

LA SOSTANZA ORGANICA E LA DESERTIFICAZIONE:
ASPETTI SPERIMENTALI E MODELLISTICA

Valutazione della risposta al rischio di desertificazione da parte di indicatori agrobiocimici

LA SOSTANZA ORGANICA E LA DESERTIFICAZIONE:
ASPETTI SPERIMENTALI E MODELLISTICA

A cura di Gian Paolo Aspetti e Massimo Iannetta

2006 ENEA
Ente per le Nuove tecnologie
l'Energia e l'Ambiente

Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 Roma

ISBN 88-8286-148-1



LA SOSTANZA ORGANICA E LA
DESERTIFICAZIONE:
ASPETTI SPERIMENTALI E MODELLISTICA

Valutazione della risposta al rischio di desertificazione
da parte di indicatori agrobiochimici

A cura di GIAN PAOLO ASPETTI e MASSIMO IANNETTA

Autori:

Gian Paolo Aspetti, Raffaella Boccelli, Attilio Amerigo, Maria Del Re,
Marco Trevisan, Mara Gennari



ELENCO DELLE MONOGRAFIE

RIADE “Ricerca Integrata per l’Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione” ha proposto e realizzato un avanzamento non solo nelle conoscenze settoriali, ma nell’approccio integrato e multidisciplinare, indispensabile per una tematica così complessa come la desertificazione. Di seguito sono riportate le 12 monografie prodotte nel corso delle attività di progetto, che documentano il lavoro svolto ed i risultati conseguiti.

1. La desertificazione in Italia e il progetto RIADE
2. Caratterizzazione tipologica dei fenomeni di desertificazione nell’Italia meridionale ed insulare
3. Indicatori di desertificazione: approccio integrato e supporto alle decisioni
4. Tecnologie innovative per l’analisi di variabili climatiche
5. Nuove tecnologie per lo studio della vegetazione in relazione ai cambiamenti climatici
6. Ricerca di metodi innovativi per l’analisi e la valutazione dell’erosione dei suoli mediante analisi isotopiche
7. La sostanza organica e la desertificazione: aspetti sperimentali e modellistica
8. Salinizzazione e qualità delle acque: impatti e ipotesi di mitigazione
9. Studio sulla gestione sostenibile delle risorse idriche: dall’analisi conoscitiva alle strategie di salvaguardia e tutela
10. Lettura dinamica delle relazioni tra territorio, insediamenti umani ed utilizzo delle risorse naturali: sistematizzazione e riproposizione in chiave innovativa delle conoscenze e tecniche tradizionali
11. Modellistica ambientale e sistemi di supporto alle decisioni per la lotta alla desertificazione
12. Appunti da un viaggio di studio...ciò che abbiamo imparato e che non avremmo altrimenti appreso (dal Master F-RIADE)

<http://www.riade.net>

Ricerca Integrata per l’Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla DEsertificazione



INDICE

INDICE	5
1 – INTRODUZIONE	7
La sostanza organica.....	7
La microflora	7
Evoluzione della sostanza organica nel suolo	8
Sostanza organica e proprietà chimico-fisiche del terreno.....	9
Proprietà biochimiche e fisiologiche della sostanza organica.....	11
Modellistica e indicatori	11
2 – VALUTAZIONE DELLA SENSIBILITÀ DI INDICI AGROBIOCHIMICI – SCOPO DEL LAVORO	13
3 – PIANO SPERIMENTALE	15
Elaborazione dati e metodologia statistica	16
Studio A: effetto dell'area di rischio .....	.....
Studio B: effetto della stagione .....	.....
Studio C: effetto della coltura .....	.....
4 – ANALISI FISICO-MECCANICHE, CHIMICHE E BIOCHIMICHE	19
Umidità	19
Tessitura	19
Grado di reazione (pH).....	20
Conduttività elettrica	20
Capacità di scambio cationico	20
Determinazione del carbonio organico totale (metodo Springer-Klee).....	20
Determinazione della biomassa microbica	20
Fumigazione .....	.....
Procedimento .....	.....
Espressione dei risultati .....	.....
Determinazione della respirazione indotta da substrato	22
Procedimento .....	.....
Espressione dei risultati .....	.....
Messa a punto del metodo .....	.....
La qualità dei dati analitici	24
Rappresentatività .....	.....

5 – RISULTATI E DISCUSSIONE.....	27
Prove preliminari	27
Effetto area di rischio (A).....	28
Fase A.1	
Fase A.2	
Fase A.3	
Effetto Stagione (B).....	39
Fase B.1	
Fase B.2	
Fase B.3	
Effetto coltura (C).....	45
Fase C.1	
Fase C.2	
Fase C.3	
6 – APPROFONDIMENTO BIOLOGICO: VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ CON INDICE QBS-Ar.....	53
Introduzione: i bioindicatori	53
Problematiche connesse ai bioindicatori	
Le catene alimentari	
Biocenosi – Edaphon	
Indici basati su microreti ecologiche	
Indici basati su mesoreti ecologiche	
Indici a livello di macroreti ecologiche	
Indici complessivi	
QBS-ar.....	59
Obiettivo	
Materiali e metodi	
Risultati e discussione	
7 – CONCLUSIONI.....	65
8 – BIBLIOGRAFIA CITATA O CONSULTATA.....	67

1 – INTRODUZIONE

La sostanza organica

La sostanza organica del terreno ha una importanza talmente fondamentale da poter essere considerata la “chiave di volta” della fertilità. Essa infatti riunisce in sé le funzioni di concime, correttivo, ammendante ed altre ancora. Anche in piccole dosi, essa può modificare profondamente le proprietà della frazione minerale del suolo, influenzandone le proprietà fisiche, chimiche e biologiche, sulle quali ha un effetto generalmente desiderabilissimo:

- rispetto alle proprietà fisiche, ha azione migliorativa su struttura e stabilità del terreno, aumenta la capacità di ritenzione idrica, la lavorabilità dei terreni argillosi e la riduzione dell'albedo, modificando il grado termico del suolo;
- rispetto alle proprietà chimiche, fornisce elementi nutritivi alle piante come conseguenza dei processi di mineralizzazione, inoltre la sostanza organica umificata, che ha proprietà colloidali elettronegative, ha la capacità di adsorbire cationi di gran lunga superiore anche ai più reattivi colloidali argillosi, aumenta fortemente il potere tampone del suolo, modifica l'equilibrio delle basi nella soluzione circolante, influenza direttamente o indirettamente la disponibilità di molti elementi attraverso diversi meccanismi (es. riducendo l'intensità di fissazione del fosforo e del boro);
- rispetto alle proprietà biologiche, è fonte d'energia per quasi tutte le forme di vita terricole; mineralizzandosi produce CO₂ che diffondendosi nell'atmosfera la arricchisce di tale composto fondamentale per la fotosintesi; durante la sua decomposizione rilascia SFA (sostanze fisiologicamente attive) con effetti stimolanti sulla vita delle piante.

