

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

FACOLTA' DI AGRARIA – DOTTORATO DI RICERCA IN:

COLTURE ARBOREE ED AGROSISTEMI FORESTALI, ORNAMENTALI E PAESAGGISTICI

Ciclo XXIV

Settore Concorsuale di afferenza: 07/B2
Settore Scientifico disciplinare: AGR/05

TITOLO TESI:

Analisi degli effetti degli interventi agronomici all'impianto in un intervento di recupero ambientale di una cava di sabbie ed argille della collina bolognese: parametrizzazione e quantificazione dell'azoto.

Presentata da: Maria de Jesus Almeida de Mendonca Volta

Coordinatore del Dottorato:
Prof. Luca Corelli Grappadelli

Relatore:
Prof. Enrico Muzzi

Esame finale anno 2012.

*Tudo a Ti, Jesus
Consagro tudo
Tudo deixarei
Resoluta, mas submissa, sempre a Ti
eu seguirei, meu Verdadeiro Mestre.
Dedico*

*Ao meu adorado Marido e
professor Antonio e nossa doce
bambina Maria Cecilia.*

Ofereço

Ringraziamenti

Sembra strano oggi essere arrivata qui, alla realizzazione di questo desiderio e ripercorrendo questo viaggio il pensiero più importante va ai miei genitori Maria de Nazaré e Waltemir Rosa, e a miei fratelli: Francisco, Sineon, Sidney, Wanderlan e Ana Célia (La mia Seconda madre), poiché sono stati il mio punto di riferimento; per tutti i valori che hanno saputo trasmettermi e perché con grande sostegno mi hanno permesso di raggiungere questo importante obiettivo, nonché per avermi sopportato con molta pazienza e *saudades*.

Ai miei genitori spirituali Elisabetta Biavatti e Giorgio Volta, per la sua dedizione incondizionale dal momento che sono arrivata in Bologna, grazie mille per custodire tutto che ho di bello nella vita la Ceci.

Ringrazio enormemente il mio Tutore, il **Dr. Enrico Muzzi** (Professore nella facoltà di Agraria – Università di Bologna), per i suoi pazienti insegnamenti, le risposte a tutti i miei dubbi, e gli aiuti, senza i quali la tesi non avrebbe prodotto alcun risultato e grande aiuto nella revisione del manoscritto. Grazie mille per la sua supervisione, incoraggiamento, Valeu Enrico!!!

Un ringraziamento particolare al **Professor Luca Corelli Grappadelli**, nostro coordinatore di Dottorato, Maestro e esempi di vita, e nella ricerca. Obrigada por tudo!!!

Espresso con gioia il mio grande apprezzamento e saluti speciale al **Direttore Professore Guglielmo Costa** e il **Professore Silvano Sansavini**, per avermi dato una opportunità nella vita professionale di completare i miei studi.

Ringrazio anche il consorzio MONESIA – Erasmus Mundus External Cooperation per il sostegno finanziario del mio periodo di dottorato.

Sinceri ringraziamenti sono estesi a tutti coloro che mi hanno aiutato e hanno contribuito a diffondere e completare questo lavoro, specialmente: *Professore Federico Magnani, Professore Giustino Tonon, Professore Gilmo Vianello, Professore Giorgio Gianquinto, Professore Andrea Masia Professore Carlo Gessa, Professore Ciurli, Professore Giuliano Vitali, Dr. Lucia Cantoni, Dr. Maurizio Ventura, Dr. Pietro Panzacchi, Dr. Ignazio Graziosi, Dr. Ammar Dayyoub, Dr. Silva Dezzi, Dr. Maurizio Quartieri, Dr. Giambattista Sorrenti, Dr. Claudia Cervellati, Dr. Serena Graziosi, Dr. Adamo Rombola, Dr. Elena Baldi, Dr. Graziella Marcollini, Dr. Sara Serra, Dr. Daniele Palermo, Dr. Giorgio Del Papa, Dr. Tanja Tamanti, Dr. Mercedes Alvarado, Dr. Adriana de Souza, Dr. Elizete Possamai, Dr. Alessandro e Irene Pirondi, Dr. Qiran Zang, Dr. Elena Mezzini, Dr. Josè e Carolina Covarubias, Dr. Laura, Dr. Ilaria Pasini, Dr. Karina, Dr. Fabio Genari, Dr. Paola Gioacchini, Dr. Claudio Ciavatta*, per la loro cooperazione, aiuto e cortesia.

Agradeço também aos meus cunhados, professores e amigos do BRASIL.

Maria de Jesus Almeida de Mendonça Volta

Marzo 2012.

INDICE

Ringraziamenti	3
Riassunto	7
Capitolo 1. Introduzione al problema	8
Capitolo 2. Studio sul recupero ambientale	12
2.1. Tecniche di Land Reclamation	15
Capitolo 3. Il suolo e la sua qualità	20
3.1 L'azoto e le piante	21
3.2 Ciclo dell'azoto	24
3.2.1 Fissazione dell'azoto	25
3.2.2 Mineralizzazione	26
3.2.3 Immobilizzazione	27
3.2.4 Nitrificazione	27
3.2.5 Denitrificazione	28
3.2.6 Volatilizzazione	28
3.2.7 Lisciviazione	28
3.2.8 Assorbimento dell'azoto da parte delle piante	29
3.3 Dinamica dell'azoto nel suolo	29
3.3.1 Attività antropiche e ciclo dell'azoto	33
3.3.2 La sostanza organica	35
3.3.3 Condizioni nelle quali si forma l'humus	36
3.3.4 Il pH	40
3.3.5 Acidi Fulvici	41
3.3.6 Acidi Umici	42

Capitolo 4. Scopo della Tesi	44
Capitolo 5. Esperimenti.....	49
5.1 Descrizione della zona di studio	49
5.2 L'Esperimento uno. Confronto tra due strategie di recupero: Effetto dell'azoto all'impianto su rimboschimento realizzato su un suolo pedogenizzato di matrice sabbiosa:Prova bassa	52
5.2.1 Materiale e Metodi	52
5.2.2.Raccolta dati	56
5.2.3 Risultati	60
5.2.4 Conclusioni	102
5.3 L'Esperimento due. Confronto tra 5 strategie di gestione dell'N all'impianto in alcuni interventi su suolo pedogenizzato di matrice sabbiosa: Prova Media	109
5.3.1 Materiale e Metodi	109
5.3.2 Raccolta dati	116
5.3.3 Risultati	121
5.3.4 Conclusioni	154
5.4 L'Esperimento tre. Confronto tra due strategie di recupero: Effetto dell'azoto all'impianto su rimboschimento realizzato su un suolo pedogenizzato di matrice sabbiosa:Prova Alta	168
5.4.1 Materiale e Metodi	168
5.4.2.Raccolta dati	170
5.4.3 Risultati	175
5.4.4 Conclusioni	218
Capitolo 6. Conclusioni generali.....	224
Bibliografia	227

Riassunto

In questo lavoro sono state analizzate diverse strategie di recupero di una cava dismessa situata presso la località Colombara (Monte San Pietro, Bologna).

Su questi terreni sono state condotte tre prove, costituite da diverse parcelle nelle quali sono stati adottati differenti trattamenti. Sono state svolte analisi di tipo quantitativo del suolo e della parte epigea delle specie arbustive e arboree, focalizzandosi sull'azoto (N totale, ammoniacale, nitrico, e firma isotopica) e sulla sostanza organica del suolo. Inoltre è stata effettuata un'indagine qualitativa della composizione floristica. Scopo della tesi è quello di individuare le strategie più efficaci per un recupero di suoli degradati. Non sempre a trattamenti iniziali migliori corrispondono i migliori risultati portando a conclusioni apparentemente controintuitive a cui si è cercato di dare risposta.

Parole chiave: Azoto, Recupero ambientale, sostanza organica, Cave.

Capitolo 1. Introduzione al problema

La regione Emilia-Romagna, popolata da quasi 4 milioni abitanti, occupa un territorio di 22.124 km², protesa a est verso il mare Adriatico e contenuta a nord dal fiume Po e a sud dall'Appennino. Nel suo paesaggio convivono tre diversi sistemi: L'appennino multiforme, la pianura variamente coltivata, l'area costiera (Touring, 2003). La storia geologica dell'Emilia-Romagna, come quella della penisola italiana, è legata all'ultima delle grandi orogenesi che ha portato alla formazione delle maggiori catene montuose oggi esistenti, dalle Alpi sino all'Himalaya (Regione E. Romagna, 2006).

Bertolini et al., (2005), hanno studiato e descritto il paesaggio appenninico. L'Appennino emiliano può essere diviso in due tipi di paesaggi diversi. Lungo tutto il corso della sua storia, l'uomo ha sempre ricercato attorno a sé, nell'ambiente che lo circonda, le risorse ed i mezzi per poter provvedere al proprio sostentamento ed al proprio progresso, molto spesso senza preoccuparsi delle conseguenze della sua stessa azione sul territorio. Per diversi secoli, fino all'avvento dell'era industriale, il sistema uomo-natura è vissuto sotto il segno "dell'equilibrio", attraverso lo sviluppo di attività antropiche che miravano ad un minimo di salvaguardia delle risorse naturali presenti nel territorio (Gaspari, A. 2004; Corticelli et al., 2008).

Mazzino e Gherzi, (2004) descrivono che l'uso inadeguato delle risorse idriche, l'abbandono dei versanti collinari e montani, la progressiva trasformazione, semplificazione e smantellamento dei paesaggi, l'irrefrenabile e abnorme aumento della pressione demografica, il proliferare di un urbano dai caratteri architettonici assolutamente casuali ed estranei al paesaggio e alle sue componenti, il moltiplicarsi

delle discariche e delle cave abbandonate, lo sviluppo invasivo delle infrastrutture del trasporto hanno comportato grandi effetti sul territorio e sull'ambiente naturale.

Molte sono le attività che possono essere generatrici di degrado ambientale. Tra loro l'estrazione mineraria, specie nella situazione in cui il processo implica la soppressione totale del paesaggio, comporta un intensificarsi dei processi di degrado che coinvolgono l'erosione sia superficiale che profonda. Fin dall'antichità le attività estrattive hanno rivestito un ruolo di primaria importanza all'interno del panorama economico regionale e nazionale (ARPAT, 2010).

Per cava si intende in genere un luogo in cui si estrae roccia utilizzabile come materiale per costruzioni edilizie, stradali e ferroviarie, oppure torba e, in senso più esteso, lo sfruttamento di un materiale utile all'attività umana. Il termine è di solito seguito dall'indicazione del prodotto estratto: cava di sabbia, ghiaia, marmo, calcare ecc., (Gisotti, 2008).

Le cave si possono considerare come la forma più aggressiva di antropizzazione del territorio, dove in poco tempo viene distrutto un paesaggio in cui si era affermato un rapporto tra le varie componenti biotiche ed abiotiche, frutto di secoli di evoluzione (Bergamini, 2008).

L'industria estrattiva come attività di ricerca e coltivazione di materiali di cava e di miniera, è quindi importante sotto il profilo economico, perché permette la fruizione di materie prime minerarie indispensabili per soddisfare i bisogni fondamentali della collettività: è connotata da un interesse pubblico. D'altra parte l'esercizio di attività estrattive ha posto e pone anche alcune problematiche legate alle alterazioni o agli impatti sull'ambiente e sul territorio, spesso sfociate in un'opinione pubblica decisamente negativa, condizionata dai cattivi esempi di realizzazione (Associazione Nazionale Ingegneri Minerari – A.N.I.M., 2003).

Per trattare le problematiche poste dalle attività estrattive è indispensabile affrontare una panoramica tecnico-scientifica che tenga conto della pluralità degli aspetti che tali attività comprendono e coinvolgono. Ecco quindi l'esigenza di approfondire i caratteri dell'ambiente, di conoscere tipologia ed entità delle risorse naturali utilizzabili, di individuare e valutare gli eventuali rischi che si potranno produrre all'ambiente, di prevenire ogni possibile alterazione degli ambienti naturali, di considerare e rispettare nel contempo le altre risorse naturali e, più in generale, i caratteri peculiari dell'ambiente naturale e del paesaggio (Panizza, 2005).

L'attività estrattiva è antica come la storia dell'uomo, riguarda da vicino tanti settori “pensati” dell'economia italiana – come edilizia e infrastrutture - ed incrocia alcuni marchi del Made in Italy nel mondo, come la ceramica e i materiali pregiati (Legambiente, 2008).

L'estrazione è una delle attività antropiche che provocano il maggior impatto sugli ecosistemi, e il grado di degradazione dipende dall'intensità dell'interferenza sul suolo, dal volume di rifiuti prodotti e dai volumi sfruttati (Sengupta, 1993; Carneiro et al., 2008).

I numeri rilevati dal Rapporto delle Cave 2011 di Legambiente, risultano allarmanti: 5.736 cave attive in Italia. Rispetto alle passate analisi si è riusciti a delineare un quadro più completo dei numeri sulle attività estrattive non più attive, ma che comunque rappresentano un vero e proprio allarme ambientale in alcune Regioni, portando la stima nazionale ad oltre 13.016 le cave dismesse e abbandonate. Un dato sicuramente impressionante considerando che solamente una piccola parte è destinata a vedere un concreto ripristino ambientale (Legambiente, 2011).

L'analisi delle trasformazioni dell'uso del suolo di un territorio effettuata a diverse soglie temporali si presenta come uno strumento utile per individuare nella

matrice paesistica storica gli elementi persistenti e la direzione in cui si sviluppano le trasformazioni. Questo processo analitico è utile alla definizione di linee guida, criteri ed indirizzi funzionali agli strumenti di pianificazione territoriale (Morri et al, 2010).

L'uso del suolo è una delle più importanti variabili geografiche. Esso gioca un ruolo fondamentale in tutti gli strumenti di pianificazione territoriale, nell'utilizzo e nella gestione delle risorse, nella individuazione dei rischi di degradazione del territorio (erosione, desertificazione, dissesto geomorfologico, inquinamento ecc.), negli studi sulla struttura e dinamica del paesaggio, nella individuazione di metodologie e strumenti più idonei per una corretta gestione delle risorse ambientali (Mancino, 1999).

L'attività di coltivazione dei materiali di cava è oggi, perciò, orientata verso un uso parsimonioso delle risorse coltivate, verso il rispetto dell'ambiente, del paesaggio e delle altre risorse naturali, verso una rinaturalizzazione economicamente ed ecologicamente accettabile dei siti dismessi (Gaudio e Vallario, 2007).

Il recupero ambientale è visto come un processo di rinaturalizzazione del sito, con la ricostruzione morfologica naturale, la limitazione di configurazioni geometriche, la reintroduzione di specie arboree compatibili, impiantate con criteri non geometrici, la creazione di nuovi ecosistemi come opportunità di arricchimento per il patrimonio florofaunistico. Le destinazioni d'uso maggiormente suggerite guardano in maniera generale all'attività agricola o alla riconversione a uso ricreativo, e al riuso naturalistico. Esiste oramai un insieme di norme che mostrano l'impiego nei confronti del territorio ma che quasi sempre si risolve in una coltivazione estrattiva concettualmente separata dal momento del "ripristino": il rinverdimento programmato con la piantagione dei siti esauriti resta nei limiti di un'indicazione normativa non legata ad un progetto paesaggistico analiticamente valutato e risolto (Maniglio, 2010).

Capitolo 2. Studio sul recupero ambientale

Quale sarà il futuro della Terra? Quale sarà il futuro dell'uomo all'esaurirsi delle risorse ambientali non rinnovabili? Quale sarà il prezzo da pagare per il progresso umano in termini di disagi e disastri ecologici? Esiste uno sviluppo sostenibile per la società moderna? Questi sono solo alcuni dei quesiti irrisolti che ormai da decenni ecologisti, economisti, politici di tutto il mondo ai tavoli dei sempre più numerosi congressi e conferenze dedicati all'ecologia globale del pianeta e allo sviluppo di una politica ambientale consapevole e attiva (Leone, 2002).

A dieci anni dalla firma della Convenzione Europea del Paesaggio molto è stato detto sull'importanza del paesaggio e sull'influenza che un buon paesaggio ha sulle nostre vite, ma, nonostante tutto, ancora poco è stato fatto e rimane tutt'ora molta confusione su cosa significa realmente applicare la Convenzione Europea (Colombo, 2011).

Cave di vario materiale e di diversa estensione, dopo la coltivazione, appaiono luoghi abbandonati che creano una serie di problemi ambientali, che vanno dall'instabilità del sito, con conseguenti possibilità di rischi, all'alterazione del paesaggio, con conseguenti situazioni d'impatto.

Il recupero ambientale dei siti estrattivi assume un ruolo giuridico-amministrativo solo negli anni settanta, dopo il trasferimento dallo Stato alle Regioni delle competenze relative alla gestione del settore riguardante i minerali di seconda categoria (Legge delega D.P.R. 616/77) e la necessaria adozione di leggi regionali regolanti la materia delle cave (Gaudio e Vallario, 2007).

Una possibile soluzione è rappresentata dalla ricostituzione della copertura vegetale e/o boschiva, la quale è in grado di assicurare una buona funzione protettiva

e, talvolta, consentire anche un utilizzo economicamente conveniente, considerati gli interventi minori e meno continuativi rispetto alle colture agricole, per rimediare allo spreco di risorse conseguente all'inutilizzazione (Stefanini, 1994).

L'attività estrattiva determina innanzitutto l'eliminazione della vegetazione originaria e del suolo, a cui fa seguito lo scavo e l'allontanamento del materiale minerale e, infine, l'abbandono dell'area stessa (Rossi, 2003).

Per ottenere una buona riuscita del recupero di un'area di cava (sia durante che dopo l'abbandono dell'attività estrattiva) è opportuno calibrare attentamente l'obiettivo da raggiungere, sulla base delle reali condizioni di partenza. In tal modo sarà più facile contenere l'effetto dei diversi fattori ambientali limitanti. In genere, le scelte dipendono molto dalle aspettative del gestore, piuttosto che da analisi tecniche adeguate (Muzzi e Rossi, 2003).

Per affrontare compiutamente l'argomento è necessario, accanto all'obiettivo minerario, tentare di minimizzare i danni all'ambiente e alle altre risorse naturali e di provvedere al recupero ambientale contestuale alla progettazione ingegneristica. Prima di avviare la fase progettuale è sempre indispensabile raggiungere una conoscenza sufficiente delle problematiche dell'ambiente naturale presente.

L'alterazione del paesaggio, è uno dei fattori che si ritrova ovunque e che deturpa aree agricole, forestali, periurbane, in pianura, collina o montagna, intensamente abitate o anche abbandonate. Le cause di tutto ciò sono molteplici anche se l'elemento fondamentale risiede nella gerarchia delle decisioni: le tecniche di sfruttamento sono spesso stabilite a priori e con criteri di massima convenienza, senza tener sufficientemente conto della grande influenza che esse hanno nella successiva fase di recupero e di riqualificazione ambientale.

La progettazione di qualsivoglia intervento di recupero ambientale non può prescindere dalle situazioni pregresse, nel senso che può realizzarsi solo sulla scorta di elementi conoscitivi ampi e pluridisciplinari (Gaudio e Vallario, 2007), in coordinamento con le esigenze ingegneristiche ed economiche.

Le dinamiche di trasformazione e lo stato di conservazione delle componenti naturali del paesaggio sono regolate da equilibri di tipo ecologico, spesso alterati dall'intervento antropico (Baiani e Valiatutti, 2008). Per ottenere una buona riuscita del recupero di un'area di cava (sia durante che dopo l'abbandono dell'attività estrattiva) è opportuno calibrare attentamente l'obiettivo da raggiungere, sulla base delle reali condizioni di partenza (Muzzi e Rossi, 2003; Marino, 2007).

Dopo l'acqua, l'azoto è uno dei nutrienti limitanti la crescita delle piante. Come tale, la presenza biologica di azoto ha un ruolo chiave nella riabilitazione di siti il cui orizzonte di superficie pedogenizzato è scomparso a causa di diverse attività umane (Requena et al., 2001). Le Leguminose sono perciò un vantaggio per colonizzare ambienti degradati e impoveriti di materia organica e azoto.

Queste piante fissando il carbonio e l'azoto, formano la biomassa vegetale. Durante la crescita delle piante, una parte della biomassa prodotta ritorna al suolo, sotto forma di foglie, rami e costituisce lo strato della lettiera. Il processo di decomposizione sulla lettiera fornisce poi i nutrienti, che hanno un ruolo importante nel recupero delle aree degradate (Costa et al, 2004).

La pratica del recupero e restauro delle aree minerarie presenta parecchie difficoltà. Una di queste è rappresentata dalle caratteristiche difficili dell'ambiente in cui si deve operare, spesso assai ostili alla vegetazione (Bagnaresi e Muzzi, 1990).

Marc Girard (2001/02), conferma: l'intensità delle attività minerarie e il modello di abbandono di aree scavate influenza fortemente i fattori abiotici, che a

loro volta influenzano il processo di rivegetazione. Dato che quasi tutti gli ecosistemi situati a latitudini temperate sono stati disturbati a vari livelli da attività antropiche, è importante sapere in che misura questi ecosistemi si rigenerano dopo la fine di un disturbo.

Diversi studi hanno dimostrato la loro capacità di recupero e bonifica, a seguito di un singolo intervento tecnico e a tassi di applicazione molto più elevati rispetto quelli utilizzati in agricoltura (Domene et al., 2009).

2.1. Tecniche di Land Reclamation

La definizione dell'obiettivo finale cui destinare l'area di cava, esaurita l'attività estrattiva, rappresenta la prima e più importante scelta che il progettista deve operare, in quanto condiziona tutto il prosieguo del progetto ed influenza l'evoluzione, almeno nel breve e medio periodo, dell'area risistemata. Importante anche perché non esistono delle regole codificate per stabilire "razionalmente" quali siano le scelte corrette. Le scelte possono infatti derivare da:

- Attese interne al sito e all'area circostante: legate alle particolarità del sito e del suo circondario (aspetti geologici, morfologici, biologici, paesaggistici, economici, sociali, legali, ecc);
- Aspettative esterne: indipendenti dai caratteri del sito (aspettative del proprietario, del gestore, della società civile, dell'amministrazione pubblica, del progettista, ecc.). (Zurli, 2003). Diverse sono le destinazioni d'uso finale possibili e diverse sono le condizioni ed i vincoli che devono essere considerati.

La destinazione naturalistica: dove l'obiettivo è favorire l'insediamento stabile ed auto-portante di una copertura vegetale naturale o semi-naturale al fine di permettere una rinaturazione completa dell'area, attraverso il riavvio di processi biologici precedentemente interrotti. Per ottenere ciò bisogna ricreare le condizioni ecologiche tipiche di quella zona, mediante l'uso di specie vegetali autoctone, attraverso specifiche tecniche di raccolta del materiale biologico (top-soil, materiale di propagazione reperito in loco, selvaggina).

La destinazione agricola: si favorisce un'attività di tipo produttivo, per questo l'area non deve presentare limiti alla produzione biologica, sia di tipo ambientale che economico-sociale.

La destinazione forestale: si attua dove è svantaggioso uno sfruttamento agricolo per cause naturali o socio-economiche. Lo scopo è quello di ricreare una situazione naturale o semi-naturale stabile da cui è possibile ricavare una buona produzione legnosa, utilizzando anche le tecniche dell'ingegneria naturalistica.

La destinazione paesaggistica: si distingue dalla destinazione naturalistica in quanto viene realizzata in zone caratterizzate da una precaria stabilità dei versanti, e in cui l'erosione può causare pericoli ad infrastrutture civili. Essa ha come primo obiettivo la difesa del suolo e il mascheramento degli interventi, nonché la riconnessione con il paesaggio circostante.

La destinazione ricreativa: viene messa in pratica in quei siti di estrazione che sorgono vicino a centri abitati, in particolare deve garantire la massima stabilità strutturale, e assenza di sostanze tossiche per l'uomo e l'ambiente.

La destinazione produttiva o infrastrutturale: se l'attività estrattiva sorge vicino a centri urbani ed è ben servita da infrastrutture, può essere convertita in un'area

industriale o di servizi, come ad esempio a deposito di inerti, una discarica od uno svicolo viario.

Dopo aver definito la destinazione post-uso, bisogna definire il grado di complessità che si vuole raggiungere, o che il sito ci permette di raggiungere. Per ogni destinazione possibile esistono differenti gradi di complessità:

Destinazione agricola: nelle migliore condizione si può prevedere un sfruttamento intensivo, man mano che le condizioni peggiorano e ala il potenziale produttivo si passa ad uno sfruttamento estensivo ed a pascolo.

Per destinazione forestale: se la stazione lo consente si possono raggiungere finalità plurime, come un riuso produttivo, protettivo o naturalistico. Quando le condizioni sono molto favorevoli si può ricostruire un ambito semplificato nelle prime fasi della successione, oppure si interviene ricostruendo un ambito evoluto, prossimo allo stato di climax.

Per destinazione paesaggistica: si hanno due gradi di complessità: il primo prevede una integrazione della cava con il paesaggio circostante, la seconda crea solo un'azione di mitigazione per le alterazioni più evidenti.

Per destinazione infrastrutturale: prevede un riuso in cui l'attività biologica ha una funzione riqualificante o di complemento e mitigazione.

I due principali approcci al recupero sono:

1. Consentire una successione naturale dopo un intervento minimo: Un processo di **RINATURAZIONE** completa;
2. Intervenire con tecniche di recupero con modificazioni del substrato o del terreno, e con una successiva piantagione, attraverso un processo di

RINATURALIZZAZIONE. Quale dei due sia poi utilizzato è determinato dalle condizioni ambientali del area di interesse, dal livello di degrado e dagli obiettivi del progetto riabilitativo (Sanclair et al. 2008).

Gli obiettivi possibili possono essere raggiunti utilizzando strategie diverse: in termini ecologici gli interventi possono essere classificati in funzione del loro rapporto con i processi naturali in:

- Interventi “cosmetici” di mascheramento, di pulizia, considerati cioè come interventi ingegneristici puri e semplici, con anche forti investimenti iniziali per la risistemazione morfologica ma anche ecologia (superficiali riporti di “top soil”), ma con una durata nel tempo limitata. Si opera all’interno di processi naturali di RINATURAZIONE.
- Interventi sostenibili: dove si adottano misure di contenimento e controllo degli aspetti problematici legati alla distruzione dei sistemi naturali, attraverso interventi di tipo prettamente tecnico, autoreferenziali, che non coinvolgono, se non in minima parte, processi naturali (rinaturazione), privilegiando invece gli aspetti ingegneristici. Possono essere efficaci ed avere una durata anche medio - lunga ma sono sempre interventi a termine, tali da richiedere sempre una rilavorazione periodica.
- Interventi auto-sostenibili; dove le misure adottate sono di tipo prevalentemente ecologico, al fine di attivare tutti i processi naturali necessari per stabilizzare ed arricchire l’area in ripristino. Accanto al contenimento e controllo dei fattori limitanti si cerca cioè di stimolare il riavvio della dinamica naturale, al fine di ripristinare condizioni ecologiche complesse, necessarie per superare i fattori ambientali e artificialità legate all’uso ed al processo di ripristino adottato. Questo rappresenta sicuramente un’opzione ottimale nel

lungo periodo permettendo, a parità di risorse impiegate, il raggiungimento di una condizione di maggiore stabilità ed equilibrio. E' una condizione difficile da raggiungere e mantenere senza alcun intervento biologico o chimico da parte dell'uomo.

Capitolo 3. Il suolo e la sua qualità

Il suolo è lo strato superficiale che ricopre la crosta terrestre, derivante dall'alterazione di un substrato roccioso, chiamato roccia madre, per azione chimica, fisica e biologica esercitata da tutti gli agenti superficiali e dagli organismi presenti su di esso. Un suolo si origina dall'alterazione, per via fisica, chimica e biologica (detta, in inglese, weathering) di un substrato pedogenetico, vale a dire un accumulo di materiale disgregato e in consolidato derivante da alterazione di qualche tipo di roccia; solo raramente un suolo si sviluppa direttamente da roccia in posto (come è il caso, ad esempio di alcuni suoli sviluppatisi direttamente su marne). Ad un certo punto del cammino di formazione di un suolo compare anche la frazione organica, originata dal lento accumularsi di resti organici (animali, piante, funghi, batteri), una parte dei quali viene complessata (attraverso l'attività dei microrganismi) fino ad essere trasformata in composti resistenti alla degradazione (humus).

Il percorso di formazione di un suolo varia moltissimo in dipendenza dell'ambiente in cui si trova a svilupparsi, le cui caratteristiche dipendono dall'intensità di alcuni, ben definiti, fattori pedogenetici: il clima, la topografia, la componente biotica, la roccia madre e il tempo.

Nostro obiettivo è quello di riportare della roccia madre a suolo il più simile a quello presente precedentemente alla coltivazione della cava.

Caratteristiche fondamentali sono il recupero delle proprietà fisico chimiche che siano in grado di ospitare le piante per il recupero della zona degradata.

Due caratteristiche fondamentali per un buon attecchimento della vegetazione sono la quantità di azoto, necessario per i processi di fotosintesi, nonché il contenuto di sostanza organica il quale riesce a dare struttura al terreno. Per la loro importanza passiamo ad analizzarli in dettaglio.

3.1 L'azoto e le piante

Senza azoto, la vita su questo pianeta come lo conosciamo oggi non potrebbe esistere (Arrigoni, 1973; Lewis, 1986; Farndon, 1999; Keeney & Hatfield 2008). Le piante non possono utilizzare l'azoto atmosferico (N_2) direttamente questa forma di azoto. Deve essere convertito in altre forme, prima di poter essere utilizzato dalle piante. I composti azotati rappresentano più del 25% del peso della foglia e contengono fino al 70% dell'azoto (Toutain, 1987). L'impianto di assorbimento di azoto è in gran parte sotto forma di nitrati (NO_3^-) e, in misura minore di ammonio (NH_4^+), (Killpack & Buchholz, 1993). L'azoto è di solito il nutriente minerale più abbondante nel tessuto vegetale, che riflette l'alta esigenza di N nelle colture (Natale, 2002).

E' coinvolto nel trasferimento di energia nelle molecole ATP ed ADP, è un essenziale componente degli ammino-acidi, peptidi, enzimi, ormone e vitamine, e di conseguenza numerosi processi metabolici (Stevenson, 1986; Carfora, 2008). Secondo Marschner (1995), il 70 – 80% dell'azoto fogliare è di origine proteica.

D'accordo con Giordano (1999), le piante assorbono azoto dal suolo prevalentemente in forma nitrica e ammoniacale. Le principali riserve di azoto nel suolo sono costituite dalla sostanza organica e dagli ioni ammonio fissati sul complesso di scambio. L'azoto organico può arrivare a rappresentare, negli orizzonti superficiali di alcuni suoli, il 95% e più del totale e la disponibilità di azoto in questi casi è strettamente legata al turnover della sostanza organica.

L'azoto organico è presente in prodotti umificati di sintesi e ovviamente nelle biomasse degli organismi viventi, nei diversi materiali organici l'azoto si trova in forme rapidamente degradabili, con un tasso di mineralizzazione annuale che può superare il 4 %, e in forme relativamente stabili, con un tasso di mineralizzazione annuale che in climi temperati

non raggiunge lo 0,5 % . nei terreni agrari l'azoto totale varia, in media tra 0,1 e 0,15 % e raramente può raggiungere lo 0,2 %. Nei terreni di montagna la percentuale di azoto risulta sempre più elevata, da un valore medio di 0,3 % si può salire, eccezionalmente, fino all'1% (prati alpini) e nei terreni torbosi si può raggiungere anche il 2,5 %.

D'accordo con Bredemeier e Mundstock (2000), la velocità e la quantità di azoto assorbito e assimilato durante il ciclo della pianta dipendono dalla presenza di vettori specifici nella membrana plasmatica, l'attività degli enzimi coinvolti nel suo ciclo, la disponibilità di energia necessaria per i processi di assorbimento e di assimilazione e lo stadio di sviluppo della pianta. La carenza si manifesta con uno scarso vigore vegetativo, senescenza precoce, ingiallimenti, clorosi e necrosi fogliari e fenomeni di nanismo. Per contro l'eccesso porta ad uno squilibrio tra parte epigea ed ipogea per cui le piante hanno minore resistenza meccanica e sono più sensibili alla siccità per l'aumento del consumo idrico; inoltre deprime l'assorbimento del potassio, può aumentare la sensibilità della pianta a determinati funghi e insetti, favorisce l'allungamento del ciclo vegetativo con ritardi nella lignificazione e può causare l'inquinamento (eutrofizzazione) dei corpi idrici (Campacci, 2001).

Secondo Violante (2002), il contenuto di azoto nei tessuti vegetali secchi oscilla dal 2 al 4%, molto più basso, quindi rispetto a quello del carbonio che oscilla, generalmente, intorno a 40 %. Le piante assorbono azoto sia sotto forma di ione NO_3^- che di ione NH_4^+ . L'assorbimento preferenziale dell'una o dell'altra forma dipende dalla specie vegetale e dalle condizioni ambientali.

La crescita e la produttività di una pianta, e conseguentemente la vita di tutti gli altri esseri viventi che, direttamente o indirettamente, dipendono dalle piante per la loro nutrizione, la carenza di questo elemento che costituisce il più comune dei fattori limitanti per la crescita di un organismo (Arrigoni, 1973). L'azoto è di solito il nutriente minerale più abbondante nel tessuto vegetale, che riflette l'alta esigenza di N nelle colture (Hsieh, 1998; Natale, 2002). Le

sostanze nutritive ottenute dalle piante sono di solito utilizzate per la produzione di biomassa (Schlesinger, 1997). Il contenuto dell'N costituisce uno dei principali parametri di fertilità di un terreno, in quanto necessario alle piante in notevole quantità (costituisce l'1,5 – 3 % della sostanza secca degli esseri viventi) e non sempre adeguatamente rappresentato nel suolo (Radaelli & Calamai, 2001).

E' un fatto curioso che, a parte l'acqua, l'azoto è la sostanza chiave che limita la produttività primaria del regno vegetale in molte parti del mondo. Sappiamo che l'azoto è un costituente di molti composti vegetali importanti, ma sappiamo anche che l'azoto è uno degli elementi più comuni sulla Terra (Lewis, 1986). Nonostante l'azoto sia uno dei più abbondanti elementi sulla terra, la carenza di azoto è probabilmente il più comune problema nutrizionale delle piante di tutto il mondo. Dopo carbonio, ossigeno e idrogeno l'azoto è l'elemento principale delle piante. L'azoto è un componente importante di molti composti importanti strutturali, genetici e metabolici nelle cellule. Si tratta di un componente importante della clorofilla, il composto con il quale le piante usano la luce del sole come energia per produrre zuccheri da acqua e anidride carbonica (fotosintesi). E' anche un componente importante di aminoacidi, i mattoni delle proteine. Alcune proteine agiscono come unità strutturale nelle cellule delle piante, mentre altre agiscono come enzimi, rendendo possibili molte delle reazioni biochimiche sulle quali si basa la vita. L'azoto è un componente del trasferimento di energia ai composti, come ATP (adenosina trifosfato), che consentono alle cellule di conservare e utilizzare l'energia rilasciata nel metabolismo. Infine, l'azoto è un componente significativo di acidi nucleici come il DNA, il materiale genetico che permette alle cellule di crescere e riprodursi. L'azoto in forma molecolare N_2 non è direttamente disponibile per gli organismi viventi che per lo più non hanno la possibilità di utilizzarlo per sintetizzare aminoacidi e altre sostanze organiche. Tali esseri dipendono da altri composti reattivi dell'azoto come l'ammonio e nitrati nel suolo (Raven et al., 2001).

3.2 Ciclo dell'Azoto

L'azoto è un elemento abbondante sul nostro pianeta, è essenziale per la costituzione delle proteine e degli amminoacidi e quindi rappresenta uno degli elementi di base per la materia vivente. L'N ha un ciclo biogeochimico molto complesso a causa delle reazioni che ne contraddistinguono le diverse fasi e tutt'oggi è solo parzialmente conosciuto (Sequi 1989).

Le principali riserve di azoto sono nella Litosfera (93%), nell'Atmosfera (6,2%), nell'Idrosfera (0,04 %), e una piccolissima parte nella Biosfera (0,001 %). Nel ciclo globale dell'azoto entrano quattro diverse combinazioni: ammoniaca, vari ossidi, azoto organico, azoto molecolare. I processi che influenzano la concentrazione d'azoto elementare hanno sia natura biologica: fissazione, denitrificazione, nitrificazione, sia natura abiotica: processi industriali, denitrificazione per opera di agenti chimici.

Il ciclo dell'azoto ha le sue tappe fondamentali schematizzate in figura 1.

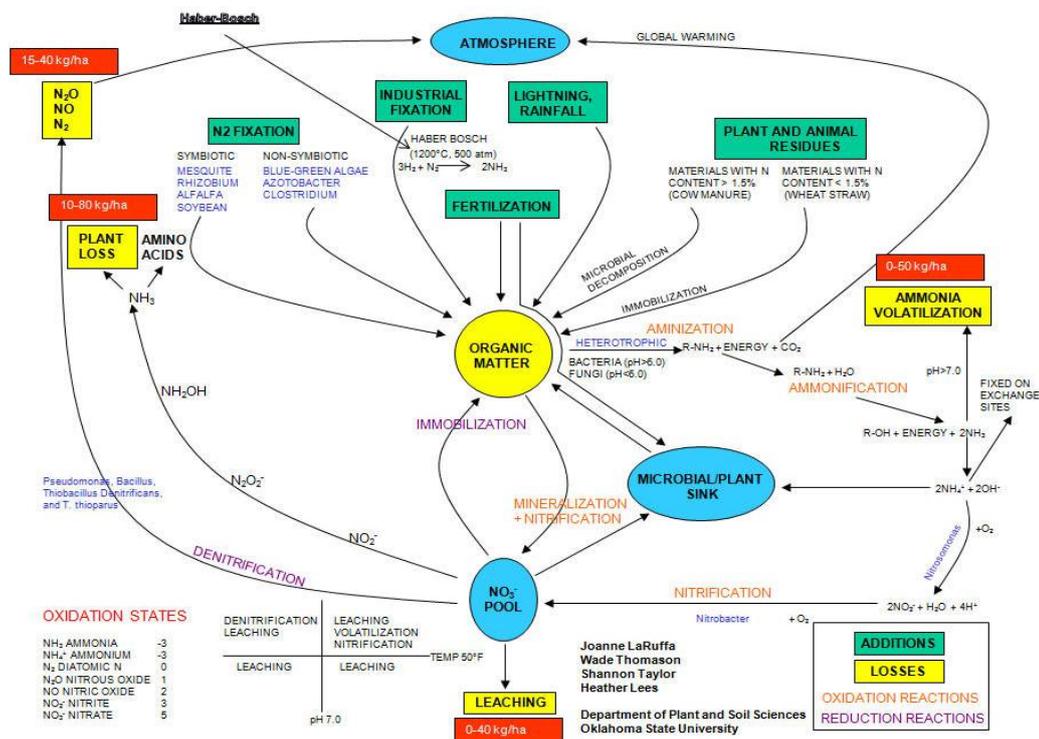


Figura 1. Ciclo dell'azoto. Source: Oklahoma state university.

3.2.1 Fissazione dell'azoto

La fissazione è il processo responsabile della trasformazione dell'azoto atmosferico che può essere di tipo biologico o non. La fissazione non biologica è data dalla fissazione industriale e da una quota molto limitata dell'azoto atmosferico trasformato in nitrati per opera di radiazioni ultraviolette e scariche elettriche (fulmini) complessivamente. La fissazione non biologica è responsabile della formazione di una quantità di azoto combinato, molto minore a quella dovuta alla fissazione biologica.

