più appiattiti e massicci, vivono in fessure sotto le cortecce, le pietre e nel suolo (Scolopendromorpha e Lithobiomorpha).

Essi hanno dimensioni anche rilevanti, nei nostri climi arrivano fino a 6 cm. Il capo ha due antenne con funzione sensoriale, utili nell'individuazione delle prede e gli occhi sono spesso assenti; il corpo è allungato e i segmenti del tronco portano un paio di zampe, il primo paio dotato di ghiandole velenifere con funzione offensiva.

Sono predatori e la parte principale della loro dieta è rappresentata da piccoli artropodi.



Fig.12 – Centopiedi.

Crustacea

Isopoda

In quest'ordine sono terrestri soltanto gli appartenenti al sottordine degli oniscidi (fig.13), noti come “porcellini di terra”; possono arrivare come dimensioni ai 2 cm.

Il corpo è appiattito dorso-ventralmente, il capo ha forma di scudo, le prime antenne sono vestigiali, gli occhi sono composti e sessili. Il primo paio di appendici toraciche è modificato in massillipedi, le altre sette paia sono ambulatorie. Il tegumento è fortemente sclerificato e la colorazione del corpo è spesso adattata a quella del substrato.



Fig.13 - Isopoda.

Gli oniscidi vivono sotto le pietre e nei primissimi strati di suolo, la loro presenza è condizionata dall'umidità e spesso dal contenuto di calcio del terreno.

Exapoda (Insetti)

Microcoryphia

Ordine di insetti atteri con corpo cilindrico, depresso lateralmente, di dimensioni superiori a 5 mm, con tre appendici all'estremità dell'addome.

Questi artropodi si nutrono di alghe, licheni e muschio e vivono nella lettiera, sotto le pietre e le cortecce.

Zygentomata

Noti come “pesciolini d'argento”, sono insetti primitivi atteri simili ai precedenti, con i quali una volta formavano l'ordine dei Tisanuri, ma il loro corpo è depresso dorso-ventralmente.

Presentano un corpo allungato poco sclerificato, dimensioni oltre i 5 mm, occhi ridotti o assenti e tre cerci all'estremità dell'addome. Vivono presso le pietre, tra foglie e legno morto; alcune famiglie vivono a stretto contatto con l'uomo nutrendosi di materiale organico, come ad esempio residui cartacei.

Dermaptera

Insetti dotati spesso di ali, a volte il primo paio è coriaceo (tegmine) e ricopre, con funzione protettiva, il secondo. Il corpo è allungato e termina con cerci grossi simili a pinze, da cui il nome comune di forbicine. Il capo è ben distinto dal torace, l'apparato boccale è masticatore e gli occhi sono composti. I dermatteri sono notturni e con abitudini alimentari onnivore.

Orthoptera

Ordine a cui appartengono grilli, cavallette, insetti stecco e mantidi, generalmente di dimensioni ben superiori ai 5 mm, per cui è difficile estrarli tramite il selettore di Berlese-Tullgren. Ci sono specie attere o alate, queste ultime spesso hanno le ali anteriori coriacee che proteggono le posteriori ripiegate a ventaglio.

L'apparato boccale è masticatore, il comportamento trofico è per lo più da erbivoro; le zampe sono spesso adattate per compiere varie funzioni, quelle posteriori sono modificate per il salto nei gruppi epigei, mentre i grillotalpa hanno il primo paio di zampe modificato per lo scavo.

Embioptera

Piccoli insetti eterometaboli, hanno corpo esile, non sclerificato, con capo e occhi grandi. Le specie europee sono tipicamente attere nelle femmine, mentre i maschi di alcune specie sono alati. Gli embiotteri spesso sono gregari e vivono nel suolo in gallerie di seta che tessono per mezzo di secreti prodotti da ghiandole localizzate nei tarsi delle zampe anteriori. Si nutrono essenzialmente di vegetali.

Blattaria

Ordine di insetti soprattutto tropicali, con corpo ovale appiattito dorso ventralmente, di colore bruno nerastro o ocrea con due cerci all'estremità dell'addome; apparato boccale masticatore e lunghe antenne filiformi. Molte specie sono detritivore.

Psocoptera

Piccoli insetti pallidi, atteri o alati, con antenne filiformi, sono noti come pidocchi dei libri o delle cortecce. Hanno apparato boccale masticatore e si nutrono di muffe, alghe, piccoli funghi e polline.

Vivono sotto le cortecce, nella lettiera e sotto le pietre.



Fig.14 – Psocottero.

Hemiptera

Il termine deriva dal greco *hemi*, cioè mezzo, ed è riferito al fatto che alcuni di questi insetti, quando sono a riposo, sembrano avere solo delle mezze ali. A questo ordine appartengono cicale, cimici, afidi e cocciniglie, che presentano come carattere comune un apparato boccale pungente succhiante formato da 4 stiletti, a riposo contenuti nel cosiddetto rostro o labbro inferiore e mantenuti accostati alla parte ventrale del corpo, e antenne di pochi articoli. Sono fitofagi, predatori o parassiti di vertebrati.

In passato questo ordine era stato diviso in due ordini: Homoptera ed Heteroptera.

Heteroptera

Sono le comuni cimici; anche in questo caso il nome dell'ordine deriva dal greco *heteros*, differente, ed è riferito alle ali anteriori (emielitre) che hanno una parte sclerificata e una membranosa.

Gli appartenenti all'ordine sono sia fitofagi che carnivori; molti presentano ghiandole odorifere a scopo repulsivo.

Homoptera

Questo ordine comprende le cicale, le cicaline, gli afidi e le cocciniglie. Dal greco *homos*, uniforme, è riferito all'ala anteriore, che può essere o completamente membranosa o interamente sclerificata. Il capo è inclinato verso il basso. Tutte le specie sono fitofaghe e si nutrono di linfa.

Thysanoptera

Ordine di piccoli insetti di circa 1 mm di dimensioni, di colore scuro, forma stretta e appiattita e generalmente con due paia di ali strette e frangiate da cui il nome che deriva dal greco, *thysanos* cioè frangia. Numerose specie sono attere, ma anche all'interno della stessa specie possono coesistere forme alate e prive di ali. Il capo è provvisto di occhi composti piccoli e sporgenti e di tre ocelli, le antenne sono corte, formate al massimo da dieci articoli; l'apparato boccale è pungente-succhiante, asimmetrico.

La maggioranza delle specie è fitofaga, ma alcune possono essere predatrici o nutrirsi di funghi e sostanze in decomposizione, si trovano spesso sulla vegetazione, sotto le cortecce e tra le foglie cadute.

Coleoptera

Questo ordine è il più ampio degli insetti; i coleotteri (fig.15) hanno corpo sclerificato e apparato boccale masticatore. Le ali anteriori sono sclerificate (elitre) e ricoprono quelle posteriori membranose, da questa caratteristica deriva il termine coleotteri dal greco *col/cos*, fodero .



Fig.15 – Coleottero Stafilinide.

Le antenne variano molto tra le diverse specie, gli occhi sono composti e gli ocelli sono presenti solo in qualche gruppo. I coleotteri sono insetti olometaboli, con giovani, detti larve, molto diversi rispetto agli adulti: il capo è sempre ben strutturato ed evidente, con apparato boccale masticatore; spesso sono presenti, come nella generalità degli insetti, sei zampe toraciche, ma le larve di alcune famiglie sono apode.

Gli insetti di quest'ordine sono per lo più fitofagi (tra cui molti xilofagi), ma possono essere anche predatori, coprofagi e saprofagi.

Hymenoptera

Le specie più conosciute appartenenti a questo ordine sono le api, le formiche, le vespe.

Sono insetti dotati spesso di due paia di ali membranose dal greco *hymen*, membrana, ma in alcuni gruppi esistono individui atteri; il primo paio di ali è di dimensioni maggiori rispetto al secondo.

L'apparato boccale è masticatore o lambente-succhiante. Gli adulti si nutrono di nettare, polline, secreti vegetali vari, emolinfa animale e prede vive. Gli occhi composti sono quasi sempre di grandi dimensioni, e spesso sono presenti tre ocelli.

Le larve hanno apparato boccale masticatore e sono fitofaghe, fillofaghe e polifaghe.

Quest'ordine è secondo solo ai Coleotteri come numero di specie; i membri sono estremamente vari per dimensioni, aspetto e abitudini. Viene diviso in due sottordini, Symphyta e Apocrita.

Al sottordine dei **Symphyta**, appartengono i rappresentanti più primitivi dell'ordine, la caratteristica morfologica che li accomuna è l'assenza di un "restringimento" tra torace e addome. Le larve sono generalmente fitofaghe.

Gli **Apocrita** (fig.16) comprendono api, vespe, formiche e molti altri gruppi, molti dei quali sono specializzati e molto evoluti, con una netta separazione tra il torace, a cui si aggiunge il primo segmento addominale, e la restante parte dell'addome. Alcuni gruppi, come i Calcidoidei, sono parassitoidi di altri insetti e vengono sovente impiegati nella lotta biologica.



Fig.16 – Apocrita Chalcidoidea.

Diptera

Questo gruppo comprende mosche, zanzare, moscerini e molti altri insetti con forme del corpo piuttosto varie.

Tutti gli appartenenti a questo gruppo hanno ali anteriori membranose funzionanti e ali posteriori ridotte, a forma di clava, che prendono il nome di bilanceri e servono per regolare l'equilibrio durante il volo. Alcune specie sono attere, soprattutto quelle con abitudini parassite.

Questi insetti hanno due occhi composti, che spesso occupano gran parte del capo, e tre ocelli.

L'apparato boccale è succhiatore e spesso adattato a pungere. Il regime alimentare è molto vario dal nettare, alle sostanze in decomposizione, al sangue.



Fig.17 Larva di Chironomidae.

Le abitudini e i regimi alimentari delle larve variano moltissimo all'interno dell'ordine, alcune famiglie sono completamente fitofaghe, altre parassite, ma la maggior parte hanno larve che si nutrono di sostanze organiche in decomposizione.

Le larve sono sempre apode e molte sono acquatiche.

Si considerano due sottordini, **Nematocera** e **Brachycera**.

I **Nematoceri** sono caratterizzati dall'aver lunghe antenne filiformi e corpo slanciato; spesso si trovano in sciame. Le larve (fig.17) hanno il capo completamente formato, (eucefale), e presentano apparato boccale masticatore.

I **Brachiceri** hanno antenne corte e robuste, il terzo antennero è a volte anulato e può presentare uno sperone o una setola. Il capo delle larve è di dimensioni ridotte.

Biomonitoraggio e bioindicatori

La qualità ambientale è definita da caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. I metodi di analisi biologici sono sempre più impiegati, accanto ai tradizionali metodi chimici e fisici, nella valutazione ambientale.

Lo sfruttamento delle risorse ambientali verificatosi negli ultimi decenni ha prodotto una profonda trasformazione delle caratteristiche fisiche e chimiche degli habitat naturali e, di conseguenza, variazioni delle strutture delle comunità biotiche, con livelli inferiori di funzionalità e stabilità e con banalizzazione, diminuzione o perdita di autoregolazione degli ecosistemi.

Il biomonitoraggio si occupa dello studio delle variazioni ecologiche indotte dall'alterazione dell'ambiente.

Le analisi biologiche valutano indirettamente l'entità di un inquinamento, ne rilevano gli effetti sugli organismi e consentono spesso di individuare anche inquinamenti passati, fornendo un quadro riassuntivo della situazione contingente, forniscono un segnale della contaminazione ambientale e rappresentano il primo step della valutazione globale di un allarme ecologico.

L'analisi biologica richiede lo studio e l'impiego di bioindicatori, vale a dire organismi, o parti di essi, o popolamenti naturali che danno informazioni sulla qualità dell'ambiente attraverso reazioni identificabili e/o quantificabili (morfologiche, fisiologiche, biochimiche, corologiche).

I bioindicatori, per poter essere considerati tali, devono essere sensibili alle variazioni ambientali, vivendo per un periodo sufficiente a subirne gli effetti e le conseguenze devono poter essere rilevabili.