La diminuzione dunque da parte del terreno del contenuto di sostanza organica, come altresì la diminuzione della sua stabilità, è connesso col peggioramento della qualità del terreno e con i processi legati alla desertificazione.

La microflora

Il ciclo dei nutrienti nel suolo è fortemente condizionato dall'attività di numerosi microrganismi in esso presenti. Questi giocano un ruolo fondamentale nella decomposizione dei residui organici e nel ciclo dei nutrienti e a loro è riconosciuta una fondamentale funzione ecologica per il benessere e la salute del suolo. La loro attività risente delle variazioni delle condizioni ambientali; queste interferiscono con gli equilibri instaurati fra i vari gruppi microbici, con conseguente alterazione dei cicli biogeochimici.

Essi sono quindi particolarmente sensibili alle variazioni dello stato di qualità dei suoli soggetti ai fattori che contribuiscono al rischio di desertificazione.

L'ambiente terrestre contiene un numero elevatissimo di associazioni biologiche che competono per risorse comuni. I principali gruppi di microrganismi tipicamente osservati nel terreno includono rappresentanti di batteri, attinomiceti, funghi, alghe e protozoi. In ognuno di tali gruppi esistono caratteri che li rendono capaci di adattamento in specifiche nicchie ecologiche. I batteri tellurici sono per la maggior parte saprofiti o parassiti con alcune forme autotrofe e simbiotiche. I batteri possono liberare risorse altrimenti non disponibili ad altri organismi. Alcuni microrganismi si sviluppano in colonie numerose; la crescita coloniale può permettere vantaggi quali la protezione contro l'essiccazione, contro agenti tossici o radiazioni ultraviolette. Tra i più importanti processi condizionati dai microrganismi del suolo menzioniamo i cicli dei nutrienti, come carbonio, azoto, zolfo e fosforo.

Evoluzione della sostanza organica nel suolo

La sostanza organica del suolo è composta da una serie di prodotti che vanno dai tessuti vegetali, animali e microbici indecomposti, da prodotti sui quali è avvenuta una breve decomposizione, da sostanze amorfe sufficientemente stabili di colore nero o bruno dalle quali è impossibile risalire alla struttura chimico-anatomica dei materiali da cui hanno preso origine (Russell, 1982); queste ultime rispondono alla definizione che usualmente si fa di humus o sostanze umiche. Non è facile individuare le sostanze sopra descritte poiché le diverse fasi si susseguono senza limiti di continuità.

La sostanza organica nel suolo è soggetta nel suolo a due processi chimici, l'umificazione e la mineralizzazione. Quest'ultimo è costituito da una serie di reazioni ossidative attraverso le quali la sostanza organica viene trasformata in sostanze elementari; attraverso questo processo si realizza un non trascurabile apporto di elementi nutritivi (NO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^+ , K^+ ecc).

L'umificazione è rappresentata da una serie di reazioni di sintesi che portano alla formazione di macromolecole organiche molto stabili che rappresentano la frazione più attiva della sostanza organica del suolo.

Dall'apporto di residui al suolo e dalla velocità di mineralizzazione dipende il contenuto di sostanza organica in un terreno.

Nei terreni esposti a temperature elevate la sostanza organica subisce maggiormente gli effetti della mineralizzazione (Jenny et al. 1948) analoga sorte si ha nei terreni sciolti, dove il drenaggio dell'acqua è agevolato lasciando oltremodo spazi all'ossigeno. Nei terreni di medio impasto ed in ambienti caratterizzati da media piovosità e temperature miti, il processo di umificazione è più spinto e la sostanza organica permane nel suolo per tempi maggiori. Altri fattori che possono influenzare il contenuto di sostanza organica, sono: la capacità di ritenzione idrica, il pH, la natura della roccia madre, la presenza di argilla, il contenuto in calcare, le lavorazioni, le concimazioni, la composizione dei residui organici, il loro contenuto in proteine, polisaccaridi e resine. Questi fattori, agendo sulle attività dei microrganismi terricoli, influiscono sui processi di umificazione e mineralizzazione.

Sostanza organica e proprietà chimico-fisiche del terreno

Tutte le proprietà fisiche, come ad esempio la struttura, la resistenza meccanica, la ritenzione idrica, il colore e la capacità termica, sono in stretta relazione con la quantità e la qualità della sostanza organica. Questa riesce ad incidere sensibilmente sulle proprietà fisiche del suolo anche a livelli quantitativi molto bassi ed in ogni caso inferiori rispetto a tutte le altre componenti; variazioni anche piccole del contenuto di sostanza organica provocano mutamenti consistenti delle caratteristiche fisiche (De Nobili e Maggioni, 1993a).

La presenza di sostanza organica si manifesta soprattutto modificando la struttura di un terreno dando luogo ai fenomeni di aggregazione tra le particelle di argilla o di limo con formazione dei glomeruli.

L'azione cementante della sostanza organica si manifesta anche quando è presente in quantità appena superiore allo 0,5%. Si è accertato che la stabilità dei microaggregati dipende in modo significativo dal contenuto in acidi umici e fulvici (Piccolo e Mbagwu, 1990), anche se possono legare tra loro le particelle di argilla in ugual modo gli ossidi ed idrossidi di ferro ed alluminio.

Gli agenti organici che esplicano la funzione legante possono essere classificati sulla base della durata della loro azione cementante. Si hanno quindi agenti leganti transienti, costituiti soprattutto da polisaccaridi esterni alle strutture vegetali e agli organismi animali, agenti leganti temporanei, costituiti da radici, ife e micorrize ed agenti leganti persistenti costituiti dalle sostanze umiche, di regola ulteriormente stabilizzati per mezzo dell'associazione con cationi polivalenti (De Nobili e Maggioni, 1993a).

La sostanza organica influenza la capacità di ritenzione idrica del terreno, non solo perché condiziona l'aggregazione strutturale e quindi la porosità, ma anche per effetto diretto. Infatti, i polisaccaridi e molti componenti delle sostanze umiche possono trattenere fino a quattro volte il loro peso d'acqua a causa dell'elevato numero di gruppi funzionali idrofili presenti sulle molecole.

L'acqua trattenuta dalla sostanza organica influenza fortemente il regime di temperatura del suolo a causa della sua elevata capacità termica. Il terreno infatti si riscalda e si raffredda molto più lentamente quando il contenuto di acqua è elevato.

Inoltre, il colore scuro che la presenza di sostanza organica determina, influenza ulteriormente il regime termico del suolo.

I terreni ricchi di sostanza organica mostrano una certa resistenza ai fenomeni erosivi. Oltre che per la migliorata struttura, l'erosione viene limitata grazie anche all'azione assorbente della sostanza organica ed all'effetto protettivo contro il costipamento che essa determina.