La fissazione di tipo biologico è effettuata da microrganismi liberi nel suolo (azotofissazione libera) e da simbionti (azotofissazione simbiotica); dal punto di vista agronomico il processo simbiotico è il più importante. Esso avviene grazie a batteri (rizobi) che vivono in simbiosi specialmente con i noduli delle leguminose, benché esistano anche altre piante come ad esempio l'ontano nero che riescano a fissare. Il processo biochimico dell'azotofissazione è basato sulla catalisi effettuata dall'enzima nitrogenasi; la sua biosintesi è regolata geneticamente e quando le cellule microbiche hanno a disposizione ione ammonio, smettono di produrre l'enzima. Questo fenomeno può avere conseguenze pratiche importanti, specialmente qualora il fertilizzante sia distribuito in un periodo caratterizzato da un'elevata attività azotofissatrice; infatti dato che il processo di fissazione sviluppa le sue massime potenzialità durante la primavera, per cadere in conseguenza di una minore disponibilità idrica estiva, una fertilizzazione nel periodo primaverile può provocare una netta diminuzione della fissazione biologica.

Miegroet e Cole (1984), hanno scritto che durante la mineralizzazione della materia organica, il rilascio di cationi determina un consumo di protoni. Per quanto riguarda l'azoto questo ragionamento è valido se nella decomposizione si libera NH_4^+ ossia se viene rilasciato

effettivamente un catione. La mineralizzazione di composti organici contenenti azoto e zolfo, seguita da ossidazione, porta alla formazione di acido nitrico e solforico, ossia di acidi forti e pertanto libera H^+ , analogamente alla mineralizzazione dei composti contenenti fosforo. Siccome parte della materia organica prodotta dall'ecosistema è accumulata come biomassa e lettiera, la mineralizzazione della materia organica raramente compensa le quantità di H^+ rilasciate dalle piante durante l'assorbimento. Negli ecosistemi inquinanti, ove il processo è ulteriormente ridotto per l'effetto negativo sui decompositori, il consumo di protoni nella mineralizzazione è minimo. Alcune specie azoto fissatrici come gli ontani risultano essere dei potenti acidificanti, La fissazione dell'azoto è neutra, ma la mineralizzazione di sostanza organica con elevati contenuti di composti azotati, apporta al suolo fino 3,5 Kmoli H^+ /ha anno.

3.2.2 Mineralizzazione

Le forme d'azoto assimilabili dalle piante, azoto nitrico (che non interagisce con le superfici elettronegative del suolo) e azoto ammoniacale (presente sul complesso di scambio), rappresentano la frazione metabolicamente più attiva dell'azoto presente nel terreno.

La loro disponibilità condiziona la nutrizione azotata delle colture e la velocità della maggiore parte delle reazioni che compongono il ciclo dell'azoto. La concentrazione dell'azoto inorganico nel suolo dipende, in gran parte dall'andamento dei processi di mineralizzazione e d'immobilizzazione.

La degradazione dell'azoto organico nella forma ammoniacale, detta mineralizzazione, si compie nel suolo attraverso l'intervento di batteri e di organismi eterotrofi; la quota di ione ammonio prodotta appare tanto più rilevante quanto più è elevato il contenuto in azoto della

sostanza organica. Poiché la mineralizzazione è un processo biologico, i suoi tassi dipendono dalla temperatura del suolo, l'umidità del suolo e la quantità di ossigeno nel suolo (aerazione).

3.2.3 Immobilizzazione

Il processo d'immobilizzazione dell'azoto è definito come quella serie di reazioni mediante cui i microrganismi del suolo trasformano i composti inorganici (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), nelle forme organiche, Nannipieri (1993). L'immobilizzazione è il processo inverso della mineralizzazione. Tutti gli esseri viventi hanno bisogno di azoto, quindi i microrganismi nel suolo competono con le colture per l'accaparramento di N. L'incorporazione di sostanza vegetale con elevato rapporto C/N, come segatura, paglia, cippato, ecc..., accresceranno l'attività biologica con conseguente maggior domanda di N, facendo diminuire l'azoto a disposizione. L'immobilizzazione è solo temporanea, una volta che i microrganismi muoiono l'azoto organico contenuto nelle cellule viene mineralizzato nuovamente.

3.2.4 Nitrificazione

Attraverso la nitrificazione, lo ione NH_4^+ formatosi nel terreno in seguito a processi di mineralizzazione, oppure a questo pervenuto con le piogge o per mezzo della somministrazione di fertilizzanti contenenti azoto ammoniacale, subisce una serie di reazioni d'ossidazione che lo convertiranno in ioni nitrito (NO_2^-) tramite i batteri nitrificatori e poi in ioni nitrato (NO_3^-) attraverso i batteri nitratori. Questi ioni essendo quasi solo in soluzione sono facilmente assimilabili dalle piante ma anche facilmente persi per lisciviazione, seguendo da vicino la dinamica dell'acqua.

3.2.5 Denitrificazione

Il processo di denitrificazione avviene quando N è perso per mezzo della conversione degli ioni nitrato in forme azotate allo stato gassoso come N_2 , NO e N_2O . Il processo ha luogo quando il suolo è saturo e i batteri denitrificatori usano i nitrati come fonte di ossigeno.

Le perdite d'azoto, dovute al processo di denitrificazione possono toccare anche il 40% di quello presente nella sostanza organica di partenza.

I processi di nitrificazione e di denitrificazione sono strettamente collegati e la concentrazione d'ossigeno regola i due processi in modo opposto (Sequi, 1989).

3.2.6 Volatilizzazione

E' il processo di perdita di N attraverso la conversione degli ioni ammonio in ammoniaca allo stato gassoso. Le perdite di ammoniaca aumentano ad elevati valori di pH e condizioni che favoriscono l'evaporazione (caldo e forte vento). La volatilizzazione è alta quando sono applicate fertilizzazioni superficiali con granuli di urea e letame e non incorporate nel suolo.

Il letame contiene N in forma ammoniacale e organica. Se il letame non viene incorporato nel terreno in cinque giorni perderà tutta la sua componente ammoniacale tramite volatilizzazione. L'azoto organico non è perso tramite volatilizzazione ma ha bisogno di tempo per essere mineralizzato e quindi disponibile per le piante.

3.2.7 Lisciviazione

È la via di perdita di azoto che ha grosse ripercussioni sulla qualità dell'acqua. Le particelle di suolo non trattengono bene gli ioni nitrato a causa dell'elettronegatività. Il tasso di lisciviazione dipende dal drenaggio del suolo, precipitazioni, concentrazione di nitrati e assorbimento delle piante.

Un livello di alcune parti per milione di nitrati in acqua la rendono non potabile. Suoli ben drenanti (sabbiosi ad esempio), forti piogge, grosse concimazioni e cali di resa agricola sono tutti potenziali fattori di rischio per la lisciviazione dei nitrati.

3.2.8 Assorbimento dell'azoto da parte delle piante

È l'obiettivo primario in ambiente agrario. L'efficienza più alta è raggiunta quando si ha un adeguato contenuto di N nel suolo e allo stesso tempo questo è assorbito dalla pianta. Affinché questo processo risulti efficiente vi sono parecchi fattori che vi concorrono, dalle condizioni meteorologiche, lo stato di salute della pianta e dalle condizioni e tipologia di suolo. I nitrati che rimangono dopo il raccolto in climi temperati vengono persi per lisciviazione oppure per denitrificazione. L'uso oculato di fertilizzanti azotati può minimizzare dette perdite.

3.3 Dinamica dell'azoto nel suolo

Per monitorare la dinamica dell'azoto nel suolo bisognerebbe tenere in considerazione l'azoto in ogni tipo di composto in cui si trova. Questo non è possibile sia da un punto di vista computazionale perché a ciascun composto azotato andrebbe associata un'equazione differenziale sia perché i composti organici sono molto complicati dal punto di vista chimico e quindi sarebbe troppo complesso descriverne accuratamente in modo matematico le reazioni.

Con queste premesse, possiamo comunque affrontare il sistema per via semplificata. Esistono molti modelli idrologici che hanno trattato l'argomento e da questi possiamo sintetizzarne alcuni aspetti fondamentali. Il tipo di processo è di tipo sia fisico (dinamica spaziale e fase) che chimico (reazioni chimiche) che possiamo in prima approssimazione dissociare.

La chimica riguarda le reazioni chimiche già descritte nel paragrafo precedente.

Per quanto concerne la fisica, avremo delle equazioni differenziali di avvezione e diffusione, cioè che considerano la variazione di concentrazione della variabile sia rispetto al trasporto dovuto al flusso d'acqua (avvezione) sia ai movimenti di diffusione tipici di un moto browniano e dovuti a gradienti di soluto (con acqua ferma) all'interno del profilo studiato. Avremo quindi un sistema di equazioni differenziali per semplicità di primo ordine accoppiate che contemplano le diverse fasi in cui si può trovare un certo composto.

La componente di avvezione ha una sua importanza quando sono presenti nel profilo del suolo dei gradienti consistenti di contenuto idrico del suolo mentre la componente diffusiva risulta trascurabile. Questo ad esempio è il caso delle prime ore di pioggia. Al contrario in condizione di quasi equilibrio dell'acqua, cioè con terreno saturo oppure in situazione di prolungata siccità, la diffusione è l'unica componente del moto. La diffusione avviene sia in fase di nutriente disciolto in acqua sia in fase gassosa per gli elementi che la prevedono (ammonio-ammoniaca per esempio).

Tutto ciò che entra nel profilo scelto sarà input, questo può essere ad esempio l'azoto atmosferico trasformato durante un temporale, una concimazione o l'azoto fissato dalle leguminose, mentre avremo degli output dovuti per esempio al dilavamento superficiale (run-off), alla lisciviazione in profondità, all'assorbimento delle radici delle piante e alla volatilizzazione. Per quanto riguarda la chimica del processo, all'interno del sistema avremo scambi fra i diversi "pool" cioè dopo un determinato tempo "t" si stabilisce una nuova

ripartizione dell'azoto che dipende dai tassi di ogni reazione. Ora andiamo ad analizzare le principali caratteristiche fisico-chimiche di ogni composto principale:

- Urea

L'urea $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ è un fertilizzante inorganico molto usato, ha la particolarità di avere un rilascio di N lento; infatti prima che possa essere assorbito dalla pianta in forma nitrica l'azoto deve essere trasformato in forma ammoniacale. $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ha una dinamica spaziale assai lenta perché viene facilmente adsorbito soprattutto dalle argille e dagli acidi umici, mentre è trascurabile la sua fase gassosa. L'urea accresce il pool dello ione ammonio (ammonificazione) mentre non ha un input naturale.

- Composti organici azotati

Normalmente l'azoto nella sostanza organica si trova nel terreno sotto forma di acidi umici e acidi fulvici. Essi sono derivati dalla decomposizione dei resti animali e vegetali deposti sul terreno.

Gli acidi fulvici sono composti piccoli e solubili in acqua facilmente lisciviabili. Gli acidi umici invece non sono solubili e aiutano le argille a strutturare il suolo e a trattenere i nutrienti nel profilo pedogenizzato. Entrambi acidi hanno azoto in forma organica che lentamente viene mineralizzato.

- Ione Ammonio

Lo ione ammonio NH_4^+ , a parte per rare eccezioni non è ancora assimilabile dalle piante. Esso data la sua carica positiva ha una dinamica lenta, in particolare in terreni argillosi e/o ad alto contenuto di sostanza organica. Lo ione ammonio infatti viene facilmente adsorbito dai terreni argillosi; ciò ne rallenta drasticamente il moto. Nelle cavità non riempite

dall'acqua gli ioni ammonio cambiano di fase e si trasformano in ammoniaca allo stato gassoso in un rapporto che dipende dalla sua costante di Henry. Ciò provoca una perdita per volatilizzazione (soprattutto dopo una concimazione) dagli strati superficiali, che emettono un tipico odore pungente. Si stima che una parte non indifferente di fertilizzante venga perso appunto a causa di questo processo, dato che spesso i granuli di urea (poi trasformati in NH_3) vengono semplicemente depositati sulla superficie del terreno coltivato.

- Ione Nitrito

Lo ione nitrito NO_2^- si forma durante il processo di nitrificazione per mezzo dei batteri nitrificatori. Normalmente nei modelli di dinamica esso viene trascurato perché considerato un mero e soprattutto molto rapido passaggio dell'azoto dalla forma ammoniacale a quella nitrica.

- Ione Nitrato

Lo ione Nitrato NO_3^- è un composto molto dinamico. Esso, per via naturale, si forma dai nitriti attraverso l'azione dei batteri nitratori oppure può giungere direttamente sotto forma di acido nitrico (HNO_3) formatosi durante i temporali grazie alle alte energie dei fulmini. Esso grazie alla sua carica negativa risulta molto mobile e si trova soprattutto nella sua forma solubile in acqua. L'alta costante di diffusione consente un trasporto sia verticale che orizzontale veloce che da un lato per la pianta è un vantaggio perché una fonte anche lontana dall'apparato radicale può dare un contributo. Da un altro punto di vista questo provoca una facile lisciviazione con conseguente inquinamento di falda. Il nitrato è lo ione con cui la pianta può assimilare l'azoto necessario per i processi di fotosintesi.

- Output dal suolo

La pianta dal punto di vista del suolo è vista come un output quindi perché preleva l'azoto. Altri output sono dovuti all'azione dei batteri denitrificatori che ossidano l'azoto e producono protossido di azoto N_2O e azoto molecolare N_2 . E' molto importante monitorare i livelli di nitrato nel terreno sia per i suoi effetti benefici sia per i pericoli dovuti alla lisciviazione; infatti il nitrato (come anche il nitrito) risulta nocivo per la salute degli animali e dell'uomo. Inoltre è stato recentemente scoperto che il protossido di azoto è un potente gas serra: per unità di peso ha un potere 298 volte a quello della CO_2 ma con concentrazioni atmosferiche molto più basse attualmente siamo sulle 0.325 ppm rispetto alle 390 ppm dell'anidride carbonica. Purtroppo a causa dei fertilizzanti N_2O atmosferico ha avuto una rilevante crescita in atmosfera negli ultimi decenni.

3.3.1 Attività antropiche e ciclo dell'azoto

Le attività dell'uomo hanno alterato il bilancio globale del ciclo dell'azoto. Durante il XX, l'uomo ha più che raddoppiato la quantità di azoto fissato (ovvero l'azoto combinato chimicamente con idrogeno, ossigeno e carbonio) che entra nel ciclo globale dell'azoto.

L'eccesso di azoto sta compromettendo seriamente molti ecosistemi sia acquatici che terrestri. Per uso agricolo, vengono prodotte grandi quantità di fertilizzanti azotati, a partire dall'azoto gassoso. Secondo la internazionale Fertilizer Industry Association, nel 2000 nel mondo sono stati usati 140 milioni di tonnellate di fertilizzanti, pari a 23,1 kg per persona. L'uso crescente di fertilizzanti ha comportato una maggiore resa di coltivazioni. Nel 1997, Peter Vitousek, insieme ad altri sette ecologi, ha pubblicato un'estesa rassegna di ricerche scientifiche sull'impatto ambientale negativo dell'azoto, prodotto dalle attività umane. Un grave problema con l'azoto è che è estremamente mobile e si trasferisce facilmente dal terreno, ai fiumi, agli estuari, ai mari. L'abuso di fertilizzanti commerciali può, quindi,

provocare problemi di qualità dell'acqua, che possono contribuire a spiegare il lento declino di molti tipi di pesca costiera. La quantità di nitrati o di ammonio in molti ecosistemi acquatici è ridotta e quindi è un fattore limitante per la crescita delle alghe. La pioggia dilava i fertilizzanti nei fiumi e nei laghi, dove stimolano la crescita di alghe, alcune delle quali tossiche. Quando le alghe muoiono, la loro decomposizione da parte dei batteri impoverisce l'acqua di ossigeno disciolto, che a sua volta, causa la morte per anossia di molti organismi acquatici, tra cui molti pesci. I nitritati possono raggiungere per dilavamento le falde freatiche e contaminare le acque sotterranee. Molte persone che vivono in aree rurali bevono acque contaminate, pericolose soprattutto per i bimbi.

Un'altra attività umana, che influenza il ciclo dell'azoto, è la combustione di carburanti fossili. Quando vengono bruciati i combustibili fossili, l'azoto legato nei composti organici è alterato chimicamente e trasferito nell'atmosfera. Inoltre, l'elevata temperatura della combustione converte una parte dell'azoto nell'atmosfera (N_2) in ossidi di azoto, gas presente nell'atmosfera in piccole quantità e prodotti dall'interazione chimica tra azoto e ossigeno, per cui le automobili rappresentano questo rilascio di ossido di azoto nell'ambiente.

Gli ossidi di azoto peggiorano alcuni gravi problemi ambientali. Essi sono, infatti, uno degli ingredienti necessari per la formazione dello smog fotochimico, una miscela di diversi inquinanti atmosferici, che può provocare danni ai tessuti vegetali, irritare gli occhi e causare problemi respiratori all'uomo. Inoltre, gli ossidi di azoto reagiscono con l'acqua presente nell'atmosfera e formano acido nitrico (HNO_3) e acido nitroso (HNO_2). Quando questi e altri acidi lasciano l'atmosfera sotto forma di piogge acide, provocano un abbassamento del pH delle acque superficiali (laghi e corsi d'acqua) e del suolo. Le piogge acide sono state collegate al declino delle popolazioni animali negli ecosistemi acquatici.

Sulla terraferma, le piogge acide alterano la chimica del suolo, cosicché alcuni nutrienti minerali essenziali, come il calcio e il potassio, vengono dilavati e non sono, quindi,

disponibili per le piante. Il monossido di azoto (N_2O), uno degli ossidi di azoto, trattiene il calore nell'atmosfera (analogamente alla CO_2), favorendo il riscaldamento globale. Gli ossidi di azoto contribuiscono anche alla diminuzione dell'ozono nella stratosfera (Salomon et al., 2006).

3.3.2 La sostanza organica

La sostanza organica è indispensabile per la preservazione della micro e mesovita del suolo. Non c'è dubbio che tutta la biostruttura e tutta la produttività del suolo si basa sulla presenza di materia organica in decomposizione umificata. Ma cos'è la sostanza organica? Essa è tutta quella sostanza morta nel suolo, la quale proviene da piante, microorganismi ed escrementi animali.

Le radici vive e gli animali vivi non costituiscono sostanza organica. D'altro canto non solo l'humus è sostanza organica e né tutta la sostanza organica è humus (Primavesi, 1999).

Il contenuto di sostanza organica varia da meno dell' 1% (0,5%) nei suoli desertici e in quelli minerali, a valori intorno al 40% nei suoli forestali soprattutto in ambiente montano, a più del 90% nelle torbe (Sanchez, 1998). Per questa ragione gran parte della fertilizzazione consiste per lo più nell'apporto di composti azotati al terreno (Radaelli e Calamai, 2001).

In climi temperati normalmente la sostanza organica è importantissima sia come fonte di nutrienti sia e soprattutto per la sua capacità di dare struttura al terreno e di trattenere nutrienti. Ma per esempio nelle zone tropicali i suoli con maggior accumulo di sostanza organica sono i peggiori per l'agricoltura, e si conclude che la sostanza organica non ha particolare importanza per questi suoli, ai quali non riesce neanche a dare il tipico color scuro, risultato della formazione di melanine e fenoli nella decomposizione di sostanza organica mediante funghi (Vageler, 1930).

Al massimo, si ammette che la sostanza organica ha una qualche importanza nel fornire azoto alle piante, sebbene, non sia la fonte primaria, ma essendo prodotto di vegetali morti che devono in qualche modo averlo ricevuto. Anche in campi di riso irrigato la relazione fra la sostanza organica e l'azoto disponibile per le piante è pressoché inesistente (Primavesi, 1999).

La sostanza organica del suolo, possiede in media il 58% di carbonio ed esiste in forma di foglie e radici morte, e in parte come prodotto intermedio di decomposizione come acidi poliuronici o in parte come sostanze umiche.

Al decomporsi dell'humus, si perde la struttura del suolo, venutasi a creare con la decomposizione dei resti vegetali. Ciò che possiede la forza aggregante in questo caso non è l'humus ma un prodotto intermedio di decomposizione batterica, gli acidi poliuronici, un prodotto incolore che è incapace di dar colore al suolo ma che riesce appunto a tenerlo aggregato (Vageler, 1930).

E' ovvio che la semplice valutazione del contenuto di carbonio nel suolo non ci può dare informazione alcuna sull'effetto che avrà sulle proprietà fisiche del terreno (Kononova, 1961).

3.3.3 Condizioni nelle quali si forma l'humus

Nel clima temperato la maggior frazione di sostanza organica si trova in forma umificata, dovuto alla decomposizione lenta di queste latitudini. Non sempre questo è indice di buon terreno, infatti al contrario in climi tropicali una troppo elevata concentrazione di humus è indice di condizioni insufficienti di decomposizione, quali freddo, acidità troppo elevata, mancanza di umidità ecc...

Per molto tempo si è saputo solo che l'humus era una sostanza marron scura, friabile e più o meno ricca di azoto, calcio, fosforo e che si formava da resti organici senza tuttavia conoscere la struttura di questo.

Solo più tardi si è scoperto che erano soprattutto le lignine che davano origine all'humus, poiché sono di lenta e difficile decomposizione, quest'ultima dovuta solo all'azione dei funghi actinomiceti (DeKock e Strmecki, 1954).

Le lignine sempre sono decomposte in una prima fase da funghi actinomiceti, i quali sono gli unici che riescono a rompere i loro cicli strutturali molto complessi. Questi funghi, come ad esempio "*epicoccum nigrum*", producono pure il colore scuro tipico dei fenoli e delle melanine (Greenland, 1958, Haider e Martin, 1967; Martin et al., 1972).

In ambiente semiaerobico la decomposizione continua grazie ai funghi. In condizioni aerobiche e di clima sufficientemente caldo invece, la decomposizione è presa in carico dai batteri. Questi sono decompositori molto efficienti, che non fanno rimanere nulla più che CO₂, acqua e minerali.

Distinguiamo ora fra sostanza organica disponibile e umificata (Sekera, 1943). L'humus è un prodotto di decomposizione parziale che ha una successiva sintesi. Quando questo è formato in suoli con pH superiori a 5,6, è una sostanza aggregante che forma grumi. Quando è decomposto, si decompongono i legami organici fra le particelle del suolo e, pertanto, la struttura biologica decade per il disfacimento dei grumi maggiori. Il suolo diventa così amorfo. Una perdita di humus implica una perdita di biostruttura del suolo e conseguentemente perdita di una grande porzione della sua produttività dovuta al fatto che il terreno non è più capace di trattenere gran parte dei nutrienti (Baver, 1968; Primavesi, 1968; Russell e Russell, 1961; Sekera, 1943).

La paglia e ogni sostanza organica vegetale morta ma ancora intatta, non ha effetto sulla struttura del suolo. Solamente durante la sua decomposizione si formano sostanze

aggreganti e stabilizzanti; specialmente gli acidi poliuronici, prodotti da batteri citofagi, esercitano un grande effetto benefico (Molina, 1968, Waksman, 1938).

Quanto più intensa è la decomposizione del materiale vegetale morto, tanto maggiore sarà il suo effetto aggregante sul suolo. E' per questo che il letame, come anche il compost, non hanno lo stesso effetto aggregante della paglia aggiunta al suolo (Lenz, 1968, Wiebe, 1966). Quindi quanto maggiore è la decomposizione dei resti vegetali e quanto più attiva è la formazione di sostanze intermedie di decomposizione, tanto maggiore sarà l'effetto sulla struttura del suolo e tanto più vi saranno benefici. La differenza fondamentale fra humus e resti organici è che l'humus costituisce già un prodotto intermedio di decomposizione, mentre nei resti vegetali questi devono essere ancora prodotti.

Quando, grazie all'azione dei batteri, diminuisce la quantità di materia già umificata, l'effetto è nefasto.

La sola diminuzione di contenuto di carbonio nel suolo non è capace di informare sugli effetti che si avranno. Non è raro sentir concludere: “diminuisce la sostanza organica e aumenta il raccolto, quindi la materia organica non è necessaria”. Ma si sa che tipo di materia organica c'era nel suolo? Erano paglia o radici durante la cui decomposizione venivano prodotti acidi poliuronici oppure no?

Se mancano i batteri durante la decomposizione, come succede nei suoli forestali e nei pascoli, specialmente in climi non caldi e subumidi, vi è un accumulo di humus in grande scala, come dimostrano i famosi Chermozen nel sud della Russia (Kononova, 1968). Le sostanze chiamate acidi umici non sono solubili in acqua, ma di decomposizione relativamente facile. Tuttavia se questi si seccano in un clima relativamente freddo, con temperature che arrivano a parecchi gradi sotto zero, allora si formano umine (Waksman, 1938) che sono sostanze estremamente stabili una volta che il processo è irreversibile. A riguardo di queste umine si afferma che permangono nel suolo per millenni (Kononova,

1961; Pauli, 1961; Swaby, 1968). Dopo tremila anni ancora sono state trovate intatte nel suolo, come prova Koronova (1961).

In questo modo contribuiscono efficacemente alla manutenzione del suolo, poiché sono quasi indistruttibili, malgrado attraverso un'agricoltura irrazionale (Koltakova e Schwetschenko, 1966), si sia riuscito pure a distruggere le terre "nere" russe. Più il clima diventa caldo e umido meno si può disporre di questo importante tipo di humus.

Sappiamo che ogni pianta assorbe elementi distinti. Questa può essere più ricca in amidi e proteine (quindi azoto), come le leguminose, o più ricca in cellulosa e lignina come le graminacee soprattutto nella parte ipogea. Può essere più o meno ricca in silicio o in calcio come per esempio (*Aristida pallens* o *Andropogon* sp.). La maggior parte delle leguminose sono ricche in calcio come pure molte erbe adatte al pascolo come *Plantago maior* e altre (Naglitsch e Matschke, 1970, Primavesi, 1973).

Ci sono piante che prendono e accumulano certi minerali e altre che si accontentano di ambienti poveri, avendo bisogno di un minimo di sostanza nutritiva e un ciclo vegetativo più corto (Aichinger, 1951).

Dato che la decomposizione è fatta da microorganismi, e questi hanno esigenze molto specifiche è logico che ogni tipo di vegetazione abbia il suo tipo di microorganismo che la decompone. Ma, dato che ogni microorganismo produce sostanze intermedie distinte durante la decomposizione, le sostanze che formano l'humus sono molto variate (Jenny, 1930; Kohnlein, 1957; Danneberg, 1971).

Solo materiale di decomposizione può fornire humus. Mentre le foglie delle leguminose sono ricche in proteine, e quindi di facile decomposizione, le radici delle graminacee sono molto ricche in lignina e quindi sono di decomposizione più difficile, e possono fornire humus, se c'è una decomposizione in ambiente semi anaerobico (Primavesi, 1999).

Foglia e radice fra l'altro forniscono prodotti differenti, non solo per il profilo di suolo diverso dove avviene la decomposizione ma specialmente per il contenuto diverso di lignina. La foglia contiene fra il 5,5 e il 9% di lignina, mentre la radice ne contiene fino al 20% come nel caso delle graminacee (Kononova, 1961).

Le sostanze di facile decomposizione sono attaccate per prime e generalmente, rapidamente sono decomposte fino a produrre CO₂, acqua e minerali. Una concimazione verde di leguminose per esempio ha poche possibilità di rimanere nel suolo per più di sei settimane.

Pertanto non può essere considerata un arricchimento di sostanza organica del suolo ma semplicemente una concimazione azotata, dato che il contenuto di azoto è alto (C/N basso), Primavesi (1999).

D'altro canto, l'uso di graminacee foraggiere, specialmente quando possono sviluppare liberamente le proprie radici, è la maniera più sicura di arricchire il suolo di sostanza organica (Hausmann, 1968).

La velocità di decomposizione si determina non solamente dall'aerazione del suolo e dall'attività batterica, ma anche dalla composizione del materiale essendo decomposto in relazione al rapporto C/N (Reese, 1968; Swaby, 1968).

Amido e proteine sono i primi a essere decomposti, seguiti dalla cellulosa. La lignina è sempre più lenta avendo una struttura chimica più complessa.

Vediamo ora alcuni fattori che influiscono fortemente sulla formazione della sostanza organica.

3.3.4 Il pH

Il pH è molto importante, non perché abbia effetto diretto sulla formazione dell'humus, ma a causa del suo effetto indiretto sulla concentrazione di elementi nutritivi a disposizione del vegetale e all'attività microbica.

Il pH è responsabile per diversi tipi di humus, che possiedono effetto completamente differente sul suolo (Durasov e Marschenko, 1966).

Ciò si spiega col fatto che in suoli acidi e poveri non ci sono condizioni di una vita microorganica conveniente, mancando, poi, la continuazione dell'ossidazione che, da qui in avanti, dipende dalla presenza di calcio e fosforo. Questo porta a una formazione minima di sostanze umiche a vantaggio degli acidi fulvici. Ma, in un suolo alcalino, dove le condizioni di microvita diventano nuovamente precarie, avviene l'ossidazione puramente chimica degli acidi umici, formando nuovamente acidi fulvici che alla fine, sono mineralizzati dai batteri (Kononova, 1968; Tyurin, 1965).

Questo significa che in suoli poveri l'humus sarà scadente, mentre in suoli ricchi sarà buono; in suoli salini sarà nuovamente scadente.

Senza il calcio e il fosforo non si può formare humus di buona qualità, ma, con eccesso di calcio come può avvenire dopo una calcitazione dove il pH inizialmente sale fino a 8,3 gli acidi umici del suolo sono degradati in acidi fulvici che sono ritenuti come uno dei fattori più importanti della lisciviazione.

3.3.5 Acidi Fulvici

Gli acidi fulvici non si formano solo in suoli acidi, ma in tutti i suoli dove le condizioni per la vita microorganica sono precarie. Così, ad altitudini superiori ai 1000 m sul livello del mare, dove il clima è freddo si formano quasi esclusivamente acidi fulvici, come

pure in suoli allagati o anaerobici (Duchaufour e Jacquin, 1966; Kononova, 1968; Marques et al., 1961).

Gli acidi fulvici con la loro struttura semplice e le ridotte dimensioni entrano facilmente negli interstizi della rete cristallina delle argille, dando mobilità a ferro e alluminio, i quali diventano sostituibili (Levashkevich, 1966). Mettono in mobilità ugualmente il calcio e il magnesio con i quali si legano. Ma siccome i fulvati, cioè i sali degli acidi fulvici, sono molto mobili e completamente idrosolubili, percolano con facilità nel suolo. Pertanto essi lisciviano il suolo e lo impoveriscono quando si formano (Jacquin e Juste, 1965; Nehring e Wiesemuller 1968). D'altro canto si accumulano in tutti i suoli che sono carenti di una microvita adeguata, e dove per tanto, manca una continuità nella formazione dell'humus. Gli acidi fulvici si riconoscono facilmente, infatti tingono l'acqua di scuro quando la terra è mischiata all'acqua. Il Rio Negro in Amazzonia per esempio è tinto dagli acidi fulvici.

Quando si verificano contenuti maggiori del 6% di sostanza organica nel suolo, si deve pensare che sia una sostanza organica acida che non rappresenta un fattore di miglioramento del suolo ma piuttosto di impoverimento. Questa è la ragione per la quale molti credono che la sostanza organica, in climi tropicali non sia necessaria o addirittura dannosa.

3.3.6 Acidi umici

L'acido umico è il prodotto di un processo ossidativo continuato in presenza di calcio, potassio, fosforo e micronutrienti. Il materiale che risulta è arricchito da questi elementi e in più l'azoto fissato dall'aria; essendo presente nell'humus in quantità ben superiore a quello del materiale vegetale originario.

Non sono solubili in acqua e hanno una struttura grande e complessa. Non entrano nelle strutture delle argille, ma si legano grazie alla loro elettronegatività, quando le argille

sono coperte da strati di cationi positivi di due o tre cariche negative, come, per esempio, l'alluminio, il ferro, il calcio e il magnesio. Essi servono da ponte di unione fra le particelle di argilla (Kellermann e Tsyurupa, 1966; Scharpenseel e Kruse, 1971).

Tuttavia, questo legame solo si forma quando l'argilla è saturata con cationi positivi, come menzionato sopra. Se non è saturata le sue cariche negative rigettano quelle degli acidi umici e l'effetto non è un'aggregazione ma una dispersione nel suolo (Primavesi, 1973). Questo effetto dipende dalla pellicola che riveste le argille.

Gli acidi umici non si legano solamente alle argille, essi sono parzialmente adsorbiti da queste, in modo che si formano complessi humo-argillosi di buona stabilità (Santoro e Stotzki, 1967). Perciò ogni suolo, a seconda del suo contenuto di argilla, possiede un livello minimo di sostanza organica e che praticamente non viene mai perso. Questo minimo di sostanza organica è approssimativamente lo 0,3% ad ogni 10% di argilla (Primavesi, 1973). Così un suolo di 70% di argilla possiede un minimo fra 2,1 e 2,5% di sostanza organica, comprese le sostanze organiche secrete dalle radici, microorganismi e mesofauna. Ciò diede origine alla credenza che nessuna tecnica potesse stimolare la decomposizione di humus e nemmeno danneggiarla, dato che il livello di humus non si abbassava più di una certa percentuale. Tuttavia si era dimenticato che il minimo di humus è insufficiente a mantenere la struttura grumosa e un livello soddisfacente di produzione che garantisca l'effetto adeguato di una concimazione (Miyasaka et al., 1966).

Capitolo 4. Scopo della Tesi

Le ragioni e la struttura di questo lavoro nascono da una lunga esperienza maturata nel recupero ambientale (RA) nel bacino estrattivo di Colombara dal rapporto tra la Ditta escavatrice (SIBELCO *Italia*) e la Cattedra di Selvicoltura dell'Università degli Studi di Bologna. Da 20 anni esiste un rapporto continuativo di collaborazione nella definizione di nuove metodologie nel Recupero ambientale di ambiti estrattivi esauriti. La pratica del recupero ambientale è una attività molto giovane, sviluppatasi solo negli ultimi decenni a seguito delle pressioni esercitate dalla società civile che non ammette più impatti ambientali e paesaggistici guidati dalla semplice rapina.

La teoria e la pratica del recupero sono perciò campi di studio e di ricerca molto recenti: non esiste una tradizione, né una esperienza tali da poter guidare con sicurezza le nuove progettazioni. Sono argomenti di biologia applicata che risentono dell'evoluzione dei modi di pensare che investono tutta la biologia se non addirittura la scienza. Ma a differenza degli ambiti teorici, la biologia applicata al recupero deve dare delle risposte "certe" alla domanda di riqualificazione: non basta adottare un modello alla "realtà" delle osservazioni, bisogna immaginare e prevedere i processi e/o gli stadi intermedi che i sistemi naturali ricostruiti devono superare durante il processo dinamico della rinaturalizzazione per raggiungere l'obiettivo di un recupero adeguato alle aspettative della società. Questa "finalità operativa" condiziona il metodo, lo costringe a relazionarsi con la stazione e con il paesaggio, introducendo una interazione molto stretta tra tecnica e sito.

Ogni realizzazione deve perciò modularsi con le condizioni biologiche, ecologiche ed ambientali per essere efficiente ed efficace e questo obiettivo si raggiunge solo con la sperimentazione continua.

Le tre prove che sono state organizzate nella redazione di questa tesi vanno in questa direzione. Dopo i primi 20 anni di sperimentazione ed osservazione si è voluto stabilire un

punto fermo per poter trarre delle indicazioni di carattere più generale che travalichino il sito di Colombara. Infatti la filosofia che ha sempre guidato l'ideazione, la progettazione e l'esecuzione degli interventi in Colombara può essere ricondotta all'idea della "Gestione Adattativa", dove l'esperienza maturata, continuamente osservata, serve a guidare le nuove realizzazioni. Il lavoro nelle prove di Colombara si è sempre organizzato come un processo di controllo continuo dei risultati raggiunti, controllo che agisce come un feed-back per aggiornare continuamente le conoscenze e permettere un reindirizzamento costante verso il miglioramento dei risultati e dell'efficienza dei trattamenti eseguiti.

Negli interventi di recupero di un paesaggio drasticamente alterato uno degli elementi fondamentali, se non il fondamentale, è rappresentato dal substrato. I trattamenti che un suolo subisce nelle fasi di coltivazione di una cava, raccolta, movimentazione, accumulo, conservazione o le contaminazioni e diluizioni che subisce o l'incorporazione di materiali diversi (compost, fanghi, sostanze organiche di origine tecnologica) sono la causa di una forte degradazione del suolo. Le caratteristiche di un substrato "ricostruito" presentano valori così particolari che i pedologi hanno classificato questi suoli come Tecnosuoli (FAO, 2006; Lehmann, 2006). Nel migliore dei casi questi substrati presentano densità modificate (in genere maggiori), assenza di orizzonti, tessitura caotica, omogeneità verticale associata molto spesso ad una elevata variabilità spaziale. A volte non possono neanche essere considerati suoli in senso pedologico o biologico. Si opera perciò con suoli o substrati poveri, poco fertili, molto sbilanciati verso la componente fisica (es. Tessitura). Sono perciò necessari interventi per recuperare rapidamente le proprietà chimico fisiche e biologiche tipiche di un substrato naturale al fine di ripristinare le funzioni fondamentali:

- 1) base ed habitat della produzione biologica;
- 2) filtraggio, accumulo e trasformazione di tutti i materiali a supporto dell'attività biologica. Si opera cioè sempre in un ambito di rinaturalizzazione. Perciò il fine degli

interventi tecnici è sempre il recupero, ripristino, rigenerazione delle proprietà e funzioni che si traducono in accumulo di sostanza organica, elementi, acqua. Questo processo di riqualificazione assume valenze diverse a seconda delle condizioni di alterazione presenti.

Se il substrato ha subito limitate alterazioni si può parlare di Ripristino (Restoration) che consente in tempi rapidi di ritornare ai caratteri e funzioni iniziali o di riabilitazione (Rehabilitation) se si recuperano solo parzialmente caratteri e funzioni. Se invece le alterazioni sono profonde si parla di Recupero (Reclamation) dove si ricerca innanzitutto la riattivazione delle funzioni fondamentali del substrato (Bradshaw, 1993;1997).

Le esperienze di rinaturalizzazione adottate in Colombara sono riconducibili a due diverse strategie:

- Intervento “traslativo” o “parzialmente traslativo”: dove si interviene su un substrato forestale parzialmente alterato (raccolto, accumulato e conservato per alcuni anni) , ripartendo però da condizioni evolute, dove cioè la pedogenesi ha comunque lasciato delle tracce importanti, che permettono di operare all'interno di una successione secondaria (Kolbush, 1990; Redente, 1997).
- Intervento ricostruttivo: dove all'opposto si interviene nel tentativo di ricostruire totalmente un paesaggio ed un substrato distrutti, riparte partendo da un substrato totalmente minerale e operando all'interno di una successione primaria.

Nelle condizioni della cava Colombara si è sempre lavorato con substrati, pedogenizzati o meno, fortemente alterati: per entrambe le strategie il problema chiave da risolvere riguarda il recupero della fertilità o meglio la capacità di migliorare in modo stabile la disponibilità di azoto (Reeder, 1988; Sorensen e Fresquez, 1991) e di sostanza organica (Grandy e Robertson, 2006) al fine di sostenere una adeguata attività biologica (Roberts, 1988).