Il biomonitoraggio consente di valutare le modificazioni indotte sugli ecosistemi e sui singoli organismi, fornendo una chiave di lettura dell'ambiente di tipo qualitativo e quantitativo.

Biomonitoraggio del suolo

La contaminazione del suolo si ripercuote su tutte le componenti dell'ecosistema suolo ma si ripercuote soprattutto sugli animali edafici, causando mortalità o alterandone il metabolismo. L'artropofauna edafica costituisce perciò un indicatore importante della qualità dei suoli (Parisi, 2001).

Sui diversi soggetti le alterazioni ecologiche si manifestano a tre differenti livelli: accumulo dell'inquinante nell'organismo, modificazione morfologica e strutturale dell'organismo e/o della sua discendenza e modificazione della composizione delle comunità animali.

Diverse importanti funzioni svolte dalla fauna edafica nel suolo possono essere compromesse da alcune pratiche agricole, come ad esempio dall'uso di pesticidi e dalle lavorazioni del suolo, e ciò può produrre effetti negativi su struttura e funzioni delle comunità di organismi del suolo (Pimentel et al., 1992).

La degradazione e l'inquinamento del suolo possono causare cambiamenti qualitativi e quantitativi della fauna presente, con conseguenze anche gravi sul suo funzionamento (Bruce et al., 1997; Chauvat e Ponge, 2002; Gilet e Ponge, 2003). Una maggior diversità biotica è stata associata a una maggiore stabilità dell'ecosistema (Bardgett e Cook, 1998).

La crescente consapevolezza dei problemi legati all'inquinamento dei suoli ha contribuito a individuare lo studio della pedofauna come una necessità prioritaria nello sviluppo delle ricerche relative alla valutazione della qualità del territorio.

Indici biotici

Sono degli indici che riassumono le caratteristiche di una comunità e riducono in forma semplice, generalmente un numero una grande quantità di dati e l'informazione contenuta al loro interno.

Gli indici biotici possono essere qualitativi o quantitativi.

I primi prescindono dal numero di individui presenti in un campione e sono invece basati sul valore indicatore di alcuni taxa o di caratteri morfologici. I secondi valutano la ricchezza in taxa e la ripartizione degli individui all'interno dei diversi taxa.

L'utilizzo di indici per la valutazione della struttura della comunità edafica si è affermato come strumento pratico e utile per l'individuazione di stress dovuti alla presenza di contaminazione da sostanze tossiche e di problematiche ambientali di vario genere.

Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS)

L'**Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS)** (Parisi, 2001), validato da Ferrazzi et al. (2002) mediante analisi statistiche e campionamenti eseguiti fino alla profondità di 40 cm è un nuovo metodo qualitativo basato sull'applicazione del criterio delle **forme biologiche** (Sacchi e Testard, 1971) ai microartropodi edafici. Ha il duplice intento di correlare il livello di adattamento alla vita ipogea (Parisi, 1974), alto in condizioni di suolo

integro e quindi adatto alla vita degli organismi, e di superare, sotto il profilo operativo, le difficoltà dell'analisi tassonomica a livello di specie (D'Avino et al., 2002). Il metodo si basa sul principio secondo cui più un organismo è adattato alla vita edafica, meno probabilità ha di poter abbandonare l'habitat in caso di condizioni ambientali sfavorevoli.

Le forme biologiche sono insiemi di organismi che presentano determinate modificazioni delle strutture morfologiche finalizzate ad adattarsi all'ambiente in cui vivono (Parisi, 2001). A ogni forma biologica, come parametro del valore ecologico, viene fatto corrispondere un **Indice Ecomorfologico (EMI)** (tab.1), che può variare all'interno delle diverse unità sistematiche e della fase del ciclo biologico nel quale l'individuo viene trovato. Il valore EMI da associare alle diverse forme biologiche può variare da un minimo di 1 (attribuito a forme non adattate alla vita edafica) a un massimo di 20 (per individui che presentano massimo adattamento alla vita edafica).

Tab.1 Valori dell'indice ecomorfologico EMI (da Parisi, 2001).

FORME BIOLOGICHE	PUNTEGGIO
Proturi	20
Dipluri	20
Collemboli	1 - 20
Microcoryphia	10
Zygentomata	10
Dermatteri	1
Ortotteri	1 - 20
Embiotteri	10
Blattari	5
Psocopteri	1
Emitteri	1 - 10
Tisanotteri	1
Coleotteri	1 - 20
Imenotteri	1 - 5
Ditteri (larve)	10
Altri olometaboli (larve)	10
Altri olometaboli (adulti)	1
Pseudoscorpioni	20
Palpigradi	20
Araneidi	5
Acari	20
Isopodi	10
Diplopodi	10 - 20
Paupodi	20
Sinfili	20
Chilopodi	10 - 20

Il **valore del QBS-ar** si ottiene dalla somma degli EMI dei gruppi sistematici rilevati in un campione di suolo. Se in un campione sono presenti individui appartenenti al

medesimo gruppo sistematico ma con adattamenti edafici diversi, si assegnerà per quel gruppo il valore EMI della forma meglio adattata (EMI più elevato).

Ai suoli analizzati possono poi essere associate delle **Classi di Qualità** (da 0 a 7, con valori crescenti con l'aumentare della qualità) a seconda del valore di QBS-ar rilevato e della presenza di gruppi considerati indicatori di buona qualità del suolo come i Collemboli onichiuridi, i Proturi e i Coleotteri edafobi.

Indici di biodiversità

Oltre che con indici qualitativi, la valutazione della qualità del suolo può essere condotta tramite **indici biotici quantitativi** per la valutazione della biodiversità.

Gli indici quantitativi si basano sul principio che il grado di differenziazione delle comunità sia in relazione alla stabilità delle condizioni ambientali, richiedono una determinazione sistematica a livello più approfondito ed una specializzazione maggiore rispetto al QBS. Si utilizzano in questa ricerca per comparare ambienti simili.

Gli indici utilizzati in questa ricerca sono stati **indici di ricchezza in specie (taxa)**, Margalef e Menhinick, l'**indice di dominanza**, Simpson e l'**indice di diversità**, Shannon-Wiener.

La **ricchezza in specie (taxa)** è il numero di specie (o taxa) rilevate in un campione. In genere è un buon indicatore di stress poiché normalmente, all'aumentare dello stress, le specie più sensibili scompaiono. Questo valore è molto sensibile alle dimensioni del campione e viene perciò utilizzato con opportune correzioni, come negli indici di Menhinick e di Margalef.

La formula dell'**indice di Menhinick** è la seguente:

$$D = s / \sqrt{N}$$

La formula dell'**indice di Margalef** è la seguente:

$$D = s / \log(N)$$

Con **s** si intende il numero di taxa (specie, famiglie, ordini ecc.), con **N** il numero totale degli individui.

Gli **indici di diversità** considerano, oltre alla ricchezza di taxa, anche la distribuzione degli individui in ciascun taxon all'interno della comunità. Prendono in considerazione il numero di specie presenti e le abbondanze relative senza far influire il valore indicatore

del taxon. In alcuni casi si è osservato che questi indici, applicati a categorie di organismi diversi possono dare risultati diversi, e non si verificano relazioni sempre simili tra lo stress e l'indice di diversità. Ad alti livelli di perturbazione si osserva una caduta degli indici di diversità, ma a livelli intermedi di stress l'indice può anche aumentare. Inoltre l'indice può variare a gradino, restando costante per più livelli di stress e poi crollare bruscamente senza che si siano verificati sostanziali incrementi. L'uso degli indici di diversità risulta particolarmente valido se si devono confrontare le condizioni in ambienti con una medesima tipologia ambientale (Ghetti, 1997).

Qualità, fertilità e inquinamento del suolo

E' ormai impossibile rilevare ambienti privi di impatti antropici in aree limitrofe ai centri abitati: lo sfruttamento delle risorse naturali fa sì che la pressione antropica sull'ambiente sia diffusa a tutti gli ecosistemi.

Le diverse forme di agricoltura hanno modificato l'ambiente e soprattutto i suoli, con la diffusione di agrofarmaci, inquinamenti idrici di vario tipo e lo sfruttamento eccessivo delle risorse naturali, che determinano una diminuzione della diversità e degli equilibri con conseguente alterazione delle biocenosi.

I concetti di **qualità e fertilità del suolo** per anni sono stati confusi; il concetto di fertilità è spesso stato associato ai suoli agricoli e alla loro capacità produttiva, ma in realtà i due concetti sono distinti ma strettamente connessi.

La **fertilità** indica la capacità di un suolo a sostenere condizioni ottimali di crescita per le piante. E' condizionata dai fattori fisici, chimici e ambientali legati alla nutrizione delle piante e al contenuto di sostanza organica, che condiziona a sua volta i precedenti fattori. Il concetto di **qualità** del suolo può essere descritto come "la capacità del suolo di interagire con l'ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale" (Doran e Parkin, 1994).

La fertilità è descritta da parametri fisico-chimici (sostanza organica, pH, tessitura, capacità di scambio,...), la qualità, oltre dai precedenti parametri, può essere descritta considerando anche le comunità biotiche presenti all'interno del suolo.

L'**inquinamento del suolo** può essere definito come un'alterazione degli equilibri chimici e biologici residenti al suo interno (Marchetti, 1998). L'inquinamento è diretto quando deriva, ad esempio, dalle pratiche agricole ed indiretto quando deriva da apporti atmosferici, acque irrigue, depositi e scarichi.

Area di studio

La ricerca è iniziata nella primavera del 2006 nei 17 Comuni allora aderenti ad Agenda 21 Laghi: Angera, Biandronno, Bregano, Cadrezzate, Comabbio, Ispra, Malgesso, Mercallo, Monvalle, Osmate, Ranco, Sesto Calende, Taino, Ternate, Travedona, Varano Borghi e Vergiate. Nell'autunno del 2007 il lavoro è stato esteso ai comuni di Brebbia, Laveno Mombello e Leggiuno.

Il territorio in questione (fig.18) si estende per 191,91 Km².

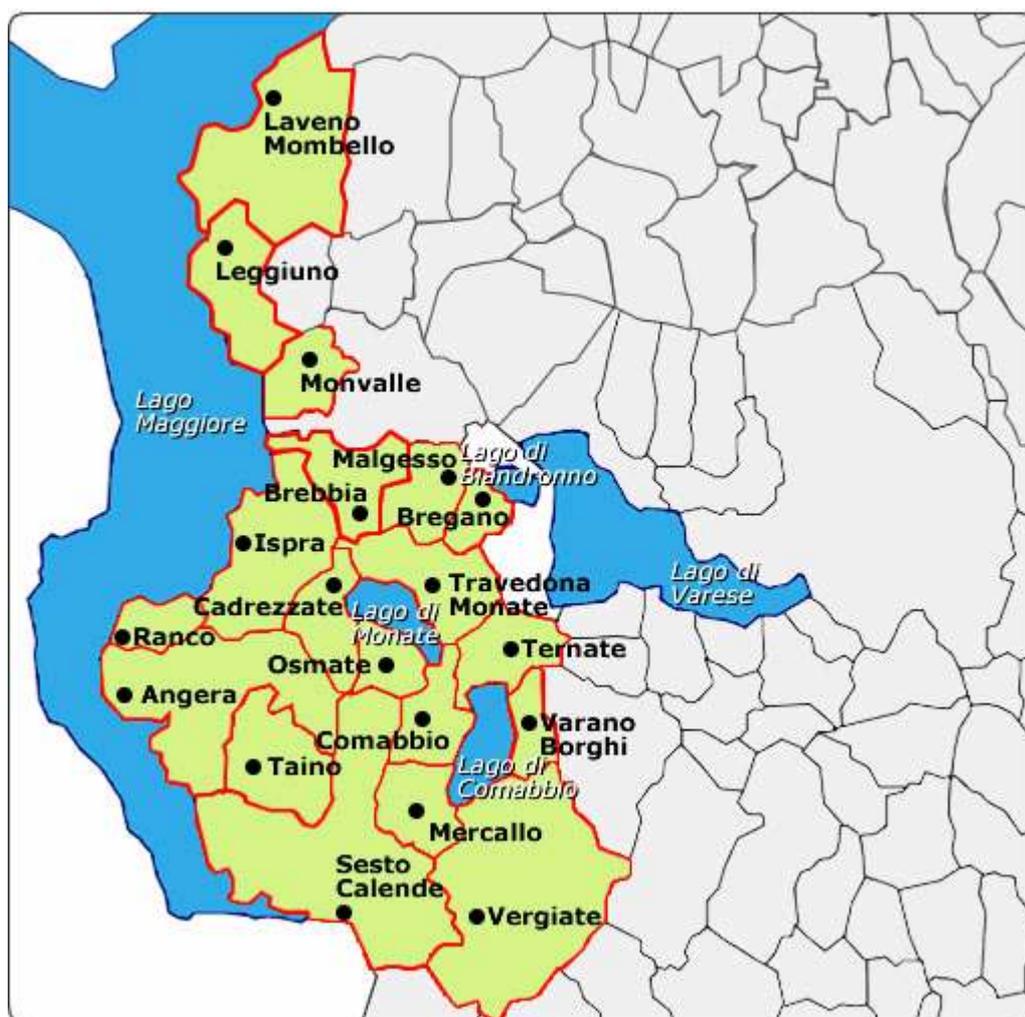


Fig.18 Territorio di Agenda 21 Laghi (fonte sito A21L).