È inoltre da segnalare la funzione della sostanza organica del suolo sull'evoluzione pedologica.

La presenza di sostanza organica determina una serie di effetti anche sulle qualità chimiche di un terreno; tra i diversi costituenti del suolo, essa è di gran lunga la parte più reattiva dal punto di vista chimico.

La capacità di scambio cationico (CSC) indica una proprietà quantificabile come milliequivalenti di cationi trattenuti in forma scambiabile da 100 grammi di suolo secco. I cationi trattenuti sono in equilibrio dinamico con quelli disciolti nella soluzione del terreno e rispetto a questi ultimi sono protetti dalle possibili perdite per lisciviazione verso gli strati inferiori e costituiscono quindi una riserva, prontamente disponibile, di elementi nutritivi per le piante.

La capacità di scambio cationico della sostanza organica viene misurata sottraendo alla capacità di scambio del suolo integro la capacità di scambio cationico del campione di suolo residuo, dopo distruzione della sostanza organica per ossidazione, oppure dopo sua estrazione con soda. In media la sostanza organica contribuisce per il 50% circa alla capacità di scambio cationico di un suolo nei nostri climi (De Nobili e Maggioni, 1993b).

I gruppi funzionali presenti in alcuni costituenti della sostanza organica del terreno ed in particolare nelle sostanze umiche possono facilmente formare un tipo di complessi caratterizzati da un'elevata stabilità: i chelati.

Un complesso chelato si forma quando due o più gruppi funzionali legati al metallo appartengono a una stessa molecola organica, che in tal caso viene chiamata chelante.

Sono soprattutto i gruppi funzionali acidi (COOH e OH fenolici) e i gruppi funzionali basici (N amminico), presenti in gran numero nelle sostanze organiche umificate, a permettere la formazione dei chelati.

Nel caso degli acidi fulvici, che possono avere dimensioni molecolari relativamente piccole (500-10.000 dalton), con bassi valori del rapporto di concentrazione metallo/acidi fulvici, il metallo può anche venire contemporaneamente chelato da due diverse molecole. Così più ioni metallici, legati da più molecole di acidi fulvici, finiscono col formare strutture a catena (Stevenson 1982).

Il contenuto in sostanza organica è uno dei fattori che influiscono maggiormente, in maniera sia indiretta che diretta, sul potenziale di ossido riduzione di un suolo mantenendo una buona struttura con un'adeguata porosità e permettendo, quindi, l'esistenza di condizioni ottimali di aerazione e drenaggio del suolo, che contribuiscono ad impedire l'instaurarsi di condizioni asfittiche. Quando il terreno si trova in condizioni asfittiche, microrganismi anaerobi facoltativi utilizzano, in alternativa all'ossigeno, alcuni dei principali costituenti inorganici del suolo, quali nitrati, ossidi e idrossidi di manganese e ferro come accettori finali di elettroni.

Trasformazioni sostanziali, quali modificazione del pH e della conducibilità, rilascio e fissazione del fosforo sono tutti fenomeni la cui intensità dipende strettamente dalla disponibilità di sostanza organica oltre che al contenuto di aria tellurica.

Proprietà biochimiche e fisiologiche della sostanza organica

Gli enzimi, in quanto proteine, hanno un'esistenza effimera se non vengono in qualche modo protetti dalla degradazione microbica una volta rilasciati nell'ambiente extracellulare. Gli enzimi immobilizzati dai fillosilicati e/o dalle molecole umiche presenti nel terreno risultano resistenti alla degradazione.

Gli enzimi rilasciati all'esterno della cellula per catalizzare la degradazione di polimeri (cellulosa, amido, etc.) in monomeri o comunque in molecole di dimensioni più piccole tali da essere facilmente assorbite oppure quelli endocellulari rilasciati in seguito alla lisi cellulare dai microrganismi, possono essere inglobati, nel corso del processo di umificazione, nei complessi organo-minerali senza perdere la loro attività. In tal modo vengono ad essere protetti dalla degradazione microbica, acquistano una marcata resistenza alla denaturazione termica e possono svolgere la loro funzione anche in condizioni sfavorevoli per l'attività microbica (Burns, 1982; Nannipieri et al., 1990). Il suolo viene così ad essere caratterizzato come vero e proprio sistema enzimatico extracellulare.

Un fenomeno noto da diverso tempo e' l'adsorbimento delle proteine da parte dei fillosilicati (Burns, 1986; Mortland, 1986), questo avviene in seguito a reazioni di scambio cationico: i siti delle molecole proteiche caricati positivamente riescono a sostituire i cationi che saturano la carica negativa dei fillosilicati.

Gli enzimi possono essere immobilizzati anche su matrici umiche; questo fenomeno sembra portare ad una "stabilizzazione" della struttura terziaria della proteina, rendendo così l'enzima, come detto precedentemente, più resistente alla denaturazione termica. Così come avviene per l'associazione con i fillosilicati, l'unione con le matrici umiche protegge gli enzimi dalla degradazione proteica (Nannipieri et al., 1982).

Modellistica e indicatori

I modelli altro non sono che una rappresentazione della realtà: essi possono essere fisico – analogici (es. un plastico di un quartiere per un urbanista) oppure matematici. In realtà si usano a livello anche solo intuitivo modelli in ogni momento della nostra vita, ad esempio per decidere a che ora uscire di casa per raggiungere il posto di lavoro conoscendo distanza e tempo.

Le due funzioni principali degli indicatori sono ridurre il numero di misure e di parametri che normalmente sarebbero richiesti per rappresentare una situazione, e semplificare il processo comunicativo attraverso il quale l'informazione è fornita all'utilizzatore. Tali funzioni sono svolte grazie al prezioso aiuto dell'uso dei modelli matematici, con risparmio di tempo e denaro soprattutto grazie all'uso dei mezzi informatici, che consentono di elaborare ingenti quantità di dati, evitando prelievi di campo e analisi di laboratorio.

Anche una interpretazione statistica si basa su un modello, ad esempio la usatissima analisi della varianza (ANOVA) si basa generalmente sul modello GLM.

A fronte di tanti vantaggi, ci sono svariati problemi da affrontarsi:

La necessità dell'iniziale validazione del modello in questione, che richiede moltissima cura, e deve essere specifica per ogni scenario.

Il limite della soggettività, sia nelle scelte di rappresentazione sia nella valutazione dei risultati.

I molteplici errori possibili, come illustrato in seguito.

Nella base conoscitiva del sistema informativo ambientale, particolare importanza riveste l'individuazione e il popolamento di indici e indicatori (ANPA, 2001), parametri che consentono rappresentazioni sintetiche, statiche o dinamiche, di fenomeni (es. la desertificazione) o contesti (es. un comparto ambientale in un'area).