Infatti anche la parziale distruzione del paesaggio ante operam, con la raccolta, la conservazione ed il riuso dei primi orizzonti pedogenizzati causa una perdita importante della

sostanza organica e dell'azoto disponibile (Taylor, 1992). Questo limita la possibilità di sostenere stabilmente una copertura vegetale adeguata e quindi espone il sistema a processi di involuzione e/o di degrado sia biologico che fisico (Haering et al. 2000). All'opposto il processo di accumulo della sostanza organica nel substrato è un processo lento che richiede la presenza di una adeguata attività biologica per sostenersi ed incrementarsi (Shrestha e Lal, 2007).

I tempi lunghi di una rinaturazione non possono essere di grande ausilio nel recupero ambientale : si deve in tutti i modi favorire una sufficiente disponibilità di N nel substrato per sostenere l'attività biologica con i suoi effetti più generali (mitigazione paesaggistica, difesa antierosiva, stabilizzazione delle scarpate, ecc.) . Questa problematica nel sito della Colombara è sempre stata oggetto di grande attenzione. Le prove organizzate in questa tesi affrontano tutte questa problematica fondamentale.

In particolare, nell'ambito della strategia "traslativa" (col riuso del top soil) sono stati organizzati 2 piani di campionamento osservazionali su prove in essere oramai da più di un decennio:

a) Confronto tra due piani di ammendamento e concimazione all'impianto in un rimboschimento con specie arboree ed arbustive su un substrato di matrice sabbiosa già pedogenizzato. Scopo della prova è confrontare nel medio periodo dei 10 anni l'effetto di una concimazione intensiva all'impianto sui parametri chimici del suolo, con particolare attenzione all'azoto nelle sue diverse forme (N-NO₃, N-NH₄, N% e $\delta^{15}\text{N}$) , e sullo sviluppo delle specie legnose trapiantate presenti.

b) Confronto tra diverse strategie di ammendamento e concimazione nella rivegetazione di un substrato di matrice sabbiosa già pedogenizzato. Scopo della raccolta dati è confrontare gli effetti nel medio periodo di cinque interventi di miglioramento del substrato di intensità (da 210 a 900 unità di N/ha) e natura diversa (organico e/o inorganico) al fine di

valutare il comportamento dell'azoto edafico (N-NO_3 , N-NH_4 , $\text{N}\%$ e $\delta^{15}\text{N}$) e lo sviluppo quantitativo e qualitativo della componente erbacea che si è affermata.

Nell'ambito della strategia "ricostruttiva", invece, è stato organizzato un esperimento, ed il relativo piano di campionamento, che ha interessato un substrato minerale argilloso su cui sono stati messi a confronto 2 diverse strategie agronomiche di miglioramento all'impianto allo scopo di favorire l'insediamento e l'affermazione di una copertura erbacea permanente. In particolare si è voluto valutare l'effetto del cippato di potatura sulla dinamica e sulla disponibilità di azoto nel terreno (N-NO_3 , N-NH_4 , $\text{N}\%$ e $\delta^{15}\text{N}$) e sulla risposta della vegetazione erbacea messa a dimora. In questo esperimento si è operato in modo sincronico, seguendo l'evoluzione dei processi già dal primo anno di vegetazione.

Capitolo 5. Esperimenti

5.1. Descrizione della zona di studio

La valle del Rio di Monte Polo è una valle stretta, rivolta principalmente verso N/NE, con un versante ad esposizione E/SE ed un altro verso W/NW. La valle è formata da dorsali rocciose ripide che si differenziano a seconda del versante in cui si trovano: il versante ovest risulta più acclive, in quanto interessato da strati con giacitura a reggipoggio, al contrario, la stratificazione a franapoggio ha favorito la minore acclività dei versanti con esposizione est. Il fondovalle presenta un'altezza di circa 200 metri sul livello del mare, mentre il crinale raggiunge un'altitudine di circa 300 m sul livello del mare. I litotipi presenti in valle sono:

- Molasse di Loiano;
- Red-Beds;
- Marne di Antognola.

Nell'ambito dei litotipi particolarmente argillosi la morfologia presenta appendici poco acclivi, fatti salvi gli areali dove l'erosione ha favorito l'insinuarsi di superfici ad accentuata acclività.

I movimenti gravitativi superficiali sono favoriti dalla presenza di un substrato roccioso impermeabile, appena individuabili dai tipici elementi morfologici come l'ondulazione della superficie topografica, oppure visibilmente segnati da tutte quelle forme di erosione che accompagnano i movimenti di massa. Risulta evidente la presenza di dissesti, in gran parte quiescenti che interferiscono con il tratto medio alto dell'alveo del Rio di Monte Polo; molto evidente risulta anche l'erosione incanalata la quale ha inciso il substrato roccioso al punto di creare condizioni di instabilità accostati a franamenti più o meno inclinati del pendio, oppure intaccando i terreni argillosi su cui poggiano litotipi arenacei fratturati. Tale quiescenza dei

dissesti è dovuta al mutato gradiente topografico, alla regimentazione del corso d'acqua, e relativamente al dissesto a valle del Rasiglio, alla presenza di ostacoli naturali quali affioramenti arenacei.

Per quanto riguarda il clima, è di tipo Appenninico, temperato-freddo a inverno marcato, che in questa zona presenta la varietà ad estate fresca e relativamente piovosa. Secondo l'Atlante di Walter e Lieth (1960) rientra nel clima mediterraneo-montano.

Dati storici

Presso la cava Colombara è iniziato dal 1991, in concomitanza con la risistemazione del fronte di cava esaurito, un'attività sperimentale per la valutazione degli interventi di rivegetazione e di recupero ambientale dei substrati minerali abbandonati, in collaborazione con il Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Bologna ed in particolare con la cattedra di Selvicoltura (Muzzi e Rossi, 2003; Simoni et al. 2001).

Il fronte attivo di Cava Colombara è costituito da Arenarie di Loiano nella porzione inferiore e da Argille di vari colori in quella superiore. I due litotipi sono a contatto tettonico lungo faglia sub verticale a direzione NNE-SSO, direttamente visibile alla base del secondo gradone di scavo, ed alla quale è associata una fascia metrica in cui la successione è fortemente disturbata.

Il fronte in Arenarie di Loiano appare stabile, e nel corso dei rilievi di campagna non sono stati osservati fenomeni franosi di rilievo. La giacitura a reggipoggio della stratificazione e l'assenza di discontinuità persistenti opportunamente orientate rispetto al fronte di scavo rende infatti geometricamente inammissibili frane per scorrimento traslazionale (sia planare sia di un cuneo) e l'inclinazione non eccessiva del fronte principale

inoltre (40°- 50° in media) riduce al minimo la possibilità geometrica di scorrimenti su cuneo e ribaltamento.

La sostanziale stabilità del fronte è stata confermata dai tecnici di cava, secondo i quali non sono avvenuti movimenti franosi in roccia nemmeno nel corso degli anni precedenti. Gli unici problemi hanno riguardato i materiali di scarto e, limitatamente, il fronte in argilla, ma lo studio di questi fenomeni non rientra nell'ambito della presente convenzione. Movimenti franosi di volume estremamente ridotto (inferiore ad 1 m³) sono stati osservati solo al margine meridionale della cava, lungo la strada d'accesso al secondo gradone di scavo. Si tratta di scorrimenti su cuneo definiti su un lato dalla stratificazione, localmente più acclive per la vicinanza della faglia, e sull'altro da un sistema di discontinuità sub verticali. La linea di intersezione tra i piani immerge a NE con un' inclinazione di 70°-80° e riesce ad emergere dal versante vista l'elevata pendenza locale del taglio stradale. L'altezza dello sbancamento varia da 5-10 m circa ed al momento gli unici problemi legati a questi movimenti riguardano l'ingombro momentaneo della strada di arroccamento dei mezzi di scavo. Nel complesso, è evidente che il fronte di scavo di Cava Colombara è caratterizzato da condizioni di stabilità migliori rispetto a Sgalara e Ca' di Serra e questo è attribuibile all'assetto a reggipoggio dei piani di strato. Tale osservazione è tanto ovvia da apparire banale ma è stata volutamente sottolineata in quanto testimonia la natura fortemente anisotropa delle Arenarie di Loiano ed il controllo esercitato dai livelli pelitici sulle condizioni di stabilità dei versanti artificiali. (Regione Emilia Romagna, 2003).

5.2 L'Esperimento uno: Confronto tra due strategie di recupero: Effetto dell'azoto all'impianto su rimboscimento realizzato su un suolo pedogenizzato di matrice sabbiosa – Prova bassa.

5.2.1 Materiali e Metodi

In corrispondenza della parte basale di un piano inclinato, rimodellato nella fase di abbandono e risistemazione ambientale, è stato impostato e realizzato un rimboscimento sperimentale con alberi ed arbusti, (Fig.2).



Figura 2. Esperimento uno: Prova bassa.

In particolare su un piano di argille in posto rimodellate, si è ricostruito , attraverso il riporto, un orizzonte di circa 50-100 cm di materiale sabbioso pedogenizzato, utilizzando il cosiddetto “cappellaccio” termine comunemente usato in ambito minerario per identificare gli

orizzonti pedogenizzati superficiali mescolati con gli orizzonti C e D alterati ed inadatti all'utilizzazione tecnologica.

Parametri	Unità	Cappellaccio
pH		8.39
Calcare Totale	%	5.00
Calcare Attivo	%	2.80
Sostanza Org.	%	0.46
N	%	0.34
P	ppm	2.00
K	ppm	101.00
Na	ppm	37.00
Ca	ppm	2280.00
Mg	ppm	342.00
CSC	meq/100g	16.61
C/N		7.85
Sabbia	%	58.00
Limo	%	26.00
Argilla	%	16.00

Tabella 1. Composizione chimico fisica del materiale pedogenizzato riutilizzato nel recupero.

Questo materiale, di tessitura prevalentemente sabbiosa, era stato precedentemente raccolto ed accumulato in fase di scoperta del giacimento e conservato all'incirca cinque anni: rappresentava i primi orizzonti pedogenizzati di un vecchio castagneto a cui erano stati aggiunti i primi strati minerali di copertura (orizzonte C e D) parzialmente alterati. Su questo materiale sono state eseguite numerose operazioni agronomiche prima dell'impianto della vegetazione. Per prima cosa si è provveduto ad una lavorazione profonda utilizzando un erpice a denti, per rompere gli strati e favorire una buona compenetrazione dei diversi orizzonti. Questa operazione ha favorito anche la venuta a giorno di pietrame, tronchi, rocce ed altro materiale grossolano, che sono stati raccolti ed allontanati. In un secondo momento, l'area così preparata, è stata suddivisa in due porzioni distinte che hanno subito interventi agronomici diversi.

Nella prima area (che definiremo LG) nel settembre del 1997 sono iniziati i lavori per il miglioramento del substrato e la preparazione del letto di semina. In particolare sulla superficie, misurante 4000 m², si è provveduto all'interramento di 1350 kg di guanito, un ammendante generico ricco di fosforo (15%) ed azoto (6%), con la funzione di migliorare la struttura, i processi biologici del suolo, e per rilasciare azoto nel breve e medio periodo.

Ad esso è stato associato Fosfato biammonico (16.47.0) nella dose di 250 Kg un concime chimico che fornisce nell'immediato fosforo e nel medio termine azoto. Successivamente dopo aver preparato il terreno con lavorazioni superficiali mediante erpici a maglie, si è provveduto alla semina a spaglio di un miscuglio di graminacee e leguminose costituito da:

	% Semente		% Semente
GRAMINACEE	73,76	LEGUMINOSE	26,24
<i>Alopecocurus pratensis</i>	28,00	<i>Vicia villosa</i>	7,80
<i>Lolium perenne</i>	7,80	<i>Trifolium pratense</i>	5,60
<i>Cynodon dactylon</i>	12,50	<i>Lotus corniculatus</i>	7,50
<i>Festuca ovina</i>	3,40	<i>Medicago sativa</i>	4,60
<i>Dactylis glomerata</i>	3,10	<i>Onobrichis viciaefoliae</i>	0,60
<i>Agropyron repens</i>	4,00		
<i>Poa pratensis</i>	14,60		

In particolare sono stati distribuiti 50 g/m².

Nell'anno seguente (1998) si è intervenuti sulla seconda zona (definita NN), un'area di 1500 m². Anche qui si è provveduto alla lavorazione del cappellaccio riportato in loco e all'interramento degli ammendanti agronomici. In particolare sono stati distribuiti 1500 kg di pollina essiccata, associati a 250 kg di Fosfato biammonico (16.47.0) ed a 150 chili di Urea granulare (46.0.0). La scelta è ricaduta sulla pollina per l'elevato tenore in azoto e per la tendenza ad una veloce mineralizzazione.

Dopo l'affinamento e la ripulitura del letto di semina si è provveduto alla semina di un miscuglio di erbacee costituito da:

	% Semente		% Semente
GRAMINACEE	71,20	LEGUMINOSE	28,80
<i>Lolium diploide</i>	5,20	<i>Vicia sativa</i>	1,50
<i>Poa pratensis</i>	49,50	<i>Onobrichis viciaefoliae</i>	6,80
<i>Festuca rubra</i>	7,80	<i>Medicago sativa</i>	5,20
<i>Festuca arundinacea</i>	8,40	<i>Trifolium pratense</i>	6,30
		<i>Lotus corniculatus</i>	8,40

La dose di seme per metro quadrato è stata pari a 80 g/m².

Nel 1999 sono iniziati i lavori per l'impianto della vegetazione arborea ed arbustiva. Nelle due zone sono stati trapiantati semenzali di 2-3 anni delle seguenti specie:

ARBOREE	ARBUSTIVE
<i>Carpinus betulus</i>	<i>Cornus sanguinea</i>
<i>Fraxinus oxycarpa</i>	<i>Crataegus monogyna</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Frangola alnus</i>
<i>Populus nigra italica</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>
<i>Populus alba</i>	<i>Rhamnus catartica</i>
	<i>Prunus spinosa</i>

L'anno successivo (2000) si è provveduto ad un rinfoltimento di piante arboree ed arbustive nelle due zone, utilizzando semenzali già sviluppati in vaso o in fitocella. Complessivamente nelle due zone sono stati messi a dimora:

ZONA LG	N.ro	%	ZONA NN	N.ro	%
<i>Carpinus betulus</i>	22	7,80	<i>Carpinus betulus</i>	12	5,17
<i>Cornus sanguinea</i>	27	9,57	<i>Cornus sanguinea</i>	27	11,64
<i>Crataegus monogyna</i>	35	12,41	<i>Crataegus monogyna</i>	15	6,47
<i>Frangola alnus</i>	12	4,26	<i>Frangola alnus</i>	15	6,40

<i>Fraxinus oxycarpa</i>	18	6,38	<i>Fraxinus oxycarpa</i>	20	8,62
<i>Fraxinus excelsior</i>	39	13,83	<i>Fraxinus excelsior</i>	39	16,81
<i>Ligustrum vulgare</i>	52	18,44	<i>Ligustrum vulgare</i>	27	11,64
<i>Populus nigra italica</i>	10	3,55	<i>Populus nigra italica</i>	15	6,47
<i>Populus alba</i>	10	3,55	<i>Populus alba</i>	15	6,47
<i>Prunus spinosa</i>	40	14,18	<i>Prunus spinosa</i>	30	12,93
<i>Rhamnus catartica</i>	12	4,26	<i>Rhamnus catartica</i>	12	5,17

Negli anni successivi si è provveduto ad interventi di manutenzione attraverso lo sfalcio delle erbacee e, solo nel primo anno, una lavorazione localizzata del substrato attorno alle piantine trapiantate.

5.2.2 Raccolta dati

Il piano sperimentale predisposto prevede l'osservazione e la caratterizzazione dello strato pedogenizzato e della vegetazione arboreo arbustiva presente.

Suolo

Si è voluto osservare il comportamento del suolo durante la stagione vegetativa nella sua componente azotata a due diverse profondità in ognuno dei due trattamenti a confronto. Per ogni anno della ricerca (2009-2011) si sono perciò raccolti dei campioni in momenti diversi della stagione vegetativa, principalmente nella fase primaverile estiva, epoca di massima attività biologica.

In particolare sono stati predisposti dei campionamenti del suolo individuando casualmente 5 aree campione in ognuno dei due Trattamenti. In ognuna di queste aree,

durante la stagione vegetativa, sono stati raccolti dei campioni alle profondità di 0-25 cm e di 25-50 cm utilizzando una trivella a percussione di 5 cm di diametro.

- Questi campioni sono stati poi preparati per analizzare i parametri fondamentali dell'attività biochimica azotata nel suolo rappresentati: dalla concentrazione di N-NO₃ e N-NH₄, al fine di caratterizzare i processi dinamici dell'azoto in atto nei substrati;
- Dall'N % totale, per definire lo stock globale di azoto presente nel substrato;
- Dal $\delta^{15}\text{N}$, al fine di determinare l'accumulo dell'isotopo N¹⁵, isotopo pesante che risulta essere correlato a processi di dilavamento o riutilizzo dell'azoto distribuito al momento dell'impianto.

Analisi dei suoli

Per definire in modo completo le caratteristiche del suolo nell'ottobre 2010 si è operato un campionamento del suolo per ogni Trattamento a confronto. In particolare sono stati raccolti tre sottocampioni ad una profondità di 0-25 cm, posizionati casualmente nella parcella e poi riuniti in un unico campione per Trattamento. Su questi campioni il Laboratorio Analisi del dott. Cicognani di Forlì ha eseguito analisi fisiche e chimiche tipiche di un suolo: tessitura (col Metodo Pipetta/Bouyoucos), pH (col metodo potenziometrico), calcare totale (col Metodo De Astis), sostanza organica (col Metodo Walkley-Black), azoto totale (col Metodo Kjeldahl), fosforo assimilabile (col Metodo Olsen), potassio-sodio-calcio-magnesio (con il Metodo Bario cloruro/Ammonio acetato).

Vegetazione

Analisi biometrica

Per la componente vegetale si è individuata un' area campione di 23 x 12 m in cui si è operato un censimento di tutta la vegetazione legnosa presente di altezza superiore a 50 cm. Questa era costituita sia dalla vegetazione messa a dimora nel periodo 1999-2000, sia dalla vegetazione naturalmente propagatasi nell'area. Gli schemi di impianto iniziali per le due aree erano identici e quindi perfettamente confrontabili. Per tutte le piante presenti si è eseguita la misura dei caratteri dimensionali tipici del gruppo. Per gli alberi si sono individuati: altezza, diametro, proiezione della chioma in due direzioni (N-S ed E-O), portamento (eretto, ramoso, cespuglioso), nonché la presenza di eventuali danni legati alla selvaggina (scortecciature, rotture, brucature). Per gli arbusti, invece, si sono raccolti dati relativi all'altezza, alle dimensioni della chioma in due direzioni (N-S, E-O), al portamento ed alla presenza di danni dovuti a selvaggina. Nell'autunno del 2009 e del 2010 si sono anche raccolti campioni casuali di foglie per le singole specie presenti al fine di valutarne il contenuto in azoto (N%) e la variazione dell'isotopo 15 dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$).

Analisi dei dati

I dati sono stati informatizzati e poi elaborati statisticamente.

Suolo

- Analisi Univariate

Per il suolo lo schema sperimentale adottato è riconducibile ad un Modello Fattoriale Misto a 5 fattori: Anno, Data, Trattamento, Profondità, Repliche. In particolare l'Anno e le Repliche sono stati considerati come fattori Random mentre i restanti sono stati valutati come fattori Fissi. Il modello lineare complessivo è perciò così strutturato:

$$Y = \mu + \text{Anno} + \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Tratt} + \text{Prof} + \text{Tratt} * \text{Prof} + \text{Tratt} * \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Prof} * \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Tratt} * \text{Prof} * \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Repl}(\text{Tratt} * \text{Prof} * \text{Data}(\text{Anno})).$$

In presenza di significatività dei fattori di interesse si è poi provveduto ad un Test di separazione delle medie utilizzando un test di confronto a coppie “Tukey type” per definire le relazioni tra i valori medi ottenuti.

- **Analisi Multivariate**

Per le Analisi Multivariate sui dati quantitativi del suolo si sono utilizzate due diverse tecniche:

- **Analisi Discriminante Canonica (ADC):** utilizzando tutti i valori ricavati nei singoli rilievi realizzati nelle Date dei 3 Anni, permettendo quindi il calcolo sia della variabilità tra i Trattamenti che di quella entro i Trattamenti;
- **Analisi delle Componenti Principali (PCA):** dove invece si sono utilizzati gli indici di posizione centrale (media) e dispersione unitaria (CV) per ogni parametro confrontato in corrispondenza dell'interazione **Trattamento*Profondità*Anno** dei rilievi, ed in particolare di quelli ottenuti nel periodo di massimo rigoglio vegetativo di ogni annata (mesi di maggio-giugno).

Vegetazione

- **Analisi Univariate**

Innanzitutto si è operata un' analisi del X^2 sulle frequenze delle specie arbustive ed arboree rilevate nel campionamento per ricercare le differenze di profilo tra i due Trattamenti.

In particolare si è utilizzato il Programma statistico Statgraphics XV.

Poi si è operata una Analisi della Varianza dei parametri quantitativi rilevati. Per l'analisi dello sviluppo della vegetazione si è adottato un Modello ad “Un Fattore” rappresentato dal trattamento all'impianto:

$$Y = \mu + \text{Trattamento} + \text{Repliche}(\text{Trattamento})$$

per tutte le variabili quantitative misurate.

- Analisi Multivariata

Infine, raggruppando ed analizzando tutte le variabili misurate assieme, si è ottenuta un' Analisi della varianza multivariata (MANOVA) tra i due trattamenti a confronto.

Per le elaborazioni si è ricorso alle procedure del programma statistico SAS 9.0.

5.2.3 Risultati

Suolo

- Analisi Univariate
 - a) Azoto nitrico (N-NO₃)

ANOVA (Model III)

TRT N-NO ₃	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	< 0,0001	**
Prof	0,0002	**
Trt*Prof	0,7177	NS
Trt* Date(Anno)	< 0,0001	**
Prof* Date(Anno)	0,0461	*
Trt*Prof* Date(Anno)	0,7567	NS

Tabella 2. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti

Dall'Analisi della Varianza del modello adottato emerge una interazione molto significativa tra Trattamenti*Date(Anno), ed una interazione significativa tra Profondità*Date(Anno). Gli effetti principali sono quindi tutti modulati dall'interazione con il tempo. In particolare i trattamenti tendono a diversificarsi tra loro specie nel 2011, dove emerge una differenziazione nel trattamento intensivo (NN) rispetto al controllo (LG). Queste differenze non si manifestano invece per l'interazione Profondità*Date(Anno), dove i valori tendono a fluttuare ma sempre entro la data.

Complessivamente si evidenziano differenze tra il trattamento intensivo (NN) e quello ordinario (LG), come tra le concentrazioni alle due profondità: in superficie si ritrova sempre una concentrazione di N-NO₃ maggiori.

Trt	Prof	2009	2010	2011	Trt*Prof
LG	0 – 25	1.16	1.16	5.02	1.99
		0.18	0.14	0.19	0.21
	25 – 50	0.76	0.84	4.58	1.61
		0.10	0.14	0.18	0.20
Trt*Anno		0.96	1.00	4.80	
		0.10	0.10	0.13	
NN	0 – 25	1.32	1.29	6.81	2.48
		0.17	0.21	0.33	0.30
	25 – 50	1.00	0.85	6.78	2.18
		0.14	0.14	0.35	0.31
Trt*Anno		1.16	1.07	6.79	
		0.11	0.13	0.24	
Prof*Anno	0 – 25	1.24	1.23	5.91	
		0.12	0.13	0.25	
	25 – 50	0.88	0.85	5.68	
		0.09	0.10	0.28	

Tabella 3. Valori medi della concentrazione di N-NO₃ (media+esm) per Trattamenti, Profondità ed Anni.

ANNO	DATA	TRT	PROF	N-NO ₃ (mg/kg)		
				N	MEDIA	ESM.
2009	09/05/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.75	0.19
			25 – 50	5	1.01	0.42
		LG (240N) Totale		10	0.88	0.22
		NN (700N)	0 – 25	5	1.49	0.40
			25 – 50	5	1.17	0.51
		NN (700N) Totale		10	1.33	0.31
	09/05/2009 Totale			20	1.10	0.19
	25/06/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.55	0.28
			25 – 50	5	0.45	0.10
		LG (240N) Totale		10	0.50	0.14
		NN (700N)	0 – 25	5	0.36	0.10
			25 – 50	5	0.27	0.12
		NN (700N) Totale		10	0.32	0.08
	25/06/2009 Totale			20	0.41	0.08
	04/09/2009	LG (240N)	0 – 25	5	1.31	0.28
			25 – 50	5	0.53	0.12
		LG (240N) Totale		10	0.92	0.19
		NN (700N)	0 – 25	5	1.67	0.42
			25 – 50	5	0.88	0.16
		NN (700N) Totale		10	1.27	0.25
	04/09/2009 Totale			20	1.10	0.16
	03/11/2009	LG (240N)	0 – 25	5	1.40	0.52
			25 – 50	5	0.86	0.26
		LG (240N) Totale		10	1.13	0.29
		NN (700N)	0 – 25	5	1.00	0.12
			25 – 50	5	1.12	0.13
		NN (700N) Totale		10	1.06	0.09
	03/11/2009 Totale			20	1.10	0.15
	01/12/2009	LG (240N)	0 – 25	5	1.78	0.45
			25 – 50	5	0.94	0.05
		LG (240N) Totale		10	1.36	0.26
		NN (700N)	0 – 25	5	2.08	0.25
			25 – 50	5	1.58	0.23
	NN (700N) Totale		10	1.83	0.18	
01/12/2009 Totale			20	1.59	0.16	
2009 Totale			100	1.06	0.08	
Complessivo			280	2.06	0.00	

Tabella 4. Valori medi della concentrazione di N-NO₃ nel 2009.

ANNO	DATA	TRT	PROF	N-NO ₃ (mg/kg)			
				N	MEDIA	ESM.	
2010	05/04/2010	LG (240N)	0 – 25	5	1.60	0.25	
			25 – 50	5	1.12	0.12	
		LG (240N) Totale		10	1.36	0.15	
		NN (700N)	0 – 25	5	1.70	0.24	
			25 – 50	5	1.27	0.08	
		NN (700N)Totale		10	1.48	0.14	
		05/04/2010 Totale			20	1.42	0.10
	03/05/2010	LG (240N)	0 – 25	5	1.30	0.09	
			25 – 50	5	1.35	0.30	
		LG (240N) Totale		10	1.33	0.15	
		NN (700N)	0 – 25	5	1.34	0.11	
			25 – 50	5	1.22	0.04	
		NN (700N)Totale		10	1.28	0.06	
		03/05/2010 Totale			20	1.30	0.08
	08/06/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.46	0.46	
			25 – 50	5	0.28	0.28	
		LG (240N) Totale		10	0.37	0.26	
		NN (700N)	0 – 25	5	0.26	0.26	
			25 – 50	5	0.10	0.10	
		NN (700N)Totale		10	0.18	0.13	
		08/06/2010 Totale			20	0.27	0.14
	20/08/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.37	0.20	
			25 – 50	5	0.03	0.03	
		LG (240N)Totale		10	0.20	0.11	
		NN (700N)	0 – 25	5	0.26	0.26	
			25 – 50	5	0.00	0.00	
		NN (700N) Totale		10	0.13	0.13	
		20/08/2010 Totale			20	0.17	0.08
	17/09/2010	LG (240N)	0 – 25	5	1.79	0.17	
			25 – 50	5	1.55	0.14	
		LG (240N) Totale		10	1.67	0.11	
		NN (700N)	0 – 25	5	1.76	0.37	
			25 – 50	5	1.76	0.10	
		NN (700N)Totale		10	1.76	0.18	
		17/09/2010 Totale			20	1.71	0.10
	11/11/2010	LG (240N)	0 – 25	5	1.45	0.31	
			25 – 50	5	0.72	0.39	
		LG (240N) Totale		10	1.09	0.26	

		NN (700N)	0 – 25	5	2.43	0.84
			25 – 50	5	0.77	0.43
		NN (700N)Totale		10	1.60	0.52
	11/11/2010 Totale			20	1.34	0.29
2010 Totale				120	1.04	0.08
Complessivo				280	2.06	0.00

Tabella 5. Valori medi della concentrazione di N-NO₃ nel 2010.

ANNO	DATA	TRT	PROF	N-NO ₃ (mg/kg)		
				N	MEDIA	ESM.
2011	26/04/2011	LG (240N)	0 – 25	5	4.32	0.23
			25 – 50	5	3.96	0.24
		LG (240N) Totale		10	4.14	0.17
		NN (700N)	0 – 25	5	6.44	0.44
			25 – 50	5	7.22	0.84
		NN (700N) Totale		10	6.83	0.47
	26/04/2011 Totale			20	5.48	0.39
	17/05/2011	LG (240N)	0 – 25	5	5.57	0.21
			25 – 50	5	4.79	0.15
		LG (240N) Totale		10	5.18	0.18
		NN (700N)	0 – 25	5	7.66	0.80
			25 – 50	5	6.22	0.51
		NN (700N) Totale		10	6.94	0.51
	17/05/2011 Totale			20	6.06	0.33
	23/06/2011	LG (240N)	0 – 25	5	5.16	0.29
			25 – 50	5	4.99	0.34
		LG (240N) Totale		10	5.07	0.21
		NN (700N)	0 – 25	5	6.33	0.22
			25 – 50	5	6.90	0.47
		NN (700N) Totale		10	6.61	0.26
23/06/2011 Totale			20	5.84	0.24	
2011 Totale				60	5.80	0.19
Totale complessivo				280	2.06	0.13

Tabella 6. Valori medi della concentrazione di N-NO₃ nel 2011

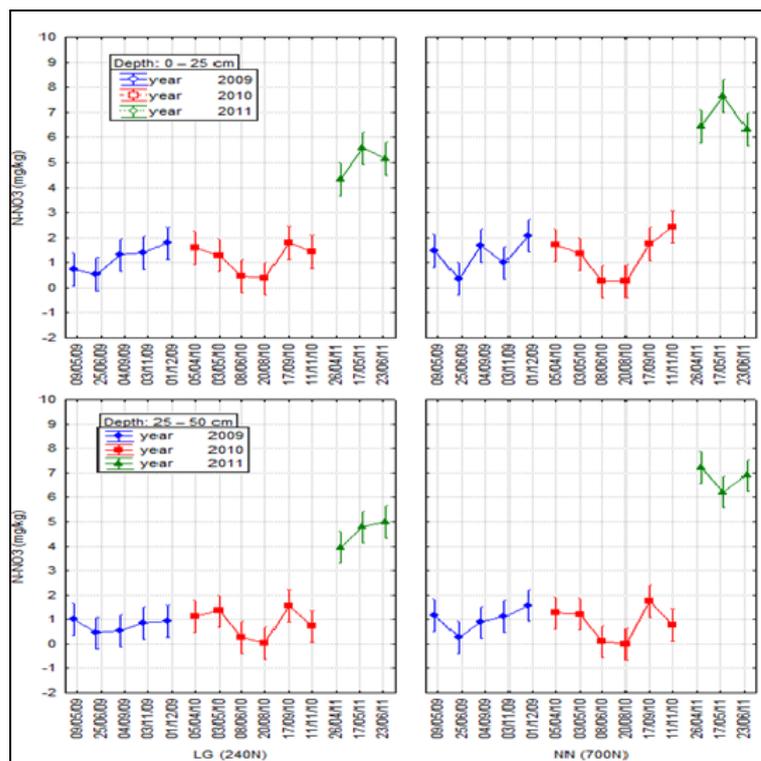


Figura 3. Andamento dell'N-NO₃ nel tempo

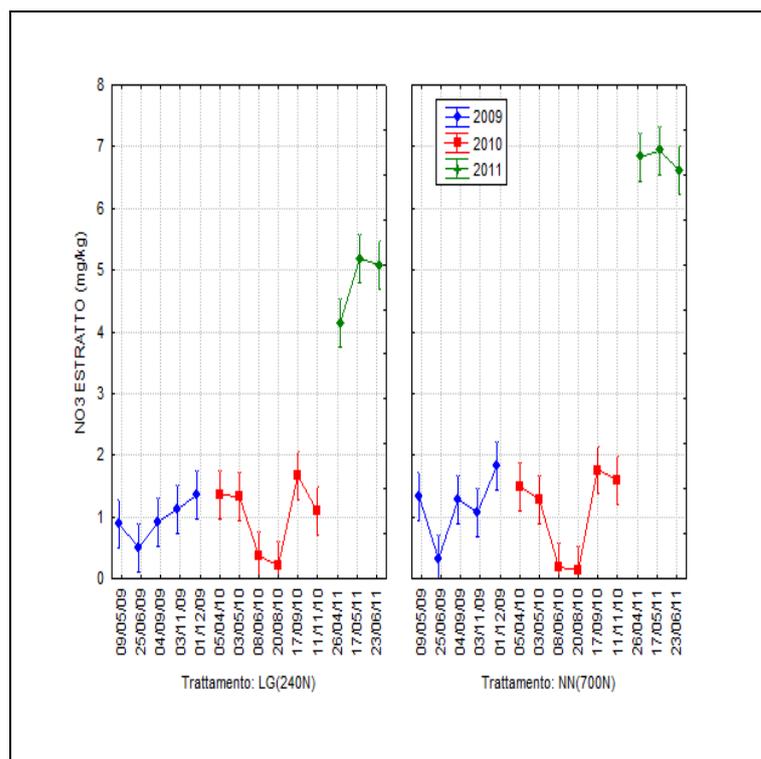


Figura 4. Interazione Trt*Date(Anno) dell'N-NO₃.

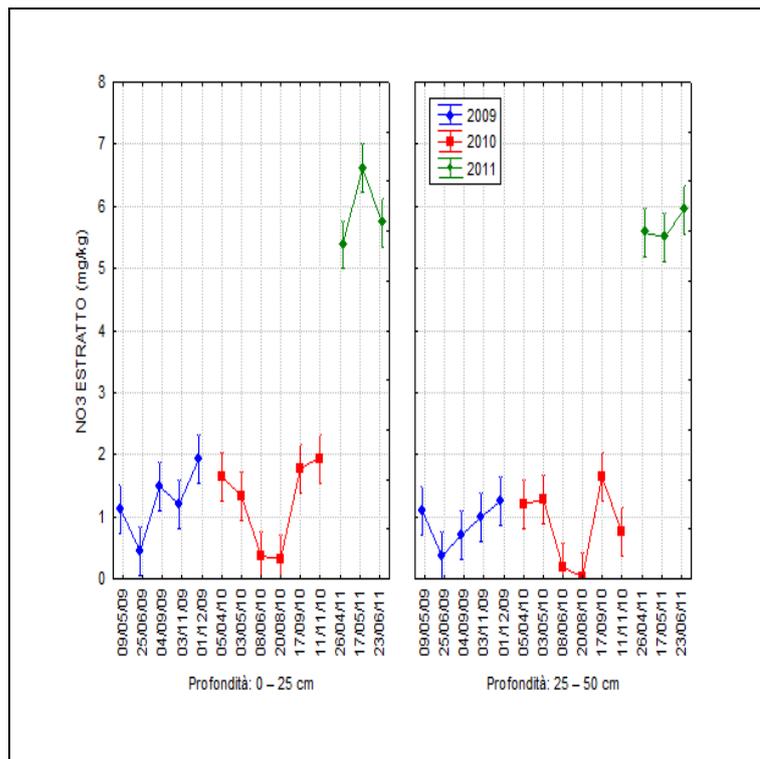


Figura 5. Interazione Prof*Date(Anno) dell'N-NO₃.

b) Azoto Ammoniacale (N-NH₄)

ANOVA (Model III)

TRT N-NH ₄	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	0,1913	NS
Prof	< 0,0001	**
Trt*Prof	0,4315	NS
Trt* Date(Anno)	< 0,0001	**
Prof* Date(Anno)	0,0020	**
Trt*Prof* Date(Anno)	0,1377	NS

Tabella 7. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

Anche analizzando la componente ammoniacale dell'azoto si riscontra una interazione molto forte tra Trattamenti*Date(Anno) e tra Profondità*Date(Anno).

Le medie dei trattamenti differiscono in particolare nel 2009, dove, nel corso dei diversi rilievi, il rapporto reciproco tra i due trattamenti varia nel corso della stagione invertendosi, e nel 2011, dove si evidenzia una differenza non solo nelle Date ma anche complessivamente tra i Trattamenti, con l'intensivo (NN) che assume valori medi costantemente superiori rispetto a quelli del controllo (LG).

L'interazione Profondità*Date(Anno) si evidenzia principalmente nel 2011 dove la profondità maggiore (25-50 cm) presenta concentrazioni di N-NH₄ decisamente inferiori rispetto alla profondità superficiale (0-25 cm). Nelle altre annate i valori medi tendono a presentare andamenti variabili tra le Date, anche se la profondità maggiore tende ad assumere preferibilmente valori inferiori rispetto allo strato superficiale.

Trt	Prof	2009	2010	2011	Trt*Prof
LG	0 – 25	1.85	4.15	5.27	3.57
		0.28	0.43	0.51	0.29
	25 – 50	1.37	3.10	4.24	2.73
		0.19	0.37	0.57	0.24
Trt*Anno		1.61	3.62	4.76	

		0.17	0.29	0.39	
NN	0 – 25	1.71	4.08	7.42	3.95
		0.32	0.47	0.70	0.37
	25 – 50	1.39	2.89	5.07	2.82
		0.24	0.36	0.60	0.27
Trt*Anno		1.55	3.48	6.24	
		0.20	0.30	0.50	
Prof*Anno	0 – 25	1.78	4.11	6.35	
		0.21	0.32	0.47	
	25 – 50	1.38	2.99	4.65	
		0.15	0.25	0.41	

Tabella 8. Valori medi della concentrazione di N-NH₄ (media+esm) per Trattamenti, Profondità ed Anni.

ANNO	DATE	TRT	PROF	N-NH ₄ (mg/kg)		
				N	MEDIA	ESM.
2009	09/05/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.76	0.07
			25 – 50	5	0.65	0.06
		LG (240N) Totale		10	0.71	0.05
		NN (700N)	0 – 25	5	3.36	1.22
			25 – 50	5	1.97	0.61
		NN (700N) Totale		10	2.67	0.68
	09/05/2009 Totale			20	1.69	0.40
	25/06/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.95	0.09
			25 – 50	5	0.84	0.19
		LG (240N) Totale		10	0.89	0.10
		NN (700N)	0 – 25	5	1.59	0.39
			25 – 50	5	1.47	0.35
		NN (700N) Totale		10	1.53	0.25
	25/06/2009 Totale			20	1.21	0.15
	04/09/2009	LG (240N)	0 – 25	5	1.39	0.18
			25 – 50	5	0.76	0.07
		LG (240N) Totale		10	1.08	0.14
		NN (700N)	0 – 25	5	1.39	0.12
			25 – 50	5	0.93	0.08

	NN (700N) Totale		10	1.16	0.10
04/09/2009 Totale			20	1.12	0.08
03/11/2009	LG (240N)	0 – 25	5	1.99	0.19
		25 – 50	5	1.91	0.26
	LG (240N) Totale		10	1.95	0.15
	NN (700N)	0 – 25	5	2.20	0.14
		25 – 50	5	2.60	0.51
	NN (700N) Totale		10	2.40	0.26
03/11/2009 Totale			20	2.18	0.15
01/12/2009	LG (240N)	0 – 25	5	4.14	0.62
		25 – 50	5	2.68	0.40
	LG (240N) Totale		10	3.41	0.42
	NN (700N)	0 – 25	5	0.00	0.00
		25 – 50	5	0.00	0.00
	NN (700N) Totale		10	0.00	0.00
01/12/2009 Totale			20	1.71	0.44
2009 Totale			100	1.58	0.13
Complessivo			280	3.27	0.15

Tabella 9. Valori medi della concentrazione di N-NH₄ nel 2009.