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di numerosi laghi tra i quali il Lago Maggiore, i Laghi di Comabbio, Monate e Biandronno, nonché di diversi corsi d'acqua.

Il territorio, abbastanza omogeneo e caratterizzato da zone pianeggianti intercalate a zone collinari ed è percorso da un elevato numero di vie di traffico veicolare molto frequentate, soprattutto quelle in direzione di Milano e della Svizzera e la S.P. 54.

Nel territorio sono dislocati anche numerosi siti di attività produttive, soprattutto piccole e medie industrie. Tra le pressioni antropiche di maggior rilievo vi è il cementificio Holcim, dislocato nel comune di Ternate al confine con quello di Comabbio, definito una criticità nel Rapporto dello Stato dell'Ambiente in Provincia di Varese (ARPA Lombardia, 2003).

Le pratiche agricole sono ben presenti in alcune aree del territorio, coltivate soprattutto a prati, mais, vigneti, piante orticole e frutteti, concentrate in zone non ancora colonizzate dai boschi di invasione e poco utilizzate sotto l'aspetto urbanistico .

Clima

I dati climatici sono stati estrapolati dalle stazioni climatiche di Ispra del J. R.C., Joint Research Center, del C.G.P., Centro Geofisico Prealpino di Varese e dalla Relazione Finale del Dott. Fausto Verti (2007).

Il clima invernale risulta mitigato dalla presenza dei laghi; l'area è storicamente caratterizzata da abbondanti piogge annuali (precipitazioni intorno ai 2000 mm/a, Carta dei Suoli Lombardia, 2004), ma negli ultimi anni si è assistito a un brusco calo delle precipitazioni, come appare nel relativo grafico (Fig. 19).

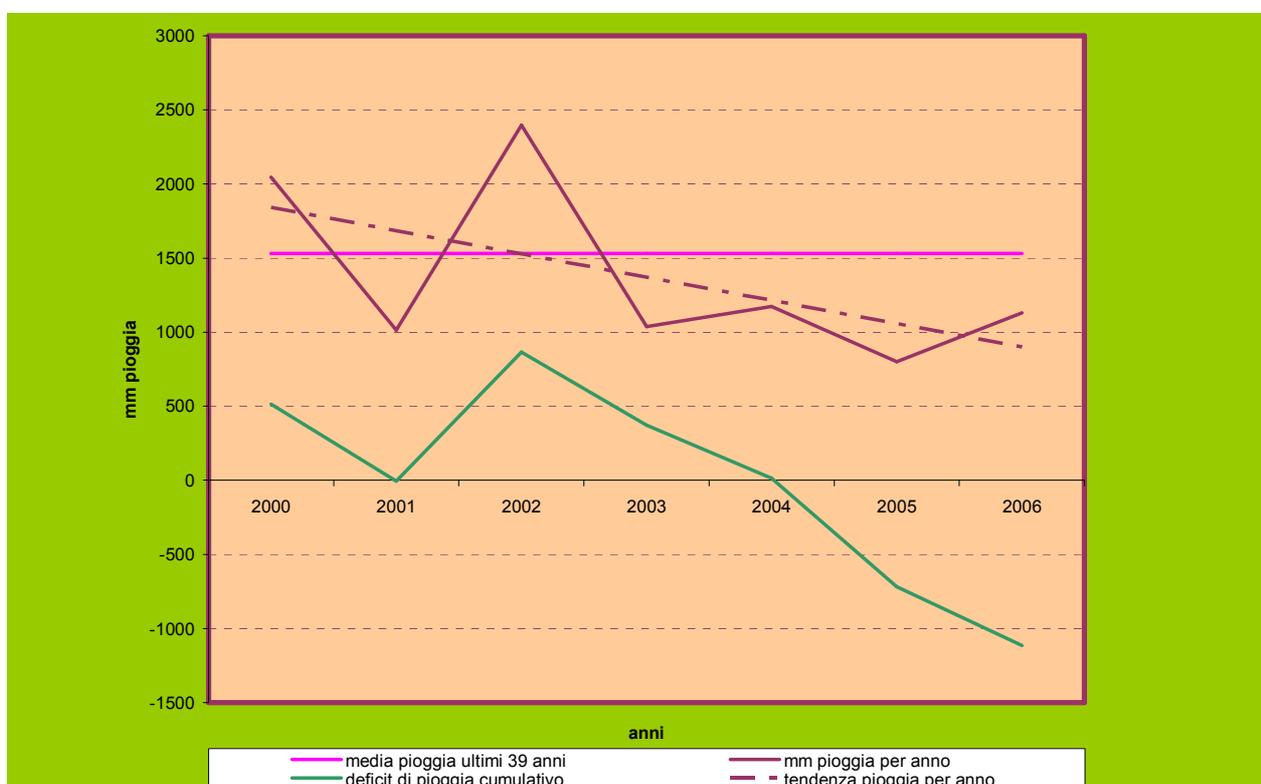


Fig.19 - Andamento pluviometrico negli ultimi 7 anni in relazione alla media degli ultimi 39 anni (C.G.P. e JRC), da Verti,2007.

Nel 2006, anno in cui sono stati effettuati i campionamenti del suolo, sono caduti soltanto 1092,4 litri/m², contro i 1501 che si sarebbero attesi sulla base delle statistiche degli ultimi 40 anni. Il ciclo biologico di molti artropodi presenti nei suoli nel 2006 è iniziato comunque l'anno precedente, con svernamento in diversi stadi (uova, giovani o adulti); è quindi importante, per l'analisi della ricerca svolta, menzionare la situazione climatica del 2005, anno particolarmente critico a riguardo le precipitazioni piovose.

Dalle statistiche meteorologiche del Centro Geofisico Prealpino il 2005 risulta essere stato l'anno più asciutto dal 1965 (anno in cui sono iniziate le misurazioni) con soltanto 971,3 litri di pioggia per metro quadro.

Se da un lato si assiste ad un trend di riduzione delle precipitazioni, dall'altro si assiste ad un aumento delle temperature medie annuali; infatti la temperatura media misurata da dicembre 2005 a novembre 2006 a Varese è risultata di 13,5°, oltre un grado sopra la media del periodo 1967-2005, 12,4°C.

Suoli

Come si evince dalla Carta dei Suoli della Lombardia, 2004 (fig.20), il territorio preso in esame fa parte della regione pedologica Pianura padano-veneta e il distretto in questione è denominato "Colline moreniche orientali del Verbano", caratterizzato appunto da colline moreniche e depressioni intermoreniche talvolta occupate da ambienti idromorfi con laghi e torbe; i suoli hanno spessori medi inferiori al metro.

Nel territorio dei 20 comuni sono presenti quattro tipi di suoli: cambisols, gleysols, umbrisols e leptosols.

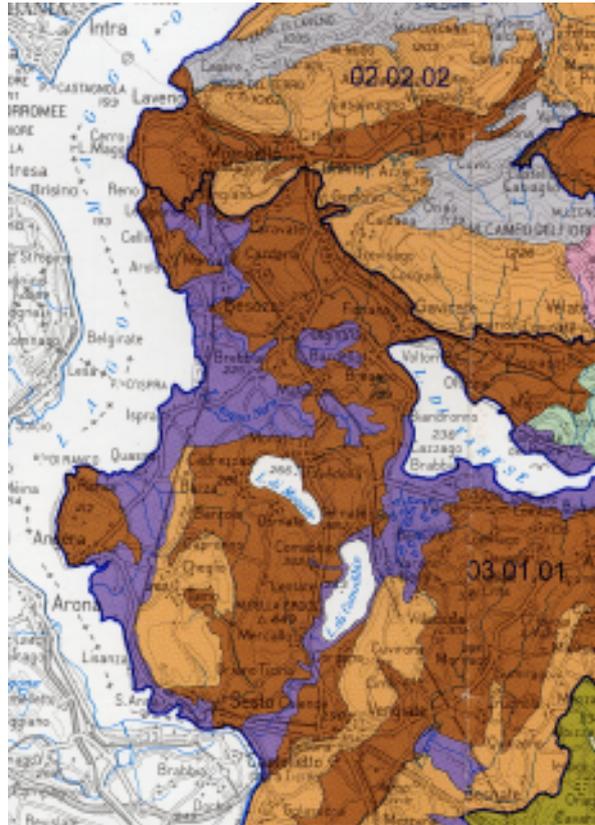


Fig.20 Carta dei suoli della Lombardia rappresentante il territorio di A21L, 2004.

I cambisols (in marrone chiaro nella fig.20), presenti in parte dei comuni di Taino, Sesto Calende, Vergiate, Varano Borghi, Laveno Mombello e Leggiuno, sono suoli da franco a franco-sabbiosi con scheletro assente o scarso nella parte superiore. Sono ricchi di sostanza organica, da acidi a subacidi con tasso di saturazione basica molto bassa, profondi e ben drenati con permeabilità moderatamente elevata.

I gleysols (in viola nella fig.20) , sono presenti lungo due fasce, da Sesto Calende verso il lago di Varese e da Sesto Calende verso Monvalle, costeggiando il lago Maggiore ed escludendo parte del comune di Angera. Sono suoli franco-sabbiosi con substrato sabbioso senza scheletro, ricchi di sostanza organica da subacidi a neutri; la falda è moderatamente profonda (45-70 cm), con drenaggio da lento a molto lento e permeabilità moderatamente elevata.

Gli umbrisols (in marrone nella fig.20) , presenti in un'ampia area del territorio oggetto di studio, sono suoli franco-sabbiosi, il substrato è sabbioso con scheletro abbondante, subacidi e denaturati, con abbondante sostanza organica nel topsoil; la permeabilità è moderatamente elevata e il drenaggio moderatamente rapido.

I leptosols (in grigio nella fig.20) sono presenti nel limite settentrionale del territorio di A21L; sono suoli franco-sabbiosi con scheletro abbondante da subalcalini ad alcalini.

Tendenzialmente i suoli del territorio di Agenda 21 Laghi dove sono stati effettuati i prelievi sono franco-sabbiosi, da subacidi ad acidi e ricchi di sostanza organica.

Obiettivi

L'obiettivo principale del progetto è stato quello di apportare un maggior grado di conoscenza della qualità dei suoli presenti nel territorio compreso all'interno dei comuni aderenti all'Agenda 21 Laghi. Poiché la pedofauna rappresenta l'indicatore fondamentale dei delicati equilibri del suolo, della sua fertilità e di ogni alterazione dell'ambiente, naturale o antropica, è stata presa in esame al fine di produrre una caratterizzazione della zona analizzata tramite monitoraggio del suolo, utilizzando indici biotici, qualitativi e quantitativi, in modo da ottenere un quadro preciso della situazione, base necessaria per ogni successivo intervento di gestione e valorizzazione ambientale.

L'attività di biomonitoraggio ben si presta a valutare gli effetti della presenza di eventuali inquinanti; particolare impegno è stato prodigato per analizzare i suoli presenti in punti critici del territorio come alcune zone industriali, l'area circostante il cementificio Holcim e zone adiacenti la superstrada.