A livello nazionale italiano, queste sono finalità proprie del progetto "Centri Tematici Nazionali (CTN)" della rete SINATnet. Il CTN Suolo e Siti Contaminati (CTN SSC) ha curato lo sviluppo di indicatori idonei a descrivere lo stato attuale e tendenziale della matrice suolo.

Il centinaio di indicatori individuati costituisce, per così dire, un insieme teorico ottimale (anche in termini di costo/benefici ovvero costo/contenuto informativo) di elementi conoscitivi che, opportunamente monitorati nel tempo, consentirebbero di fornire una rappresentazione efficiente dello stato dell'ambiente oggettivo e della sua prevedibile evoluzione.

2 – VALUTAZIONE DELLA SENSIBILITÀ DI INDICI AGROBIOCHIMICI –

SCOPO DEL LAVORO

Gli indicatori applicati finora in Italia per valutare il rischio di desertificazione (e di conseguenza la presenza dei processi ad essa legati, che impoveriscono i terreni e ne peggiorano la qualità nel senso più esteso) hanno prescinduto dalle caratteristiche e proprietà agrochimiche dei terreni stessi, come illustrato nel Capitolo 1. Essendo la desertificazione un concetto intimamente connesso con la produttività potenziale e la qualità agronomica dei suoli, risulta tuttavia evidente il ruolo delle proprietà agrochimiche di un suolo. Riguardo a tali proprietà i dati disponibili non possono essere implementati in indici come quello ESA - MEDALUS alla stregua di quelli meteorologici ecc., per inadeguatezza in quantità, omogeneità e dettaglio.

Scopo del lavoro è stato perciò identificare parametri agrochimici adatti a tale uso. A tal scopo anzitutto è stato necessario isolare, nella rosa dei parametri agrochimici misurabili, alcuni che rispondessero alle caratteristiche necessarie a un indicatore agroambientale, che deve essere accurato, riproducibile, non eccessivamente dispendioso né complesso da misurarsi, d'uso diffuso, adattabile a situazioni diverse, sintetico e soprattutto sensibile al fenomeno in studio. Nel caso della desertificazione i processi in atto sono complessi, molteplici, interattivi e in larga parte non del tutto conosciuti, perciò indicatori sofisticati come enzimi o pull genetico sono stati accantonati almeno per il momento, e si è rivolta l'attenzione a parametri come carbonio organico, elemento chiave della fertilità che interagisce e su cui ricadono gli effetti di una moltitudine di processi. Purtroppo indicatori semplici come quelli scelti hanno una grande variabilità anche a scala locale, peraltro spesso simile in posizioni geograficamente molto diverse (esclusi casi estremi come deserti o torbiere, ovviamente: ma non è il nostro caso). Per studiarli si è reso perciò necessario un approccio statistico sofisticato, basato su un piano sperimentale piuttosto esteso.

Sono stati scelti tre parametri legati al carbonio, uno strettamente chimico, ossia il contenuto di carbonio organico totale (TOC), uno chimico – microbiologico, ossia il contenuto di carbonio organico microbico (MBC), e uno biochimico, ossia la respirazione totale indotta da substrato (SIR). Sono stati scelti tali parametri sia perché rispondono alle esigenze succitate sia per la loro importanza nel caratterizzare la sostanza organica del suolo, che non può prescindere dalla flora microbica, come richiamato dal Capitolo 1. È stato scelto come secondo indicatore la respirazione indotta da substrato (SIR) perché è un'analisi biochimica strettamente legata alla vita del terreno (dà una descrizione complessiva dell'attività microbiologica), che ha un significato complessivo ma è allo stesso tempo accurata e riproducibile, aspetti come detto fondamentali visti gli scopi del presente lavoro.

Su TOC – MBC – SIR sono stati studiati gli effetti non solo del grado di rischio di desertificazione, ma anche delle variazioni meteorologiche di breve periodo (ossia delle stagioni) e dell'azione agricola.

Le influenze di tali fattori sui parametri agrochimici sono oltremodo note in letteratura agronomica, tanto da non richiedere menzione. Per lo studio dell'effetto agricolo sono state considerate diverse colture a diverso apporto antropico.

Allo scopo di valutare se tali parametri sono proponibili come indicatori, specifici obiettivi del lavoro sono stati perciò

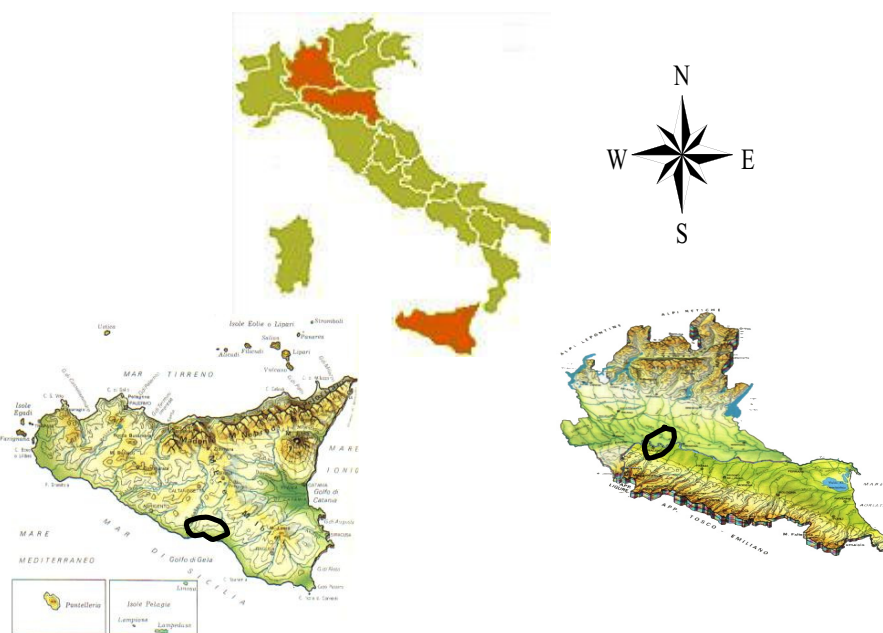
- valutare la sensibilità di tali parametri alla desertificazione
- valutare contestualmente gli effetti espressi su tali parametri dall'andamento stagionale e dalle diverse colture, e le loro interazioni con l'effetto globale esercitato dall'area di rischio di desertificazione.

3 – PIANO SPERIMENTALE

Per raggiungere gli obiettivi prefissati, il piano sperimentale è particolarmente articolato. Anzitutto sono stati identificati siti diversi per gli aspetti in studio, ossia diversi come livello di rischio alla desertificazione e con diverse colture praticate; l'aspetto temporale è stato studiato invece ripetendo nel tempo i campionamenti sugli stessi siti.