ANNO	DATE	TRT	PROF	N-NH ₄ (mg/kg)		
				N	MEDIA	ESM.
2010	05/04/2010	LG (240N)	0 – 25	5	6.43	1.10
			25 – 50	5	5.37	0.78
		LG (240N) Totale		10	5.90	0.66
		NN (700N)	0 – 25	5	5.98	0.47
			25 – 50	5	5.66	1.02
		NN (700N) Totale		10	5.82	0.53
	05/04/2010 Totale			20	5.86	0.41
	03/05/2010	LG (240N)	0 – 25	5	5.93	0.47
			25 – 50	5	4.17	0.55
			LG (240N) Totale		10	5.05	0.45

	NN (700N)	0 – 25	5	6.23	1.43
		25 – 50	5	3.38	0.18
	NN (700N) Totale		10	4.80	0.83
03/05/2010 Totale			20	4.93	0.46
08/06/2010	LG (240N)	0 – 25	5	3.60	0.42
		25 – 50	5	3.60	0.29
	LG (240N) Totale		10	3.60	0.24
	NN (700N)	0 – 25	5	4.09	0.09
		25 – 50	5	4.21	0.22
	NN (700N) Totale		10	4.15	0.12
08/06/2010 Totale			20	3.88	0.14
20/08/2010	LG (240N)	0 – 25	5	1.25	0.48
		25 – 50	5	0.51	0.12
	LG (240N) Totale		10	0.88	0.26
	NN (700N)	0 – 25	5	3.85	0.77
		25 – 50	5	1.70	0.18
	NN (700N) Totale		10	2.78	0.52
20/08/2010 Totale			20	1.83	0.36
17/09/2010	LG (240N)	0 – 25	5	2.58	0.64
		25 – 50	5	3.95	0.43
	LG (240N) Totale		10	3.27	0.43
	NN (700N)	0 – 25	5	0.66	0.04
		25 – 50	5	0.63	0.01
	NN (700N) Totale		10	0.64	0.02
17/09/2010 Totale			20	1.96	0.37
11/11/2010	LG (240N)	0 – 25	5	5.08	0.90
		25 – 50	5	1.00	0.16
	LG (240N) Totale		10	3.04	0.80
	NN (700N)	0 – 25	5	3.70	1.27
		25 – 50	5	1.75	0.32
	NN (700N) Totale		10	2.72	0.70
11/11/2010 Totale			20	2.88	0.52

2010 Totale				120	3.55	0.21
Complessivo				280	3.27	0.15

Tabella 10. Valori medi della concentrazione di N-NH₄ nel 2010.

ANNO	DATE	TRT	PROF	N-NH ₄ (mg/kg)		
				N	MEDIA	ESM.
2011	26/04/2011	LG (240N)	0 – 25	5	6.78	1.01
			25 – 50	5	2.98	0.21
		LG (240N) Totale		10	4.88	0.80
		NN (700N)	0 – 25	5	7.92	2.07
			25 – 50	5	6.14	1.09
		NN (700N) Totale		10	7.03	1.14
	26/04/2011 Totale			20	5.96	0.72
	17/05/2011	LG (240N)	0 – 25	5	4.72	0.72
			25 – 50	5	5.40	1.31
		LG (240N) Totale		10	5.06	0.71
		NN (700N)	0 – 25	5	7.45	0.76
			25 – 50	5	4.99	1.29
		NN (700N) Totale		10	6.22	0.82
	17/05/2011 Totale			20	5.64	0.54
	23/06/2011	LG (240N)	0 – 25	5	4.32	0.59
			25 – 50	5	4.35	0.94
		LG (240N) Totale		10	4.34	0.52
		NN (700N)	0 – 25	5	6.87	0.49
			25 – 50	5	4.08	0.60
		NN (700N) Totale		10	5.47	0.59
23/06/2011 Totale			20	4.91	0.40	
2011 Totale				60	5.50	0.33
Complessivo				280	3.27	0.15

Tabella 11. Valori medi della concentrazione di N-NH₄ nel 2011.

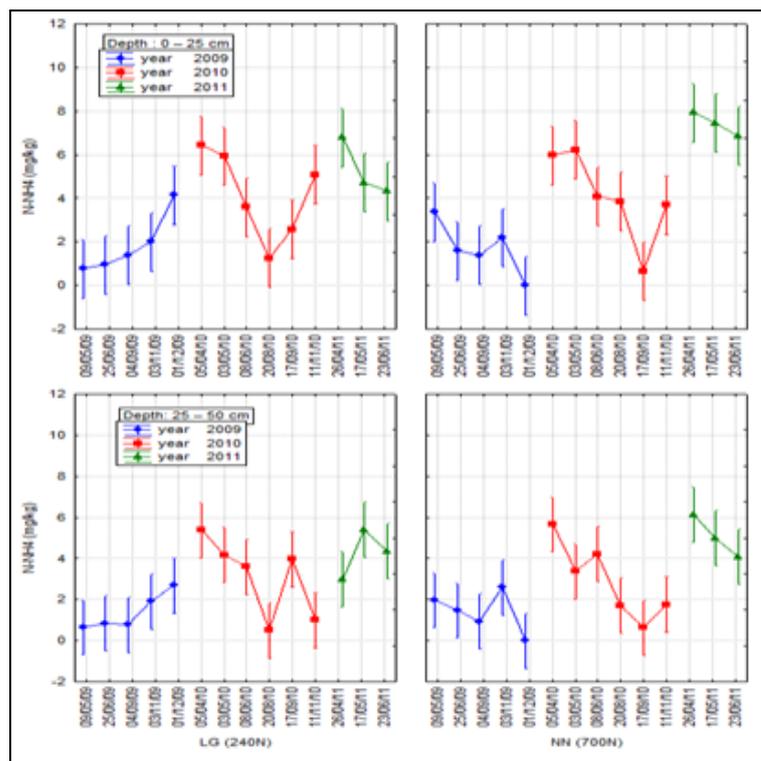


Figura 6. Andamento del N-NH₄ nel suolo

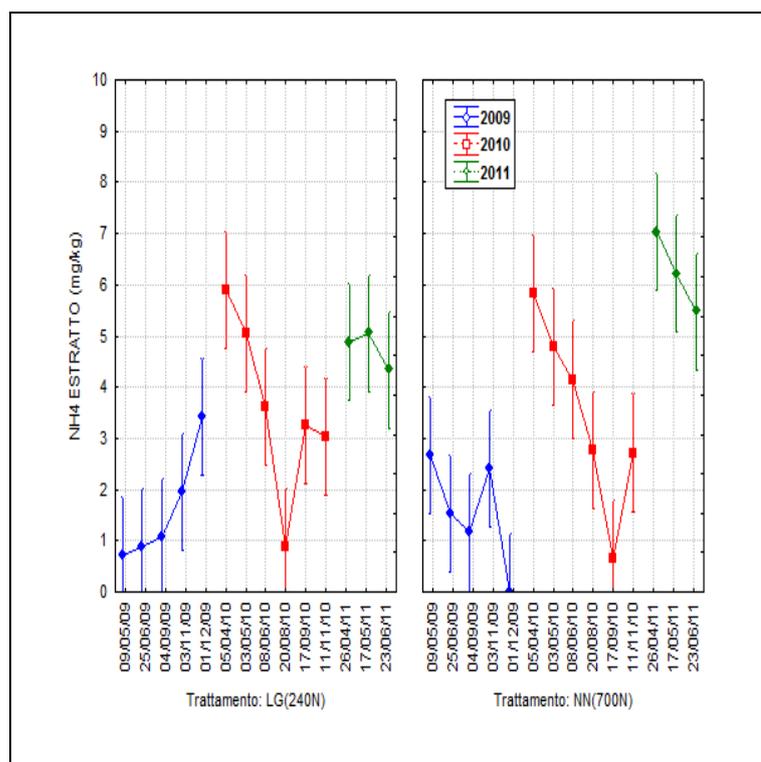


Figura 7. Interazione Trt*Date(Anno) dell'N-NH₄.

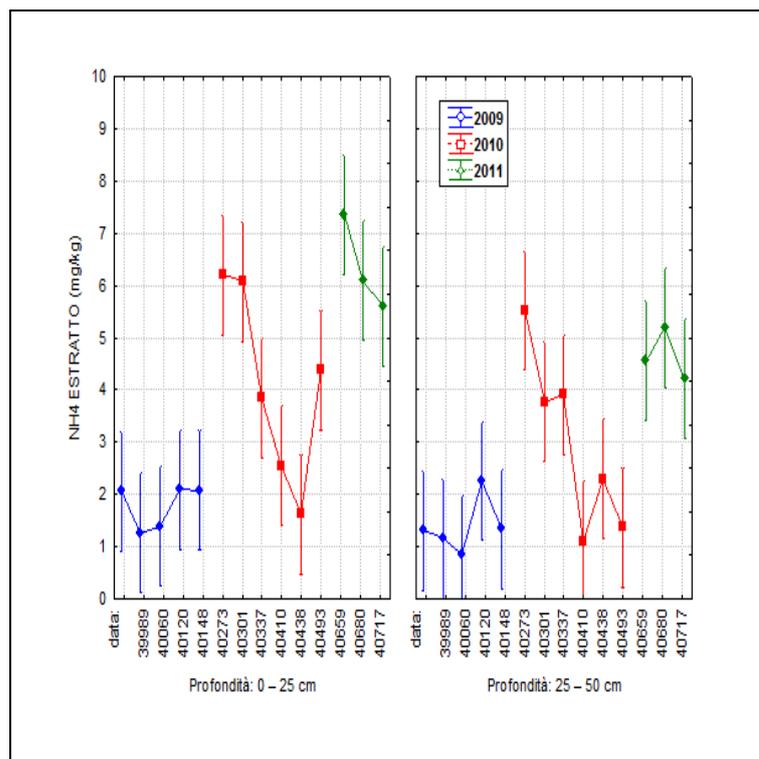


Figura 8. Interazione Prof*Date(Anno) dell’N-NH₄.

c) Azoto Totale - (N%)

ANOVA (Model III)

TRT N%	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	< 0,0001	**
Prof	< 0,0001	**
Trt*Prof	0,1490	NS
Trt* Date(Anno)	0,0648	NS
Prof* Date(Anno)	0,0002	**
Trt*Prof* Date(Anno)	0,6451	NS

Tabella 12. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

L’analisi non evidenzia nessuna interazione significativa a carico dei Trattamenti: le differenze sono perciò rappresentabili attraverso il confronto tra le medie marginali. Osservando queste medie emerge una differenza significativa: la concentrazione totale di azoto è significativamente superiore nel trattamento intensivo (NN) rispetto al trattamento di controllo (LG).

Invece per il fattore Profondità si evidenzia una interazione significativa con il fattore Date (Anno): dall'osservazione delle medie (Fig. 9) emerge infatti una concentrazione differenziata nel tempo tra le due profondità nel tempo, dove i valori maggiori sono rilevati sempre nei primi strati superficiali del terreno. Da sottolineare la maggiore differenza tra le Profondità nelle concentrazioni di N totale nel trattamento ordinario.

Trt	Prof	2009	2010	2011	Trt*Prof	Significatività	
LG	0 – 25	0.081	0.064	0.068	0.071	b	
		0.006	0.004	0.005	0.003		
	25 – 50	0.036	0.033	0.029	0.033		
		0.001	0.002	0.003	0.001		
Trt*Anno		0.058	0.049	0.049			
		0.004	0.003	0.004			
NN	0 – 25	0.103	0.076	0.089	0.088		a
		0.006	0.004	0.005	0.003		
	25 – 50	0.062	0.053	0.054	0.056		
		0.004	0.002	0.003	0.002		
Trt*Anno		0.082	0.064	0.072			
		0.005	0.003	0.004			
Prof*Anno	0 – 25	0.092	0.070	0.079			
		0.004	0.003	0.004			
	25 – 50	0.049	0.043	0.042			
		0.003	0.002	0.003			

Tabella 13. Valori medi di N % (media+esm) per Trattamenti, Profondità ed Anni.

ANNO	DATE	TRT	PROF	N (%)			
				N	MEDIA	ESM.	
2009	09/05/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.07	0.007	
			25 – 50	5	0.03	0.002	
		LG (240N) Totale			10	0.05	0.007
		NN (700N)	0 – 25	5	0.10	0.004	
			25 – 50	5	0.06	0.008	
		NN (700N) Totale			10	0.08	0.008
	09/05/2009 Totale			20	0.07	0.006	
	25/06/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.07	0.004	
			25 – 50	5	0.04	0.003	
		LG (240N) Totale			10	0.05	0.006

		NN (700N)	0 – 25	5	0.09	0.010
			25 – 50	5	0.06	0.008
		NN (700N) Totale		10	0.07	0.008
	25/06/2009 Totale			20	0.06	0.005
	04/09/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.07	0.003
			25 – 50	5	0.03	0.002
		LG (240N) Totale		10	0.05	0.006
		NN (700N)	0 – 25	5	0.11	0.017
			25 – 50	5	0.07	0.006
		NN (700N) Totale		10	0.09	0.011
	04/09/2009 Totale			20	0.07	0.008
	03/11/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.10	0.017
			25 – 50	5	0.03	0.002
		LG (240N) Totale		10	0.07	0.014
		NN (700N)	0 – 25	5	0.10	0.014
			25 – 50	5	0.05	0.006
		NN (700N) Totale		10	0.07	0.010
	03/11/2009 Totale			20	0.07	0.008
	01/12/2009	LG (240N)	0 – 25	5	0.10	0.014
			25 – 50	5	0.04	0.004
		LG (240N) Totale		10	0.07	0.012
		NN (700N)	0 – 25	5	0.12	0.018
			25 – 50	5	0.07	0.010
		NN (700N) Totale		10	0.10	0.012
	01/12/2009 Totale			20	0.08	0.009
2009 Totale				100	0.07	0.003
Complessivo				280	0.06	0.002

Tabella 14. Valori medi della concentrazione di N % nel 2009.

ANNO	DATE	TRT	PROF	N (%)		
				N	MEDIA	ESM.
2010	05/04/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.06	0.007
			25 – 50	5	0.04	0.004
		LG (240N) Totale		10	0.05	0.005
		NN (700N)	0 – 25	5	0.07	0.005
			25 – 50	5	0.07	0.009
		NN (700N) Totale		10	0.07	0.005
		05/04/2010 Totale		20	0.06	0.004
		03/05/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.06	0.005
			25 – 50	5	0.04	0.004

		LG (240N) Totale		10	0.05	0.005
		NN (700N)	0 – 25	5	0.08	0.005
			25 – 50	5	0.06	0.004
		NN (700N) Totale		10	0.07	0.005
	03/05/2010 Totale			20	0.06	0.004
	08/06/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.08	0.010
			25 – 50	5	0.03	0.002
		LG (240N) Totale		10	0.05	0.011
		NN (700N)	0 – 25	5	0.07	0.002
			25 – 50	5	0.04	0.001
		NN (700N) Totale		10	0.05	0.004
	08/06/2010 Totale			20	0.05	0.006
	20/08/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.06	0.006
			25 – 50	5	0.03	0.004
		LG (240N) Totale		10	0.04	0.005
		NN (700N)	0 – 25	5	0.07	0.011
			25 – 50	5	0.06	0.004
		NN (700N) Totale		10	0.06	0.006
	20/08/2010 Totale			20	0.05	0.004
	17/09/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.05	0.008
			25 – 50	5	0.03	0.006
		LG (240N) Totale		10	0.04	0.005
		NN (700N)	0 – 25	5	0.06	0.007
			25 – 50	5	0.04	0.001
		NN (700N) Totale		10	0.05	0.005
	17/09/2010 Totale			20	0.05	0.004
	11/11/2010	LG (240N)	0 – 25	5	0.08	0.008
			25 – 50	5	0.03	0.002
		LG (240N) Totale		10	0.06	0.008
		NN (700N)	0 – 25	5	0.10	0.007
			25 – 50	5	0.05	0.004
		NN (700N) Totale		10	0.08	0.009
	11/11/2010 Totale			20	0.07	0.007
2010 Totale				120	0.06	0.002
Complessivo				280	0.06	0.002

Tabella 15. Valori medi della concentrazione di N % nel 2010.

ANNO	DATE	TRT	PROF	N (%)		
				N	MEDIA	ESM.

2011	26/04/2011	LG (240N)	0 – 25	5	0.08	0.009
			25 – 50	5	0.04	0.006
		LG (240N) Totale		10	0.06	0.009
		NN (700N)	0 – 25	5	0.09	0.010
			25 – 50	5	0.06	0.004
		NN (700N) Totale		10	0.08	0.007
	26/04/2011 Totale			20	0.07	0.006
	17/05/2011	LG (240N)	0 – 25	5	0.07	0.005
			25 – 50	5	0.02	0.002
		LG (240N) Totale		10	0.04	0.008
		NN (700N)	0 – 25	5	0.09	0.007
			25 – 50	5	0.05	0.003
		NN (700N) Totale		10	0.07	0.007
	17/05/2011 Totale			20	0.06	0.006
	23/06/2011	LG (240N)	0 – 25	5	0.06	0.008
			25 – 50	5	0.03	0.003
		LG (240N) Totale		10	0.04	0.007
		NN (700N)	0 – 25	5	0.08	0.008
			25 – 50	5	0.04	0.003
		NN (700N) Totale		10	0.06	0.007
23/06/2011 Totale			20	0.05	0.005	
2011 Totale			60	0.06	0.003	
Complessivo			280	0.06	0.002	

Tabella 16. Valori medi della concentrazione di N % nel 2011.

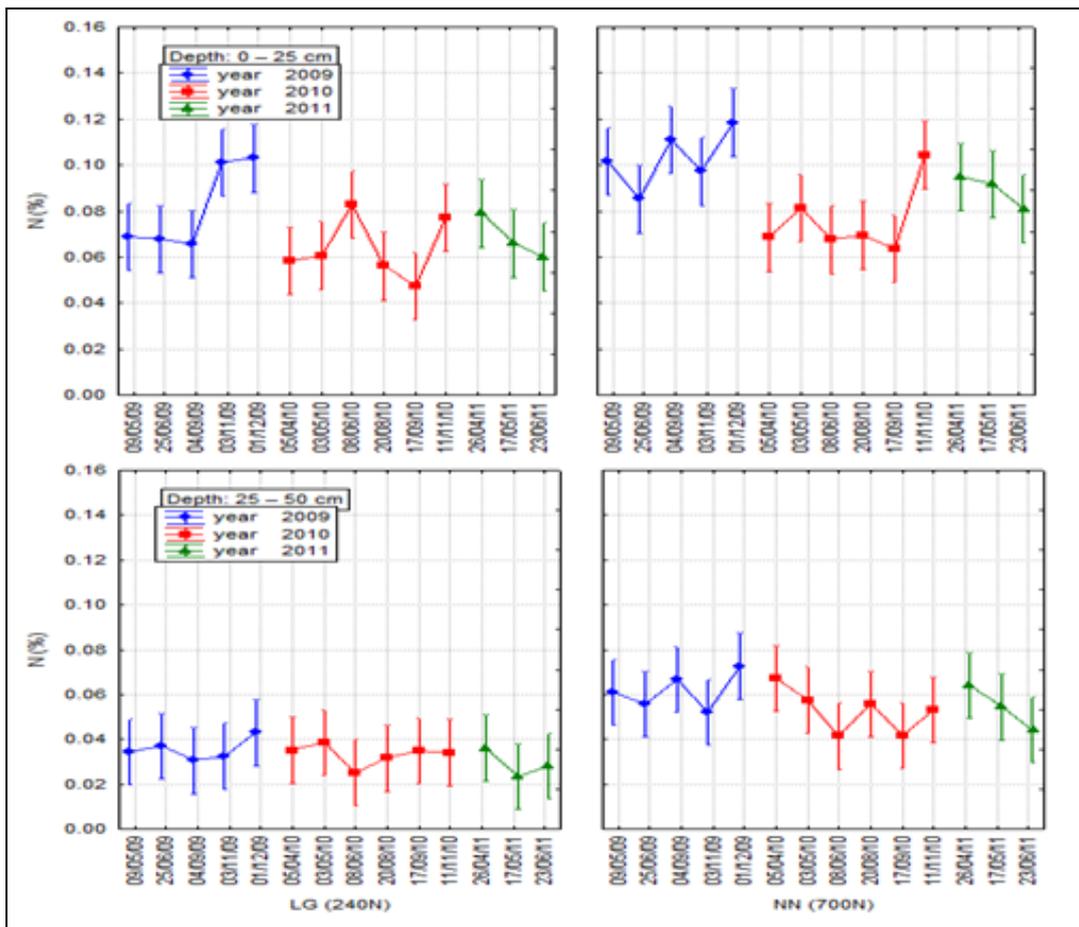


Figura 9. Andamento del N % nel suolo.

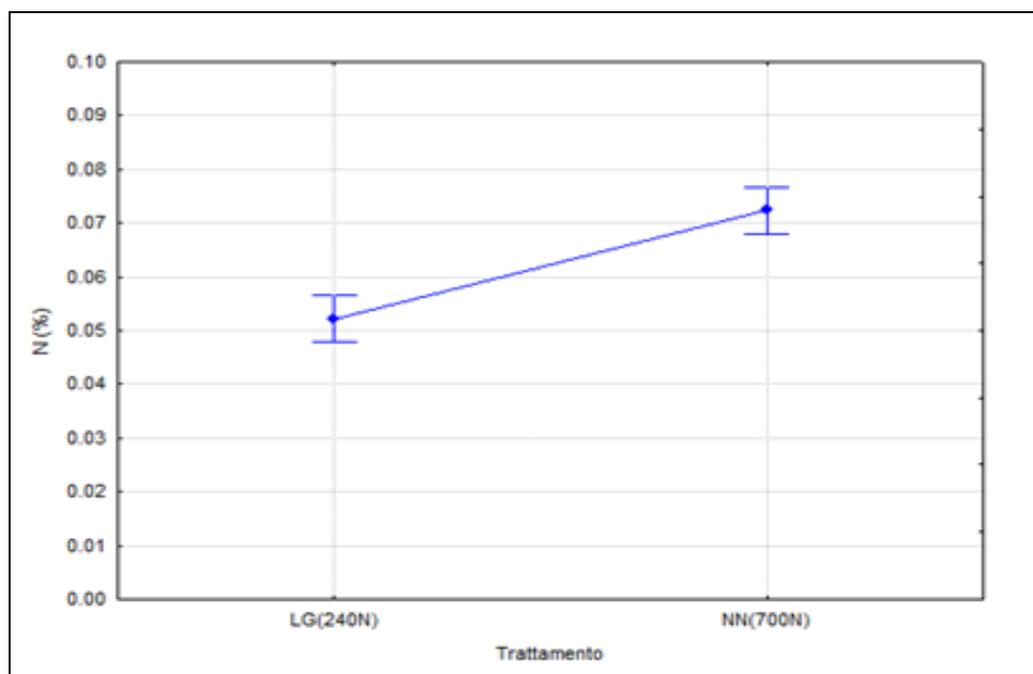


Figura 10. Differenze in N % nel suolo nei due trattamenti.

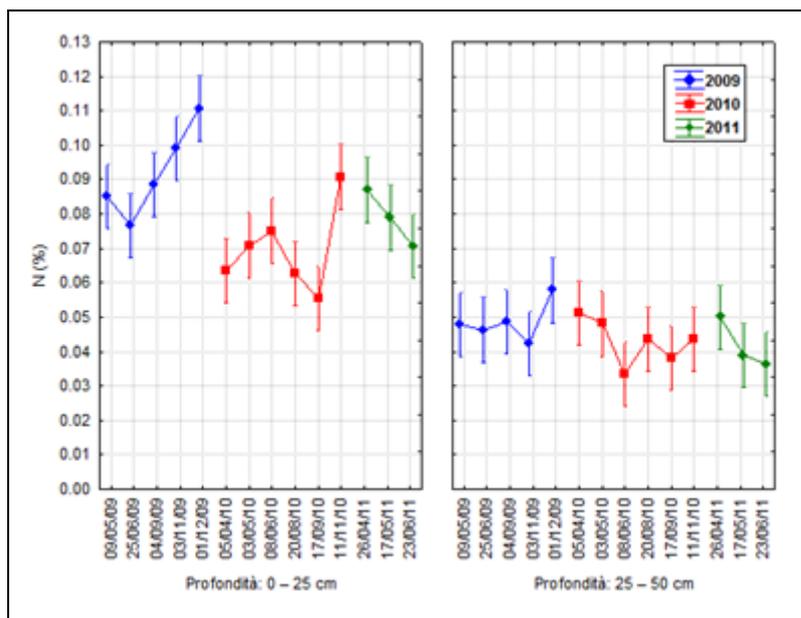


Figura 11. Interazione tra Prof*Date(Anno) in N % nel suolo.

d) $\delta^{15}\text{N}$

ANOVA (Model III)

TRT $\delta^{15}\text{N}$	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	< 0,0001	**
Prof	< 0,0001	**
Trt*Prof	0,0064	**
Trt* Date(Anno)	0,1208	NS
Prof* Date(Anno)	0,0210	*
Trt*Prof* Date(Anno)	0,6207	NS

Tabella 17. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

Dall'analisi della varianza si evidenzia che, per il $\delta^{15}\text{N}$, il fattore Trattamenti presenta una interazione positiva solo con il fattore Profondità. A questo si associa una interazione significativa anche tra la Profondità ed il fattore Tempo (Date(Anno)).

Analizzando i valori medi relativi all'interazione (Fig. 13) si riscontra una netta differenziazione tra i due trattamenti, con l'NN che assume sempre valori superiori alle due profondità, attestandosi sempre attorno al valore di 5, mentre il trattamento LG presenta valori nettamente minori e diversi tra le due profondità.

Rispetto alla interazione tra Profondità*Date(Anno) si evidenziano valori di $\delta^{15}\text{N}$ superiori alla profondità maggiore anche se modulati in modo variato nelle diverse annate (Fig. 14).

Trt	Prof	2009	2010	2011	Trt*Prof
LG	0 – 25	2.75	4.24	3.01	3.44
		0.20	0.38	0.43	0.21
	25 – 50	4.09	4.64	4.35	4.38
		0.16	0.32	0.21	0.16
Trt*Anno		3.42	4.44	3.68	
		0.16	0.25	0.27	
NN	0 – 25	4.36	5.52	4.23	4.83
		0.31	0.37	0.27	0.21
	25 – 50	5.22	5.19	4.31	5.01
		0.20	0.25	0.25	0.14
Trt*Anno		4.79	5.35	4.27	
		0.19	0.22	0.18	
Prof*Anno	0 – 25	3.55	4.88	3.62	
		0.22	0.27	0.28	
	25 – 50	4.66	4.91	4.33	
		0.15	0.20	0.16	

Tabella 18. Valori medi di $\delta^{15}\text{N}$ (media+esm) per Trattamenti, Profondità ed Anni.

				d 15N		
ANNO	DATE	TRT	PROF	N	MEDIA	ESM.
2009	09/05/2009	LG (240N)	0 – 25	5	2.50	0.42
			25 – 50	5	4.14	0.31
		LG (240N) Totale		10	3.32	0.37
		NN (700N)	0 – 25	5	4.06	0.53
			25 – 50	5	5.54	0.39
		NN (700N) Totale		10	4.80	0.40
		09/05/2009 Totale		20	4.06	0.31
	25/06/2009	LG (240N)	0 – 25	5	2.85	0.48
			25 – 50	5	3.76	0.13
		LG (240N) Totale		10	3.31	0.28
		NN (700N)	0 – 25	5	5.12	0.94
			25 – 50	5	6.24	0.35
		NN (700N) Totale		10	5.68	0.51
		25/06/2009 Totale		20	4.49	0.39
	04/09/2009	LG (240N)	0 – 25	5	2.75	0.29

		25 – 50	5	3.64	0.16
	LG (240N) Totale		10	3.20	0.22
	NN (700N)	0 – 25	5	4.27	0.86
		25 – 50	5	4.39	0.55
	NN (700N) Totale		10	4.33	0.48
04/09/2009 Totale			20	3.76	0.29
03/11/2009	LG (240N)	0 – 25	5	3.09	0.62
		25 – 50	5	5.03	0.20
	LG (240N) Totale		10	4.06	0.44
	NN (700N)	0 – 25	5	4.67	0.44
		25 – 50	5	4.83	0.16
	NN (700N) Totale		10	4.75	0.22
03/11/2009 Totale			20	4.40	0.25
01/12/2009	LG (240N)	0 – 25	5	2.55	0.56
		25 – 50	5	3.86	0.54
	LG (240N) Totale		10	3.20	0.43
	NN (700N)	0 – 25	5	3.68	0.72
		25 – 50	5	5.12	0.24
	NN (700N) Totale		10	4.40	0.43
01/12/2009 Totale			20	3.80	0.33
2009 Totale			100	4.10	0.14
Complessivo			280	4.42	1.65

Tabella 19. Valori medi della concentrazione di $\delta^{15}\text{N}$ nel 2009.

ANNO	DATE	TRT	PROF	d 15N		
				N	MEDIA	ESM.
2010	05/04/2010	LG (240N)	0 – 25	5	6.18	2.06
			25 – 50	5	6.47	1.17
		LG (240N) Totale		10	6.32	1.59
		NN (700N)	0 – 25	5	8.44	0.88
			25 – 50	5	6.17	1.18
	05/04/2010 Totale			20	6.82	1.61
	03/05/2010	LG (240N)	0 – 25	5	3.28	0.54
			25 – 50	5	3.60	0.44
		LG (240N) Totale		10	3.44	0.49
		NN (700N)	0 – 25	5	4.48	0.44
			25 – 50	5	4.34	0.54
	03/05/2010 Totale			10	4.41	0.47
	03/05/2010 Totale			20	3.93	0.68

	08/06/2010	LG (240N)	0 – 25	5	6.51	2.62	
			25 – 50	5	7.05	0.95	
		LG (240N) Totale		10	6.78	1.88	
		NN (700N)	0 – 25	5	6.44	3.07	
			25 – 50	5	6.47	0.38	
		NN (700N) Totale		10	6.45	2.06	
		08/06/2010 Totale			20	6.62	1.93
		20/08/2010	LG (240N)	0 – 25	5	3.72	1.06
				25 – 50	5	4.23	0.49
			LG (240N) Totale		10	3.97	0.83
			NN (700N)	0 – 25	5	5.12	0.58
				25 – 50	5	5.26	2.28
			NN (700N) Totale		10	5.19	1.57
		20/08/2010 Totale			20	4.58	1.37
		17/09/2010	LG (240N)	0 – 25	5	2.98	0.42
				25 – 50	5	2.84	0.63
			LG (240N) Totale		10	2.91	0.51
			NN (700N)	0 – 25	5	4.24	0.90
				25 – 50	5	4.13	0.42
			NN (700N) Totale		10	4.19	0.67
		17/09/2010 Totale			20	3.55	0.87
		11/11/2010	LG (240N)	0 – 25	5	2.78	0.78
				25 – 50	5	3.64	0.72
			LG (240N) Totale		10	3.21	0.84
		NN (700N)	0 – 25	5	4.39	0.86	
			25 – 50	5	4.77	0.64	
		NN (700N) Totale		10	4.58	0.74	
	11/11/2010 Totale			20	3.90	1.05	
2010 Totale				120	4.90	1.86	
Complessivo				280	4.42	1.65	

Tabella 20. Valori medi della concentrazione di $\delta^{15}\text{N}$ nel 2010.

ANNO	DATE	TRT	PROF	d 15N		
				N	MEDIA	ESM.
2011	26/04/2011	LG (240N)	0 – 25	5	4.71	1.90
			25 – 50	5	4.60	0.91
		LG (240N) Totale		10	4.65	1.41
		NN (700N)	0 – 25	5	4.99	0.83
			25 – 50	5	4.92	0.67
		NN (700N) Totale		10	4.95	0.71

	26/04/2011 Totale			20	4.80	1.10		
	17/05/2011	LG (240N)	0 – 25	5	2.13	0.76		
				25 – 50	5	4.02	0.52	
				LG (240N) Totale		10	3.08	1.17
				NN (700N)	0 – 25	5	4.33	0.75
					25 – 50	5	3.76	1.06
				NN (700N) Totale		10	4.05	0.92
	17/05/2011 Totale			20	3.56	1.14		
	23/06/2011	LG (240N)	0 – 25	5	2.19	0.50		
				25 – 50	5	4.43	0.94	
				LG (240N) Totale		10	3.31	1.38
				NN (700N)	0 – 25	5	3.36	0.95
					25 – 50	5	4.24	0.94
				NN (700N) Totale		10	3.80	1.00
	23/06/2011 Totale			20	3.55	1.20		
2011 Totale			60	3.97	1.27			
Complessivo			280	4.42	1.65			

Tabella 21. Valori medi della concentrazione di $\delta^{15}\text{N}$ nel 2011.

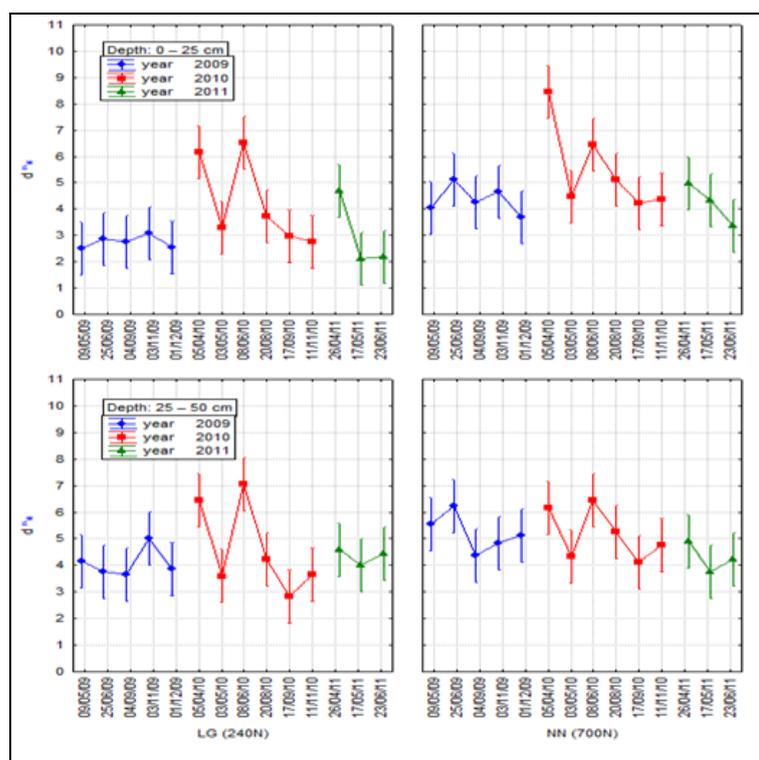


Figura 12. Andamento del N % nel suolo.

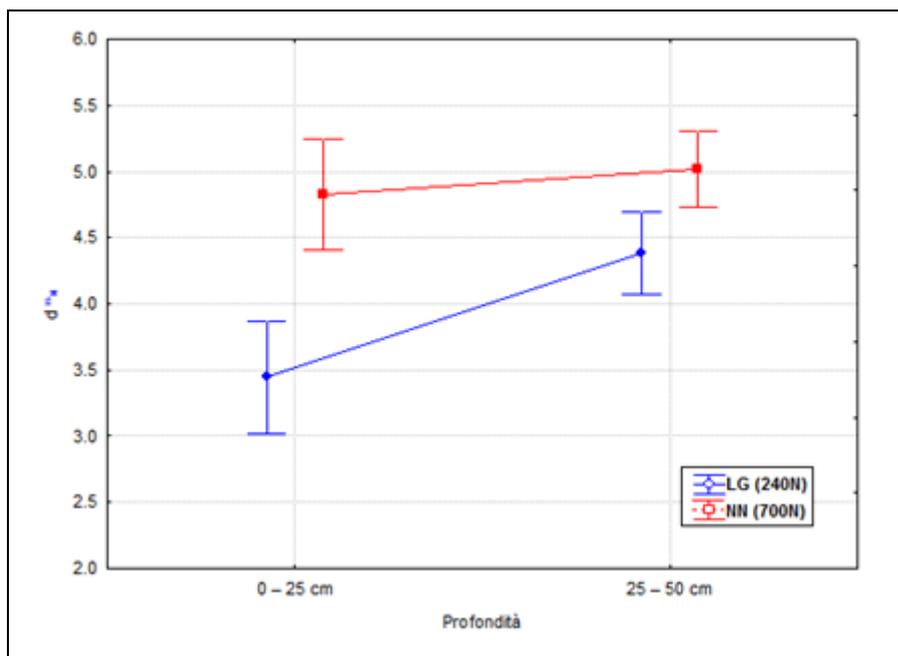


Figura 13. Interazione tra Profondità*Trattamenti in $\delta^{15}\text{N}$ nel suolo.

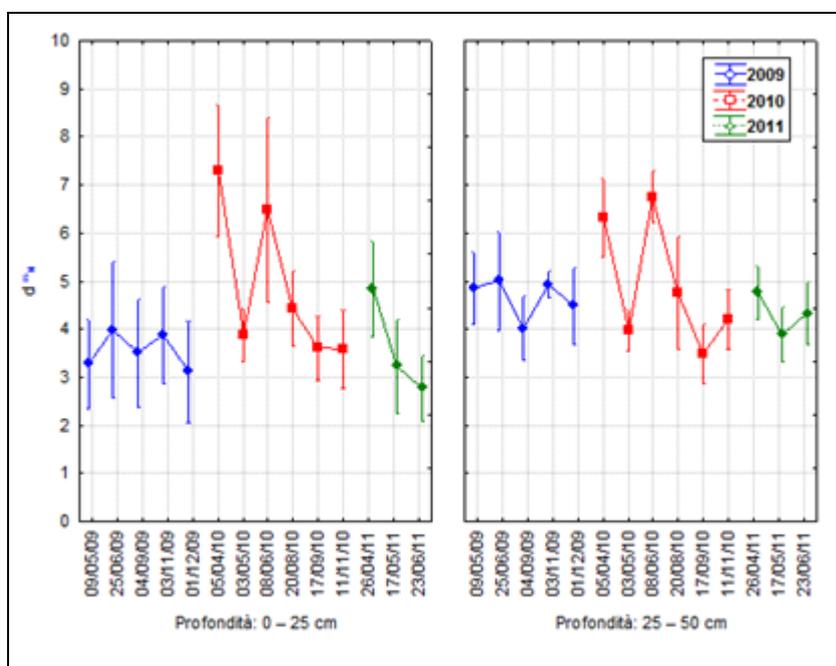


Figura 14. Interazione tra Prof*Date(Anno) in $\delta^{15}\text{N}$ nel suolo.

- Analisi multivariate

I. Analisi Discriminante Canonica dell'Azoto nel suolo

L'analisi Discriminante dei dati ripetuti in ogni singola data evidenzia due Radici significative, radici che rispettivamente spiegano l'84.4% ed il 12% dell'informazione totale.

In particolare la prima Radice risulta essere in modo forte correlata negativamente con l'N % mentre la seconda presenta una correlazione positiva con il valore del $\delta^{15}\text{N}$.

Radici	Autoval.	R Canon	Lambda	X ²	P(X ²)
0	1.212	0.73	0.369	274.22	<0.000
1	0.219	0.42	0.816	55.89	<0.000
2	0.005	0.07	0.995	1.39	0.499

Tabella 22. Test del X² per le Radici successive rimosse.