Tale progetto integra quelli già condotti o in fase di svolgimento nella zona, rappresentati da un'indagine sull'atmosfera, attraverso il monitoraggio dei licheni, e da un'indagine sulle acque, fornendo un quadro completo della situazione ambientale in linea con gli obiettivi dell'Agenda 21.

Alcuni degli indici utilizzati nella ricerca forniscono i valori di biodiversità dell'area, fattore molto importante per uno sviluppo sostenibile. Tale studio contribuirà allo stato dell'arte per quanto riguarda la qualità biologica dei suoli, la biodiversità dei microartropodi e la loro risposta alle perturbazioni.

I risultati del lavoro costituiscono così un dato fondamentale per il territorio, per la pianificazione del suo sviluppo e della sua gestione, e per divulgare le conoscenze acquisite sulla qualità dei suoli analizzati e l'impegno profuso.

MATERIALI E METODI

Pianificazione della ricerca

La prima fase del progetto è stata finalizzata a definire le stazioni di campionamento (fig.21), ad effettuare i prelievi di suolo e una prima analisi della vegetazione.

In questo primo periodo di lavoro sono state svolte un'analisi cartografica e colloqui con persone della zona, finalizzati a ottenere un'accurata analisi del territorio e informazioni sull'area oggetto di studio, tenendo presente la precedente analisi di bioindicazione della qualità dell'aria del territorio di Agenda 21 Laghi tramite i licheni. Le indagini preliminari e la ricerca di informazioni riguardanti l'area hanno permesso di definire alcuni siti critici, e poter così definire una strategia definitiva di campionamento.

Al fine di rendere fattibili i confronti tra le diverse stazioni si è sempre campionato dove l'utilizzo del suolo era il medesimo, **prato a sfalcio**.

Dove possibile, le stazioni di prelievo sono coincise con quelle stabilite dalla precedente analisi di "bioindicazione della qualità dell'aria nei Comuni di Agenda 21 Laghi" attraverso l'utilizzo dei licheni, al fine di effettuare un paragone tra i due tipi di biomonitoraggio applicati agli ecosistemi aria e suolo. Quando invece le stazioni precedentemente definite non presentano prati a sfalcio si è cercata questa tipologia nelle immediate vicinanze e in altri casi si è fissato il punto di prelievo ex novo.

In ogni Comune aderente ad Agenda 21 Laghi le stazioni di campionamento sono state dislocate in **siti critici** o **stazioni con bassi valori di biodiversità lichenica** nel precedente monitoraggio dell'aria; in alcuni Comuni sono state ulteriormente analizzate **stazioni con buoni valori di biodiversità lichenica**.

La codifica delle stazioni prevede un numero, un numero seguito da una lettera o soltanto una lettera.

Soltanto un numero è previsto per le stazioni di prelievo coincidenti con quelle definite dal precedente biomonitoraggio dell'aria; un numero seguito da lettera per stazioni di prelievo nelle immediate vicinanze di una stazione definita dal precedente biomonitoraggio dell'aria e una lettera per stazioni ex novo.

Parallelamente al campionamento dei prati a sfalcio, sono stati analizzati (all'interno della Relazione Finale del Dott. Fausto Verti, Confronto tra la qualità biologica dei suoli di diverse tipologie di agrosistemi, siti nella zona dei laghi della Provincia di Varese, 2007) suoli di 4 **aziende agricole** a diverso tipo di conduzione e con differenti coltivazioni. La

codifica di queste stazioni di campionamento è definita dalle lettere FV seguite da un numero.

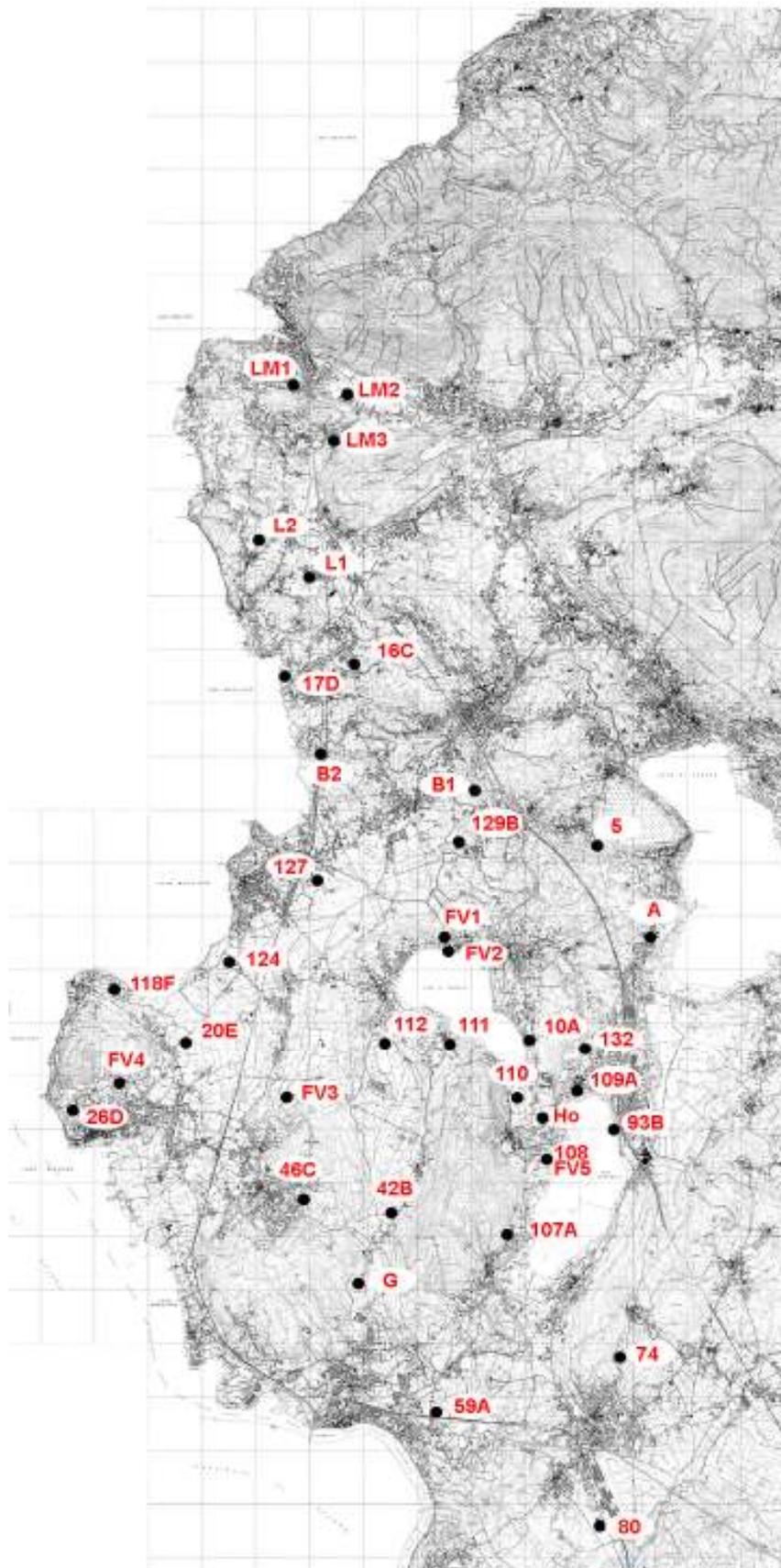


Fig.21 – Stazioni di campionamento.

Descrizione delle aziende agricole

- **Azienda agricola Castelli Carlo (FV1)**

La produzione principale di questa azienda, sita nel comune di Travedona Monate, è rappresentata dalle pesche.

La superficie coltivata è di 4 ha, in parte destinata a prato e bosco. Una striscia di 1000 m² è destinata a un progetto di studio sulla coltura del pesco, avviato in collaborazione con il Centro Lombardo Ortofrutticolo di Minoprio e l'Università degli Studi di Milano, sotto il patrocinio della Regione Lombardia, la Provincia di Varese e il Comune di Travedona Monate, con lo scopo di individuare e salvaguardare alcune caratteristiche varietà coltivate da tempo nella zona, nonché di delineare un sistema colturale idoneo alle condizioni pedoclimatiche locali.

Il metodo di coltivazione è convenzionale, ma caratterizzato da una bassa intensità d'uso di fattori produttivi. Non si fa ricorso ad interventi irrigui e le concimazioni sono in massima parte attribuibili alla somministrazione di letame.

- **Prato stabile testimone nel comune di Travedona Monate (FV2)**

Prato a sfalcio che subisce una letamazione ogni due anni.

- **Azienda agricola di Buzzeti Giorgio (FV3)**

Sorge nel comune di Angera nella frazione di Capronno, occupa una superficie di 45 ha di cui 29 destinati a prato e 16 a mais, 3 dei quali vengono coltivati a loietto nei mesi invernali. L'indirizzo produttivo è zootecnico, con allevamento di circa 100 capi di frisona da latte.

Il prelievo del campione di suolo è stato effettuato a fine coltura sul loietto.

- **Azienda agricola Cascina Piano (FV4)**

L'azienda, sita sulla Rocca Borromeo di Angera, occupa una superficie di 2,6 ha, destinati prevalentemente a vigne di Nebbiolo.

- **Azienda agricola i frutti di Tino (FV5)**

Azienda sita a Comabbio condotta con metodo biologico, anche se non certificato, produce pesche, asparagi e piccoli frutti. Il prelievo è stato condotto nel pescheto, dove il

suolo è coltivato da tre anni con concimi e ammendanti organici e le lavorazioni sono ridotte alla trinciatura dell'erba.

Fase di campionamento

Per i prelievi di suolo è stato seguito il protocollo del QBS (Parisi, 2001).

Il prelievo dei campioni di suolo nelle diverse stazioni dei comuni aderenti all'epoca ad Agenda 21 Laghi è avvenuto tra l'inizio di maggio 2006 e giugno 2006.

Contemporaneamente ai prelievi di suolo si è effettuata un'analisi della vegetazione erbacea e arborea presente nelle stazioni campionate.

In ogni stazione sono state effettuate tre repliche finalizzate all'estrazione e all'analisi dei microartropodi e una per effettuare le analisi fisico-chimiche del suolo. Ogni replica prevede il prelievo di un volume di suolo pari a 1000 cm^3 nei primi 10 cm di suolo, prelevando le carote con un piantabulbi.

I campioni di suolo prelevati venivano messi dentro sacchetti di plastica precedentemente etichettati e trasportati in giornata al Laboratorio di Qualità Ambientale, del Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali (Di.Va.P.R.A.) - Settore Entomologia e Zoologia applicate all'Ambiente "Carlo Vidano"-, per essere disposti nei setacci del selettore di Berlese-Tullgren, al fine di estrarre i microartropodi dalle carote di terreno.

Il selettore di Berlese Tullgren (fig.22) è un dispositivo dinamico di estrazione dei microartropodi, costituito da una batteria di lampadine, sotto ciascuna delle quali vengono posti un setaccio con maglie di 2 mm, un imbuto e un contenitore contenente liquido conservante. Questo apparecchio sfrutta la reazione di fuga dalla luce e dall'essiccamento della fauna presente nel campione di terra disposto sul setaccio, la quale, cadendo attraverso le maglie del setaccio, perviene nel contenitore sottostante.



Fig.22 - Selettore di Berlese-Tullgren.

I contenitori disposti sotto l'imbuto, terminata l'estrazione (massimo 2 settimane) venivano eventualmente rabboccati di liquido conservante, chiusi e conservati in attesa dello smistamento e dell'identificazione dei microartropodi contenuti al loro interno.

Prima della determinazione tassonomica si procedeva alla separazione degli animali dal terreno caduto dal vaglio.

Mediante lo stereomicroscopio e, quando necessario, il microscopio ottico e con l'ausilio di testi specialistici si è proceduto alla determinazione delle forme biologiche richieste per l'applicazione dell'Indice di Qualità biologica del suolo, il QBS (Parisi, 2001).