Per studiare gli effetti dei processi di desertificazione sui suoli, anzitutto sono state necessarie due aree di studio in opposte condizioni di rischio; sulla base delle mappe ENEA (Giordano et al., 2002) e CIPE (CIPE, 1999) è stata scelta come area ad alto rischio la zona di Licata (AG), mentre, in opposte condizioni di clima e disponibilità d'acqua, è stata scelta come area a basso rischio la zona Cremonese – Piacentina, nella Pianura Padana Occidentale (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Aree sperimentali



Il rischio di desertificazione è quindi stato assunto nella variabile classificatoria “Area”, coi valori “lic” per la zona licatese, area ad alto rischio di desertificazione, o “pad” per la zona padana, area a bassissimo rischio.

Per studiare gli effetti stagionali, le campagne di campionamenti hanno coperto un'annata, dall'estate 2004 alla primavera 2005. Nelle varie stagioni si sono scelte date di prelievo in condizioni meteorologiche più rappresentative possibile della stagione media. In particolare i prelievi sono stati sfalsati tra nord e sud per cogliere condizioni meteorologiche paragonabili, posticipando di qualche settimana i prelievi del nord in estate e anticipandoli in autunno e primavera.

È stata dunque istituita la variabile classificatoria “Stagione”, con 4 valori assumibili: “estate”, “autunno”, “inverno” e “primavera”.

Per indagare l'effetto esercitato da diverse colture, si sono selezionati siti coltivati a pomodoro da mensa in tunnel, foraggio di leguminose di secondo anno (medica e trifoglio) e vite da vino (Merlot, Chardonnay, Cabernet-Sauvignon). Tali colture sono state scelte per tenere in considerazione sia erbacee che arboree, e, pur restando in pieno campo, condizioni ben diverse di influenza antropica (dalla minima nel caso del foraggio di leguminose alla massima in quello del pomodoro da mensa sotto tunnel mobile). L'attenzione non è stata concessa alle colture in serra, poiché in tal caso il substrato diventa artificiale e slegato dal campo di interazione agro – ambientale.

È stata dunque istituita la variabile classificatoria “Coltura”, con 4 valori assumibili: “for” per il foraggio, “pom” per il pomodoro e “vite” per la vite.

Per ogni coltura in ciascuna area sono stati scelti tre siti diversi nel caso di pomodoro e foraggio e cinque nel caso della vite. Per ogni sito ad ogni campionamento sono stati prelevati tre replicati di campo, prelevati nei 30 cm superficiali di terreno. I terreni sono poi stati essiccati all'aria e setacciati a 2 mm, per essere poi conservati in barattoli non ermeticamente chiusi, escluso i casi delle determinazioni di SIR e MBC, per le quali i suoli sono stati conservati in frigorifero (ma sono state eseguite generalmente nel giro di pochi giorni dalla setacciatura).

Elaborazione dati e metodologia statistica

In tutti i casi è stata condotta un'analisi multivariata (MANOVA) con variabili dipendenti TOC – MBC – SIR, modello GLM tipo III dell'analisi della varianza (PROC GLM, SAS Institute 1985). Quando la variabile poteva assumere più di due valori, è stato eseguito il test post hoc di Duncan per distinguere le classi; tale test raggruppa le classi in popolazioni omogenee, attraverso un confronto delle medie che tiene conto delle varianze.

Indipendentemente dal tipo di variabili, è stato considerato significativo solo un fattore o una interazione che avesse $p < 0,05$.

I software di calcolo adoperati per l'elaborazione dei dati e dei grafici sono SPSS ® e SAS ®. Nelle prove preliminari si è valutata l'omogeneità delle popolazioni con l'ANOVA e col test T.

Come di seguito illustrato, i dati ottenuti dalla sperimentazione sono stati distribuiti in diverse popolazioni a seconda degli obiettivi, in modo da avere piani di dati simmetrici tra le variabili e tra le loro combinazioni. Tali popolazioni di dati sono state poi elaborate separatamente nelle diverse fasi di seguito descritte.

Studio A: effetto dell'area di rischio

Fase A.1: Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra le 2 aree adoperando i dati ottenuti dai campioni prelevati in estate 2004 dai siti coltivati a foraggio e a pomodoro, per un totale di 4 combinazioni di variabili, con 12 siti campionati e 36 campioni totali. È stato possibile così valutare anche l'effetto della Coltura, e la sua interazione di I ordine con la variabile Area di rischio.

Fase A.2: Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra le 2 aree adoperando i dati ottenuti dai campioni prelevati in autunno 2004 dai siti coltivati a foraggio e a vite, per un totale di 4 combinazioni di variabili, con 16 siti campionati e 48 campioni totali. È stato possibile così valutare anche l'effetto della Coltura, e l'interazione di I ordine con la variabile Area di rischio.

Fase A.3: Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra le 2 aree adoperando i dati ottenuti dai campioni prelevati in estate – autunno – primavera dai soli siti coltivati a foraggio, per un totale di 6 combinazioni di variabili, con 6 siti campionati per 3 volte e 54 campioni totali. È stato possibile così valutare anche l'effetto della Stagione, e la sua interazione di I ordine con la variabile Area di rischio.

Studio B: effetto della stagione

Fase B.1: È basato sugli stessi dati di A.3. Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra le 3 stagioni estate – autunno – primavera, elaborando i dati ottenuti dai siti coltivati a foraggio nelle 2 aree, per un totale di 6 combinazioni di variabili, con 6 siti campionati per 3 volte e 54 campioni totali. L'interazione di I ordine con Area, ovviamente la stessa calcolata in A.3, è stata qui evidenziata dal punto di vista della Stagione.

Fase B.2: Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra estate e autunno, elaborando i dati ottenuti dai soli siti licatesi coltivati a pomodoro, con 3 siti campionati per 2 volte e 18 campioni totali.

Fase B.3: Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR nelle 4 stagioni, elaborando i dati ottenuti dai soli siti licatesi coltivati a foraggio, con 3 siti campionati per 4 volte e 36 campioni totali.

Studio C: effetto della coltura

Fase C.1: È basato sugli stessi dati di A1. Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra i siti coltivati a foraggio e pomodoro, elaborando i dati relativi all'estate 2004 in entrambe le aree, per un totale di 4 combinazioni di variabili, con 12 siti campionati e 36 campioni totali. L'interazione di I ordine con Area, ovviamente la stessa calcolata in A1, è stata qui evidenziata dal punto di vista della Coltura.

Fase C.2: È basato sugli stessi dati di A.2. Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra i siti coltivati a foraggio e vite, elaborando i dati relativi all'autunno 2004 in entrambe le aree, per un totale di 4 combinazioni di variabili, con 12 siti campionati e 48 campioni totali. L'interazione di I ordine con Area, ovviamente la stessa calcolata in A.2, è stata qui evidenziata dal punto di vista della Coltura.