Variabile	Radice1	Radice2	Radice3
N-NO ₃	-0.061	0.262	0.285
N-NH ₄	-0.029	-0.215	-0.404
N(%)	-52.129	-1.404	5.637
$\delta^{15}\text{N}$	-0.225	0.660	-0.144
Costante	4.458	-2.667	1.018
Autovalore	1.212	0.219	0.005
% Cum.	0.844	0.996	1.000

Tabella 23. Coefficienti grezzi delle variabili canoniche.

Variabile	Radice1	Radice2	Radice3
N-NO ₃	-0.124	0.102	0.208
N-NH ₄	-0.171	-0.154	-0.737
N(%)	-0.933	-0.286	0.194
$\delta^{15}\text{N}$	-0.045	0.839	-0.499

Tabella 24. Correlazione tra Variabili e Radici canoniche.

Dalla rappresentazione dei singoli valori rilevati in funzione dei Trattamenti e delle rispettive Profondità (Fig. 15) si evidenzia una distribuzione molto sfumata tra i trattamenti alle diverse profondità nelle diverse date. Dentro questa distribuzione però si intravedono le gerarchie tra i trattamenti lungo il primo gradiente calcolato (che spiega l'84% dell'informazione): l'ordine dei baricentri dei centroidi dei trattamenti si presenta da sinistra a destra come:

NN(0-25) < NN(25-50) < LG(0-25) < LG(25-50). Lungo il secondo gradiente, legato al $\delta^{15}\text{N}$, si evidenziano differenziazioni solo tra i trattamenti alla profondità superficiale (NN(0-25) > LG(25-50)).

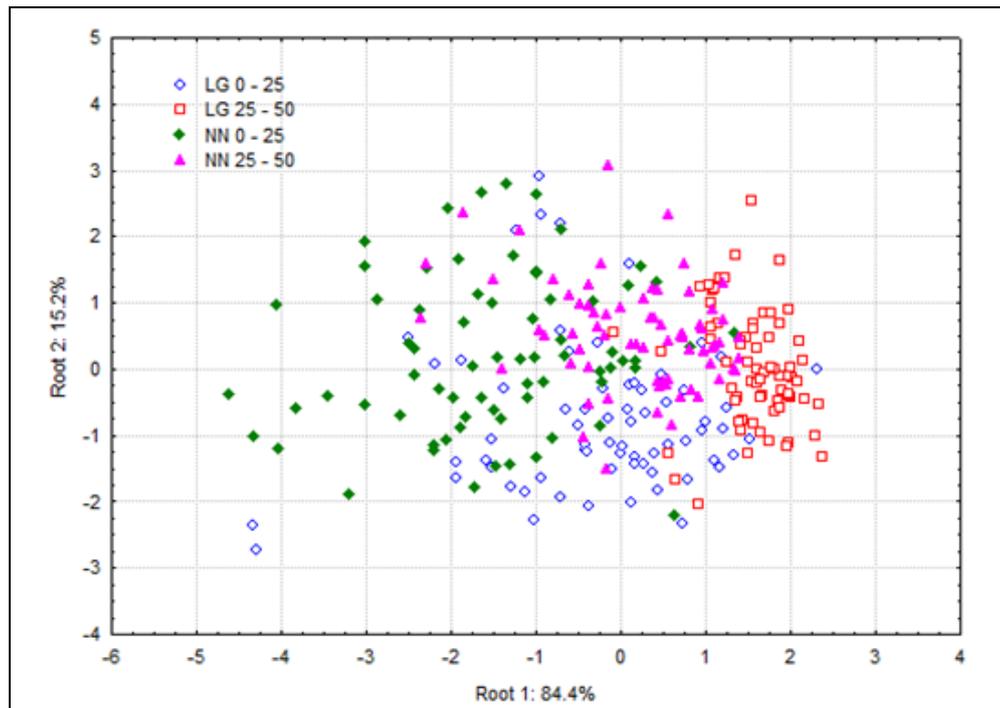


Figura 15. Distribuzione dei rilievi nel piano delle prime due Radici dell'An.Discriminante Canonica.

II. Analisi delle Componenti principali

L'Analisi delle Componenti Principali sui parametri medi dell'azoto nel suolo e sulle corrispondenti variazioni evidenzia diversi gradienti significativi: il primo spiega il 45% dell'informazione, il secondo il 22% mentre il terzo raggiunge il 12%, per un totale di circa il 79% (Tab. 25).

La Prima Componente (Tab. 26) risulta essere fortemente correlata positivamente con la componente nitrica ed ammoniacale ed inversamente correlata con le rispettive variabilità. La Seconda Componente invece presenta una correlazione negativa tra $\delta^{15}\text{N}$ ed N e le loro rispettive variabilità. La Terza Componente invece risulta essere legata positivamente principalmente all' N totale e negativamente alla sua variabilità. Dalla distribuzione degli "scores" dei rilievi nelle prime due dimensioni (Fig. 17) emerge una differenziazione tra i

rilievi del 2011 rispetto agli altri due anni rispetto al primo gradiente, mentre rispetto al secondo gradiente emerge una differenziazione tra le due profondità. Gli “scores” della Terza componente si differenziano invece, secondo i Trattamenti all’impianto realizzati, con l’NN nella porzione positiva e l’LG nella porzione negativa.

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	3.604	45.04	45.04
2	1.779	22.25	67.29
3	0.997	12.46	79.75
4	0.817	10.21	89.96

Tabella 25. Autovalori dell’Analisi delle Componenti Principali.

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3	C.P.4
N-NO ₃	0.953	-0.094	0.008	-0.248
N-NH ₄	0.906	-0.008	0.233	0.168
N%	0.030	0.566	0.706	-0.418
δ ¹⁵ N	-0.354	-0.684	0.384	0.115
CV(N-NO ₃)	-0.883	-0.028	0.231	0.328
CV(N-NH ₄)	-0.917	0.062	0.079	-0.350
CV(N)	-0.347	0.569	-0.459	-0.179
CV(δ ¹⁵ N)	0.083	0.809	0.158	0.526

Tabella 26. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali.

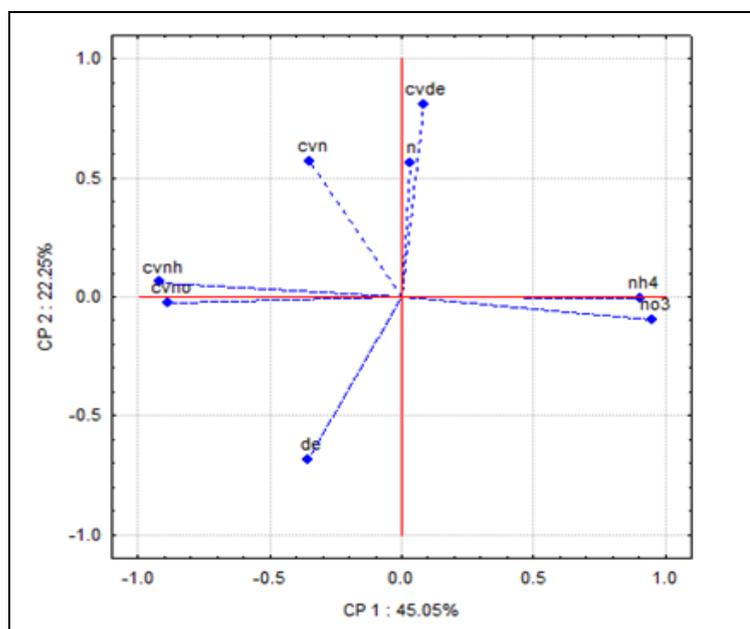


Figura 16. Andamento delle variabili in funzione delle prime due componenti.

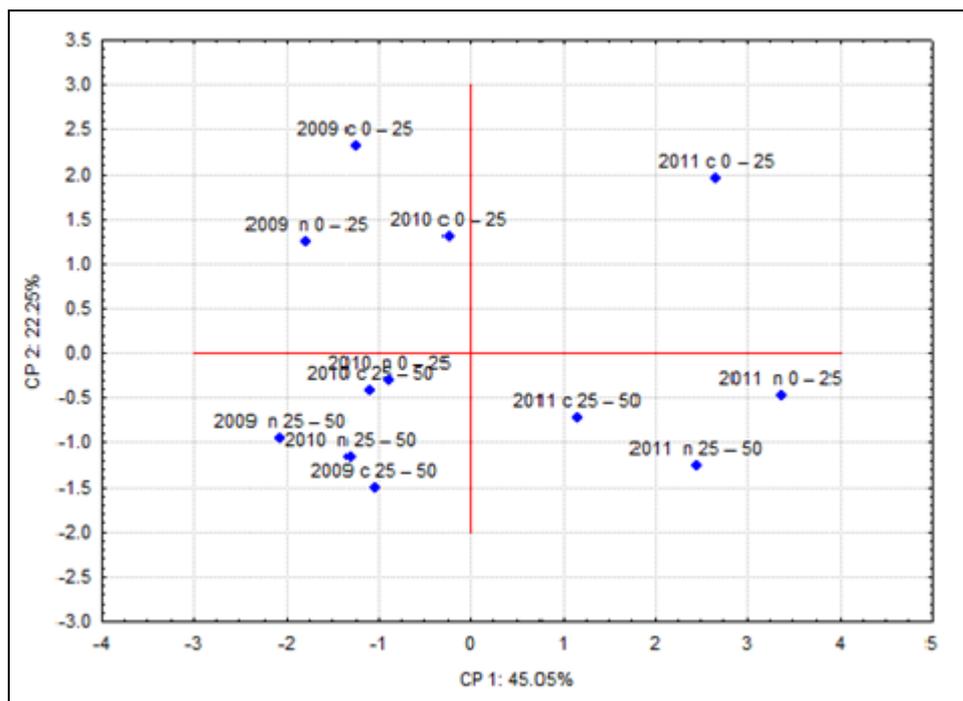


Figura 17. Distribuzione degli “scores” delle prime due componenti in funzione dei Trattamenti e della Profondità.

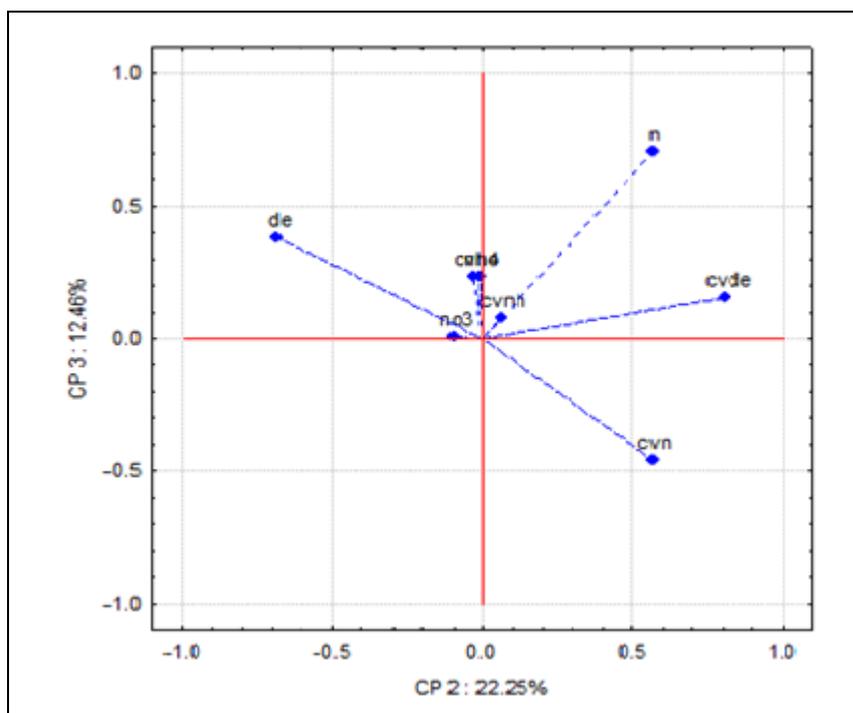


Figura 18. Distribuzione delle variabili in funzione della 2a e 3a componente.

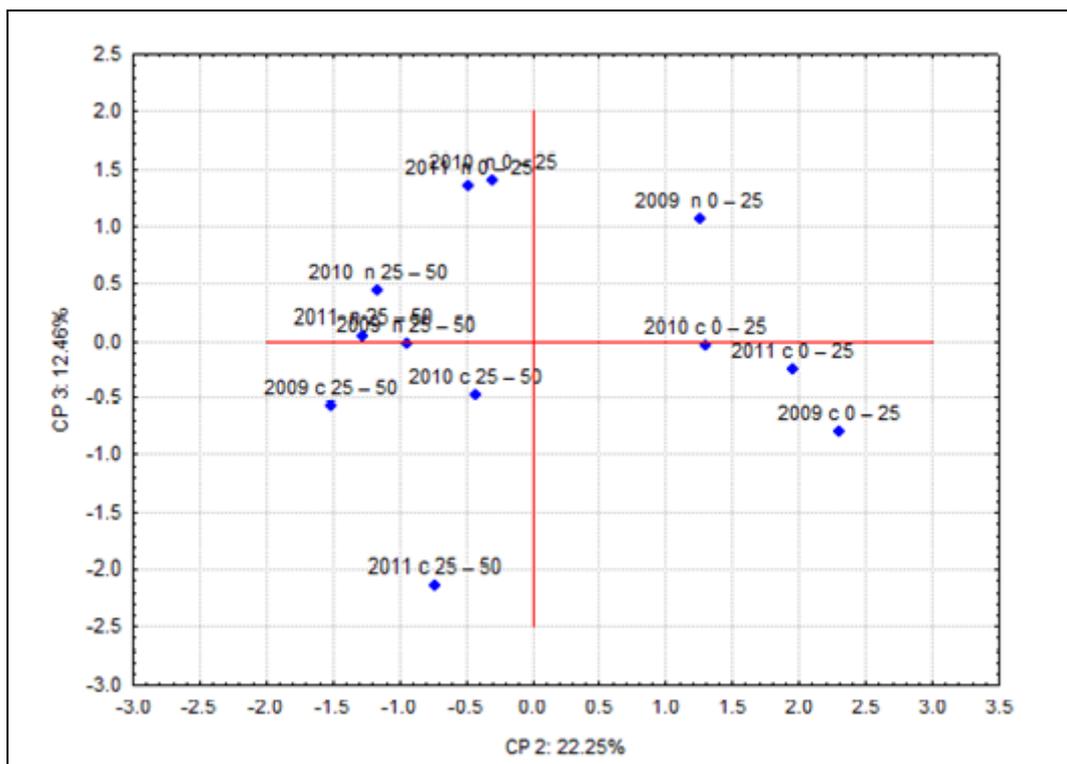


Figura 19. Distribuzione degli “scores” della 2a e 3a componente in funzione dei Trattamenti e della Profondità.

III. Analisi del Suolo (2010)

Parametri	Unità	LG	NN	CPED	CMIN
pH		7.87	8.05	8.39	7.97
Calcare Totale	%	0.00	5.00	5.00	3.00
Calcare Attivo	%	0.00	3.10	2.80	2.00
Sostanza Org.	%	2.86	3.30	0.46	0.51
N	%	1.97	2.21	0.34	0.36
P	ppm	37.00	18.00	2.00	1.00
K	ppm	184.00	305.00	101.00	57.00
Na	ppm	47.00	67.00	37.00	24.00
Ca	ppm	2567.00	3119.00	2280.00	1490.00
Mg	ppm	97.00	337.00	342.00	65.00
CSC	meq/100g	14.28	19.41	14.61	8.22
C/N		8.42	8.66	7.85	8.22
Sabbia	%	53.00	41.00	58.00	68.00
Limo	%	29.00	35.00	26.00	23.00
Argilla	%	18.00	24.00	16.00	9.00

Tabella 27. Analisi del suolo nei diversi trattamenti e nei substrati minerali e pre-impianto.

I valori dei diversi parametri del suolo analizzati evidenziano una netta differenziazione tra i substrati sabbiosi originali (sia minerali (CMIN), che pedogenizzati (CPED)) ed i substrati migliorati all'impianto. In particolare la concentrazione di Sostanza organica, di Azoto, di Fosforo e di Potassio presentano grandi differenze rispetto ai substrati originali, ma limitate differenze tra i substrati interessati dai due trattamenti a confronto.

Vegetazione – Frequenze:

- **Arbusti**

	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Rhamnus cathartica</i>	<i>Rubus ulmifolius</i>	Totale
LG (240N)	44	17	5	65	124	5	0	260
	8.27%	3.20%	0.94%	12.22%	23.31%	0.94%	0.00%	48.87%
NN (700N)	52	8	7	19	168	3	15	272
	9.77%	1.50%	1.32%	3.57%	31.58%	0.56%	2.82%	51.13%
Totale	96	25	12	84	292	8	15	532
	18.05%	4.70%	2.26%	15.79%	54.89%	1.50%	2.82%	100.00%

Tabella 28. Frequenza delle diverse specie arbustive individuate (2011).

Test	Statistica	Gl.	P-value
Chi-quadrato	50.864	6	0.0000

Tabella 29. Test del X^2 sulla frequenze degli arbusti.

Confrontando in una Tabella di contingenza le frequenze degli arbusti rilevati nell'area di saggio emerge una netta differenziazione tra i trattamenti a confronto. I trattamenti hanno fortemente condizionato la presenza e la rinnovazione delle piante arbustive messe a dimora. In particolare la forte concimazione all'impianto (NN) ha favorito una maggiore presenza di *Prunus spinosa* e di *Cornus sanguinea* e una presenza esclusiva di *Rubus ulmifolius*. Viceversa nel trattamento di controllo (LG) predominano il *Ligustrum vulgare* ed in misura minore il *Crataegus monogyna*.

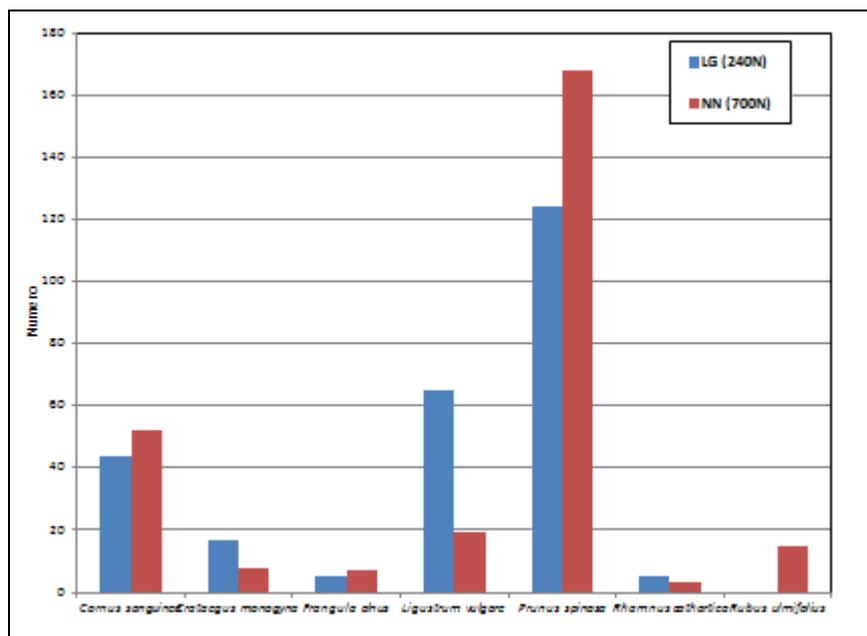


Figura 20. Frequenze delle specie arbustive rilevate (2011)

- **Alberi**

	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Fraxinus angustifolia</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Populus alba</i>	<i>Populus nigra</i>	<i>Populus nigra italica</i>	<i>Quercus rubor</i>	Totale
LG (270N)	7	8	9	2	44	1	4	0	75
	7.29%	8.33%	9.38%	2.08%	45.83%	1.04%	4.17%	0.00%	78.13%
NN (700N)	3	7	9	1	0	0	0	1	21
	3.13%	7.29%	9.38%	1.04%	0.00%	0.00%	0.00%	1.04%	21.88%
Totale	10	15	18	3	44	1	4	1	96
	10.42%	15.63%	18.75%	3.13%	45.83%	1.04%	4.17%	1.04%	100.00%

Tabella 30. Frequenza delle diverse specie arboree individuate (2011).

Test	Statistica	Gl.	P-value
Chi-quadrato	31.634	7	0.0000

Tabella 31. Test del X^2 sulla frequenze degli alberi.

Anche tra le essenze arboree si riscontra una netta differenziazione tra i due trattamenti. Primo elemento di differenza è il numero totale di piante arboree rilevate: nel trattamento ordinario LG sono presenti l'80% delle piante arboree misurate. Inoltre, nel trattamento LG si stanno affermando molte piante di *Populus alba* in associazione a quelle

messe a dimora all'impianto, fenomeno totalmente assente invece nel trattamento NN dove le piante di pioppo hanno invece fortemente risentito della forte concimazione iniziale sia tra le piante messe a dimora sia nella rinnovazione naturale spontanea.

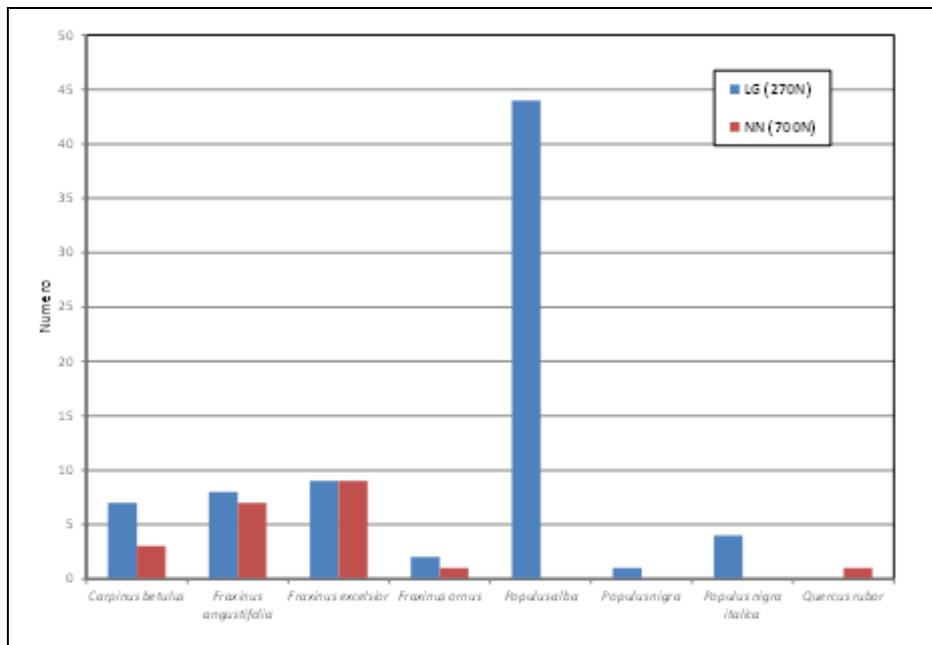


Figura 21. Frequenze delle specie arboree rilevate (2011)

Biometria - Analisi della Varianza:

- **Arbusti**

Arbusti	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Rhamnus cathartica</i>
Analisi Univariata						
Altezza	0.816	NS	0.234	NS	0.365	NS
N-S	0.488	NS	0.006	**	0.508	NS
E-O	0.881	NS	0.001	**	0.407	NS
Analisi Multivariata						
A+N+E	0.266	NS	0.012	*	0.241	NS
			(NN)		(NN)	
						(LG)

Tabella 32. ANOVA: valori del p(F) e del p(λ) nel confronto tra i due trattamenti.

L'Analisi della Varianza sui parametri dimensionali degli arbusti sottolinea delle differenze statistiche significative, sia univariate che multivariate, per il *Crataegus monogyna* e per il *Prunus spinosa*. Le due specie però rispondono in modo diverso ai trattamenti: il *Crataegus* si presenta mediamente più sviluppato nel trattamento NN, mentre il *Prunus* lo è nel trattamento LG. Il comportamento del prugnolo deve comunque essere messo in relazione anche alla diversa numerosità della rinnovazione naturale nei due trattamenti come già sottolineato nel paragrafo precedente.

	Trt	N	H (cm)	Esm H	L N-S (cm)	Esm L N-S	L E-O (cm)	Esm L E-O
<i>Cornus sanguinea</i>	LG	44	97.55	9.06	45.11	6.02	46.32	6.85
	NN	52	100.98	11.14	52.35	8.08	44.88	6.57
<i>Cornus sanguinea Totale</i>		96	99.41	7.29	49.03	5.16	45.54	4.72
<i>Crataegus monogyna</i>	LG	17	230.88	21.31	138.12	16.62	136.76	17.44
	NN	8	279.63	36.77	220.13	17.37	235.25	12.24
<i>Crataegus monogyna Totale</i>		25	246.48	18.81	164.36	14.64	168.28	15.48
<i>Frangula alnus</i>	LG	9	191.56	22.53	125.67	26.67	91.67	11.58
	NN	10	248.20	53.97	105.00	16.35	108.80	16.02
<i>Frangula alnus Totale</i>		19	221.37	30.29	114.79	15.04	100.68	9.99
<i>Ligustrum vulgare</i>	LG	65	166.80	8.44	107.25	10.37	103.43	9.27
	NN	19	152.58	16.90	96.11	15.50	105.84	17.49
<i>Ligustrum vulgare Totale</i>		84	163.58	7.55	104.73	8.73	103.98	8.14
<i>Prunus spinosa</i>	LG	124	143.90	6.74	69.27	5.19	63.15	3.78
	NN	168	116.66	5.37	57.43	3.08	55.41	2.84
<i>Prunus spinosa Totale</i>		292	128.23	4.28	62.46	2.84	58.70	2.29
<i>Rhamnus cathartica</i>	LG	8	176.50	30.81	114.88	26.85	103.63	22.18
	NN	6	159.00	30.90	143.33	25.61	141.17	26.15
<i>Rhamnus cathartica Totale</i>		14	169.00	21.34	127.07	18.58	119.71	17.05
<i>Rubus ulmifolius</i>	LG	-	-	-	-	-	-	-
	NN	15	97.20	8.16	98.80	18.31	95.53	18.67
<i>Rubus ulmifolius Totale</i>		15	97.20	8.16	98.80	18.31	95.53	18.67
<i>Totale</i>		545	137.47	3.56	75.77	2.76	72.43	2.54

Tabella 33. Sviluppo delle piante arbustive, parametri biometrici rilevati.

- Alberi

Alberi	<i>Carpinus betulus</i>		<i>Fraxinus oxycarpa</i>		<i>Fraxinus excelsior</i>	
Analisi univariata						
Altezza	0.558	NS	0.345	NS	0.072	NS
N-S	0.751	NS	0.677	NS	0.071	NS
E-O	0.511	NS	0.062	NS	0.178	NS
Analisi Multivariata						
A+N+E	0.595	NS	0.244	NS	0.252	NS
		(NN)		(LG)		(LG)

Tabella 34. ANOVA: valori del p(F) e del p(λ) nel confronto tra i due trattamenti.

Dal confronto delle specie arboree sufficientemente rappresentate nei due trattamenti non emergono invece differenze significative: le medie presentano però valori differenziati tra le specie. I frassini presentano valori medi superiori nel trattamento LG mentre il carpino bianco nel trattamento NN.

Alberi	Trt	N	H (cm)	ESM H	L N-S (cm)	ESM L N-S	L E-O (cm)	ESM L E-O	D (1.30)	ESM Dia
<i>Carpinus betulus L.</i>	LG	7	270.00	55.93	140.00	31.57	123.57	24.17	3.03	0.46
	NN	3	341.33	127.31	121.00	49.24	95.00	27.54	3.66	1.43
<i>Carpinus betulus L. Totale</i>		10	291.40	51.57	134.30	25.20	115.00	18.50	3.24	0.49
<i>Fraxinus angustifolia</i>	LG	8	642.50	32.45	217.50	21.84	238.13	19.52	13.18	0.40
	NN	7	568.57	71.99	201.86	30.44	168.00	29.36	6.32	0.57
<i>Fraxinus angustifolia Totale</i>		15	608.00	37.61	210.20	17.80	205.40	19.01	9.98	0.36
<i>Fraxinus excelsior L.</i>	LG	9	453.33	62.24	139.78	33.35	133.33	31.93	4.35	1.01
	NN	9	264.78	75.46	68.89	15.13	73.67	27.82	3.00	0.71
<i>Fraxinus excelsior L. Totale</i>		18	359.06	52.67	104.33	19.73	103.50	21.78	3.63	0.61
<i>Fraxinus ornus L.</i>	LG	2	80.00	20.00	33.50	6.50	50.00	15.00	-	-
	NN	1	70.00	-	40.00	-	30.00	-	-	-
<i>Fraxinus ornus L. Totale</i>		3	76.67	12.02	35.67	4.33	43.33	10.93	-	-
<i>Populus alba L.</i>	LG	44	163.52	18.86	72.07	15.20	71.34	13.72	6.26	2.57
	NN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Populus alba L. Totale</i>		44	163.52	18.86	72.07	15.20	71.34	13.72	6.26	2.57
<i>Populus nigra italica</i>	LG	4	587.50	78.25	93.75	25.61	96.25	33.00	5.52	2.12
	NN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Populus nigra italica</i>		4	587.50	78.25	93.75	25.61	96.25	33.00	5.52	2.12
<i>Populus nigra L.</i>	LG	1	770.00	-	140.00	-	195.00	-	7.96	-

	NN	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Populus nigra L.</i> <i>Totale</i>		1	770.00	-	140.00	-	195.00	-	7.96	-
<i>Quercus rubor L.</i>	LG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	NN	1	50.00	-	10.00	-	10.00	-	-	-
<i>Quercus rubor L.</i> <i>Totale</i>		1	50.00	-	10.00	-	10.00	-	-	-
<i>Totale</i>		96	303.04	23.88	106.01	10.13	103.68	9.67	6.33	0.45

Tabella 35. Sviluppo delle piante arboree, parametri biometrici rilevati.

Analisi delle foglie - Analisi della Varianza e Medie

a) Azoto totale (%)

- Arbusti

	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Rhamnus cathartica</i>
Anno	Random	Random	Random	Random	Random	Random
Date(Anno)	NS	**	**	**	**	NS
Trt	*	NS	**	**	**	*
Tr*Date(Anno)	NS	NS	NS	**	NS	NS
Effetti principali						
LG (240N)	1.71	1.38	3.24	1.59	2.04	2.53
	±0.12	±0.04	±0.15	±0.04	±0.07	±0.10
NN (700N)	1.28	1.36	2.27	1.42	1.86	1.92
	±0.12	±0.05	±0.15	±0.04	±0.07	±0.10
Sign.	*	NS	**	*	NS	*
Interazioni						
09/05/09 LG (240N)	1.77	1.15	3.52	1.33	2.04	2.67
	±0.29	±0.13	±0.41	±0.10	±0.19	±0.23
09/05/09 NN (700N)	1.46	1.14	2.41	1.77	1.87	2.29
	±0.30	±0.13	±0.41	±0.10	±0.19	±0.32
25/06/09 LG (240N)	1.75	1.72	2.32	1.43	1.98	2.24
	±0.15	±0.06	±0.29	±0.05	±0.09	±0.16
25/06/09 NN (700N)	1.6	1.54	1.99	1.19	1.74	1.81
	±0.21	±0.09	±0.40	±0.07	±0.13	±0.23
03/05/10 LG (240N)	1.81	1.57	4.25	2.05	2.42	2.84
	±0.21	±0.07	±0.23	±0.05	±0.11	±0.19
03/05/10 NN (700N)	1.29	1.42	2.89	1.18	2.32	-
	±0.21	±0.06	±0.29	±0.05	±0.09	-
03/09/10 LG (240N)	1.53	1.08	2.88	1.58	1.71	2.36
	±0.21	±0.09	±0.29	±0.07	±0.14	±0.23

03/09/10 NN (700N)	1.06	1.33	1.79	1.53	1.49	1.79
	±0.21	±0.09	±0.29	±0.07	±0.14	±0.23

Tabella 36. Arbusti: analisi della varianza e medie dei fattori principali e delle interazioni del N% nelle diverse date di rilievo.

L'Analisi della Varianza del parametro N% fogliare evidenzia una concentrazione delle foglie statisticamente superiore in tutte le specie arbustive nel trattamento di controllo LG. Solo nel *Ligustrum vulgare* si manifesta una interazione significativa con il fattore temporale: le differenze tra i trattamenti variano nelle diverse date di rilievo anche se in tutti i casi domina sempre il trattamento LG rispetto all'NN.

- Alberi

	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Fraxinus oxycarp.</i>	<i>Populus alba</i>	<i>Populus nigra</i>	<i>Salix appenn.</i>
Anno	Random	Random	Random	Random	Random	Random
Date(Anno)	NS	NS	**	**	**	**
Trt	**	NS	**	NS	**	NS
Tr*Date(Anno)	NS	NS	**	NS	*	NS
Effetti principali						
LG (240N)	2.56	1.61	2.31	1.94	1.61	1.72
	±0.27	±0.29	±0.05	±0.07	±0.07	±0.09
NN (700N)	1.38	1.65	1.57	1.82	2.33	1.73
	±0.27	±0.27	±0.04	±0.07	±0.08	±0.10
	**	NS	**	NS	**	NS
Interazioni						
09/05/09 LG (240N)	2.07	2.31	2.15	1.85	1.43	1.95
	±0.72	±0.77	±0.12	±0.19	±0.21	±0.19
09/05/09 NN (700N)	1.68	1.41	1.54	1.82	2.25	2.47
	±0.72	±0.77	±0.12	±0.19	±0.21	±0.27
25/06/09 LG (240N)	2.17	1.15	1.89	1.49	1.29	1.49
	±0.51	±0.55	±0.09	±0.14	±0.11	±0.19
25/06/09 NN (700N)	1.27	1.3	1.37	1.56	1.43	1.72
	±0.51	±0.39	±0.06	±0.14	±0.15	±0.19
03/05/10 LG (240N)	2.68	1.77	3.53	2.22	1.9	2.02
	±0.36	±0.39	±0.06	±0.09	±0.12	±0.16
03/05/10 NN (700N)	1.52	1.84	1.82	2.02	3.05	1.56
	±0.36	±0.39	±0.06	±0.09	±0.15	±0.14
03/09/10 LG (240N)	3.31	1.18	1.68	2.19	1.82	1.4
	±0.51	±0.55	±0.09	±0.14	±0.15	±0.19

03/09/10 NN (700N)	1.04	2.04	1.54	1.9	2.58	1.15
	±0.51	±0.55	±0.09	±0.11	±0.15	±0.19

Tabella 37. Alberi: analisi della varianza e medie dei fattori principali e delle interazioni del N% fogliare nelle diverse date di rilievo.

L'Analisi della Varianza tra le essenze arboree evidenzia differenze significative solo in tre specie:

- Nel *Carpinus betulus* vi è una concentrazione di azoto totale significativa nel trattamento LG in assenza di interazioni;
- Nel *Fraxinus oxycarpa* vi è una interazione significativa che però vede il trattamento LG sempre superiore ;
- Nel *Populus nigra*, invece, associata all'interazione Trattamento*Date(Anno) si evidenzia una concentrazione di azoto superiore nel trattamento NN.

Per le altre specie invece non sono evidenti differenze nelle medie rilevate .

b) $\delta^{15}\text{N}$

- Arbusti

	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Rhamnus cathartica</i>
Anno	Random	Random	Random	Random	Random	Random
Date(Anno)	NS	NS	NS	**	NS	**
Trt	NS	NS	NS	**	**	**
Tr*Date(Anno)	NS	NS	NS	**	**	**
Effetti principali						
LG (240N)	-3.07	-2.94	-2.08	-4.23	-4.40	-2.65
	±0.39	±0.29	±0.53	±0.11	±0.10	±0.07
NN (700N)	-2.48	-3.32	-1.60	-2.63	-3.79	-2.25
	±0.41	±0.30	±0.52	±0.12	±0.10	±0.07
Sign.	NS	NS	NS	**	**	NS
Interazioni						
09/05/09 LG (240N)	-2.66	-2.25	-1.97	-5.14	-4.15	-1.57

	±1.04	±0.80	±1.38	±0.32	±0.28	±0.16
09/05/09 NN (700N)	-1.73	-2.37	-0.44	-2.23	-3.23	-2.48
	±1.04	±0.80	±1.38	±0.32	±0.28	±0.23
25/06/09 LG (240N)	-3.71	-3.51	-1.93	-4.52	-5.12	-2.96
	±0.52	±0.40	±0.97	±0.16	±0.14	±0.11
25/06/09 NN (700N)	-2.47	-2.85	-1.45	-0.9	-3.41	-1.59
	±0.74	±0.56	±0.69	±0.23	±0.19	±0.16
03/05/10 LG (240N)	-2.93	-2.47	-2.11	-3.58	-4.13	-1.82
	±0.74	±0.46	±0.79	±0.16	±0.16	±0.13
03/05/10 NN (700N)	-3.08	-4.44	-1.12	-5.05	-4.09	-
	±0.74	±0.40	±0.98	±0.16	±0.14	-
03/09/10 LG (240N)	-2.98	-3.51	-2.33	-3.71	-4.21	-4.25
	±0.74	±0.57	±0.98	±0.23	±0.19	±0.16
03/09/10 NN (700N)	-2.64	-3.6	-3.38	-2.33	-4.43	-2.69
	±0.74	±0.57	±0.98	±0.23	±0.19	±0.16

Tabella 38. Arbusti: analisi della varianza e medie dei fattori principali e delle interazioni del $\delta^{15}\text{N}$ nelle diverse date di rilievo.

Il parametro $\delta^{15}\text{N}$ è risultato significativo solo per tre specie arbustive, *Ligustrum vulgare*, *Prunus spinosa* e *Rhamnus cathartica*, in associazione sempre con una forte interazione con le date di rilievo.

In particolare in tutte e tre le specie si evidenzia come il trattamento NN assuma valori decisamente superiori rispetto al trattamento LG in quasi tutte le date analizzate.

- **Alberi**

	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Fraxinus oxycarp.</i>	<i>Populus alba</i>	<i>Populus nigra</i>	<i>Salix appenn.</i>
Anno	Random	Random	Random	Random	Random	Random
Date(Anno)	NS	NS	**	NS	NS	NS
Trt	NS	NS	NS	**	*	**
Tr*Date(Anno)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Effetti principali						
LG (240N)	-1.74	-4.36	-3.91	-1.59	-1.55	-1.59
	±0.98	±0.37	±0.23	±0.55	±0.59	±0.62
NN (700N)	-0.21	-3.39	-3.6	2.12	0.54	1.52
	±0.98	±0.35	±0.22	±0.53	±0.65	±0.69

	NS	NS	NS	**	*	**
Interazioni						
09/05/09 LG (240N)	-1.23	-4.69	-3.7	-2.75	-3.15	-2.48
	±2.62	±1.00	±0.61	±1.48	±1.65	±1.29
09/05/09 NN (700N)	-0.51	-3.24	-2.96	3.24	0.75	4.34
	±2.62	±1.00	±0.61	±1.48	±1.65	±1.83
25/06/09 LG (240N)	-2.52	-4.31	-3.78	-3.11	-3.99	-1.8
	±1.86	±0.71	±0.43	±1.04	±0.82	±1.29
25/06/09 NN (700N)	0.58	-2.77	-2.84	0.73	0.01	3.21
	±1.86	±0.50	±0.31	±1.04	±1.16	±1.29
03/05/10 LG (240N)	-2.14	-4.24	-4.84	-1.43	-0.74	-2.21
	±1.31	±0.50	±0.31	±0.74	±0.95	±1.06
03/05/10 NN (700N)	0.01	-4.22	-4.47	1.61	0.61	-1.53
	±1.31	±0.50	±0.31	±0.74	±1.16	±0.92
03/09/10 LG (240N)	-1.08	-4.19	-3.3	0.93	1.67	0.12
	±1.86	±0.71	±0.43	±1.04	±1.16	±1.29
03/09/10 NN (700N)	-0.94	-3.32	-4.12	2.91	0.81	0.04
	±1.86	±0.71	±0.43	±0.85	±1.16	±1.29

Tabella 39. Alberi: analisi della varianza e medie dei fattori principali e delle interazioni del $\delta^{15}\text{N}$ nelle diverse date di rilievo.