In particolare, gli insetti sono stati classificati fino al livello di famiglia o superfamiglia per ottenere informazioni più precise e utili ai fini della ricerca sulla loro presenza, abbondanza, distribuzione e ruoli trofici.

I dati ottenuti dalla determinazione tassonomica degli individui estratti dai campioni di suolo sono stati utilizzati per il calcolo degli indici biotici qualitativi e quantitativi.

I risultati ottenuti dai diversi indici sono poi stati analizzati statisticamente.

Per ogni stazione sono stati calcolati il pH e la percentuale di sostanza organica presente nei primi dieci cm di suolo.

RISULTATI

Vegetazione

La vegetazione arborea nel territorio di Agenda 21 Laghi è formata soprattutto da boschi di latifoglie, castagneti e querceti misti con robinia e pino silvestre. La zona è caratterizzata da parchi e giardini, con abbondanza di specie ornamentali per lo più alloctone, esistono poi frutteti famigliari e pescheti intorno al lago di Monate.

Nei pressi dei prati campionati sono stati spesso rilevati i seguenti alberi e arbusti:

Actinidia deliciosa Chev. Kiwi

Castanea sativa Miller Castagno

Catalpa bignonioides Catalpa

Corylus avellana L. Nocciolo

Diospyros kaki L. Kaki

Euonymus europaeus L. Berretto da prete

Frangula alnus Mill. Frangula

Fraxinus excelsior L. Frassino comune

Hedera helix L. Edera

Paulownia tomentosa Steud. Paulownia

Picea excelsa Miller Abete rosso

Pittosporum tobira Thumb. Pitosforo

Populus canadensis L. Pioppo canadese

Prunus avium L. Ciliegio

Quercus coccinea Muench Quercia rossa

Robinia pseudoacacia L. Robinia

Rubus spp. Rovo

Salix caprea L. Salicone

Sambucus nigra L. Sambuco

Trachycarpus fortunei Hook Palma

Nei prati a sfalcio in cui sono stati effettuati i campionamenti di suolo le specie maggiormente rilevate sono state:

Achillea millefolium L. Millefoglio

Artemisia vulgaris L. Assenzio selvatico

Ballota nigra L. Marrubio selvatico
Centaurea jacea L. Fiordaliso stoppione
Chrysanthemum segetum L. Crisantemo campestre
Cucubalus baccifer L. Erba cucco
Daucus carota L. Carota
Eryngium campestre L. Calcatreppola campestre
Fragaria vesca L. Fragola
Galium album L. Caglio bianco
Lolium perenne L. Loglio comune
Lotus corniculatus L. Ginestrino
Oxalis pes-caprae L. Acetosella gialla
Phytolacca decandra L. Cremesina uva-turca
Plantago lanceolata L. Piantaggine minore
Potentilla erecta L. Cinquefoglia tormentilla
Rumex acetosa L. Romice acetosa
Silene vulgaris Moench. Bubbolini
Sinapis arvensis L. Senape selvatica
Solidago gigantea Aiton Verga d'oro maggiore
Stellaria media L. Centocchio comune
Taraxacum officinale Weber Soffione
Trifolium pratense Schreber Trifoglio rosso
Trifolium repens L. Trifoglio bianco

pH e contenuto % di Sostanza organica (S.O.)

Le analisi sono state effettuate sui primi dieci cm del profilo, interessati dall'estrazione dei microartropodi.

Il **pH** condiziona soprattutto la solubilità e la disponibilità di molti elementi essenziali per le piante, influenza le popolazioni microbiche e quindi la degradazione della sostanza organica. Le stazioni indagate sono tutte caratterizzate da pH acidi (tab.2), in linea con le caratteristiche dell'area in esame (Carta dei suoli della Lombardia, 2004), ma non tali da influenzare significativamente la fauna edafica.

La **sostanza organica** presente nel suolo ne influenza le caratteristiche fisico-chimiche e condiziona direttamente l'attività biologica dei suoli, sostenuta da organismi che sono i principali responsabili della degradazione della sostanza organica e della conseguente mineralizzazione delle sostanze nutritive indispensabili per le piante.

In tutte le stazioni indagate il contenuto di S.O. è risultato elevato (tab.2).

Tab.2 – Valori di pH e sostanza organica rilevati nelle stazioni di campionamento.

stazione	pH	S.O. (%)
Angera 20E	5,9	9,3
Angera26 D	6,2	10,8
Biandronno A	5,3	8,2
Brescia B1	5,5	8,1
Brescia B2	4,8	10,5
Bregano 5	5,4	12,3
Cadrezzate 112	5,4	4,8
Comabbio 108	4,7	7,3
Comabbio 110	4,9	11,3
Ispra 124	6,5	4,5
Ispra 127	5	10,6
Laveno Mombello LM1	5,6	8,13
Laveno Mombello LM2	5,4	5
Laveno Mombello LM3	5,5	9,1
Leggiuno L1	4,9	8,1
Leggiuno L2	6	12,9
Malgesso 129B	4,9	10,4
Mercallo 107A	5,3	11,7
Monvalle 16C	5,5	12,7
Monvalle 17D	5,2	8
Osmate 111	5,6	11,8
Ranco 118 F	4,7	11,2
Sesto Calende 42 B	4,6	12,2
Sesto Calende G	4,5	15,7
Sesto Calende 59A	4,9	12,7
Taino 46	4,8	9,9
Ternate 109A	5,7	10,7
Ternate 132	5,7	8,8
Ternate Ho	5,5	8,2
Travedona Monate FV2	4,6	8,8
Travedona Monate 10A	5,5	10,1
Varano Borghi 93B	5,2	9,5
Vergiate 74	4,8	9,6
Vergiate 80	5,2	9,4

Taxa

L'analisi dei taxa rilevati consente di definire la struttura delle comunità edafiche presenti ed i ruoli trofici svolti dai diversi microartropodi che ne fanno parte, in quanto rappresentativi dello stato del suolo e determinanti nelle fasi di degradazione della sostanza organica e del ciclo dei nutrienti.

28.834 microartropodi in totale sono stati estratti dai 102 campioni di suolo prelevati nelle 34 stazioni del territorio di Agenda 21 Laghi e determinati sistematicamente.

Il taxon più abbondante è risultato quello degli **Acari**, con **13991** individui di cui 11223 appartenenti all'ordine Oribatida, acari detritivori, bene adattati alla vita edafica caratterizzati da un esoscheletro fortemente sclerificato.

Sono stati rilevati 10 ordini di insetti: Protura, Diplura, Collembola, Psocoptera, Hemiptera (Heteroptera ed Homoptera), Thysanoptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera.

Tra gli insetti hanno prevalso i **Collemboli**, **8625**, con diversi gradi di adattamento alla vita edafica. Prevalgono (fig.23), le forme biologiche emiedafiche, pigmentate, con appendici e numero di ocelli ridotti (EMI 8) e le forme euedafiche in cui è ancora presente la furca (valore ecomorfologico, EMI, previsto per il calcolo del QBS-ar 10).

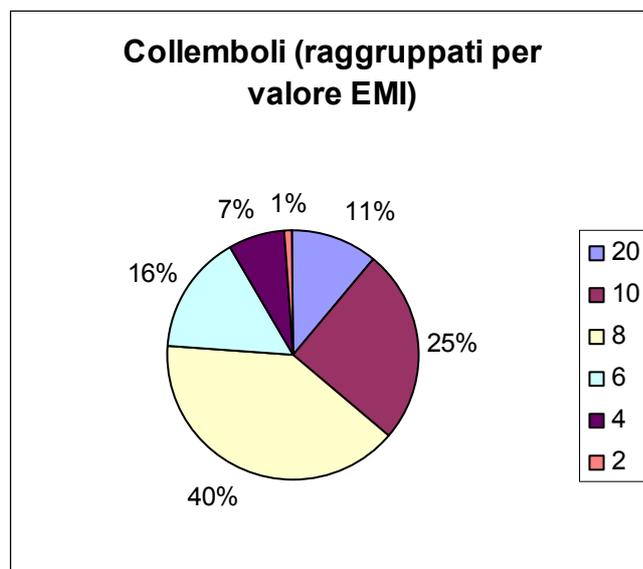


Fig.23 – Collemboli (percentuali) suddivisi sulla base degli indici ecomorfologici (valore di EMI).

Il secondo ordine di insetti in termini di abbondanza è quello degli **Imenotteri**, **3683** individui, rappresentati soprattutto dalla famiglia Formicidae (fig.24); sono presenti in numeri ridotti anche individui delle famiglie e superfamiglie Ichneumonoidea, Chalcidoidea e Scelionidae.



Fig.24 - Hymenoptera Formicidae.



L'ordine **Ditteri** è rappresentato in prevalenza dalle seguenti famiglie: Chironomidae, Mycetophilidae, Cecydomyiidae e Sciaridae (fig.25); in percentuali inferiori sono stati rinvenuti anche Agromyzidae, Bibionidae, Chloropidae, Dolichopodidae, Drosophilidae, Empididae, Ephydriidae, Limoniidae, Lonchopteridae, Muscidae, Phoridae, Psychodidae, Scatopsidae.

Fig.25 - Diptera Sciaridae.

Alcuni insetti, soprattutto ditteri, sono stati rilevati nella selettura in fase adulta. Gli insetti di diversi ordini vivono nel suolo soltanto durante gli stadi giovanili, ma il calore delle lampade del selettore di Berlese-Tullgren ne accelera il ciclo biologico. Se vengono prelevati dal terreno in fase di pupa o come larve mature, possono sfarfallare in breve tempo: ciò rende possibile il fatto che cadano nelle provette di raccolta individui adulti normalmente conducenti vita aerea.

Tra i **Coleotteri** le famiglie più rappresentate sono state: Bostrychidae, Carabidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Dermestidae, Elateridae, Histeridae, Lathridiidae, Nitidulidae, Pselaphidae, Scolytidae, Silphidae, Sphaeritidae, Staphylinidae e Tenebrionidae. Per questo ordine sono state rinvenute sia larve che individui adulti: in alcune famiglie anche questi ultimi conducono vita edafica.

Oltre agli insetti, sono state riscontrate nei campioni diverse altre classi di Artropodi invertebrati: Arachnida, Diplopoda, Chilopoda, Crustacea (ordine Isopoda), Symphyla, e

inoltre Annelida Oligochaeta (lombrichi) e Nematoda (nematodi), non facenti parte del phylum Arthropoda.

Le reti trofiche all'interno del suolo non sono mai complete; mancando praticamente gli organismi autotrofi, il ruolo predominante è quello della demolizione della sostanza organica, che consente di chiudere i cicli geochimici di molti elementi. I microartropodi, insieme ai lombrichi, espletano il ruolo fondamentale di frammentazione dei detriti organici, rendendoli più facilmente colonizzabili dai batteri che continuano e portano a termine la trasformazione della sostanza organica, controllano il popolamento microbico direttamente, nutrendosene, e indirettamente, favorendone la diffusione.

In conformità alle reti trofiche del sistema suolo, la grande maggioranza di taxa riscontrati sono detritivori; sono presenti anche altri ruoli alimentari, come ad esempio i predatori, che regolano la densità e la struttura della comunità edafica.

Le comunità analizzate risultano in equilibrio e presentano una struttura confacente all'ecosistema analizzato.

Abbondanze

Il numero di microartropodi estratti dai campioni prelevati nelle diverse stazioni (tab. 3) è variabile e condizionato da diversi fattori, in alcuni casi è proporzionale al contenuto di sostanza organica. Non appare invece correlato al numero di taxa (tab.3), infatti nelle stazioni in cui si è riscontrato un elevato numero di individui questi sono in gran parte concentrati in un taxon predominante, soprattutto Acari Oribatidi, Collemboli o Imenotteri Formicidi.

Tali predominanze non rivelano comunque particolari disequilibri all'interno della comunità, poiché i gruppi degli acari e dei collemboli sono quantitativamente i più importanti tra gli artropodi (Parisi, 1974) negli strati più superficiali del suolo.

Tab.3 – Numero medio di individui e numero di taxa rilevati nelle stazioni indagate.