Fase C.3: Sono stati confrontati i valori di TOC – MBC – SIR tra i siti coltivati a foraggio, a pomodoro e a vite, elaborando i dati ottenuti dai siti licatesi relativi all'autunno 2004, con 9 siti campionati e 33 campioni totali.

4 – ANALISI FISICO-MECCANICHE, CHIMICHE E BIOCHIMICHE

In laboratorio le analisi dei suoli oggetto dell'indagine sono state eseguite secondo le seguenti procedure:

Umidità

L'umidità relativa è stata calcolata ponendo 10 g di campione in stufa a 105 °C per 24 h, esprimendola poi come

$$UR\% = \frac{H_2O}{s.f.} * 100 = \frac{s.f. - s.s.}{s.f.} * 100$$

Dove:

H₂O = g di acqua

s.f. = g di sostanza fresca

s.s. = g di sostanza secca

Per la misura della SIR è stato necessario calcolare la CIM (capacità idrica massima), attraverso la tecnica della pasta satura. In tale analisi le umidità sono state espresse come

$$UR\% = \frac{H_2O}{s.s.} * 100 = \frac{s.f. - s.s.}{s.s.} * 100$$

Tessitura

La tessitura è stata caratterizzata in accordo con i Metodi di Analisi Chimica del Suolo (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, 2000).

10 g di suolo secco sono stati sottoposti a ripetuti lavaggi con acqua distillata, fino a quando il valore di conducibilità di questa non è risultato circa 1.00 mS cm⁻¹. Successivamente il campione di suolo è stato trasferito in una beuta, sono stati aggiunti 10 mL di una soluzione mista di sodio esametafosfato [(NaPO₃)₆ 40 g/l] e sodio carbonato anidro (Na₂CO₃ 10 g/l), e il tutto è stato posto in agitazione per due ore; successivamente la sospensione, passata attraverso un setaccio da 0,2 mm che ha raccolto la sabbia grossa, è stata passata in un levigatore Esenwein da 500 mL. La torbida versata nel cilindro è stata portata a volume con acqua deionizzata e agitata fino ad ottenere una soluzione omogenea.

Il valore della sabbia grossa si è calcolata essiccando in stufa e pesando la frazione di suolo raccolta nel setaccio da 0,2 mm; limo grosso, limo fine, e argilla sono stati calcolati facendo riferimento ai tempi di sedimentazione, e alla temperatura. La sabbia fine, invece, è stata ottenuta per differenza dalle frazioni valutate.

Grado di reazione (pH)

L'analisi è stata eseguita secondo il Metodo Ufficiale n.III.1 adottato dalla SISS Italiana.

Conduttività elettrica

È stata eseguita secondo il Metodo Ufficiale n. IV.1 adottato dalla SISS Italiana.

La determinazione diretta (strumentale) della conduttività elettrica è stata effettuata in estratto acquoso del suolo, ottenuto con la tecnica della pasta satura.

Capacità di scambio cationico

Ci si è riferiti al Metodo ufficiale italiano n° XIII.2. Il campione di suolo viene monosaturato con bario per ripetuti trattamenti con soluzione di bario cloruro. Successivamente, al campione viene aggiunta più volte una soluzione a titolo noto di magnesio solfato. La reazione porta alla formazione di bario solfato insolubile, e quindi allo scambio completo Ba/Mg. L'eccesso di magnesio in soluzione viene determinato per titolazione complessometrica.

Determinazione del carbonio organico totale (metodo Springer-Klee)

Il contenuto di Carbonio Organico Totale (determinato secondo il Metodo Ufficiale N° VII.2) è un parametro che dà una misura complessiva, attraverso una analisi accurata e semplice.

Il carbonio organico è stata ossidato ad anidride carbonica con soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico, in condizioni standardizzate. La quantità di potassio bicromato che non ha reagito è stata determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II)solfato. Il punto finale della titolazione è stato accertato per via potenziometrica utilizzando un elettrodo di platino. Il metodo differisce dalla normale ossidazione per via umida come descritta dal metodo Walkley-Black in quanto la reazione tra carbonio organico e bicromato è resa quantitativa per il riscaldamento della miscela a 160 °C. Non sono necessari, pertanto, fattori di correzione.

Determinazione della biomassa microbica

Il carbonio organico microbico (MBC, Microbial Biomass Carbon) è un modo per stimare indirettamente la biomassa microbica.

È stato calcolato dopo aver applicato il metodo della fumigazione-estrazione, per differenza tra il valore di C solubile determinato nel suolo fumigato (F) e quello non fumigato (NF):

MBC = F – NF.

La fumigazione effettuata con cloroformio (Vance et al. 1987) lisa le cellule microbiche, permettendo alla soluzione salina di solfato di potassio, successivamente usata come estraente, di portare in soluzione il materiale citoplasmatico.

Aliquote di 50 g di suolo sono state suddivise in due parti uguali, 25 g destinati all'estrazione dopo fumigazione e 25 g destinati all'estrazione diretta. L'estrazione è consistita in agitazione per 30' a 120 rpm dei campioni in matracci conici di Erlenmeyer, dopo aggiunta di 100 mL K₂SO₄ 0,5 M. Le soluzioni sono state poi filtrate e conservate in congelatore fino alla titolazione.

Il carbonio solubile è stato poi determinato per titolazione, sui filtrati sia provenienti da fumigazione che non, dopo mineralizzazione in ambiente acido a caldo (Schwedt e Schnepel, 1981).

Fumigazione

In essiccatore sono stati posti i campioni di 25 g di suolo (posti in beakers di vetro da 50 mL), carta bibula inumidita un beaker in vetro contenente 50 mL di cloroformio puro (e palline di vetro per controllarne l'ebollizione). È stato poi creato il vuoto attraverso una pompa, provocando l'ebollizione del cloroformio e la sua vaporizzazione all'interno dell'essiccatore. Il vapore così formato è verosimilmente entrato anche nei pori più piccoli del suolo uccidendo i microrganismi. Dopo circa due minuti dall'inizio dell'ebollizione del cloroformio, l'essiccatore è stato trasferito in cella termostata a 25 °C al buio per 24 ore. Quindi, aperto l'essiccatore, si è asportato il beaker con il cloroformio liquido residuo, e per eliminare il solvente presente nel terreno si sono effettuate otto successive evacuazioni spingendo di nuovo il vuoto nell'essiccatore, intercalate da trenta secondi di immissione d'aria.