Le differenze tra i trattamenti si presentano significativamente diverse solo in tre specie arboree, *Populus alba*, *Populus nigra* e *Salix appennina*, con valori superiori e positivi nel trattamento NN. Nelle altre specie arboree si evidenziano differenze non significative ma tutte indirizzate verso valori superiori nel trattamento NN rispetto ai valori inferiori e negativi del trattamento LG .

II. Relazione tra N% e $\delta^{15}\text{N}$

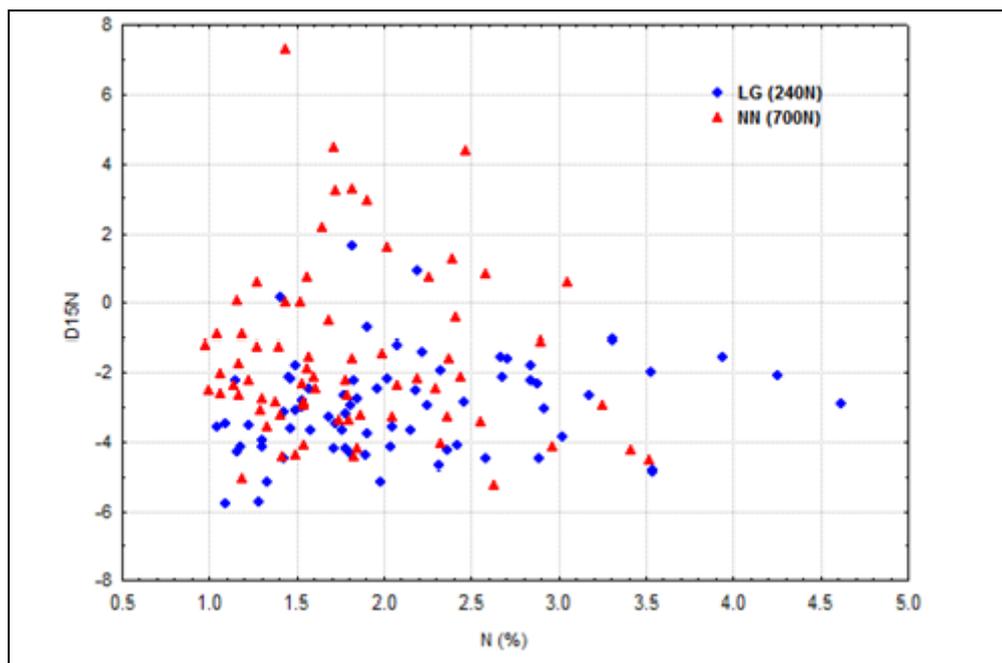


Figura 22. Relazione tra N% e $\delta^{15}\text{N}$ nelle foglie in funzione del trattamento

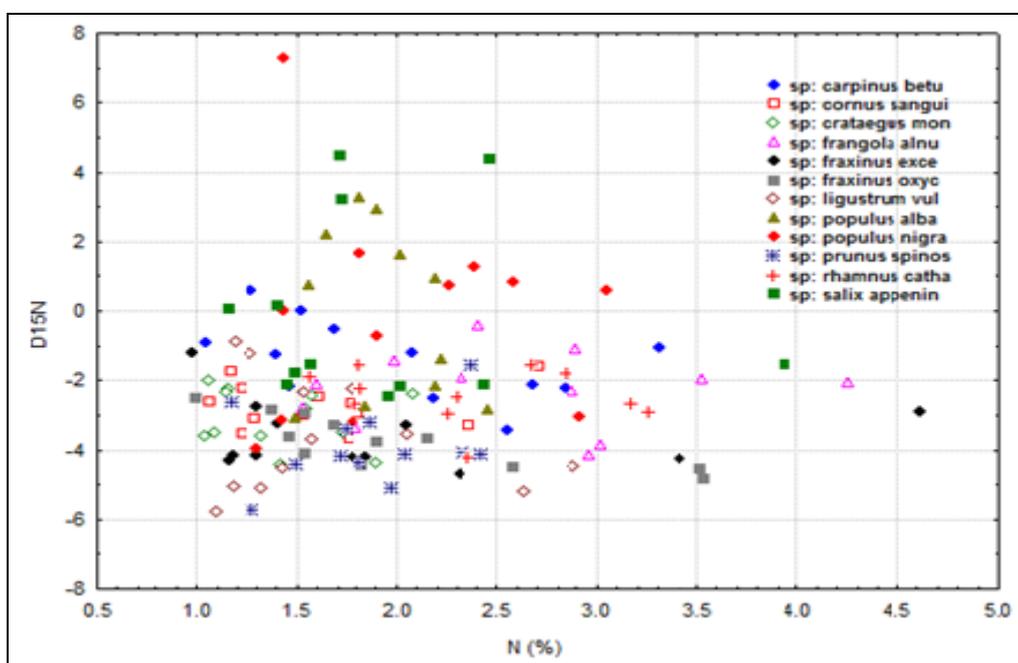


Figura 23. Relazione tra N% e $\delta^{15}\text{N}$ nelle foglie in funzione delle specie

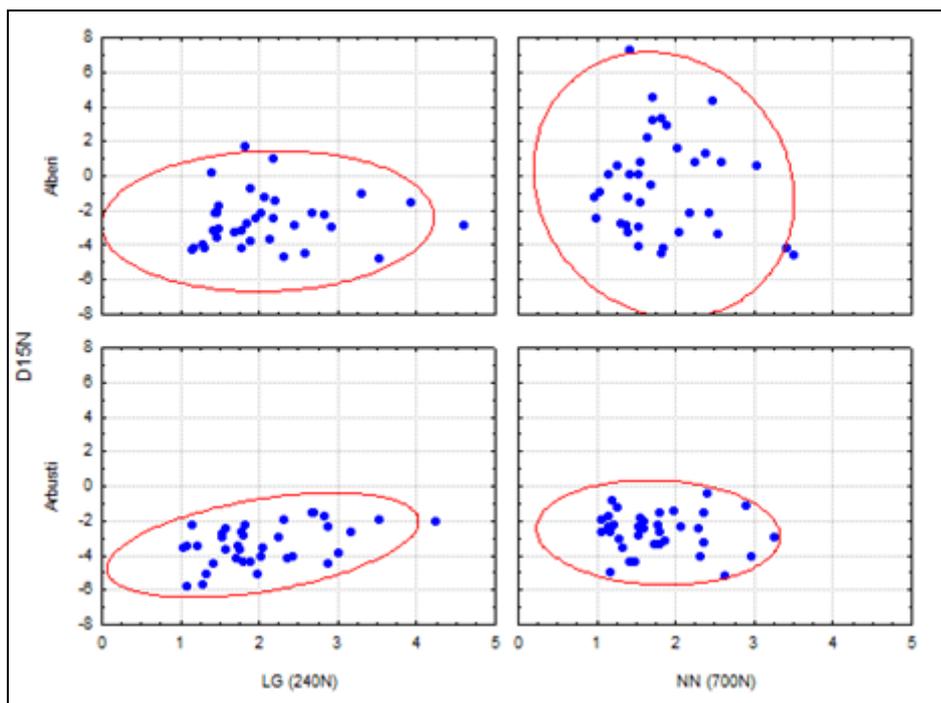


Figura 24. Relazione tra N% e $\delta^{15}\text{N}$ nelle foglie in funzione dei trattamenti e del portamento

Analizzando la relazione bivariata tra N% e $\delta^{15}\text{N}$ nelle foglie delle diverse specie emerge un comportamento diversificato tra le arbustive e le arboree:

- Nelle specie arbustive si evidenzia una variazione più ampia nella concentrazione di N % totale, in parte legato anche a differenze di specie, rispetto al valore di $\delta^{15}\text{N}$ che invece non presenta grandi differenze né variazioni tra i due trattamenti a confronto;
- Nelle specie arboree, invece, emerge una maggiore variabilità nei due parametri a confronto, specie in presenza del trattamento NN. Qui alcune specie come i pioppi ed i salici presentano valori di $\delta^{15}\text{N}$ particolarmente elevati anche in presenza di concentrazioni di N % totale contenute.

5.2.4 Conclusioni

Prima di analizzare i risultati e trarre delle conclusioni è necessario sottolineare una premessa metodologica. Questa prova, come altre prove nel presente lavoro più che un esperimento non è altro che un “Campionamento osservazionale” operato su un impianto sperimentale realizzato 10 anni fa pensato come applicazione operativa di indicazioni tecniche di recupero, nate dall’esperienza decennale maturata dalla Cattedra di Selvicoltura in questo bacino di cava. E’ un chiaro esempio di Gestione Adattativa applicata al recupero ambientale dove le esperienze passate e le osservazioni attuali vengono utilizzate nella gestione e nella progettazione dei nuovi recuperi.

Le indicazioni che possono derivare da questo lavoro sono perciò molto specifiche al sito ed alle esperienze maturate nel sito e potranno essere generalizzate solo dopo altri campionamenti osservazionali o altri lavori sperimentali realizzati in condizioni simili. Non bisogna infatti dimenticare come questi esempi di biologia applicata presentano sempre una forte interazione con la stazione e le condizioni micro ambientali e non possono essere generalizzati con leggerezza. Nonostante questi limiti si è voluto utilizzare questo ambito sperimentale in quanto esempio forse unico di collaborazione tra proprietà escavatrice ed ente di ricerca nello studio e nella applicazione di tecniche di recupero ambientale in cui si possono analizzare o confrontare nel breve e nel medio periodo, in modo razionale, tecniche diverse.

Elemento positivo dell’esperienza tecnico scientifica nel bacino estrattivo di Colombara è dato dalla dimensione delle diverse esperienze effettuate: le superfici interessate dalle diverse tecniche sono sempre ampie, molto superiori a quelle normalmente utilizzate nelle prove sperimentali specifiche. La carenza nella Randomizzazione dei trattamenti viene compensata dall’estensione dell’applicazione che consente di limitare la manifestazione di

fenomeni singolari e/o particolari e quindi di operare campionamenti indipendenti e non solo dei sottocampionamenti.

Dopo questa premessa cerchiamo di riassumere i risultati e trarre delle indicazioni per il futuro.

- Suolo

Dal confronto delle due tecniche di impianto (ordinaria (LG 240N) ed intensiva (NN 700N)) emerge una risposta del substrato molto articolata in relazione ai parametri analizzati. Le concentrazioni di N-NO₃ pur in presenza di una forte interazione con il tempo sottolineano una maggiore attività in corrispondenza del trattamento intensivo specie vicino alla superficie. Le differenze misurate non sono mai risultate sostanzialmente ampie con l'unica eccezione della primavera del 2011 in cui sono emerse differenze molto nette tra le due tecniche.

All'opposto per la concentrazione di N-NH₄ si evidenzia una forte interazione nel tempo ed un comportamento che negli anni si diversifica: opposto nel 2009, speculare nel 2001 e diverso nel 2011. Questo impedisce il manifestarsi di differenze medie significative. Anche per la componente ammoniacale però vi è una differenziazione dei valori medi in funzione della profondità, dove i processi prossimi alla superficie presentano concentrazioni di azoto ammoniacale sempre superiori.

Una indicazione chiara viene invece dal N% totale dove i valori misurati nel tempo risultano essere omogenei : in assenza di interazione con il tempo è il trattamento intensivo (NN) ad assumere valori di N totale superiori, dove le concentrazioni massime si localizzano anche in questo caso nei primi 25 cm di profondità.

Rispetto alla variazione dell'isotopo 15 dell'N ($\delta^{15}\text{N}$) l'analisi evidenzia una forte interazione dei trattamenti in funzione della Profondità: l'ammendamento intensivo (NN) presenta valori del parametro sempre superiori a tutte le profondità. Da sottolineare come le differenze siano molto nette nel primo strato superficiale mentre tendono ad attenuarsi

umentando la profondità. Queste differenze possono essere interpretate come una conseguenza del processo di lisciviazione che il materiale ammendante e concimante ha subito dopo l'interramento: grandi quantità di azoto sono state utilizzate o sono andate perdute sia per dilavamento che per gassificazione. In questo processo sono gli isotopi leggeri il ^{14}N ad essere preferiti dai processi chimico fisici nel suolo portando ad un incremento nella concentrazione di ^{15}N nella componente edafica azotata residua. Questo accumulo di isotopi pesanti è maggiormente visibile negli strati profondi: comportando concentrazioni significativamente diverse rispetto agli strati più superficiali.

Complessivamente l'analisi dei singoli parametri presenta una grande variabilità nel tempo con una costante presenza di interazione che rende meno evidente l'effetto dei trattamenti: solo il parametro N% totale manifesta un comportamento nel tempo stabile ed omogeneo. In tutti i casi l'effetto di un elevata dose di azoto all'impianto sembra lasciare una traccia permanente nel suolo anche a 10 anni dall'applicazione sia nel contenuto nel suolo che nella sua impronta isotopica che suggerisce un ambito fortemente dispersivo.

Rielaborando i dati in termini multivariati emergono risultati contraddittori. L'analisi complessiva di tutti i rilievi (Discriminante Canonica), pur in presenza di una risposta sfumata, sottolinea come esista un gradiente dominante (84%), che consente di ordinare i rilievi, fortemente correlato con l'N% totale. Secondo questo gradiente i diversi rilievi si ordinano in funzione innanzitutto dell'intensità del trattamento (NN >> LG) e, nidificati entro questi, si ordinano in funzione della profondità: gli orizzonti superficiali presentano concentrazioni e stock sempre superiori rispetto agli orizzonti profondi. Un ulteriore 15% di informazione, che caratterizza il secondo gradiente, è da associarsi al $\delta^{15}\text{N}$ anche se in questo caso non si evidenziano ordinamenti particolari o differenze tra i trattamenti. Attraverso l'analisi delle Componenti Principali dei dati medi e dei relativi coefficienti di variazione, invece, emergono dei gradienti legati per il 45% alle diverse Annate, per un 22% alle diverse

Profondità e solo per il 12% ai diversi Trattamenti. La risposta multivariata in pratica conferma quanto già visto a livello dei singoli parametri: l'interazione con il tempo che si è manifestata nei rilievi condiziona molto le risposte. Nell'Analisi dei singoli rilievi (ADC) emerge l'1° gradiente come elemento principale di ordinamento, in quanto unico parametro omogeneo nel tempo. Viceversa usando i valori medi dei parametri (ACP) l'interazione viene mascherata facendo emergere differenze e comportamenti più articolati. L'effetto Anno, sottolineato dal primo gradiente, risulta essere correlato principalmente con le concentrazioni di N-NO₃ ed N-NH₄, mentre il secondo gradiente, che ordina per la Profondità, è risultato essere legato principalmente al δ¹⁵N. I trattamenti, correlati con l'1° gradiente, spiegano invece solo il 12% dell'informazione e rappresentano solo il 3° gradiente.

Rispetto al suolo è evidente un effetto residuo dell'ammendamento intensivo all'impianto che diversifica anche statisticamente i diversi parametri, ma è anche evidente come le risposte siano mutate dalle condizioni stazionali e microclimatiche.

- Vegetazione

La risposta della vegetazione ai due diversi trattamenti all'impianto appare molto diversificata.

L'impatto di una forte concimazione all'impianto ha modificato la composizione qualitativa della vegetazione sia arborea che arbustiva. Per gli arbusti la forte concimazione ha favorito specie come *Prunus spinosa*, *Cornus sanguinea* e *Rubus ulmifolius* ma il suo grande effetto si è manifestato a carico delle specie arboree. L'eccesso di azoto ha nettamente limitato sia i trapianti che anche i nuovi insediamenti: è emersa una netta differenziazione nella numerosità tra le due aree a favore del trattamento ordinario (LG). Questo è legato quasi esclusivamente alla diversa risposta del genere *Populus* all'eccesso di azoto: questo infatti ha portato a deperimento e a rapida morte le piante messe a dimora con il trapianto ma ha anche impedito l'affermazione di nuove piante da seme e/o da pollone radicale.

Le analisi relative all'azoto fogliare vanno in controtendenza. Tra gli arbusti il trattamento ordinario LG presenta concentrazioni fogliari di N totale sempre superiori alle piante presenti nel trattamento NN: nel *Cornus sanguinea*, *Ligustrum vulgare*, *Prunus spinosa* ed *Rhamnus cathartica* queste differenze sono anche statisticamente significative.

Tra gli alberi le differenze riscontrate tra i due trattamenti risultano essere significativamente diverse solo per 3 specie:

- Nel *Carpinus betulus* e nel *Fraxinus oxycarpa* si confermano le differenze positive a carico del trattamento LG;
- Nel *Populus nigra* invece si ha un comportamento anomalo con una concentrazione fogliare superiore nel trattamento intensivo NN.

A parte l'eccezione del Pioppo nero emerge una migliore disponibilità di azoto per le piante legnose nel trattamento ordinario LG, che però, come abbiamo già sottolineato in precedenza, presenta valori edafici di N totale nel suolo inferiori rispetto ad NN.

Infine il parametro legato alla variazione dell'isotopo 15 dell'N presenta un andamento diverso tra alberi ed arbusti: negli arbusti il valore del $\delta^{15}\text{N}$ è mediamente inferiore rispetto a quanto riscontrato negli alberi. Nelle foglie degli arbusti si ritrovano sempre valori di $\delta^{15}\text{N}$ negativi in tutti i trattamenti. Tra le specie le differenze tra questi valori negativi diventano statisticamente significative nel *Ligustrum vulgare*, nel *Prunus spinosa* e nel *Rhamnus cathartica*. Negli alberi si ritrova un comportamento simile per molte specie con l'eccezione dei pioppi e dei salici. In questo gruppo innanzitutto troviamo valori di $\delta^{15}\text{N}$ più elevati in tutti i trattamenti, valori che divengono positivi nel trattamento NN.

Quindi nel *Populus alba*, nel *Populus nigra* e nel *Salix appennina* si evidenzia un comportamento, rispetto all'azoto nel suolo, completamente diverso rispetto a tutte le altre specie confrontate.

Ma come giustificare il diverso comportamento dell' azoto nel suolo e nelle foglie delle specie legnose?

I trattamenti di impianto intensivi, abbiamo visto, sono in grado di aumentare significativamente la concentrazione totale di azoto nel suolo e di variarne la traccia isotopica aumentandola. Queste variazioni non sono però registrate dalle foglie fatta eccezione del pioppo e nel salice. Anzi le piante legnose sembrano comportarsi in modo speculare rispetto ai caratteri chimico fisici del suolo. Una spiegazione plausibile può essere fornita dalla presenza della copertura erbacea evolutasi dopo le semine iniziali.

Nel caso specifico la vegetazione erbacea presente è rappresentata anche da diverse Leguminose, ed in particolare dalla *Vicia villosa* che, anche a 10 anni dalla semina, periodicamente domina la componente erbacea nel periodo primaverile. Essendo una azoto fissatrice la *vicia* interviene certamente nella dinamica dell'azoto nel suolo arricchendo i primi orizzonti edafici e nel contempo favorisce la diminuzione della concentrazione dell' ^{15}N nel suolo in quanto fissa l'azoto gassoso atmosferico dove prevale l' ^{14}N . L'azoto fissato dalle leguminose viene poi utilizzato direttamente dalle piante legnose superiori, come indicato dalla concentrazione N% totale e dal $\delta^{15}\text{N}$ negativo ritrovato nelle foglie di quasi tutte le specie.

Questo comportamento apre un nuovo capitolo relativo alla biodisponibilità dell'azoto misurato nel suolo. Se è vero che un forte ammendamento ed una buona concimazione all'impianto possono favorire la creazione di uno stock di N nel suolo è anche vero che questo accumulo iniziale, pur intervenendo nelle diverse trasformazioni biochimiche nel suolo, non sembra avere degli effetti sulla crescita delle piante a 10 anni.

Probabilmente è anche la componente erbacea ad esercitare una azione perturbante come i dati fogliari lasciano supporre. Un apporto continuo, anche se limitato di azoto biologicamente fissato sembra permettere una crescita, a 10 anni, comparabile rispetto ad un

forte input iniziale. Osservazioni dirette, non supportate da misure, hanno mostrato una risposta quantitativa diversa delle piante nei due trattamenti a confronto: il forte input iniziale ha certamente favorito un rapido sviluppo delle piante arboree ed arbustive nei primi anni dopo l'impianto, anche in associazione di una limitata copertura vegetale erbacea. Viceversa le piante cresciute in condizioni più limitanti hanno risentito di più nei primi anni della competizione erbacea qui ben insediatasi, e, solo dopo alcuni anni hanno iniziato a crescere velocemente raggiungendo le dimensioni delle piante fortemente concimate.

Anche se la forte concimazione di impianto non incide, a 10 anni, in maniera sostanziale sullo sviluppo delle piante legnose, la sua azione è comunque molto importante in quanto indirizza in modo inequivocabile la composizione floristica di un impianto di specie miste, favorendo e selezionando anche le specie legnose.

5.3 L'esperimento due: Confronto tra 5 strategie di gestione dell'N all'impianto in alcuni interventi su suolo pedogenizzato di matrice sabbiosa – Prova Media.

5.3.1 Materiali e Metodi

L'attività di rimodellamento finale del fronte di cava ha dato origine ad una scarpata inclinata mediamente sui 20° che raccorda il fondovalle con la cresta di una collina argillosa che rappresenta il limite geografico del bacino di scavo della cava, figura 25.



Figura 25. Esperimento due: Prova Media.

Su questa scarpata di materiale argilloso in posto si è provveduto al riporto di un orizzonte di materiale pedogenizzato di matrice sabbiosa, preventivamente raccolto e conservato al momento della scoperta del giacimento di sabbie feldspatiche. In particolare, si è ricostruito un orizzonte di circa 50-100 cm di materiale pedogenizzato, utilizzando il

cosiddetto “cappellaccio” in termini minerari. Questo materiale, di tessitura prevalentemente sabbiosa, era stato precedentemente raccolto ed accumulato in fase di scoperta del giacimento e conservato all’incirca cinque anni, e rappresentava i primi orizzonti pedogenizzati di un vecchio castagneto a cui si sono mescolati i primi strati minerali di copertura (orizzonte C) parzialmente alterati e perciò impuri da un punto di vista chimico e tecnologico.

Parametri	Unità	Cappellaccio
pH		8.39
Calcare Totale	%	5.00
Calcare Attivo	%	2.80
Sostanza Org.	%	0.46
N	%°	0.34
P	ppm	2.00
K	ppm	101.00
Na	ppm	37.00
Ca	ppm	2280.00
Mg	ppm	342.00
CSC	meq/100g	16.61
C/N		7.85
Sabbia	%	58.00
Limo	%	26.00
Argilla	%	16.00

Tabella 40. Caratteristiche chimico fisiche del materiale riutilizzato nel recupero ambientale.

L’operazione di riporto è stata distribuita nel tempo in funzione delle esigenze minerarie ed ingegneristiche. Il recupero finale si è perciò realizzato in tempi diversi:

PRIMA FASE 1997

Durante l’estate si è provveduto al riporto del materiale pedogenizzato per circa la metà della superficie interessata per uno spessore di circa 1 m. Si sono create 3 diverse scarpate sovrapposte una all’altra separate da due gradoni di servizio. Queste tre grandi

superfici sono state interessate da interventi di miglioramento agronomico e da semine differenziate.

Zona bassa - Trattamento con Leguminose (LG - LGF)

Nella porzione basale del pendio su una superficie di 4000 m², si è provveduto all'interramento di 1350 kg di guanito, un ammendante generico ricco di fosforo (15%) ed azoto (6%), con la funzione di migliorare la struttura, i processi biologici del suolo, e per rilasciare azoto nel breve e medio periodo. Ad esso è stato associato Fosfato biammonico (16.47.0) nella dose di 250 Kg un concime chimico che fornisce nell'immediato fosforo e nel medio termine azoto.

Successivamente dopo aver preparato il terreno con lavorazioni superficiali mediante erpici a denti ed a maglie, si è provveduto alla semina a spaglio di un miscuglio di graminacee e leguminose costituito da:

	% Semente		% Semente
GRAMINACEE	73,76	LEGUMINOSE	26,24
<i>Alopecocurus pratensis</i>	28	<i>Vicia villosa</i>	7,8
<i>Lolium perenne</i>	7,8	<i>Trifolium pratense</i>	5,6
<i>Cynodon dactylon</i>	12,5	<i>Lotus corniculatus</i>	7,5
<i>Festuca ovina</i>	3,4	<i>Medicago sativa</i>	4,6
<i>Dactylis glomerata</i>	3,1	<i>Onobrichis viciaefoliae</i>	0,6
<i>Agropyron repens</i>	4		
<i>Poa pratensis</i>	14,6		

Per una dose a metro quadrato complessiva pari a 50 g.

Il miscuglio si caratterizza per la presenza dominante della *Vicia villosa* che presenta molti vantaggi operativi:

- Si adatta ad una semina autunnale;
- Ha un portamento strisciante e quindi si adatta molto bene ai miscugli senza soffocare le altre specie come invece fa la Sulla (*Hedisarum coronarium*), altra leguminosa comunemente usata nei recuperi ambientali.

Questo rappresenta il trattamento LG, che si caratterizza per un apporto all'impianto di circa 240 unità di Azoto di cui il 67% di origine biologico-organica.

In una porzione bassa della grande parcella negli anni successivi alla semina sono stati trapiantati alberi ed arbusti in un preciso disegno di impianto. Quest'area, già descritta nella Prova Bassa , è stata interessata in questo schema con la definizione LGF ed è stata utilizzata in alcuni confronti relativi al suolo.

Zona Intermedia- Trattamento con Azoto in Copertura (CN)

Nella porzione mediana del pendio su una superficie di 2600 m², si è provveduto all'interramento di 800 kg di pollina essiccata, un ammendante generico con la funzione di migliorare la struttura, i processi biologici del suolo, e per rilasciare azoto nel breve e medio periodo. Ad esso è stato associato Fosfato biammonico (16.47.0) nella dose di 125 Kg, un concime chimico che fornisce nell'immediato fosforo e nel medio termine azoto. Successivamente dopo aver preparato il terreno con lavorazioni superficiali mediante erpici a denti ed a maglie, si è provveduto alla semina a spaglio di un miscuglio di Graminacee costituito da:

	% Semi
GRAMINACEE	100,0
<i>Alopecocurus pratensis</i>	20,0
<i>Lolium perenne</i>	13,0
<i>Cynodon dactylon</i>	10,0

<i>Festuca ovina</i>	13,0
<i>Festuca arundinacea</i>	9,0
<i>Agropyron repens</i>	9,0
<i>Poa pratensis</i>	13,0
<i>Bromus inermis</i>	13,0

Per una dose a metro quadrato pari a 35 g.

Essendo la scarpata molto ripida si è voluto creare un cotico erbaceo permanente per stabilizzare i primi strati superficiali di matrice sabbiosa e difenderli dall'erosione dell'acqua meteorica.

Nei 4 anni successivi, durante la tarda primavera nella fase di massima attività biologica, si è poi provveduto alla distribuzione di un concime azotato in copertura rappresentato da Solfato Ammonico nella dose di 50 kg (21.0.0) per sostenere lo sviluppo di una buona copertura. Questa porzione di scarpata è stata definita CN con una dose totale di azoto all'impianto di circa 210 unità a cui si sono aggiunte 80 unità negli anni successivi con una percentuale di azoto di origine organico-biologica pari al 35%.

Zona Alta – Trattamento di Controllo (C)

Nella porzione alta del pendio, su una superficie di 2600 m², si è provveduto all'interramento di 800 kg di pollina essiccata, un ammendante generico con la funzione di migliorare la struttura, i processi biologici del suolo, e per rilasciare azoto nel breve e medio periodo. Ad esso è stato associato Fosfato biammonico (16.47.0) nella dose di 125 Kg un concime chimico che fornisce nell'immediato fosforo e nel medio termine azoto. Successivamente dopo aver preparato il terreno con lavorazioni superficiali mediante erpici a denti ed a maglie, si è provveduto alla semina a spaglio di un miscuglio di graminacee costituito da:

	% Semi
GRAMINACEE	100,0
<i>Alopecocurus pratensis</i>	20,0
<i>Lolium perenne</i>	13,0
<i>Cynodon dactylon</i>	10,0
<i>Festuca ovina</i>	13,0
<i>Festuca arundinacea</i>	9,0
<i>Agropyron repens</i>	9,0
<i>Poa pratensis</i>	13,0
<i>Bromus inermis</i>	13,0

Per una dose a metro quadrato pari a 35 g.

Essendo la scarpata molto ripida si è voluto creare un cotico erbaceo permanente per stabilizzare i primi strati superficiali di matrice sabbiosa, per difenderli dall'erosione dell'acqua meteorica. Questa porzione di scarpata è stata definita C e presenta una dose totale di azoto all'impianto di circa 210 unità di cui il 61% circa di origine organica.

SECONDA FASE 1998: Zona Laterale – Trattamento Intensivo (NN – NNF)

Nell'anno seguente (1998) si è intervenuti su un'area adiacente, separata da una affossatura dalla Zona Bassa. E' un'area sempre inclinata di circa 20° di estensione pari a 1500 m². Anche qui si è provveduto alla lavorazione del cappellaccio riportato in loco e all'interramento degli ammendanti agronomici. In particolare sono stati distribuiti 1500 kg di pollina essiccata, associati a 250 kg di Fosfato biammonico (16.47.0) ed a 150 chili di Urea granulare (46.0.0). La scelta è ricaduta sulla pollina per l'elevato tenore in azoto e per la tendenza ad una veloce mineralizzazione. Dopo l'affinamento e la ripulitura del letto di semina si è provveduto alla semina di un miscuglio di erbacee costituito da:

	% Semente		% Semente
GRAMINACEE	71,0	LEGUMINOSE	29,0

<i>Lolium diploide</i>	5,0	<i>Vicia sativa</i>	2,0
<i>Poa pratensis</i>	50,0	<i>Onobrychis viciaefoliae</i>	7,0
<i>Festuca rubra</i>	8,0	<i>Medicago sativa</i>	6,0
<i>Festuca arundinacea</i>	8,0	<i>Trifolium pratense</i>	6,0
		<i>Lotus corniculatus</i>	8,0

per una dose a metro quadrato pari a 80 g.

Contemporaneamente si è provveduto alla semina di essenze forestali legnose per cercare di favorirne una rapida evoluzione verso una copertura forestale. In particolare sono stati distribuiti a spaglio :

ALBERI	%	g	ARBUSTI	%	g
<i>Alnus glutinosa</i>	75,0	100,0	<i>Prunus spinosa</i>		100,0
<i>Fraxinus excelsior</i>	2,0	250,0	<i>Hippophae rhamnoides</i>		100,0
<i>Fraxinus ornus</i>	8,0	250,0	<i>Ligustrum vulgare</i>		100,0
<i>Ostrya carpinifolia</i>	15,0	100,0	<i>Coronilla emerus</i>		100,0
			<i>Colutea arborescens</i>		100,0

In particolare le sementi arboree sono state distribuite in fasce: Ontano nella fascia bassa, Frassino maggiore in quella intermedia e Frassino ornello in quello alto. Per gli arbusti invece si è provveduto ad una semina uniforme su tutta la pendice. L'area è stata definita come NN e presenta una concimazione all'impianto pari a 700 unità di azoto di cui il 36% di origine biologica.

In una porzione inferiore della parcella, nell'anno dopo le semine si è provveduto ad un rimboschimento di specie arboree ed arbustive secondo uno schema ben definito. Questo schema coincide con quanto messo a dimora nella confinata parcella LFG ed entrambe sono state analizzate in dettaglio nella Prova Bassa, già descritta. Quest'area rimboschita sul

trattamento NN è stata qui utilizzata solo per confrontare i parametri chimici del suolo ed è stata contrassegnata con la sigla NNF.

TERZA FASE: 2001 - Zona Esterna – Trattamento Intensivo Organico (NS)

Nel 2001 si è intervenuti su di un' altra area adiacente, posta più a Sud della Zona Laterale. E' un'area a forma triangolare sempre inclinata di circa 20° di estensione pari a 3500 m². Anche qui si è provveduto alla lavorazione del cappellaccio riportato in loco e ed all'interramento degli ammendanti agronomici. In particolare sono stati interrati 52000 kg di letame maturo, associati a 150 kg di Fosfato biammonico (16.47.0) ed a 50 chili di Urea granulare (46.0.0). Dopo l'affinamento e la ripulitura del letto di semina si è provveduto alla semina di un miscuglio di erbacee costituito da:

	% Semente		% Semente
GRAMINACEE	85,0	LEGUMINOSE	15,0
<i>Lolium diploide</i>	24,0	<i>Vicia villosa</i>	8,0
<i>Alopecurus pratensis</i>	7,0	<i>Pulizia Medicago</i>	7,0
<i>Festuca rubra</i>	18,0		
<i>Festuca arundinacea</i>	13,0		
<i>Dactylis glomerata</i>	23,0		

per una dose a metro quadrato pari a 48 g.

L'area è stata definita come NS e presenta una concimazione all'impianto pari a 900 unità di azoto di cui l'85% di natura organica naturale.

5.3.2 Raccolta dati

Il piano sperimentale predisposto ha previsto la caratterizzazione dello strato pedogenizzato e della vegetazione arboreo arbustiva presente.

Suolo

Per il suolo si è voluto osservare il comportamento, durante la stagione vegetativa, della componente azotata: in tutti e 5 i trattamenti a confronto (C,CN,LG,NN,NS) e nelle due aree rimboschite (LGF,NNF) per ogni anno della ricerca (2010-2011) si sono raccolti campioni di suolo in epoche diverse, concentrate principalmente nella fase primaverile estiva.

In particolare sono stati predisposti dei campionamenti al suolo individuando per ogni data 3 sotto aree campione casuali in ognuno dei 5+2 trattamenti. In queste aree, durante la stagione vegetativa, sono stati raccolti dei campioni a 0-25 cm di profondità, utilizzando una trivella a percussione di 5 cm di diametro. Questi campioni sono stati poi preparati per analizzare i parametri fondamentali dell'attività biochimica azotata nel suolo rappresentati:

- dalla concentrazione di $N-NO_3$ e $N-NH_4$, al fine di caratterizzare i processi dinamici in atto nei substrati;

- dall' N % totale, per definire lo stock globale di azoto presente nel substrato;

- dal $\delta^{15}N$, al fine di determinare l'accumulo dell'isotopo N^{15} , isotopo pesante che risulta essere correlato a processi di dilavamento o riutilizzo dell'azoto distribuito al momento dell'impianto.

Analisi dei suoli

Per caratterizzare, poi, in modo completo il substrato in osservazione nell'ottobre 2010 si è operato un campionamento del suolo per ogni trattamento a confronto. In particolare si sono prelevati 3 sottocampioni ad una profondità di 0-25 cm, che sono poi stati riuniti in un unico campione complessivo. Su questo campione sono state analizzate le caratteristiche fisiche e chimiche tipiche di un suolo: tessitura (col Metodo Pipetta/Bouyoucos), pH (col metodo potenziometrico), calcare totale (col Metodo De Astis), sostanza organica (col Metodo Walkley-Black), azoto totale (col Metodo Kjeldahl), fosforo assimilabile (col Metodo Olsen),

potassio-sodio_calcio_magnesio (con il Metodo Bario cloruro/Ammonio acetato), usufruendo dei servizi del Laboratorio Analisi del dott. Cicognani di Forlì.

Vegetazione

- Analisi biometrica

Per la componente vegetale erbacea per ognuno dei 5 trattamenti a confronto si sono selezionate casualmente 3 aree campione di 40 x 40 cm in ogni anno dello studio. Su queste aree campione nel periodo di massima produttività biologica (fine giugno) si è provveduto allo sfalcio ed alla raccolta di tutta la biomassa vegetale erbacea epigea presente.

La biomassa è stata poi essiccata in stufa a 65°C fino a raggiungere il peso costante. I dati sono stati informatizzati e poi elaborati statisticamente.

- Analisi floristica

Sempre sulla copertura erbacea, si è operata anche una analisi fitosociologia secondo i metodi e la scala di Braun Blanquet , per verificarne la composizione specifica e l'abbondanza delle specie presenti. Questa analisi specialistica è stata eseguita a fine giugno del 2010 dal dott. Maurizio Sirotti esperto geobotanico che lavora in tutta l'Emilia Romagna.

Analisi dei dati

Suolo

- Analisi Univariate

Innanzitutto si è operata una Analisi univariata della Varianza (ANOVA) analizzando tutti i singoli parametri misurati. Lo schema sperimentale adottato è riconducibile ad un Modello Fattoriale Misto a 4 fattori:

Anno, Data, Trattamento, Repliche.

In particolare l'Anno e le Repliche sono stati considerati come effetti Random, mentre i restanti sono stati valutati come fattori Fissi. Il modello lineare complessivo si è perciò così strutturato:

$$Y = \mu + \text{Anno} + \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Trat} + \text{Trat} * \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Repl}(\text{Trat} * \text{Data}(\text{Anno}))$$

Per i fattori significativi si è poi ricorso ad una separazione delle medie utilizzando un test “Tukey type” messo a disposizione dal programma statistico SAS 9.0.

- Analisi Multivariate

Successivamente si sono operate delle Analisi Multivariate, utilizzando più Variabili contemporaneamente. Per queste Analisi Multivariate sui dati quantitativi del suolo si sono utilizzate due diverse tecniche:

- Analisi Discriminante Canonica

Utilizzando i risultati dei singoli rilievi realizzati nelle date nei 3 anni; si analizza quindi sia la variabilità tra i Trattamenti che quella entro i Trattamenti;

-Analisi delle Componenti Principali: qui si sono utilizzati gli indici di posizione centrale (media) e dispersione unitaria (CV) per ogni Trattamento*Anno dei rilievi al suolo ottenuti nel periodo di massimo rigoglio vegetativo di ogni anno (mesi di maggio-giugno) a cui si è associato il parametro della Biomassa.

Per l'elaborazione si è ricorso alla procedura Mixed del programma statistico di SAS 9.0 nell'analisi univariata e il programma CSS/Statistica 3.0 per le analisi multivariate.

Vegetazione

- Analisi Univariate

Per l'analisi statistica dello sviluppo della vegetazione (Biomassa) si è adottato un Modello a 3 Fattori: Anno, Trattamento, Replica, adottando un Modello Fattoriale Misto corrispondente a :

$$Y = \mu + \text{Anno} + \text{Trattamento} + \text{Anno} * \text{Trattamento} + \text{Repliche}(\text{Anno} * \text{Trattamento}).$$

Per l'elaborazione si è ricorso alla procedura Mixed del programma statistico SAS 9.0.

- Analisi floristiche Multivariate

Durante il periodo di massima produttività biologica (fine giugno) del 2010 si è operata una analisi floristica quantitativa della copertura erbacea affermatasi nel decennio dall'impianto. In particolare utilizzando le capacità del dott. Maurizio Sirotti (esperto geobotanico) si è provveduto ad una analisi geobotanica secondo gli schemi e la scala di Braun-Blanquet, identificando e quantificando l'abbondanza di tutte le specie erbacee rilevate.