Stazione	num. medio di individui per campione	num. Taxa
Angera 20E	500	23
Angera26 D	163	27
Biandronno A	231	29
Brebbia B1	228	23
Brebbia B2	172	22
Bregano 5	368	32
Cadrezzate 112	142	22
Comabbio 108	322	24

Comabbio 110	198	28
Ispra 124	227	26
Ispra 127	244	28
Laveno Mombello LM1	235	18
Laveno Mombello LM2	216	20
Laveno Mombello LM3	223	23
Leggiuno L1	240	26
Leggiuno L2	106	26
Malgesso 129B	302	23
Mercallo 107A	205	25
Monvalle 16C	522	30
Monvalle 17D	412	24
Osmate 111	267	25
Ranco 118 F	505	25
Sesto Calende 42 B	144	33
Sesto Calende G	399	27
Sesto Calende 59A	269	30
Taino 46	155	23
Ternate 109A	231	25
Ternate 132	131	31
Ternate Ho	334	34
Travedona Monate FV2	315	23
Travedona Monate 10A	291	29
Varano Borghi 93B	172	22
Vergiate 74	245	27
Vergiate 80	323	27

QBS-ar

Prati a sfalcio e Aziende agricole

Nella tabella 4 sono riportati i valori dell'indice di Qualità Biologica del Suolo, QBS-ar, ottenuti nelle tre ripetizioni effettuate in ogni stazione, e la relativa classe di appartenenza.

Negli allegati, corrispondenti alle schede riassuntive dei dati di ciascuna stazione, è indicato anche il valore complessivo di QBS-ar, corrispondente alla somma degli indici EMI derivanti dalle forme biologiche ritrovate in almeno una delle tre ripetizioni, con il massimo punteggio raggiunto nel caso della presenza di più forme biologiche dello stesso gruppo sistematico.

I **valori di QBS-ar** (fig.26) rilevati nei prati stabili del territorio di Agenda 21 Laghi sono compresi tra 57 e 113, valori considerati bassi se confrontati con quelli riscontrati da diversi autori in questa tipologia di uso del suolo, di solito superiori a 100 (Casarini, 2004; Gardi 2002, 2003; Griselli, 2006). Valori oltre il 100 si sono riscontrati soltanto nelle tre

stazioni nel comune di Sesto Calende e nelle stazioni di Mercallo, Bregano, Brebbia e Laveno Mombello.

Si nota una tendenza dell'indice a valori più elevati nella parte sud del territorio di Agenda 21 Laghi; i valori più bassi si sono rilevati nei comuni di Ranco (stazione 118F QBS-ar 62), in una stazione di Ispra (stazione 124 QBS-ar 57) e in una stazione di Brebbia (stazione B2 QBS-ar 60).

I valori riscontrati nelle aziende agricole variano da 61 (stazione FV3 ad Angera, coltivata a loietto) a 87 (stazione FV5 a Comabbio, pescheto biologico non certificato), valori nella norma considerando che le lavorazioni meccaniche ed i trattamenti con agrofarmaci determinano generalmente un decremento qualitativo e quantitativo della fauna edafica. E' interessante notare che quest'ultima stazione, FV5, presenta valori di QBS-ar maggiori rispetto alle altre due stazioni 108 e 110, prati stabili dello stesso comune; per l'artropodofauna del pescheto sono infatti determinanti l'assenza di lavorazioni del suolo e la conduzione biologica dell'azienda.

Tab.4 - Valori di QBS-ar e rispettiva Classe di Qualità calcolati per le ripetizioni effettuate nelle diverse stazioni di campionamento.

Stazione	campione	ripetizione	QBS	C.Q.
ANGERA	20D	a	62	III
		b	63	III
		c	72	III
	26	a	67	II/III
		b	86	IV
		c	86	IV
	FV3	az.agricola	61	III
FV4	az.agricola	77	II/III	
BIANDRONNO	A	a	72	II/III
		b	57	III
		c	57	II/III
		d	62	III
BREBBIA	B1	a	87	IV
		b	93	IV
		c	113	V
	B2	a	65	II/III
		b	47	II
		c	46	II
BREGANO	5	a	103	V
		b	98	IV
		c	103	V
		d	96	IV

CADREZZATE	112	a	57	III
		b	88	IV
		c	47	II
COMABBIO	108	a	52	II/III
		b	72	III
		c	48	II
		az.agricola	87	IV
	110	a	58	III
		b	68	III
c		63	III	
ISPRA	124	a	50	II
		b	55	II/III
		c	57	II/III
	127	a	72	III
		b	67	III
		c	92	IV
LAVENO MOMBELLO	LM1	a	77	IV
		b	82	IV
		c	87	IV
	LM2	a	93	IV
		b	102	VI
		c	83	IV
	LM3	a	78	IV
		b	87	IV
		c	98	II/III
LEGGIUNO	L1	a	72	III
		b	52	III
		c	84	IV
	L2	a	91	IV
		b	72	III
		c	77	III
MALGESSO	129B	a	73	III
		b	73	III
		c	87	IV
MERCALLO	107	a	48	II
		b	108	V
		c	92	IV
MONVALLE	16C	a	64	III
		b	68	III
		c	69	III
	17D	a	56	II/III
		b	73	III
		c	57	II/III
OSMATE	111	a	67	III
		b	61	II/III
		c	63	II/III
RANCO	118	a	56	III
		b	62	III
		c	57	III
SESTO CALENDE	42	a	102	V
		b	87	IV

	G	c	71	III
		a	64	III
		b	102	V
	59A	c	92	IV
		a	97	IV
		b	103	V
TAINO	46	c	82	IV
		a	56	III
		b	67	III
TERNATE	109	c	57	III
		a	63	II/III
		b	73	III
	132	a	63	III
		b	86	II/III
		c	68	III
	Ho	a	59	II/III
		b	69	IV
		c	93	IV
d		92	IV	
TRAVEDONA MONATE	FV2	a	66	III
		b	58	II/III
		c	72	III
	FV1	az.agricola	67	II/III
	10A	a	63	II/III
		b	82	II/III
c		82	II/III	
VARANO BORGHI	93	a	62	III
		b	50	II
		c	73	III
VERGIATE	74	a	69	III
		b	87	IV
		c	77	IV
	80	a	66	III
		b	92	IV
		c	86	IV

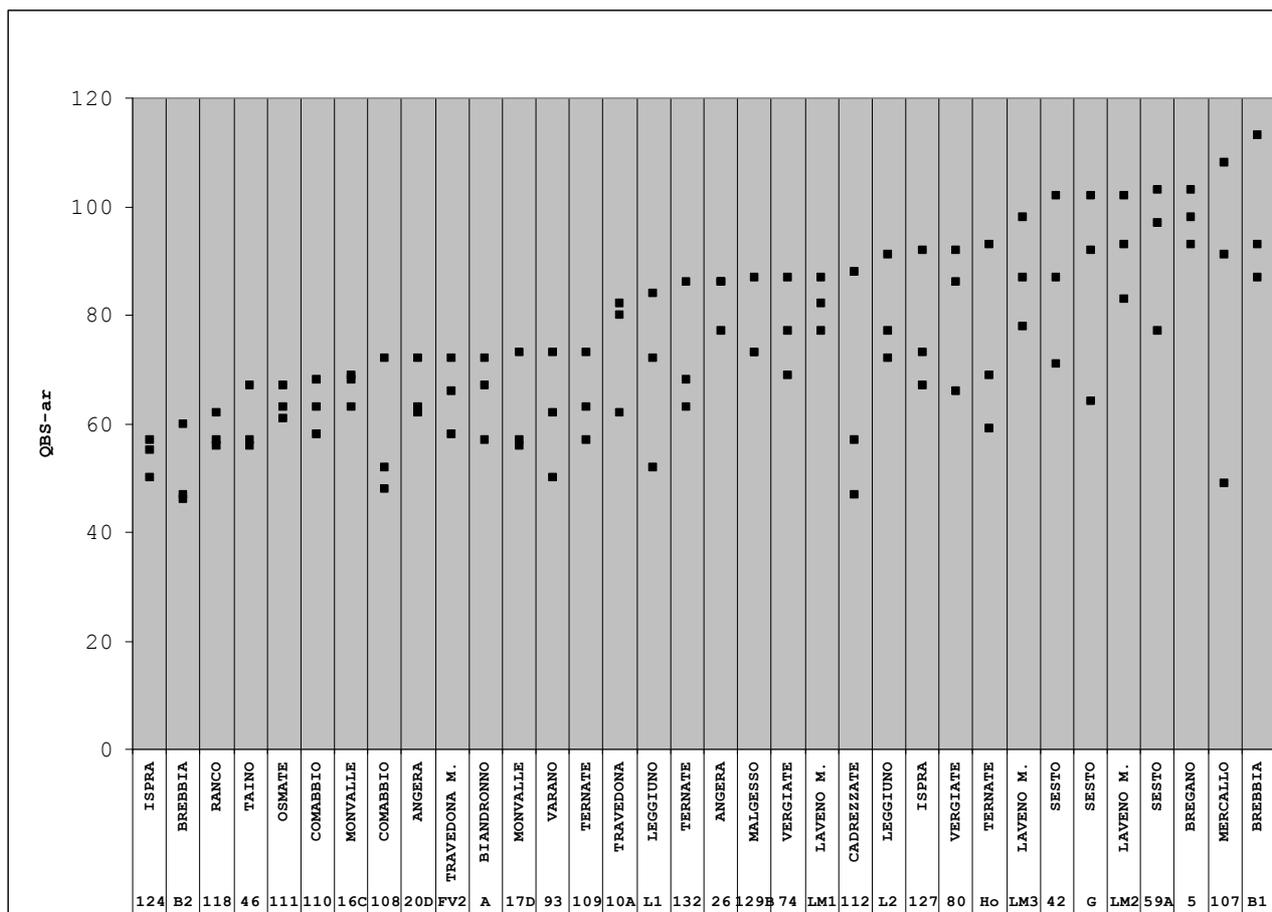


Fig.26 – Valori di QBS-ar rilevati per le tre ripetizioni effettuate nelle stazioni indagate.

Le **Classi di Qualità** (Parisi 2001) (tab.4, fig.27)) variano tra la II/III e la VI su una scala che va dalla I classe alla VII, attestanti livelli crescenti di qualità biologica del suolo; sono correlate contemporaneamente al valore del QBS-ar e alla presenza di gruppi legati a suoli di buona qualità e ricchi di sostanza organica.

Per alcune stazioni di campionamento è possibile perciò che a valori relativamente buoni di QBS-ar non corrisponda un'elevata Classe di Qualità del suolo e viceversa. Segnatamente nella stazione di campionamento 10 A, Travedona Monate, non c'è una corrispondenza precisa tra i valori di QBS-ar (80) e la Classe di Qualità (II/III) (tab.4).

Se nella zona meridionale del territorio i valori riscontrati sono tutti abbastanza buoni, nel resto dell'area dell'Agenda 21 Laghi si evidenzia una situazione a mosaico, in cui aree a bassa qualità del suolo si alternano a zone di migliore qualità.

Per avere un'ulteriore conferma dei risultati ottenuti, oltre ai rilievi della primavera 2006 sono stati fatti campionamenti di verifica nell'autunno del medesimo anno in tre stazioni scelte random: i valori sono risultati simili a quelli rilevati in precedenza. Si possono quindi escludere effetti a tempi brevi sulle comunità edafiche e, di conseguenza,

sui valori di QBS-ar, di fattori meteorologici come la scarsità di pioggia dei mesi antecedenti ai prelievi primaverili.

L'indagine, allargata nel 2007 ai 3 nuovi comuni aderenti ad A21L, ha fornito risultati che si discostano poco da quelli dei comuni monitorati in precedenza.

	Angera 20E			
	Biandronno A			
	Comabbio 108	Leggiuno L2		
	Comabbio 110	Leggiuno L1		
	Monvalle 16C	Laveno M. LM3		
	Monvalle 17D	Laveno M. LM1		
	Osmate 111	Angera 26D		
	Ranco 118F	Cadrezzate112	Brescia B1	
	Taino 46	Ispra127A	Bregano 5	
	Ternate 109A	Malgesso 129B	Mercallo 107A	
Brescia B2	Ternate 132	Ternate Ho	Sesto Cal. 42B	
Ispra 124	Trav. Monate FV2	Vergiate 74	Sesto Cal. G	
Trav. Monate 10A	Varano 93	Vergiate 80	Sesto Cal. 59A	Laveno M. LM2
II/III	III	IV	V	VI

Fig.27 – Stazioni indagate raggruppate secondo la Classe di Qualità migliore emersa tra le tre ripetizioni effettuate.