Procedimento

20 mL di estratto sono stati posti in un provettone posto in un digestore insieme a 5 mL di potassio bicromato 0,4 N, 25 mL di acido solforico concentrato, alcune palline di vetro. Sono state previste prove in bianco con K₂SO₄ 0,5 M, sia a freddo sia a caldo. È stata effettuata una pre-digestione a 90°C per 15 minuti e una digestione a 160°C per 30 minuti. Completata la digestione, il mineralizzato è stato raffreddato e portato ad un volume di 100 mL con acqua distillata. 25 mL di mineralizzato sono stati introdotti in un beaker da 250 mL insieme a 50 mL di acido solforico al 3%, è stata aggiunta qualche goccia di indicatore (fenantrolina) ed è stata effettuata una titolazione del potassio bicromato che non ha reagito con il carbonio, con la soluzione di sale di Mohr (ferro ammonio solfato esaidrato 33.3 mN).

Espressione dei risultati

$\mu\text{g C solubile g}^{-1}\text{s.s.} = [(B-A) * N_{\text{sale di Mohr}} * 3*4*1000] / \text{peso s.s.}$

B = volume del titolante necessario a titolare il bianco caldo

A = volume del titolante necessario a titolare il campione

$N_{\text{sale di Mohr}}$ = normalità effettiva del sale di Mohr

3 = peso equivalente del C

4 = rapporto 25 mL a 100 mL

1000 = conversione dei mg a μg

peso s.s. = peso in g del suolo secco corrispondenti a 20 mL di estratto.

Il valore dell'MBC, quindi del carbonio organico addizionale estratto dopo la fumigazione, è dato dalla differenza tra il valore di C solubile determinato nel suolo fumigato (F) e quello non fumigato (NF):

$$\text{MBC} = F - \text{NF}$$

Il carbonio ottenuto dal suolo non fumigato dà la stima della frazione solubile del carbonio organico presente nel suolo.

Determinazione della respirazione indotta da substrato

È un'analisi biochimica strettamente legata alla vita del terreno, dà una descrizione complessiva dell'attività microbiologica. Il suolo "respira" quindi emette CO_2 ; quantificando l'emissione di questo gas è possibile risalire, per via indiretta, all'attività della biomassa microbica presente (Dumontet S. e Mathur S.P, 1989).

Procedimento

Allo scopo di portare tutti i terreni in condizioni omogenee e non limitanti, tutti i campioni sono stati portati al 50% della CIM (Capacità Idrica Massima) e addizionati di substrato prontamente metabolizzabile (glucosio) (Anderson e Domsch, 1978).

La CIM è stata preventivamente determinata attraverso la tecnica della "pasta satura", per imbibizione da carta bibula, e per portare ogni campione al 50% della CIM si è calcolata la mancanza di acqua del terreno tal quale.

Per ogni campione, a 20 g ss di terra fine sono stati aggiunti 80 mg glucosio preventivamente miscelati con 0,5 g di talco; quest'ultimo ha permesso una migliore distribuzione del glucosio nel terreno.

I campioni così addizionati sono stati posti in barattoli di vetro a chiusura ermetica, in ognuno dei quali era presente un bicchierino di plastica, nel quale si sono versati con pipetta di precisione 4 mL di soluzione di idrossido di sodio 1 N (preventivamente decarbonatata per insufflazione e gorgoglio di N_2) capace di catturare la CO_2 liberata dal suolo. Subito dopo l'immissione della soda, il barattolo è stato chiuso ermeticamente e posto in cella termostata a 25 °C per 6 ore.

Parallelamente sono state effettuate prove in bianco con e senza glucosio, contenenti il bicchiere con l'idrossido di sodio ma non campioni di terreno.

Trascorse le 6 h è stata effettuata la determinazione della CO_2 prelevando il bicchiere contenente l'idrossido di sodio e aggiungendo ad esso 8 mL di bario cloruro 0,75 N.

All'aggiunta del bario cloruro si è formata una sostanza lattiginosa derivante dalla precipitazione del carbonato di bario. Si è aggiunta quindi qualche goccia di indicatore fenolftaleina (viraggio dal rosa al bianco) e titolato l'idrossido di sodio che non si era legato alla CO₂ con acido cloridrico 0,1 N.

Espressione dei risultati

Calcolo della CO₂ prodotta[§]:

$$\mu\text{g CO}_2 - \text{C} / \text{g s.s.} = [(B-A) * N \text{ HCl} * 12 / 2 * 1000] / m$$

B = mL di HCl necessari per la prova in bianco

A = mL di HCl necessari a titolare il campione

N HCl = normalità dell'HCl (da verificare ad ogni determinazione)

12 = peso atomico del C

2 = OH⁻ che reagiscono con una molecola di CO₂

1000 = conversione da mg a μg

m = peso secco in grammi del suolo contenuto nel barattolo

Calcolo della SIR

$$\text{SIR} = \mu\text{g CO}_2 / \text{g s.s. (con glucosio)} - \mu\text{g CO}_2\text{-C} / \text{g s.s. (senza glucosio)}$$

Messa a punto del metodo

È stato messo in discussione il quantitativo necessario ad un'analisi accurata, in particolare domandandosi se 20 g non fossero scarsi in terreni come quelli licatesi, spesso molto poveri e stressati da clima, acque salse, coltivazioni, vento.

Si è allo scopo condotta una analisi in doppio su aliquote di campione con replicato in doppio (rispettivamente 20 e 40 g, con talco e glucosio in proporzione).

I risultati hanno dato popolazioni di dati indistinguibili al test T.

[§] Molti autori desiderano valutare la sola respirazione indotta, intesa come differenza tra la respirazione basale del terreno in condizioni standardizzate di temperatura ed umidità ma senza aggiunta di substrato. Allo scopo si condurrebbe una prova in parallelo su aliquote di campione non addizionate di glucosio, e la SIR indotta in senso stretto risulterebbe dal calcolo seguente:

$$\text{SIR} = \mu\text{g CO}_2 / \text{g s.s. (con glucosio)} - \mu\text{g CO}_2\text{-C} / \text{g s.s. (senza glucosio)}$$

Tuttavia nel presente lavoro abbiamo preferito il calcolo della respirazione totale perché è una determinazione standardizzata e reale (che contiene entrambe le altre due), mentre nell'altro modo a fronte di un lungo lavoro si otterrebbe comunque un dato stimato. E ai fini della caratterizzazione indiretta della flora microbica intesa come parametro legato alle dinamiche relative al fenomeno della desertificazione, risulta più interessante il dato più diretto e aggregato.

La qualità dei dati analitici

Particolare attenzione è stata rivolta alla qualità dei dati analitici. Le tecniche adottate allo scopo di valutarla e conservarla elevata sono illustrate di seguito, come la terminologia impiegata.

In laboratorio le misure sono state effettuate in doppio, e sono state allestite prove preliminari per la messa a punto di ciascuna analisi, per ottenere la riproducibilità delle popolazioni dei replicati di laboratorio.