I dati raccolti sono stati poi informatizzati, trasformati secondo la scala ordinale di Van der Maarel (tra 1 e 9) e poi elaborati con due diverse tecniche di analisi multivariate:

- una Analisi delle Componenti Principali (PCA): partendo da una matrice Trattamenti x Specie, per evidenziare eventuali gradienti ed ordinare sia le Specie che i Trattamenti;
- una Redundancy Analysis (RDA), associando la composizione floristica quantitativa

(attraverso la matrice Specie*Trattamenti) ed i parametri chimico fisici del substrato (attraverso la matrice Parametri*Trattamenti), utilizzando il programma statistico CANOCO 4.5. Sugli “scores” ottenuti dalla RDA si sono poi operate due Analisi dei Cluster (con CSS/Statistica):

1) utilizzando i dati tal quali;

2) pesando i dati in funzione del valore dell’Autovalore del relativo gradiente.

I dendrogrammi ottenuti hanno permesso di caratterizzare meglio la complessa risposta della vegetazione, suddividendola in 6 sottogruppi di specie con comportamenti omogenei.

5.3.2 Risultati

Suolo

- Analisi Univariante
 - a) Azoto nitrico (N-NO₃)

ANOVA (Model III)

TRT N-NO ₃	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	0,0001	**
Trt* Date(Anno)	< 0,0001	**

Tabella 41. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

L’Analisi della Varianza del parametro N-NO₃ evidenzia una forte interazione tra Trattamenti*Date(Anno). Chiare sono le differenze tra le annate (Fig. 26) molto più sfumate appaiono le differenze tra i Trattamenti che tendono a caratterizzarsi reciprocamente in modo articolato nelle diverse date rilevate. Solo in alcune date del 2011 si possono riscontrare delle

differenze sostanziali tra i trattamenti intensivi (NN, NS,NFS) ed i trattamenti ordinari (C,CN,LG,LGF).

Trattamenti	2010	2011	Totale
C	1.22	5.46	2.87
	0.35	0.94	0.60
LGF	1.24	5.02	2.65
	0.18	0.19	0.32
LG	1.89	5.00	3.06
	0.46	0.87	0.53
NNF	1.41	6.81	3.43
	0.24	0.33	0.46
CN	1.37	5.86	3.05
	0.25	0.76	0.55
NN	1.99	7.19	3.84
	0.49	0.68	0.60
NS	1.07	6.36	2.91
	0.31	0.35	0.58
Totale	1.46	5.99	3.13
	0.13	0.23	0.19

Tabella 42. Medie dei Trattamenti nei diversi anni.

N-NO ₃	05/04/2010	03/05/2010	08/06/2010	20/08/2010	17/09/2010	11/11/2010			
C	1.10	0.66	b	0.01	1.22	ab	3.22	ab	1.10
	0.39	0.15		0.67	0.31		0.54		0.99
LGF	1.60	1.30	a	0.04	0.37	bc	1.78	b	1.45
	0.30	0.11		0.52	0.24		0.42		0.77
LG	1.19	0.90	ab	1.66	1.68	a	4.46	a	1.25
	0.39	0.15		0.67	0.31		0.54		0.99
NNF	1.69	1.34	a	0.00	0.00	c	1.76	b	2.43
	0.30	0.11		0.52	0.24		0.42		0.77
CN	1.19	0.82	ab	0.21	1.51	a	2.59	ab	2.06
	0.39	0.15		0.67	0.31		0.54		0.99
NN	2.49	1.31	a	0.00	1.37	ab	2.69	ab	4.07
	0.34	0.12		0.58	0.27		0.47		0.86
NS	1.47	1.11	ab	0.00	0.06	c	1.66	b	1.89
	0.39	0.15		0.67	0.31		0.54		0.99
Sign.	NS	**		NS	**		**		NS

Tabella 43. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Date(Anno), (continua).

Trt	26/04/2011		17/05/2011		23/06/2011	
C	3.22	de	8.97	a	4.72	c
	0.49		0.94		0.55	
LGF	4.32	bcd	5.57	b	5.16	c
	0.38		0.73		0.43	
LG	2.14	e	7.38	ab	5.49	c
	0.49		0.94		0.55	
NNF	6.44	a	7.66	ab	6.33	bc
	0.38		0.73		0.43	
CN	3.82	cd	8.51	a	5.24	bc
	0.49		0.94		0.55	
NN	5.13	abc	7.93	ab	8.2	a
	0.43		0.81		0.48	
NS	5.74	ab	5.28	b	7.51	ab
	0.49		0.94		0.55	
Sign.	**		*		**	

Tabella 44. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Date(Anno).

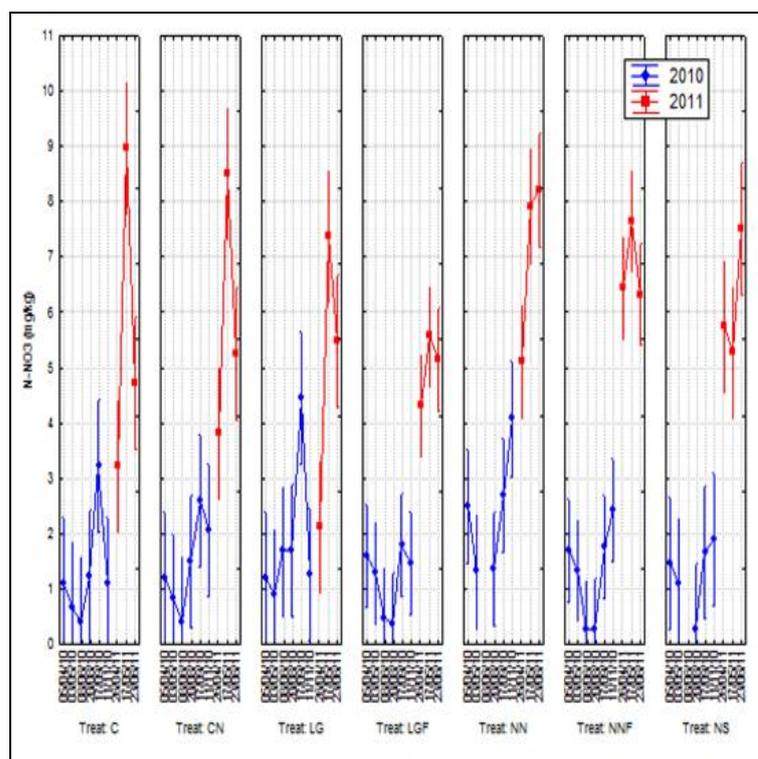


Figura 26. Andamento dell’N-NO₃ nel tempo:interazione Trattamenti*Date(Anno)

b) Azoto Ammoniacale (N-NH₄)

ANOVA (Model III)

TRT N-NH ₄	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	<0,0001	**
Trt* Date(Anno)	< 0,0001	**

Tabella 45. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

Anche per la componente ammoniacale dell'azoto nel suolo l'Analisi della Varianza sottolinea una forte interazione tra Trattamenti*Date(Anno). Dall'analisi dei dati (Tab. 45) e dei grafici (Fig. 27) si evidenziano poche differenze sostanziali sia tra gli Anni che tra i Trattamenti a confronto. Analizzando i dati medi per singola data si evidenziano differenze statistiche solo in poche date di rilievo e comunque sempre senza andamenti omogenei nel tempo: ad ogni rilievo significativo i trattamenti si posizionano tra loro in modo sempre diversificato.

N-NH ₄	2010	2011	Totale
C	5.68	6.48	5.98
	0.91	0.77	0.63
LGF	4.73	5.27	4.93
	0.42	0.51	0.33
LG	6.41	7.02	6.64
	0.88	0.56	0.58
NNF	4.13	7.42	5.36
	0.54	0.70	0.50
CN	5.74	6.58	6.05
	0.86	0.75	0.60
NN	4.27	5.99	4.88
	0.72	0.62	0.53
NS	3.69	4.39	3.93
	0.62	0.41	0.43
Totale	4.84	6.21	5.35
	0.26	0.26	0.20

Tabella 46. Medie dei Trattamenti (media + esm) nei diversi anni.

Trt	05/04/2010	03/05/2010	08/06/2010	17/09/2010	11/11/2010
C	7.59	8.07	4.39	1.25	b 7.11

	1.06	1.69	0.73	0.52		1.70
LGF	6.43	5.93	3.60	2.58	bc	5.08
	0.82	1.31	0.56	0.40		1.32
LG	5.92	11.32	4.64	4.49	a	5.65
	1.06	1.69	0.73	0.52		1.70
NNF	5.97	6.22	4.09	0.65	c	3.69
	0.82	1.31	0.56	0.4		1.32
CN	6.37	8.46	4.01	2.12	bc	7.72
	1.06	1.69	0.73	0.52		1.70
NN	7.98	5.52	5.36	0.68	c	1.79
	0.92	1.47	0.63	0.45		1.48
NS	5.64	4.99	3.94	0.74	c	3.12
	1.06	1.69	0.73	0.52		1.70
Sign.	NS	NS	NS	**		NS

Tabella 47. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Date(Anno) (continua).

Trt	26/04/2011	17/05/2011	23/06/2011	
C	7.15	4.46	7.84	a
	1.62	0.97	0.87	
LGF	6.78	4.72	4.32	b
	1.26	0.75	0.67	
LG	7.59	6.02	7.44	ab
	1.62	0.97	0.87	
NNF	7.92	7.45	6.87	ab
	1.26	0.75	0.67	
CN	7.94	5.27	6.52	ab
	1.62	0.97	0.87	
NN	6.88	4.05	6.59	ab
	1.41	0.84	0.75	
NS	3.85	4.71	5.24	ab
	1.62	0.97	0.87	
Sign.	NS	NS	**	

Tabella 48. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Date(Anno).

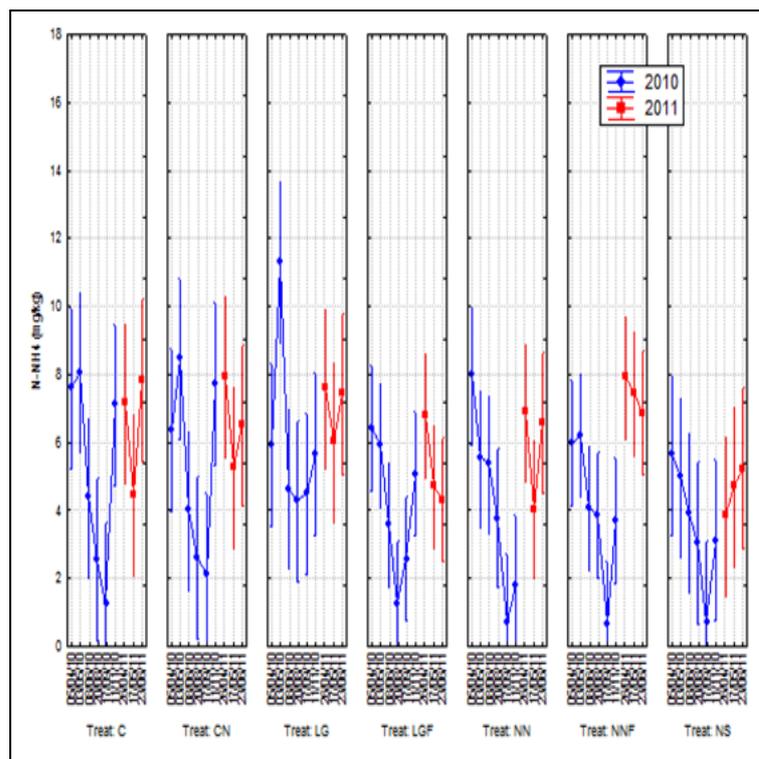


Figura 27. Andamento dell’N-NH₄ nel tempo: interazione Trattamenti*Date(Anno).

c) Azoto totale - N(%)

ANOVA (Model III)

TRT N%	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	0,0018	**
Trt	<0,0001	**
Trt* Date(Anno)	0.1091	NS

Tabella 49. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

Dai risultati dell’ANOVA relativa all’N% totale emerge innanzitutto l’assenza di una interazione Trattamenti*Date(Anno). Questo ci permette di operare direttamente sulle medie marginali dei Trattamenti. Dalla loro osservazione (Tab. 51;52 e Fig.29) si evidenzia una netta differenziazione tra i trattamenti intensivi (NN,NS,NNF) ed i trattamenti ordinari (C,LG,LGF e CN). In particolare tra gli intensivi emerge l’NN, con lo 0.092%, mentre tra i trattamenti ordinari emergono CN ed LG, rispettivamente con 0.073 e 0.071%.

N %	2010	2011	Totale	Significatività
C	0.059	0.063	0.060	d
	0.002	0.003	0.002	
LGF	0.065	0.068	0.066	cd
	0.004	0.005	0.003	
LG	0.069	0.074	0.071	bcd
	0.004	0.005	0.003	
NNF	0.077	0.089	0.082	b
	0.004	0.005	0.003	
CN	0.071	0.075	0.072	bcd
	0.006	0.009	0.005	
NN	0.095	0.090	0.093	a
	0.005	0.006	0.004	
NS	0.076	0.075	0.075	bc
	0.005	0.008	0.004	
Totale	0.074	0.077	0.075	**
	0.002	0.002	0.001	

Tabella 50. Medie dei trattamenti (media+esm) con separazione delle medie.

Trt	05/04/2010		03/05/2010		08/06/2010		20/08/2010	17/09/2010	11/11/2010	
C	0.063	c	0.055	c	0.052	b	0.061	0.061	0.062	b
	0.011		0.009		0.008		0.010	0.008	0.011	
LGF	0.058	c	0.061	c	0.030	ab	0.056	0.047	0.077	ab
	0.088		0.007		0.007		0.008	0.006	0.009	
LG	0.078	b	0.072	ab	0.054	b	0.062	0.071	0.067	b
	0.011		0.009		0.008		0.010	0.008	0.011	
NNF	0.068	b	0.081	ab	0.067	ab	0.069	0.064	0.104	a
	0.088		0.007		0.007		0.008	0.006	0.009	
CN	0.079	b	0.096	a	0.054	b	0.068	0.055	0.071	ab
	0.011		0.009		0.008		0.010	0.008	0.011	
NN	0.107	a	0.101	a	0.088	ab	0.085	0.078	0.101	a
	0.010		0.008		0.007		0.009	0.007	0.010	
NS	0.068	b	0.099	a	0.079	ab	0.088	0.059	0.072	ab
	0.011		0.009		0.008		0.010	0.008	0.011	
Sign.	NS		**		**		NS	NS	*	

Tabella 51. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Date(Anno) (continua).

Trt	26/04/2011		17/05/2011		23/06/2011	
C	0.058		0.064	b	0.064	b
	0.014		0.009		0.008	
LGF	0.079		0.066	b	0.060	b
	0.011		0.007		0.006	

LG	0.068	0.073	ab	0.079	ab
	0.014	0.009		0.008	
NNF	0.095	0.092	ab	0.081	a
	0.011	0.007		0.006	
CN	0.072	0.080	ab	0.073	ab
	0.014	0.009		0.008	
NN	0.079	0.104	a	0.090	a
	0.012	0.009		0.007	
NS	0.073	0.102	a	0.058	b
	0.014	0.011		0.008	
Sign.	NS	*		*	

Tabella 52. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Date(Anno).

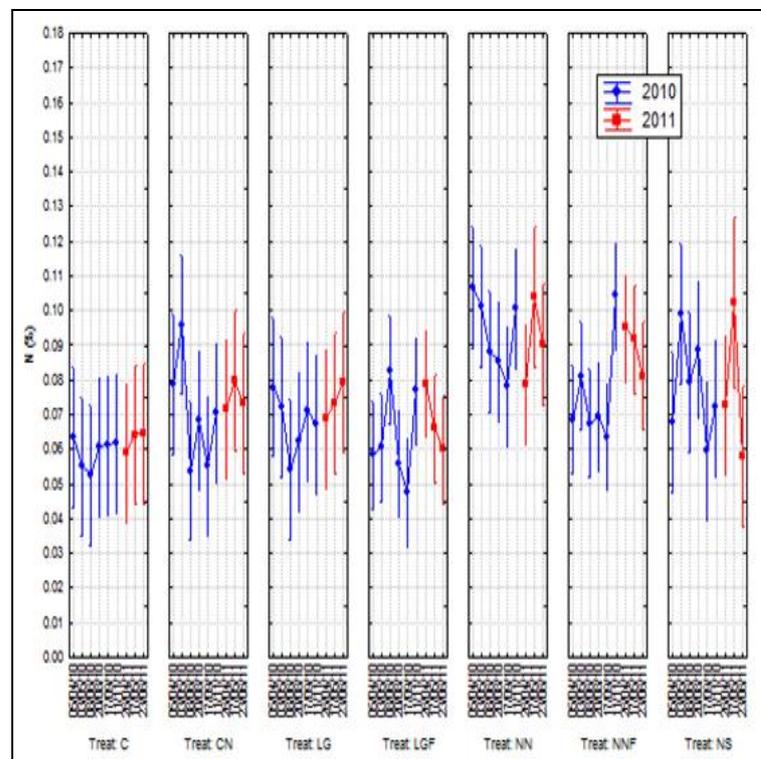


Figura 28. Andamento del N % nel tempo.

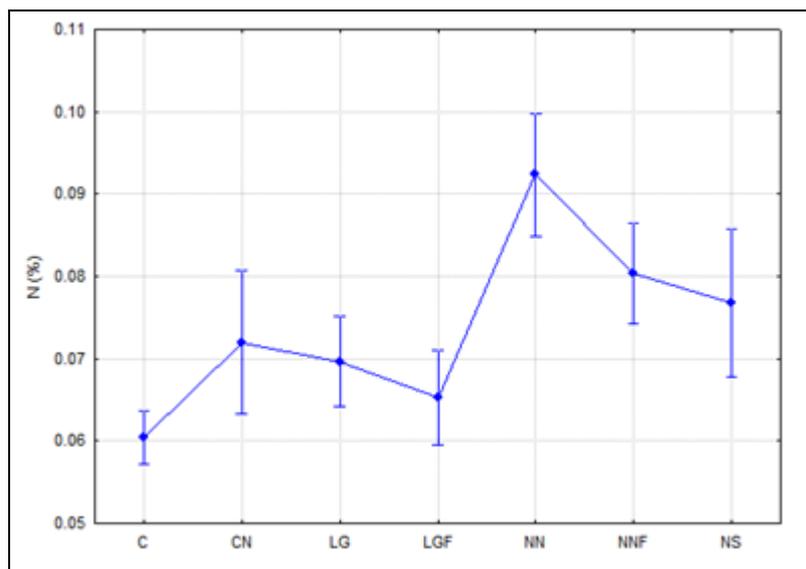


Figura 29. Andamento del N % nei diversi trattamenti.

d) $\delta^{15}\text{N}$

ANOVA (Model III)

TRT $\delta^{15}\text{N}$	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	<0,0001	**
Trt	<0,0001	**
Trt* Date(Anno)	<0,0001	**

Tabella 53. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

Dai risultati dell'ANOVA emerge innanzitutto una forte interazione Trattamenti*Date(Anno). Dalla osservazione delle medie, separate nelle diverse date, (Tab. 55; 56) si può notare come i trattamenti più intensivi (NN,NS,NNF e CN) presentano sempre valori del $\delta^{15}\text{N}$ superiori e statisticamente diversi rispetto ai trattamenti ordinari (C,LG,LGF) pur con andamenti variabili tra una data e l'altra.

$\delta^{15}\text{N}$	2010	2011	Totale
C	3.51	2.63	3.18
	0.40	0.55	0.33
LGF	4.35	3.01	3.84
	0.44	0.43	0.33
LG	3.85	1.43	2.94
	0.70	0.31	0.51
NNF	5.60	4.23	5.08
	0.44	0.27	0.31
CN	4.28	2.60	3.65
	0.39	0.37	0.32
NN	5.31	3.81	4.77
	0.32	0.48	0.29
NS	5.66	4.29	5.18
	0.47	0.18	0.34
Totale	4.72	3.22	4.17
	0.18	0.18	0.14

Tabella 54. Medie dei Trattamenti (media + esm) nei diversi anni

Trt	05/04/2010	03/05/2010	08/06/2010	20/08/2010	17/09/2010	11/11/2010				
C	4.40	2.05	bc	5.06	3.32	ab	3.45	cd	2.61	c
	0.98	0.39		1.19	0.47		0.42		0.43	
LGF	6.18	3.28	ab	6.51	3.71	ab	2.98	cd	2.78	c
	0.76	0.31		0.93	0.37		0.32		0.33	
LG	5.99	1.81	c	7.28	2.66	b	2.06	d	2.09	c
	0.98	0.39		1.19	0.47		0.42		0.43	
NNF	8.44	4.48	a	6.44	5.12	a	4.24	c	4.39	ab
	0.76	0.31		0.93	0.37		0.32		0.33	
CN	6.20	3.13	abc	5.38	4.04	ab	3.41	cd	3.27	bc
	0.98	0.39		1.19	0.47		0.42		0.43	
NN	6.42	4.63	a	4.41	4.29	ab	6.57	b	4.49	ab
	0.85	0.34		1.04	0.41		0.36		0.37	
NS	5.94	3.87	a	4.77	5.04	a	8.69	a	5.02	a
	0.98	0.39		1.19	0.47		0.42		0.43	
Sign.	NS	**		NS	**		**		**	

Tabella 55. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Data(Anno) (continua).

Trt	26/04/2011	17/05/2011	23/06/2011		
C	3.19	1.30	c	3.39	ab
	0.93	0.50		0.46	
LGF	4.71	2.13	bc	2.18	bc
	0.72	0.39		0.35	
LG	2.31	0.71	c	1.26	c
	0.93	0.50		0.46	
NNF	4.99	4.33	a	3.36	ab
	0.72	0.39		0.35	
CN	3.22	1.59	c	2.97	ab
	0.92	0.50		0.46	
NN	4.00	3.86	ab	3.56	ab
	0.80	0.50		0.39	
NS	4.69	3.80	ab	4.21	a
	0.93	0.62		0.46	
Sign.	NS	**		**	

Tabella 56. Medie delle interazioni Trattamenti*Date(Anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Data(Anno).

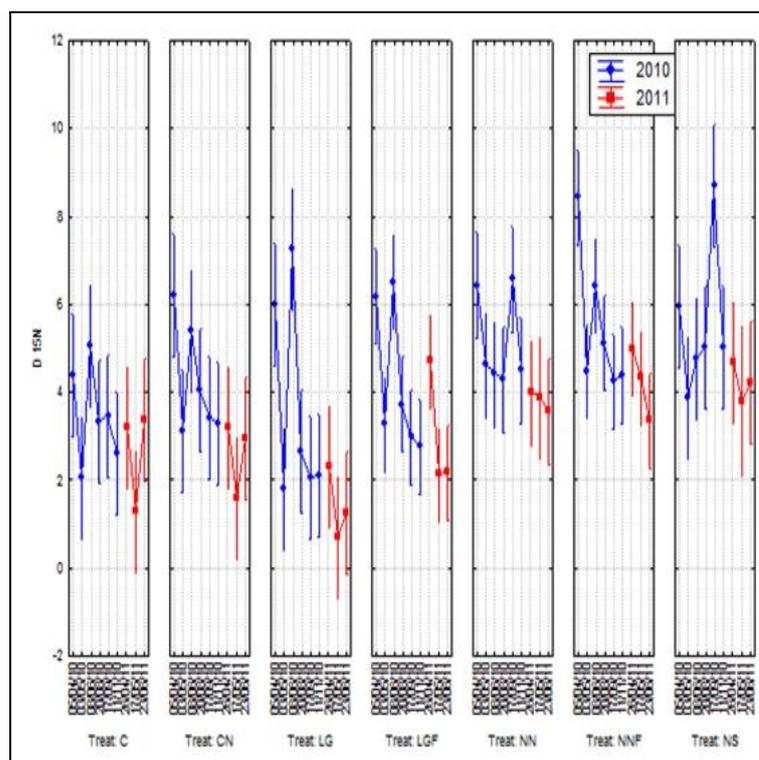


Figura 30. Andamento del $\delta^{15}\text{N}$ nel tempo: interazione Trattamento*Data(Anno)

- Analisi Multivariata

I. Analisi Discriminante Canonica dell'Azoto nel suolo

Partendo dai dati analitici dell'N del suolo nelle diverse date è stata operata una Analisi Discriminante Canonica tra i diversi trattamenti a confronto. L'analisi evidenzia la presenza di due gradienti significativi che intercettano rispettivamente l'82.4% e il 15.6% dell'informazione globale. In particolare la prima Radice presenta una buona correlazione negativa con i parametri N% e $\delta^{15}\text{N}$, mentre la seconda risulta essere correlata positivamente con la componente ammoniacale (N-NH₄).

Radici	Autoval.	R Canon	Lambda	X ²	P(X ²)
0	0.612	0.616	0.548	135.55	<0.000
1	0.116	0.322	0.883	27.93	0.022
2	0.013	0.114	0.986	3.253	0.917

Tabella 57. Test del X² per le Radici successive rimosse.

Variabile	Radice1	Radice2	Radice3
N-NO ₃	-0.111	0.067	-0.115
N-NH ₄	0.001	0.127	-0.098
N(%)	-42.487	14.760	28.838
$\delta^{15}\text{N}$	-0.465	-0.192	-0.342
Costante	5.403	-1.319	0.254
Autovalore	0.612	0.116	0.013
% Cum.	0.824	0.980	0.998

Tabella 58. Coefficienti grezzi delle variabili canoniche.

Variabile	Radice1	Radice2	Radice3
N-NO ₃	-0.119	0.275	0.954
N-NH ₄	0.023	0.813	-0.306
N(%)	-0.640	0.456	-0.088
$\delta^{15}\text{N}$	-0.531	-0.533	-0.261

Tabella 59. Correlazione tra Variabili e Radici canoniche.

Dalla rappresentazione dei singoli rilievi nel piano delle prime due Radici emerge una distribuzione molto sfumata ma che evidenzia una gerarchia tra i trattamenti a confronto:

- I trattamenti più intensivi si ritrovano prevalentemente nella porzione sinistra del primo gradiente, mentre all'opposto i trattamenti ordinari si posizionano nella porzione destra del gradiente dove i parametri N% e $\delta^{15}\text{N}$ assumono valori più contenuti;
- Lungo il secondo gradiente invece non si evidenziano separazioni tra trattamenti ma solo separazioni di singoli rilievi che presentano valori elevati di N-NH₄. Da sottolineare come i valori più estremi appartengano tutti al trattamento NN.

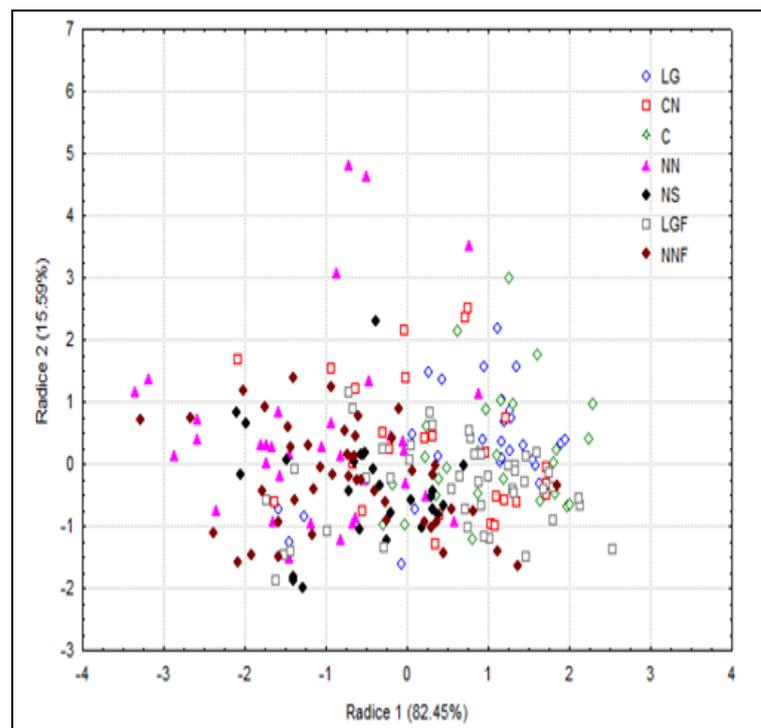


Figura 31. Distribuzione delle prime due Radici dell'An. Discrim. Canonica in funzione dei trattamenti.

II. Analisi Discriminante Canonica dell'Azoto nel suolo estiva

Per caratterizzare meglio i diversi trattamenti e ricercare relazioni tra parametri del suolo e biomassa prodotta si è operata una Analisi Discriminante Canonica solo dei rilievi di primavera e di inizio estate a cui si è associata anche l'informazione relativa alla Biomassa, rilevata nello stesso periodo.

Questo ha limitato a 5 il numero di Trattamenti a confronto.

Anche in questa analisi si evidenziano due Radici significative che spiegano rispettivamente l'83.8% ed il 14.5% dell'informazione totale. Il primo gradiente risulta essere correlato negativamente con l'N-NO₃ (-0.83), mentre il secondo gradiente invece presenta una correlazione egativa, anche se più debole, con l'N% (-0.55) e con il $\delta^{15}\text{N}$ (-0.53).

Radici	Autoval.	R Canon	Lambda	X ²	P(X ²)
0	25.357	0.981	0.004	120.529	<0.000
1	4.079	0.896	0.097	50.183	0.021
2	0.428	0.547	0.492	15.243	0.811

Tabella 60. Test del X² per le Radici successive rimosse.

Variabile	Radice1	Radice2	Radice3
Biomassa	0.005	-0.011	-0.033
N-NO ₃	-0.804	-0.059	-0.011
N-NH ₄	0.159	0.134	-0.102
N(%)	3.379	-32.343	-16.651
$\delta^{15}\text{N}$	0.033	-0.725	0.334
Costante	2.597	7.405	5.211
Autovalore	25.357	4.079	0.428
% Cum.	0.838	0.973	0.987

Tabella 61. Coefficienti grezzi delle variabili canoniche.

Variabile	Radice1	Radice2	Radice3
Biomassa	0.009	-0.038	-0.609
N-NO ₃	-0.829	0.038	-0.352
N-NH ₄	0.117	0.198	-0.511
N(%)	0.024	-0.546	-0.552
$\delta^{15}\text{N}$	0.129	-0.528	0.512

Tabella 62. Correlazione tra Variabili e Radici canoniche.

Dalla rappresentazione grafica dei singoli rilievi sulle Radici significative si evidenzia una chiara separazione dei rilievi in funzione degli anni. Il primo gradiente sembra essere correlato con l'annata, mentre lungo il secondo gradiente, in modo nidificato per ogni annata, si evidenzia una separazione dei rilievi in funzione dei Trattamenti.

Infatti, partendo dal basso verso l'alto, si ritrovano i rilievi relativi ai trattamenti più intensivi (NN,NS) a cui poi seguono i trattamenti intermedi (CN) per poi sfociare nei trattamenti ordinari come LG e C. Da sottolineare come il parametro Biomassa esercita una influenza molto limitata su questi due gradienti principali.

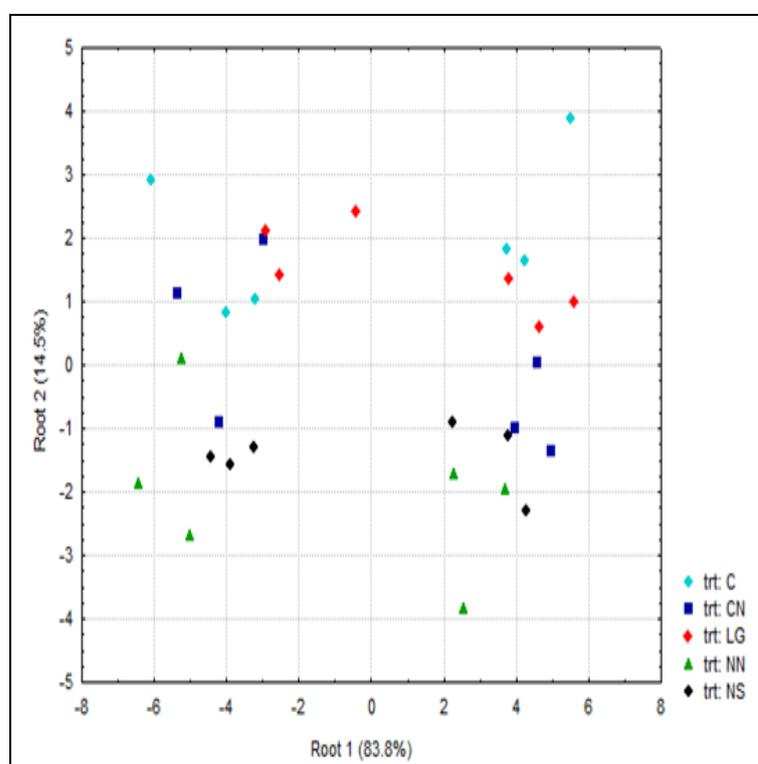


Figura 32. Distribuzione delle prime due Radici dell'An. Discr. Canonica in funzione dei trattamenti.

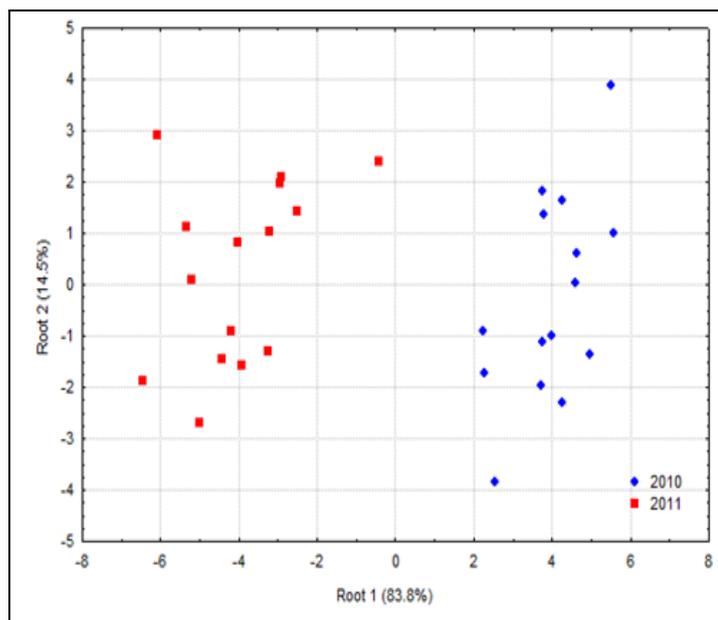


Figura 33. Distribuzione delle prime due Radici dell'An. Discr. Canonica in funzione degli anni.

III. Analisi delle Componenti Principali dell'Azoto nel Suolo

Dall'analisi delle Componenti Principali dei parametri dell'azoto si sono ottenute tre gradienti principali con autovalore maggiore di 1, che spiegano in totale circa l'85% dell'informazione. In particolare il primo gradiente, che spiega il 44.3% risulta essere correlato positivamente con l'N-NO₃ e con l'N-NH₄ e negativamente con il $\delta^{15}\text{N}$.

Da sottolineare come le variabili che rappresentano la variabilità unitaria di ogni singolo parametro (CV) presentino correlazioni speculari rispetto alle variabili dei parametri medi. La seconda Componente risulta invece essere (Fig. 34) correlata positivamente con l'N% e con il suo indice di variazione e correlata negativamente con altri indici di variabilità (CV($\delta^{15}\text{N}$), CV(NO₃)). Infine la terza Componente Principale, che spiega circa il 12% dell'informazione, è correlata positivamente solo con la biomassa e risulta essere indipendente da tutti gli altri parametri considerati (Fig. 36).

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	3.985	44.283	44.282
2	2.578	28.639	72.922
3	1.117	12.408	85.330
4	0.784	8.708	94.038

Tabella 63. Autovalori dell'An. delle Componenti Principali.

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3	C.P.4
Biomassa	-0.210	-0.134	0.958	0.019
N-NO ₃	0.813	0.473	0.005	-0.164
N-NH ₄	0.798	-0.494	0.049	-0.055
N%	-0.187	0.634	0.196	-0.693
$\delta^{15}\text{N}$	-0.887	0.374	-0.067	-0.053
CV(N-NO ₃)	-0.707	-0.666	0.061	-0.040
CV(N-NH ₄)	-0.925	-0.269	0.027	0.008
CV(N)	-0.211	0.749	0.324	0.485
CV($\delta^{15}\text{N}$)	0.650	-0.686	0.209	-0.182

Tabella 64. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali.

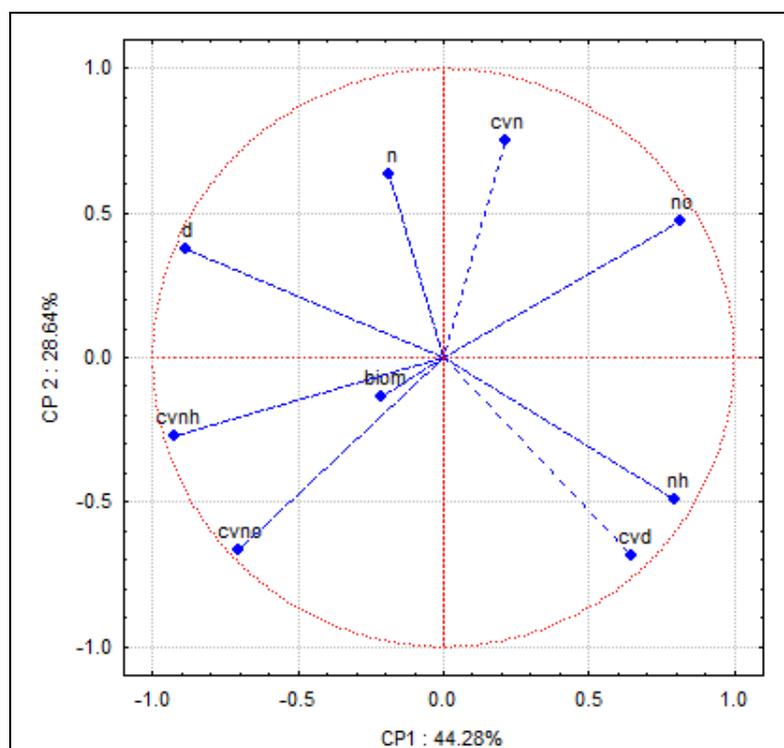


Figura 34. Andamento delle variabili in funzione delle prime due Componenti.

Dalla osservazione degli “scores” relativi alle prime due Componenti (Fig. 35) si osserva come la 1a Componente possa essere interpretata come effetto degli anni, mentre il

secondo gradiente vede tutti i trattamenti intensivi posizionarsi nella porzione superiore del piano, e tutti i trattamenti ordinari nella porzione negativa. Quindi sono i Trattamenti i fattori latenti che spiegano il 28% della variabilità totale.

Invece dall'osservazione degli "scores" relativi alle Componenti 2 e 3 (circa 40% dell'informazione) non si evidenziano aggregazioni che possano avere una spiegazione razionale. La risposta quantitativa della vegetazione (Biomassa) sembra essere indipendente dai diversi parametri dell'azoto nel suolo.