Indici di biodiversità (Indici biotici quantitativi)

La tabella 5 riporta per ogni stazione il valore medio degli indici ottenuti nelle tre ripetizioni considerando i diversi taxa di microartropodi rilevati.

I quattro indici di biodiversità applicati hanno fornito risultati generalmente concordi nel descrivere le stazioni analizzate. Per gli indici di ricchezza in specie (Margalef e Menhinick) e l'indice di diversità (Shannon- Wiener) valori relativamente alti descrivono migliori strutture della comunità indagata, invece per l'indice di dominanza (Simpson) il valore è inversamente proporzionale alla qualità della struttura della comunità edafica analizzata.

Le stazioni contraddistinte da diversità complessiva più bassa sono state la 118 (Ranco), la 20D e la FV3 (Angera), la A (Biandronno), la FV2 (Travedona Monate), la B2 (Brescia), la 124 (Ispra) e la 93 (Varano Borghi). In queste stazioni, l'omogeneità della struttura è compromessa dalla dominanza di pochi taxa, spesso Formicidae o Acari; questi

due taxa sono spesso quantitativamente più abbondanti di altri ma in queste stazioni la dominanza appare particolarmente marcata; anche i valori dell'indice qualitativo, QBS-ar, le rispettive Classi di Qualità hanno rilevato valori non particolarmente alti.

Buoni valori di diversità sono invece stati riscontrati nelle comunità analizzate nelle stazioni 26 (Angera), nella 42 (Sesto Calende), nella 129 (Malgesso) e nella 5 (Bregano), in genere comunque tutte le stazioni ricadenti in quinta Classe di Qualità hanno riportato buoni valori generali di indici di biodiversità.

Tab. 5 – Valori degli indici di biodiversità per le stazioni indagate.

INDICI	Menhinick	Margalef	Simpson	Shannon-Wiener
Angera 20D	0,727	2,624	0,455	1,319
Angera 26D	1,539	3,816	0,162	2,209
Angera FV3	0,991	2,526	0,261	1,695
Angera FV4	0,929	3,259	0,185	1,922
Biandronno A	0,984	2,626	0,257	1,681
Brescia B1	1,200	3,203	0,202	1,974
Brescia B2	1,093	2,784	0,330	1,593
Bregano 5	1,155	3,615	0,167	2,212
Cadrezzate 112	1,300	3,017	0,249	1,839
Comabbio 108	1,123	3,150	0,231	1,964
Comabbio 110	1,311	3,473	0,258	1,876
Comabbio FV5	0,570	2,186	0,236	1,639
Laveno Mombello LM1	0,894	2,505	0,227	1,780
Laveno Mombello LM2	1,100	2,987	0,302	1,746
Laveno Mombello LM3	1,009	2,737	0,294	1,724
Leggiuno L1	1,120	3,112	0,304	1,730
Leggiuno L2	1,459	3,219	0,320	1,728
Ispra 124	1,072	3,114	0,396	1,565
Ispra 127	1,265	3,584	0,296	1,888
Malgesso 129	1,190	3,620	0,138	2,252
Mercallo 107	1,360	3,514	0,319	1,825
Monvalle 16C	0,919	3,279	0,277	1,749
Monvalle 17D	0,956	3,023	0,234	1,860
Osmate 111	1,098	3,140	0,217	2,077
Ranco 118	0,912	2,420	0,604	0,976
Sesto Calende 42	1,773	4,287	0,144	2,339
Sesto Calende G	1,046	3,462	0,172	2,180
Sesto Calende 59A	1,242	3,636	0,398	1,554
Taino 46	1,173	2,902	0,276	1,748
Ternate 109	1,919	4,120	0,279	1,859
Ternate 132	1,760	4,114	0,242	2,016
Ternate Ho	0,968	3,001	0,396	1,531
Travedona Monate FV2	0,860	2,546	0,360	1,514
Travedona Monate 10A	1,037	3,075	0,332	1,611
Travedona Monate FV1	1,248	2,278	0,220	1,801
Varano Borghi 93	1,291	2,837	0,384	1,518
Vergiate 74	1,133	3,174	0,234	1,911
Vergiate 80	0,955	2,950	0,258	1,756

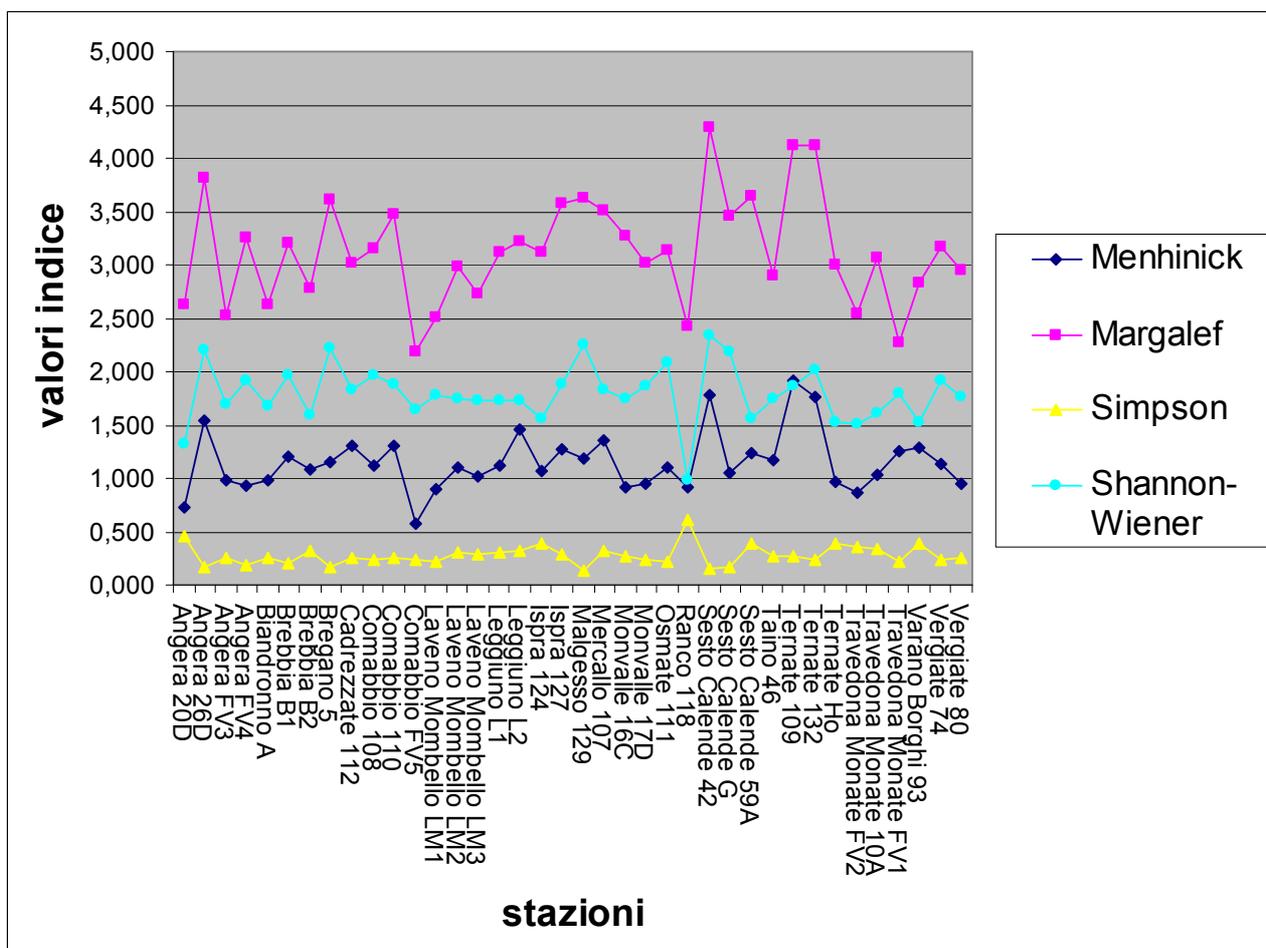


Fig. 28 – Valori degli indici per le diverse stazioni.

Statistica

I risultati ottenuti applicando i diversi indici biotici sono stati sottoposti ad analisi statistiche.

I valori di QBS-ar calcolati in stazioni con presupposte criticità ambientali e in quelle considerate esenti sono stati elaborati attraverso il test U di Mann-Wihtney, da cui non sono risultate differenze significative tra i due gruppi. Questo test non parametrico non ha quindi fornito l'evidenza che i valori derivino da popolazioni diverse; non si può quindi affermare che esista un effetto operante sui valori di QBS-ar di stazioni con presupposte criticità ambientali e stazioni esenti.

Per analizzare se esistesse correlazione tra i valori dell'indice qualitativo, QBS-ar, e quelli degli indici quantitativi (Margalef, Menhinick, Shannon-Wiener e Simpson) è stato

calcolato il coefficiente di correlazione per ranghi di Sperman. Non sono risultate correlazioni significative tra il QBS-ar e gli indici quantitativi.

Si è calcolato il coefficiente di correlazione per ranghi di Sperman anche per ricercare eventuali correlazioni tra i valori di QBS e quelli dell'IBL (Indice di Biodiversità Lichenica) ma non sono emerse correlazioni significative tra le due serie di valori.

Per valutare eventuali correlazioni tra il QBS-ar e i valori di pH e sostanza organica è stato calcolato il coefficiente di correlazione per ranghi di Sperman: non sono emerse correlazioni significative. La correlazione tra QBS-ar e S.O. non è risultata significativa, ma il coefficiente di correlazione si avvicina alla soglia di significatività, a differenza degli altri parametri testati.

Considerazioni conclusive

L'articolata ricerca condotta sui suoli del territorio di Agenda 21 Laghi al fine di valutarne la qualità ha considerato sia alcuni parametri fisico-chimici sia soprattutto le comunità edafiche in essi presenti, in accordo con gli attuali indirizzi della ricerca scientifica, rivolti ad utilizzare metodi olistici, tenendo conto soprattutto della biodiversità.

A tali scopi è stata usata una metodica basata sull'adattamento alla vita nel suolo dei microartropodi di recente introduzione, il QBS-ar (Parisi, 2001), ma già ampiamente comprovata per quanto riguarda validità e capacità di fornire risultati significativi e facilmente leggibili in quanto tradotti in indici numerici di Qualità Biologica del Suolo (Angelini et al. 2002; D'Avino et al., 2002; Ferrazzi et al. 2002, 2003; Ferrazzi e Elia, 2005 **a e b**, Gardi et al, 2001; Griselli, 2006; Jacomini et al., 2000; Parisi et al., 2005).

La determinazione tassonomica più approfondita dei gruppi di insetti rispetto a quanto richiesto dal protocollo del QBS-ar ha fornito un quadro più preciso delle biocenosi dei suoli indagati e della loro struttura, ed ha consentito di impiegare i dati ottenuti per il calcolo di indici di biodiversità universalmente utilizzati per descrivere lo stato degli ecosistemi.

La scelta dei prati stabili come tipologia di uso del suolo indagata ha consentito di ottenere dati facilmente confrontabili; si sono considerati inoltre suoli agricoli a diversi metodi di conduzione, per avere informazioni anche su queste importanti realtà del territorio di Agenda 21 Laghi.

Il quadro emerso dal complesso delle indagini effettuate è dettagliatamente espresso, per ogni stazione, nelle schede allegate.

Le analisi sul pH effettuate in ogni stazione per i primi 10 cm di suolo hanno confermato i valori di acidità del terreno indicati nella Carta dei Suoli della Regione Lombardia (2004) ed un elevato contenuto di sostanza organica in tutti i campioni analizzati.