La qualità di un dato analitico è dettata principalmente dalla sua accuratezza, precisione e rappresentatività (APAT 2002). Per ottenere dati di buona qualità, e quindi validi e significativi, è necessario utilizzare metodi analitici affidabili, eseguendo oculatamente le operazioni necessarie per l'analisi ed affiancarle a tecniche di controllo di qualità.

Durante tutto il lavoro sono state eseguite le analisi su almeno due replicati di laboratorio, sia allo scopo di minimizzare gli errori strumentale e umano, sia allo scopo di cautelarsi da eventuali imprevisti ed incidenti (vista la vastità del piano di campionamento e la sua dispersione spaziale), sia infine per valutare la ripetibilità delle misure.

Il primo controllo, per ogni analisi, è stato compiuto sui coefficienti di variazione percentuali delle misure dei replicati di laboratorio, definito

$$c.v. = \frac{dev.st.}{x_m} = \frac{\sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}}{x_m} * 100$$

dove

dev. st. = deviazione standard

X_m = media dei replicati

n = numero dei campioni

x = valore di ogni replicato

Non si è adoperata la deviazione standard ma il coefficiente di variazione per porporzionare la misura della variabilità al dato, e rendere tale misura adimensionata e confrontabile nel corso dell'analisi. Non si sono accettati c.v. > 20%, ponendo a volte limiti più restrittivi a seconda del tipo di analisi e della variabilità in esso insita.

La respirazione indotta da substrato è ad esempio una misura caratterizzata da forte variabilità, per la diversa distribuzione delle colonie microbiche nei diversi aggregati di uno stesso terreno, che genera variabilità di attività e di conseguenza di respirazione anche in replicati di campo molto ben preparati.

Per le misure di umidità del terreno fresco si è posta come condizione c.v. < 1% della s.s. relativa (ossia sostanza secca/sostanza fresca), mentre per la pasta satura c.v. < 5%.

Rappresentatività

Un metodo di analisi può essere molto accurato, ma i risultati non sono utilizzabili se non riflettono la composizione del campione o se il campione non rappresenta la popolazione (ad esempio la zona di suolo) da cui è stato prelevato. Spesso il campionamento è lo stadio più critico nell'intero processo analitico ed è lo stadio che limita l'accuratezza dell'analisi. Questo è particolarmente vero quando il campione da analizzare sia un sistema di grandi dimensioni e non omogeneo, come ad esempio un lago, un suolo, un pezzo di tessuto animale. Il prodotto finale dello stadio di campionamento è costituito da pochi grammi o chilogrammi e può costituire una parte rispetto a 10^7 o 10^8 del materiale di partenza. Comunque il campione deve avere, nei limiti del possibile, una composizione identica alla composizione media della massa totale. Esistono in letteratura numerose procedure da seguire, spesso basate su considerazioni statistiche, per stabilire il numero, la dimensione e l'ubicazione dei punti di prelievo dei campioni, secondo la natura del materiale da analizzare. In generale si può affermare che la rappresentatività del risultato analitico aumenta all'aumentare del numero di campioni prelevati ed analizzati, in particolare se tali campioni derivano da punti diversi del materiale di partenza.

Per massimizzare la rappresentatività del campionamento abbiamo scelto aziende rappresentative in funzione dei parametri scelti da un punto di vista agronomico e agrochimico.

5 – RISULTATI E DISCUSSIONE

Prove preliminari

Sono state svolte prove preliminari, prima di ogni prova, per verificare la qualità dei dati e l'efficacia del piano sperimentale.

Con l'ANOVA si è valutata la varianza spiegata dai replicati di laboratorio, e l'effetto dei replicati non è stato trovato significativo né sulla SIR ($p > 0,31$) né sul TOC ($p > 0,39$), né sull'MBC ($p > 0,29$). Ricordiamo che indipendentemente dal tipo di variabili, sono considerati significativi i fattori o le interazioni con $p < 0,05$. Quando le popolazioni di dati ottenuti dai replicati di laboratorio risultavano distinguibili al test t di Student (pochissimi casi) le prove sono state ripetute prima di elaborare i dati.

Gli effetti delle repliche di campo non sono risultati significativi per nessuno dei parametri considerati.

Tali risultati, integrandosi con quanto esposto nella sezione “Materiali e metodi” a proposito di accuratezza e precisione, garantiscono una soddisfacente qualità dei dati, sia in relazione all'attività di laboratorio che di campo, dal piano di campionamento alla scelta e trattamento dei campioni.

La descrizione e caratterizzazione chimico-fisica dei siti scelti è illustrata nella seguente Tabella 5.1.

Tabella 5.1 - Area di rischio di appartenenza, coltura insistente e caratterizzazione chimico-fisica dei siti di campionamento

Sito	Area	Coltura	pH in KCl	Sabbia %	Limo %	Argilla %	CSC Meq/100g	Conducib. mS/cm
FMA	lic	for	7,50	50	15	35	21,53	0,190
FMO	lic	for	7,47	47	17	36	20,07	0,194
FVA	lic	for	7,33	41	25	34	25,86	0,133
CAM	lic	pom	7,65	46	29	25	18,12	0,171
BRU	lic	pom	7,77	39	44	17	22,45	0,141
PCA	lic	pom	7,59	33	49	18	24,22	0,138
MERCAM	lic	vite	7,33	30	33	37	33,59	0,108
MERVAS	lic	vite	7,30	31	29	40	38,62	0,128
CHAVAS	lic	vite	7,27	29	28	43	26,87	0,136
CABCAM	lic	vite	7,31	33	30	37	24,48	0,120
CABGIG	lic	vite	7,24	40	21	39	28,97	0,128
STR	pad	for	5,03	28	42	30	24,12	0,057
LAZ	pad	for	6,03	25	47	28	22,03	0,054
SAL	pad	for	7,03	35	40	25	20,05	0,064
BOZ	pad	pom	6,61	30	42	28	17,89	0,067
VIS	pad	pom	6,80	34	35	31	19,97	0,097
AMP	pad	pom	6,93	45	28	27	25,88	0,110
MERCHI	pad	vite	6,72	35	47	18	19,42	0,073
CABCHI	pad	vite	6,75	28	51	21	21,22	0,068
CHAMON	pad	vite	6,17	14	50	36	23,74	0,057
MERBER	pad	vite	6,85	31	41	28	18,71	0,057
CABMON	pad	vite	6,30	10	48	42	28,43	0,045

Effetto area di rischio (A)

Fase A.1

I risultati dell'elaborazione statistica dei dati TOC, MBC e SIR riguardanti foraggio e pomodoro in estate nelle 2 aree sono riportati nelle tabelle A.1.1 e A.1.2 (adattato da SPSS®). Le rappresentazioni grafiche delle medie e delle relative variabilità (dovute ai replicati di sito e campo) sono illustrate nella Figura A.1.