Un suolo ricco di sostanza organica favorisce le comunità edafiche presenti. L'analisi di correlazione tra i valori di QBS-ar e quelli dei parametri fisico-chimici e degli altri indici biotici non è risultata significativa, ma il coefficiente di correlazione con la sostanza organica si avvicina alla soglia di significatività, a differenza degli altri parametri testati.

Il numero di taxa rilevati è stato relativamente elevato; la frequente abbondanza di individui appartenenti ai taxa collemboli e acari è da considerarsi regolare, in quanto questi

invertebrati sono quantitativamente i più importanti tra gli artropodi (Parisi, 1974) negli strati più superficiali del suolo.

I valori di QBS-ar, più bassi di quanto ci si aspetterebbe dalla tipologia di uso del suolo (prati stabili) e dalla condizione ambientale generale, sono determinati dall'assenza di gruppi ben adattati alla vita edafica come ad esempio i proturi, i pauropodi e gli pseudoscorpioni.

E' emersa in molti casi una corrispondenza tra le stazioni con buoni valori generali degli indici di biodiversità e quelle con più elevata Classe di Qualità, a conferma di dati precedentemente acquisiti (Ferrazzi et al. 2002) che indicano come l'indice biotico qualitativo QBS-ar possa supportare efficacemente indici quantitativi di biodiversità.

Non sono invece emerse correlazioni significative tra i valori dell'Indice di Biodiversità Lichenica, IBL (Anderi et al. 2005), che indaga la Qualità dell'aria, e il QBS-ar, che si riferisce all'ecosistema edafico.

La modesta qualità biologica del suolo risulta infatti generalizzata sul territorio: i valori di QBS-ar non sembrano essere stati condizionati dai punti di campionamento scelti per particolari criticità ambientali o da quelli che ne sono considerati esenti.

In questa fase di studio, si può affermare che la qualità biologica dei suoli nel territorio di Agenda 21 Laghi è generalmente non elevata, inferiore a quanto ci si potrebbe aspettare dall'analisi del territorio, dalla diffusione della vegetazione rispetto alle aree urbanizzate e dall'apparente scarsità di cospicue forme di inquinamento. Il passo successivo potrebbe essere un'indagine mirata a ricercare le cause di tale situazione, che appare poco congrua rispetto all'uso del territorio e all'impatto antropico locale non particolarmente evidente.

Bibliografia

1. ALLISON F.E., 1973 – Development in Science 3: soil organic matter and its role in crop production- Elsevier Scientific Publication Company, New York, 637 pp.
2. ANDERI P., BALDI D., BORTOLAS D., 2005 –Bioindicazione della qualità dell'aria mediante l'uso dei Licheni Epifiti- Agenda 21 Laghi.
3. ANGELINI P., FENOGLIO S., ISAIA M., JACOMINI C., MIGLIORINI M., MORISI A., 2002 - Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo - ARPA Piemonte- Gruppo Alzani.
4. BARDGETT R.D., COOK R., 1998 – Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grassland – Applied Soil Ecology 10, 263-276.
5. BARI A., FANTONE D., FASSINA S., BOTTINO A., 2006 – Biodiversità della comunità edafica in suoli sottoposti a diverse tipologie di impatto- Relazione sullo stato ambientale 2005. Arpa Piemonte.
6. BONHAM K., MESIBOV R., BASHFORD R., 2002- Diversity and abundance of some ground-dwellings invertebrates in plantations vs. native forests in Tasmania, Australia- Forest Ecology and Management 158: 237-247.
7. CANCELA DE FONSECA J.P., SARKAR S., 1998 – Soil microarthropods in two different managed ecological system (Tripura, India)- Applied Soil Ecology, 9: 105-107.
8. CASARINI P., 2004 -Esperienze di biomonitoraggio del suolo in Lombardia- Atti del convegno nazionale APAT “La conoscenza della qualità del suolo attraverso l'utilizzo di indicatori biologici ed ecotossicologici”. Torino 13 maggio 2004:56-60.
9. CHINERY M., 1987 –Guida degli insetti d'Europa- Franco Muzio Editore.
10. CHINERY M., 2007 –Insects of Britain and Western Europe- A & C Black, London.
11. COINEAU Y., CLEVA R., DU CHETENET G., 1997 –Ces animaux minuscules qui nous entourent- Delachaux et Niestè.
12. D'AVINO L., 2002 – Esposizione del metodo di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure – Museo di Storia Naturale, Dip. di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università degli Studi di Parma.
13. DE RUITER P.C., NEUTEL A., MOORE J., 1998 – Biodiversity in soil ecosystem: the role of energy flow and community stability, Appl. Soil Ecol.10: 217-228.
14. DORAN J. W., ZEISS M. R., 2000 – Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality- Applied Soil Ecology, 15: 3-11.

15. DORAN J. W., 2002 – Soil health and global sustainability: translating science into practice- Agriculture, Ecosystem and Environment, 88: 119-127.
16. ELIA E., SIMÓN J. C., FERRAZZI P., ESPANTALEÓN D. 2002 - Collembola populations in a natural ecosystem and in two nearby potato fields under organic and conventional farming regimes. VI Int. Symp. Apterygota, Siena, September 13-17, 2002: 53.
17. ENTE REGIONALE PER I SERVIZI ALL'AGRICOLTURA E ALLE FORESTE (ERSAF), 2004 –Carta dei suoli della Lombardia.
18. FERRAZZI P., ELIA E. 2005 a - Zoocenosi edafiche (microartropodi) e biodiversità del suolo nel Biellese (Piemonte). Proceedings XX Congresso Nazionale Italiano di Entomologia. Perugia – Assisi, 13-18 Giugno 2005: 93.
19. FERRAZZI P., ELIA E. 2005 b – Qualità biologica del suolo. Microartropodofauna e pacciamatura. Incontri Fitoiatrici 2005. Difesa delle colture ortofrutticole, 24-25 febbraio 2005: 47-50.
20. FERRAZZI P., ELIA E., PORPORATO M., PARISI V., 2002 - Effetti della solarizzazione sulla microartropodo-fauna di un suolo agrario. XIX Congr. Naz. It. Entom. Catania, 10-15 giugno 2002: 331-335.
21. FERRAZZI P., ELIA E., PORTA F., 2003 – Effects of a new agricultural management method derived from “natural” farming on soil arthropodofauna. XXX CIOSTA-CIGR V Congress, Management and technology applications to empower agro-food systems, Turin, September 22-24, 2003: 654-659.
22. GARDI C., JACOMINI C., MENTA C. & PARISI V., 2003 – Evaluation of Land Use and Crop Management on Soil Quality: application of QBS (Biological Quality of Soil) methods. OECD *Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators*, 25-28 March, 2003, Rome, Italy.
23. GARDI C., TOMASELLI M., PARISI V., PETRAGLIA A., SANTINI C., 2001- Soil quality 1997 indicators and biodiversity in northern italian permanent grassland. European Journal of Soil Biology, 38: 103-110.
24. GHETTI P.F., 1997 – Manuale di applicazione Indice Biotico Esteso (I.B.E.) I macroinvertebrati nel controllo della qualità delle acque correnti- Provincia Autonoma di Trento, Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente.
25. GRISELLI B., 2006 – La qualità biologica del suolo mediante lo studio dei popolamenti di microartropodi- Relazione sullo stato ambientale 2005. Arpa Piemonte.
26. JACOMINI C., NAPPI P., SBRILLI G., MANCINI L., 2000 –Indicatori ed indici ecotossicologici e biologici applicati al suolo: stato dell'arte. ANPA, RTI CTN_SSC 3/2000: sito internet ANPA <http://www.sinanet.anpa.it/aree/geosfera/documentazione>
27. KAUTZ T., LOPEZ-FANDO C., ELLMER F., 2006 –Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain- Applied Soil Ecology, 33:278-285.

28. MARCHETTI R., 1998 – Ecologia applicata – Città studi, Milano.
29. MC GAVIN G., 2000 – Insetti ragni e altri artropodi terrestri- Dorling Kindersley Handbooks
30. NANNIPIERI P., 1993 –Ciclo della sostanza organica nel suolo, aspetti agronomici, chimici, ecologici, selvicolturali- Patron Editore.
31. PAOLETTI M. G., 1999 –The roles of earthworms for assessment of sustainability- Agric. Ecosyst. Environ., 74: 137-155.
32. PAOLETTI M. G., 1999 –Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability- Agric. Ecosyst. Environ., 74: 1-18.
33. PARISI V., 1974 –Biologia ed ecologia del suolo- Boringhieri, Torino.
34. PARISI V., 2001 – La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi – Acta Naturalia de “L’Ateneo Parmense” 37, 105-114.
35. PARISI V., MENTA C., GARDI C., JACOMINI C., MOZZANICA E., 2005 – Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy- Agriculture, Ecosystems and Environment, 105: 223-333.
36. PAULIAN R., 1956 – Larves d’insectes de France, vers blanc, chenilles, asticots- Editions N. Boubee.
37. PIMENTEL D., STACHOW U., TACKAS D.A., BRUBAKER H.W., DUMAS A.R., MEANLEY J.J., O’NEAL J.A.S., ONSI D.E., CORZILUS D.B., 1992 - Conserving biological diversity in agricultural/forestry system, Bioscience 42 :354-362.
38. ROSSARO B., 1998 – La struttura delle comunità – in Marchetti R., Ecologia applicata – Città studi, Milano: 355-379.
39. RUPPERT E., BARNES R., 1997 – Zoologia, gli invertebrati – Ed. Piccin.
40. SACCHI C.F., TESTARD P., 1971 – Ecologie animale – Doin, Paris.
41. SERVADEI A., ZANGHERI S., MASUTTI L., 1972 - Entomologia generale e applicata- CEDAM, Padova.
42. TSIAFOULI M.A. *et al.*, 2005- Response of soil microarthropods to experimental short-term manipulation of soil moisture- Applied Soil Ecology, 29: 17-26.
43. VERTI F., 2007 - Confronto tra la qualità biologica dei suoli di diverse tipologie di agrosistemi, siti nella zona dei laghi della provincia di Varese, Relazione Finale, Facoltà di Agraria, Università degli studi di Torino.
44. WARDLE D.A., YEATES G.W., WATSON R.N., NICHOLSON K.S., 1995 - The detritus food-web and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agro-ecosystem, in H. Collins, G. Robertson, M. Klug (Eds.), The significance and Regulation of Soil Biodiversity, Kluwer Academic Publishers.

45. WOLFGANG B., 2003 –Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level – Agriculture, Ecosystem and Environment, 98: 35-78.

Premessa	1
Introduzione	2
Suolo	5
Reti trofiche nel suolo	5
Fauna edafica	5
Principali gruppi della fauna edafica	7
Nematoda	7
Annelida Oligochaeta	8
Lumbricidae	8
Enchytraeidae	8
Mollusca Gastropoda	8
MICROARTROPODI	9
Arthropoda	9
Arachnida (4 paia di zampe)	9
Araneae	9
Palpigrada	9
Opiliona	10
Pseudoscorpionida	10
Acarida	10
Paupoda	11
Symphyla	11
Exapoda	12
Protura	12
Diplura	12
Collembola	12
MACROARTROPODI artropodi di dimensioni > 2 mm	14
Diplopoda	14
Chilopoda	14
Crustacea	15
Isopoda	15
Exapoda (Insetti)	15
Microcoryphia	15
Zygentomata	15
Dermaptera	16
Orthoptera	16
Embioptera	16
Blattaria	16
Psocoptera	17
Hemiptera	17
Thysanoptera	18
Coleoptera	18
Hymenoptera	18
Diptera	19
Biomonitoraggio del suolo	21
Indici biotici	22
Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS)	22
Indici di biodiversità	24
Qualità, fertilità e inquinamento del suolo	25
Area di studio	26

Clima	27
Suoli	28
Obiettivi	31
MATERIALI E METODI	32
Pianificazione della ricerca	32
Descrizione delle aziende agricole	34
Fase di campionamento	35
RISULTATI	37
Vegetazione	37
pH e contenuto % di Sostanza organica (S.O.)	38
Taxa	40
Abbondanze	42
QBS-ar	43
Indici di biodiversità (Indici biotici quantitativi)	48
Statistica	50
Considerazioni conclusive	52
Bibliografia	54