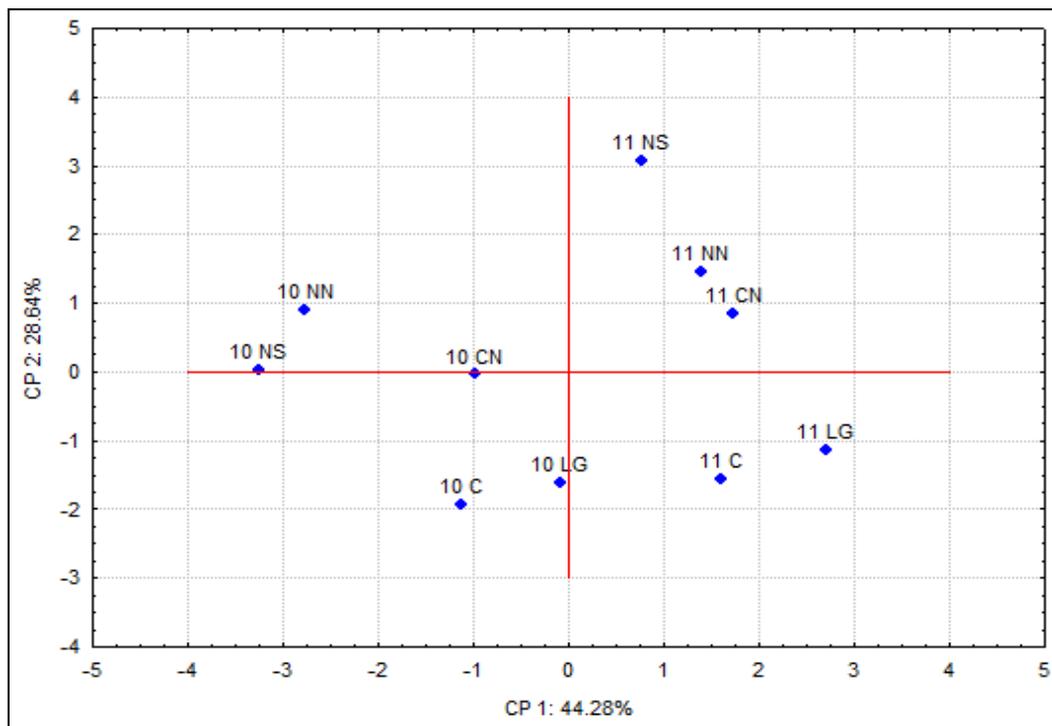


Figura 35. Distribuzione degli "scores" delle prime due Componenti in funzione dei trattamenti

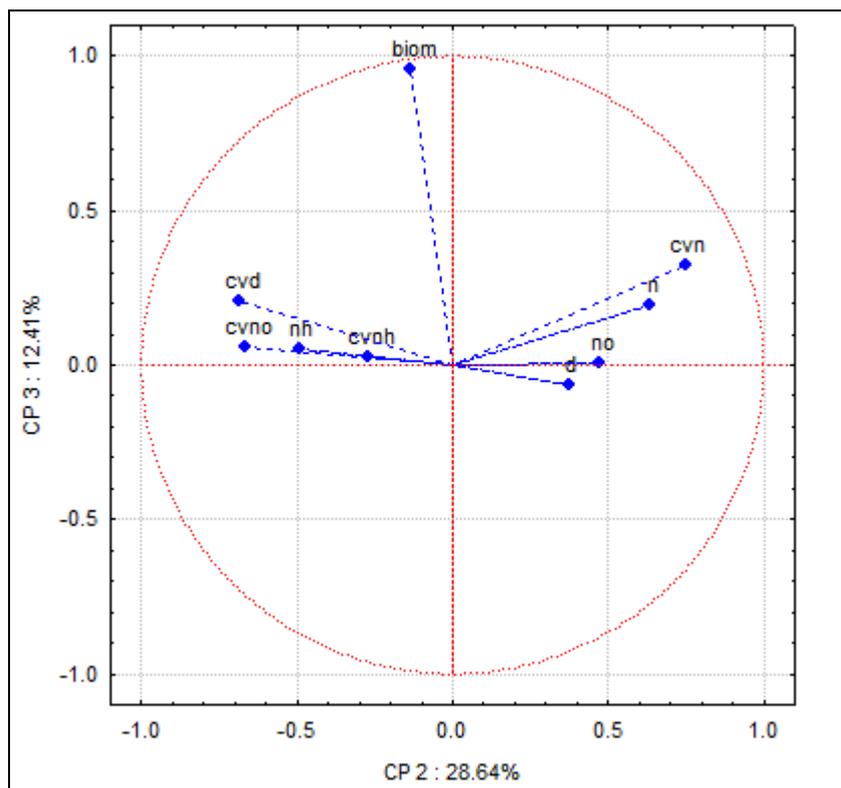


Figura 36. Distribuzione delle variabili in funzione della 2a e 3a componente.

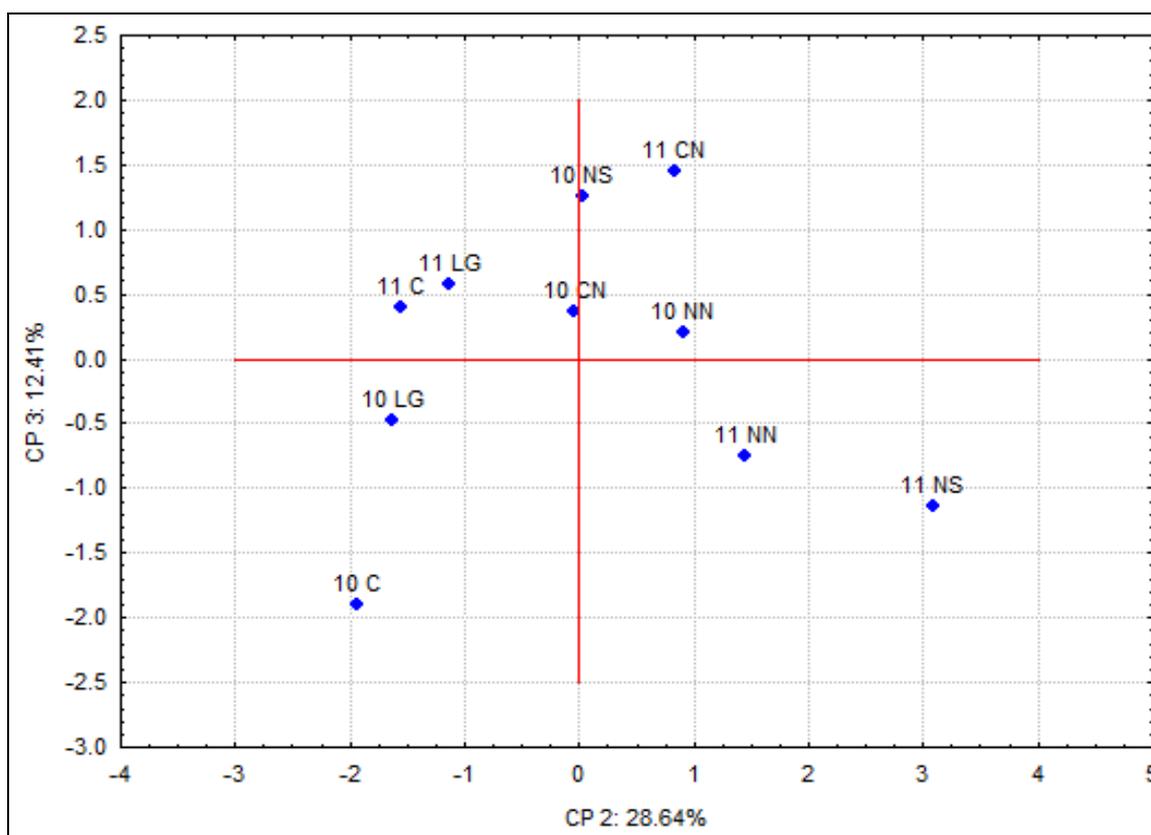


Figura 37. Distribuzione degli "scores" della 2a e 3a Componente.

IV. Analisi del Suolo (2010)

Le analisi chimico-fisiche del suolo (Tab. 65) evidenziano grandi differenze tra i substrati originari (CMIN e CPED) ed i substrati ammendati all'impianto della vegetazione. In particolare i parametri relativi alla fertilità del suolo, come Sostanza organica, macroelementi (N,P,K) e la Capacità di Scambio Cationica sono sempre decisamente superiori nei substrati ammendati.

Parametri	Unità	LG	CN	C	NN	NS	CPED	CMIN
pH		7.87	7.82	7.76	8.05	8.03	8.39	7.97
Calcare Totale	%	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00	5.00	3.00
Calcare Attivo	%	0.00	0.00	0.00	3.10	2.70	2.80	2.00
Sostanza Org.	%	2.86	2.09	1.94	3.30	1.92	0.46	0.51
N	%°	1.97	1.45	1.35	2.21	1.41	0.34	0.36
P	ppm	37.00	10.00	21.00	18.00	31.00	2.00	1.00
K	ppm	184.00	185.00	169.00	305.00	345.00	101.00	57.00
Na	ppm	47.00	37.00	35.00	67.00	48.00	37.00	24.00
Ca	ppm	2567.00	2566.00	2230.00	3119.00	2658.00	2280.00	1490.00
Mg	ppm	97.00	111.00	91.00	337.00	297.00	342.00	65.00
CSC	meq/100g	14.28	14.35	12.46	19.41	16.80	14.61	8.22
C/N		8.42	8.36	8.33	8.66	7.90	7.85	8.22
Sabbia	%	53.00	52.00	58.00	41.00	37.00	58.00	68.00
Limo	%	29.00	28.00	28.00	35.00	39.00	26.00	23.00
Argilla	%	18.00	20.00	14.00	24.00	24.00	16.00	9.00

Tabella 65. Analisi dei parametri del suolo nei diversi trattamenti a confronto (ottobre 2010).

V. Analisi delle Componenti Principali dei parametri del Suolo (2010)

Analizzando i dati analitici del suolo con una Analisi delle Componenti Principali si sono individuati due gradienti predominanti che ordinano i Trattamenti a confronto: infatti le prime due Componenti spiegano circa l'86% di tutta l'informazione.

In particolare la Prima Componente, che spiega il 50% della varianza totale, risulta essere correlata positivamente con i principali parametri della fertilità (SO,N,K,Ca, ma anche con P e Limo) e negativamente con la percentuale di Sabbia.

La Seconda Componente, invece, risulta essere correlata positivamente con il pH, il Calcare Totale ed il Mg e negativamente con il rapporto C/N. Nel complesso questa seconda componente spiega circa il 30% dell'informazione e sembra essere legata ad elementi costituenti il substrato indipendenti dai trattamenti. (Tab. 67).

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	6.781	56.507	50.507
2	3.562	29.688	86.195
3	1.067	8.555	94.750
4	0.363	3.029	97.779

Tabella 66. Autovalori dell'Analisi delle Componenti Principali.

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3	C.P.4
pH	-0.127	0.923	-0.225	-0.275
Calcare Tot.	0.183	0.918	-0.125	0.207
Sost.Org.	0.878	-0.442	-0.172	-0.060
N	0.889	-0.436	-0.119	-0.061
P	0.707	-0.342	0.475	-0.307
K	0.939	0.138	0.234	0.204
Na	0.933	0.153	-0.298	-0.074
Ca	0.934	0.081	-0.171	-0.154
Mg	0.471	0.853	-0.173	-0.081
C/N	0.393	-0.671	-0.597	0.154
Sabbia	-0.932	-0.259	-0.187	-0.097
Limo	0.893	0.269	0.311	0.179

Tabella 67. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali.

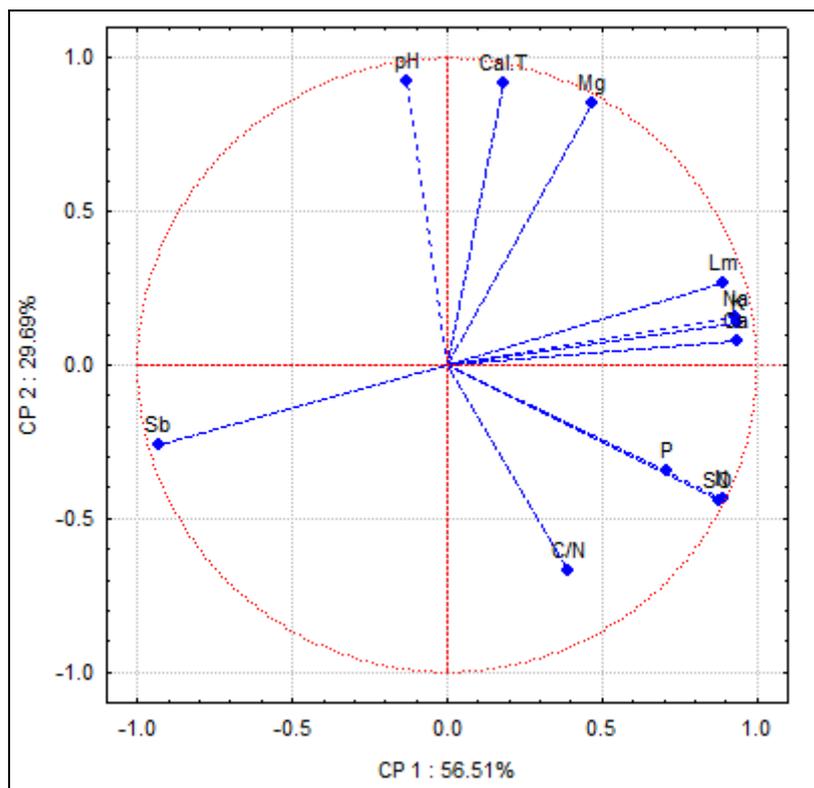


Figura 38. Distribuzione dei Parametri dell'Analisi del suolo nel piano delle prime due Componenti Principali (86.20%)

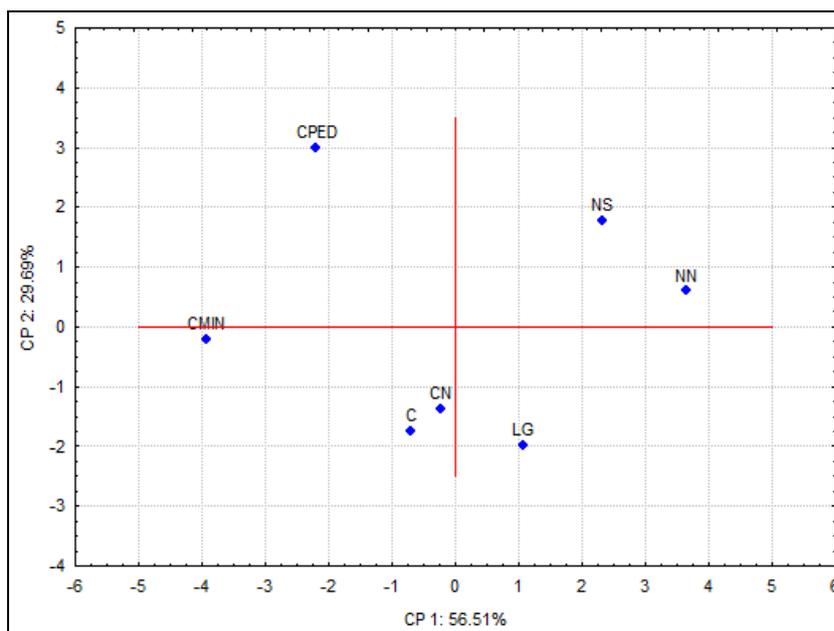


Figura 39. Distribuzione degli "scores" dei Trattamenti nel piano delle prime due Componenti Principali.

Dalla distribuzione degli "scores" relativi ai diversi trattamenti emerge una netta separazione tra i substrati originali, sia minerali che pedogenizzati, ed i substrati ammendati:

in particolare si evidenzia una separazione netta tra i trattamenti intensivi (NN ed NS) ed i trattamenti ordinari (LG, CN e C). Le analisi cioè sottolineano come nelle aree fortemente ammendate siano presenti condizioni di fertilità migliori sia rispetto ai substrati originari che a quelli gestiti in modo ordinario.

Vegetazione

- Biomassa

Dall'Analisi della Varianza dei dati di Sostanza secca raccolti non emergono differenze tra i diversi trattamenti, né interazioni tra trattamenti ed il Tempo. La variabilità campionaria oscura eventuali differenze riscontrabili tra le medie.

ANOVA (Model III)

TRT Biomassa	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Trt	0.761	NS
Trt*Anno	0.359	NS

Tabella 68. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti

Trt	Anno	Media	Ds	Esm
C	2009	71.667	9.292	5.364
	2010	70.000	15.395	8.888
	2011	94.550	15.344	10.850
LG	2009	66.333	20.133	11.624
	2010	81.333	19.348	11.170
	2011	89.300	15.245	8.802
CN	2009	79.000	15.000	8.660
	2010	91.667	20.599	11.893
	2011	96.167	33.284	19.217
NN	2009	59.667	4.041	2.333
	2010	97.750	16.378	8.189
	2011	75.833	36.390	21.010
NS	2009	73.667	2.887	1.667
	2010	103.667	23.116	13.346
	2011	72.223	20.182	11.652

Tabella 69. Valori medi annuali della biomassa prodotto (g/camp)

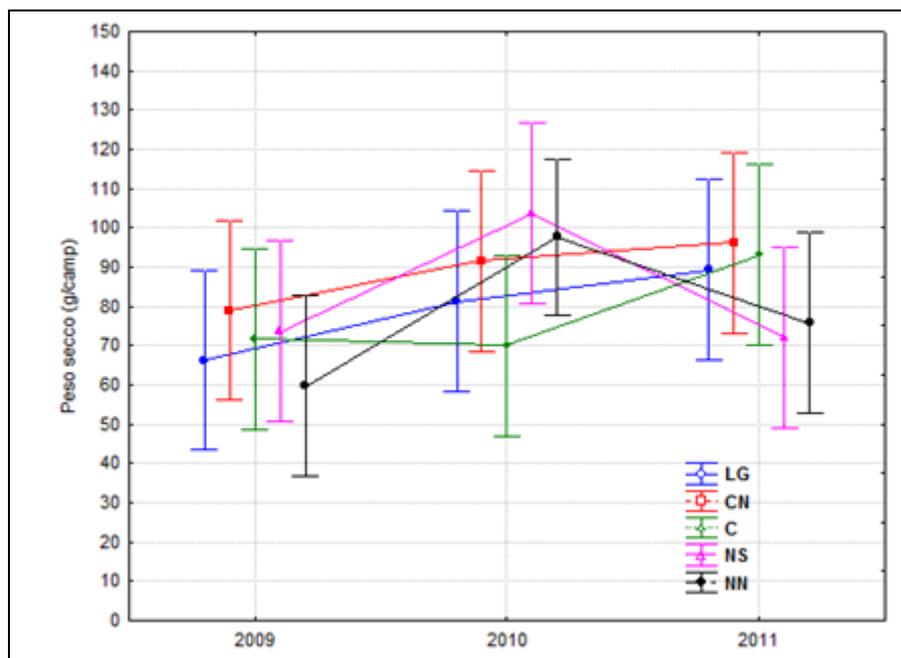


Figura 40. Andamento della biomassa della copertura erbacea

- Analisi fitosociologia

Nel giugno 2010 è stata eseguita una Analisi Fitosociologica, secondo i metodi proposti da Braun-Blanquet (1964), da parte di un esperto geobotanico. Questa analisi di abbondanza ha individuato 53 specie diverse nei 5 Trattamenti a confronto.

Specie (2010)	C	CN	LG	NN	NS
Altezza strato erbaceo (cm)	80-150	20-30-130	100-130-140	100-250	100-250
Copertura	100	75-80	100	50	100
N° Specie	24	29	21	32	35
<i>Agrimonia eupatoria</i>	r	+	+	.	r
<i>Agrostis stolonifera</i>	r	.	.	r	.
<i>Alopecurus pratensis</i>	+	r	+	.	.
<i>Arrhenatherum elatius</i>	1	.	.	.	.
<i>Althaea cannabina</i>	.	.	.	.	+
<i>Anthemis tinctoria</i>	.	.	.	+	.
<i>Avena sterilis</i>	.	.	.	.	+
<i>Blackstonia perfoliata</i>	.	+	.	.	.
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	.	.	.	+	.
<i>Bromus cfr. squarrosus</i>	.	.	.	r	+
<i>Bromus erectus</i>	.	.	.	r	.
<i>Bromus inermis</i>	.	3	.	.	.
<i>Bromus sterilis</i>	r	.	.	.	.
<i>Calystegia sepium</i>	.	.	.	.	1
<i>Carex flacca</i>	.	.	.	+	.

<i>Centaureum erythraea/C. pulchellum</i>	.	1	.	+	.
<i>Cirsium arvense</i>	r	+	1	.	1
<i>Cirsium vulgare</i>	+	r	1	r	1
<i>Clematis vitalba (plant.)</i>	.	.	.	+	1
<i>Clinopodium vulgare</i>	.	.	+	r	.
<i>Convolvulus arvensis</i>	.	.	.	+	.
<i>Crepis pulchra</i>	r	+	.	.	+
<i>Dactylis glomerata</i>	.	.	+	.	r
<i>Daucus carota</i>	r	2	+	+	1
<i>Dipsacus fullonum</i>	.	r	.	.	.
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	1	.	.	1	r
<i>Elytrigia repens + Agropyron caninum</i>	1	1	1	.	.
<i>Epilobium sp.</i>	.	r	r	r	.
<i>Equisetum telmateja</i>	4	+	1	.	.
<i>Erigeron annuus</i>	.	r	.	+	.
<i>Eupatorium cannabinum</i>	.	.	.	r	r
<i>Euphorbia sp.</i>	.	.	.	.	r
<i>Festuca arundinacea</i>	.	2	+	+	2
<i>Galega officinalis</i>	.	.	.	r	.
<i>Galium album</i>	.	.	.	.	+
<i>Holcus lanatus</i>	1	2	1	+	.
<i>Hypericum perforatum</i>	+	r	+	r	.
<i>Inula conyza</i>	+	.	1	.	+
<i>Inula viscosa</i>	.	2	r	r	.
<i>Lactuca sp.</i>	+	+	1	.	+
<i>Lotus tenuis</i>	.	1	.	r	.
<i>Melilotus officinalis</i>	.	1	.	1	2
<i>Mentha longifolia</i>	.	.	.	.	+
<i>Myosotis arvensis</i>	.	.	.	.	+
<i>Odontites rubra</i>	.	.	.	r	.
<i>Phragmites australis</i>	.	.	.	.	+
<i>Picris echioides</i>	.	r	.	.	+
<i>Picris hieracioides</i>	1	1	+	+	.
<i>Plantago lanceolata</i>	.	.	.	.	r
<i>Poa pratensis</i>	+	+	.	.	.
<i>Poa trivialis</i>	.	r	.	.	.
<i>Pulicaria dysenterica</i>	.	.	+	+	+
<i>Rumex crispus</i>	.	.	.	.	1
<i>Senecio erucifolius</i>	r	1	2	+	1
<i>Sonchus asper</i>	.	r	.	.	.
<i>Tordylium apulum</i>	.	.	+	.	.
<i>Torilis arvensis</i>	1	1	3	1	2
<i>Tragopogon porrifolius</i>	r	.	.	.	.
<i>Trifolium sp. (cfr. pratensis)</i>	r	.	.	+	.
<i>Tussilago farfara</i>	r	.	.	3	+
<i>Vicia cracca</i>	.	.	.	r	+
<i>Vicia sativa</i>	+	1	.	.	+
<i>Xeranthemum cylindraceum</i>	.	.	.	2	+

Tabella 70. Rilievo fitosociologico nel giugno 2010.

- Analisi multivariata del rilievo fitosociologico

I. Analisi delle Componenti Principali

Dall'Analisi delle Componenti Principali sui dati di abbondanza delle singole specie rilevate emergono 2 gradienti significativi che spiegano complessivamente circa il 61% dell'informazione totale.

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	1.843	36.876	36.876
2	1.215	24.305	61.181
3	0.839	16.796	77.977
4	0.747	14.939	92.916

Tabella 71. Autovalori dell'An. delle Componenti Principali.

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3	C.P.4
C	-0.672	-0.493	0.358	0.255
CN	-0.652	-0.068	-0.219	-0.718
LG	-0.869	-0.060	-0.059	0.242
NN	-0.198	0.682	0.684	-0.161
NS	-0.415	0.706	-0.437	0.285

Tabella 72. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali.

Dalla figura 41 si evidenzia una netta differenziazione nella composizione floristica tra i trattamenti ordinari (LG,CN,C) ed i trattamenti estensivi (NN,NS): in particolare i primi risultano essere correlati con il primo gradiente mentre i secondi sono correlati con il secondo gradiente. Le composizioni si presentano tra loro indipendenti.

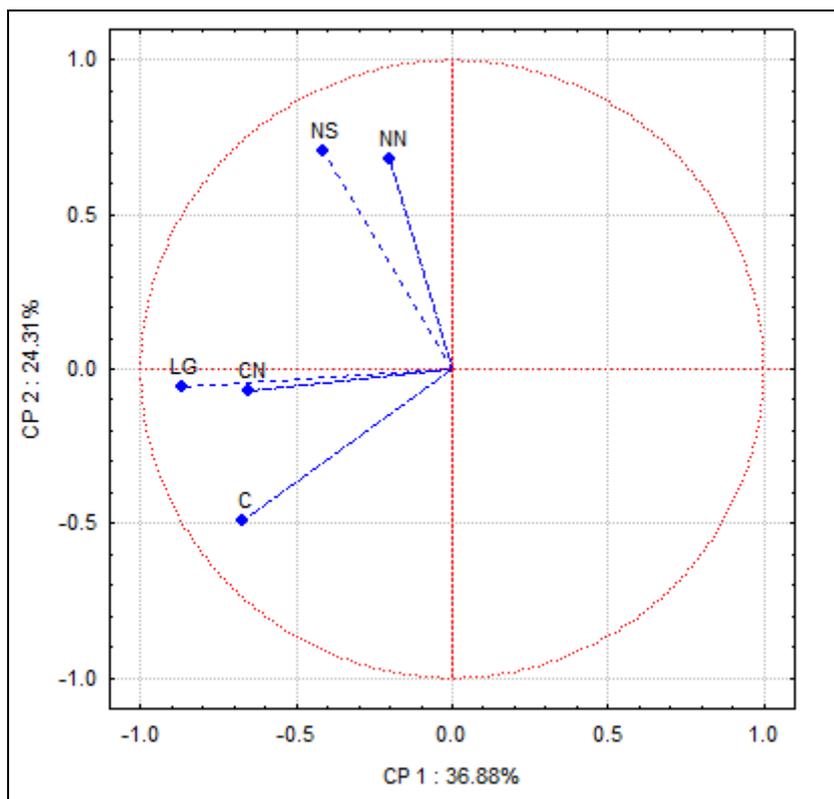


Figura 41. Distribuzione dei Trattamenti nel piano delle prime due Componenti Principali

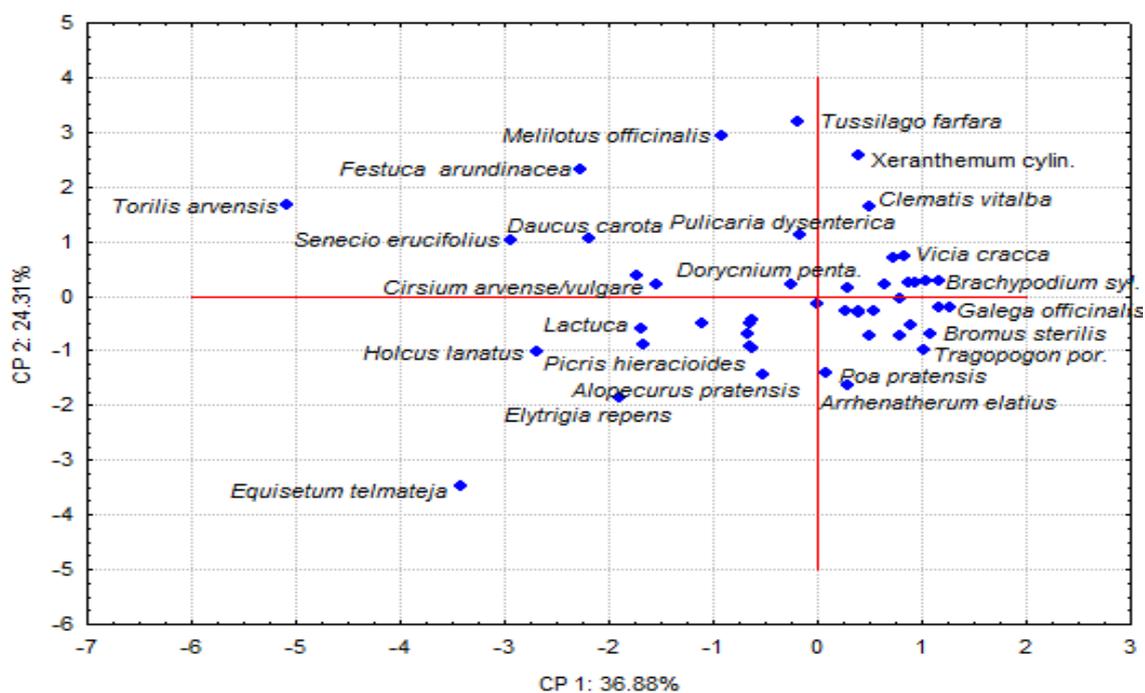


Figura 42. Distrib. degli "scores" delle specie nel piano delle prime due Comp. Principale.

Rispetto alla distribuzione degli “scores” (Fig. 42) si evidenziano le specie che caratterizzano maggiormente i diversi trattamenti, o gruppi di trattamenti. In particolare i trattamenti intensivi si caratterizzano per la presenza di *Tussilago farfara*, *Melilotus officinalis*, *Xeranthemum cylindraceum* e *Clematis vitalba*, mentre *Equisetum telmateja*, *Torilis arvensis*, *Holcus lanatus* e *Senecio erucifolius* abbondano nelle parcelle ordinarie.

II. Redundancy analysis

I dati di abbondanza rilevati sono poi stati associati ai parametri del suolo rilevati (Vedi paragrafo Analisi del suolo 2010) al fine di ricercarne le relazioni reciproche. In particolare si è operata una Redundancy Analysis (RDA) sui dati grezzi (CANOCO 4.5). L’analisi ha individuato quattro gradienti, dove i primi due spiegano il 65.7% della varianza totale.

Gradienti	Autovalori (%)	Cumulata
Asse 1	36.8	36.8
Asse 2	28.9	65.7
Asse 3	23.1	88.8
Asse 4	11.2	100.0
Totale	100.0	

Tabella 73. Autovalori della Redundancy Analysis.

Dal Biplot (Fig.43) tra i Trattamenti ed i Parametri del suolo si evidenzia una correlazione stretta tra molti dei parametri chimici e fisici del suolo ed il primo gradiente. Fanno eccezione il P, l’N, la Sostanza Organica ed anche l’Argilla che presentano correlazioni anche con il secondo gradiente. I diversi trattamenti tendono a differenziarsi tra loro: lungo il primo asse si segregano i trattamenti intensivi (porzione positiva) ed i trattamenti ordinari (porzione negativa). Rispetto al secondo gradiente vi è invece una decisa

differenziazione tra i trattamenti più ricchi in azoto (NN,LG,NS), vicino al baricentro e quelli più estensivi (C, CN) che invece si posizionano a distanze superiori ed in direzioni opposte.

Dall'osservazione del Triplot, dove sono posizionate anche le specie rilevate dal rilievo fitosociologico, si possono definire anche le correlazioni tra i parametri demografici ed i parametri ambientali. In particolare, applicando una analisi Cluster sugli "scores" ricavati dalla Redundancy Analysis si evidenziano aggregazioni sostanzialmente omogenee sia usando gli "scores" tal quali (Fig.44), sia usando gli "scores" pesati per il valore dell'Autovalore ricavato dall'analisi (Fig.46; Tab. 74).

Sulla base del dendrogramma dell'Analisi Cluster su dati pesati si sono ottenute 4 aggregazioni tra le specie rilevate che risultano legate sia ai parametri del suolo che al tipo di Trattamento operato:

- Gruppo I) costituito da 6 specie che si posiziona nella parte sinistra del piano in corrispondenza del gradiente e delle proiezioni dei trattamenti ordinari;
- Gruppo II) costituito da 15 specie, che si raggruppano in due sottoinsiemi rispettivamente di 8 (II.1) e di 7 specie (II.2), che si posizionano nella parte sinistra e bassa del piano in corrispondenza dei trattamenti ordinari LG e C e dei parametri N,SO,e P;
- Gruppo III) costituito da 28 specie che si posiziona nella porzione positiva del gradiente (a destra nel piano) in corrispondenza dei trattamenti Intensivi e di gran parte dei parametri analitici rilevati (pH, Ca, Na, ecc.), e che si raggruppano in due sottoinsiemi , III.1 e III.2, ognuno con 14 specie;
- Gruppo IV) costituito da 14 specie che si posiziona in alto a sinistra nel piano in corrispondenza del Trattamento CN.

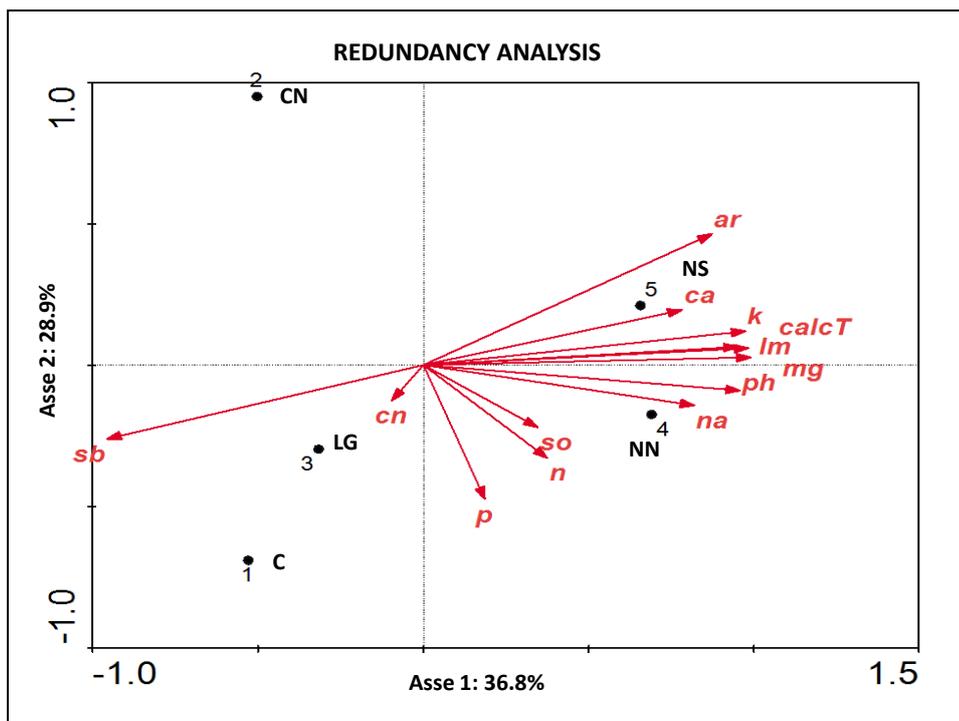


Figura 43. Biplot dei Parametri del suolo e dei Trattamenti nel piano delle prime due Radici (65.7%)

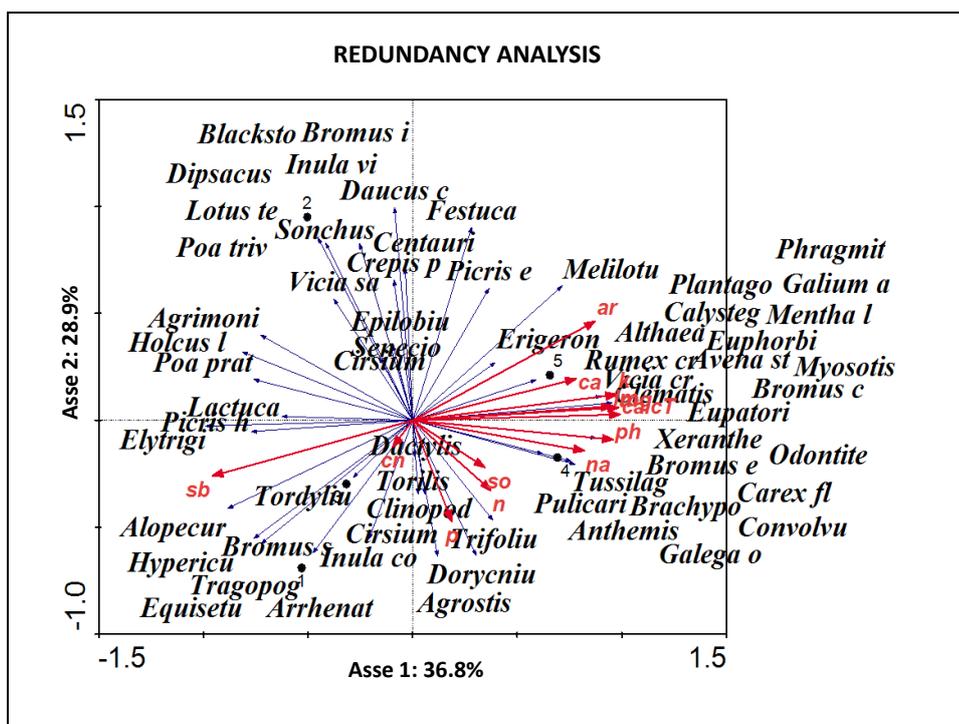


Figura 44. Triplot dei Parametri del suolo, dei Trattamenti e delle Specie rilevate nel piano delle prime due Radici (65.7%)

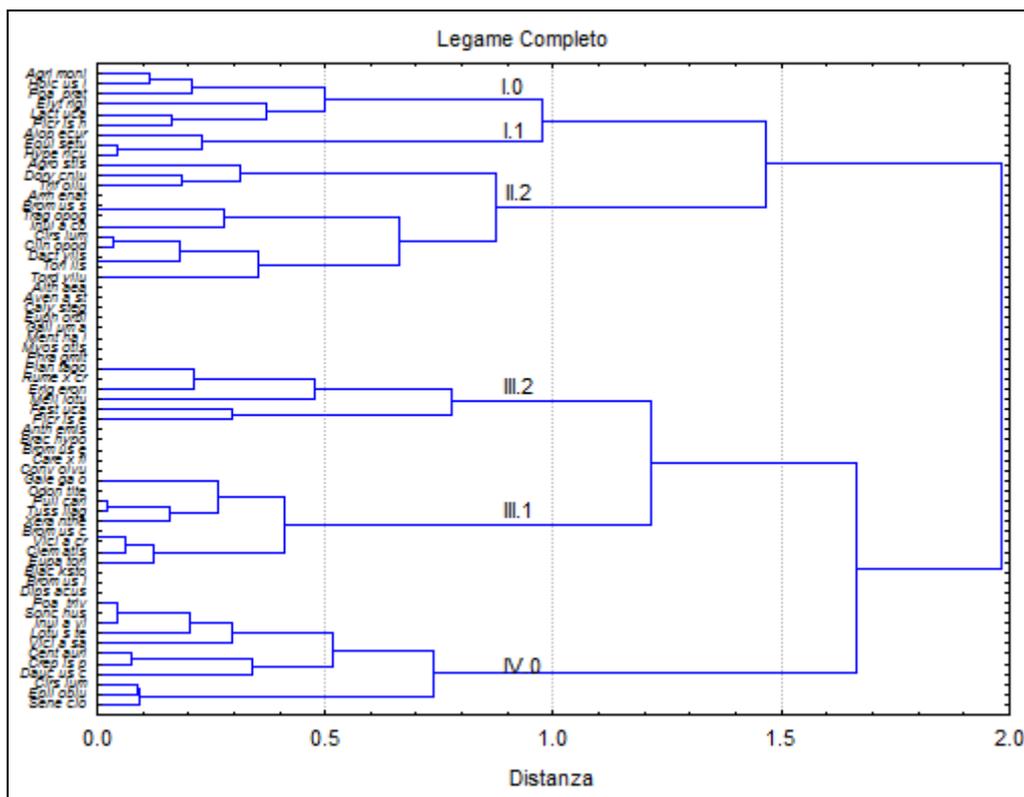


Figura 45. Dendrogramma dell'Analisi Cluster eseguita sugli "scores" della RDA con la definizione dei gruppi di specie omogenei

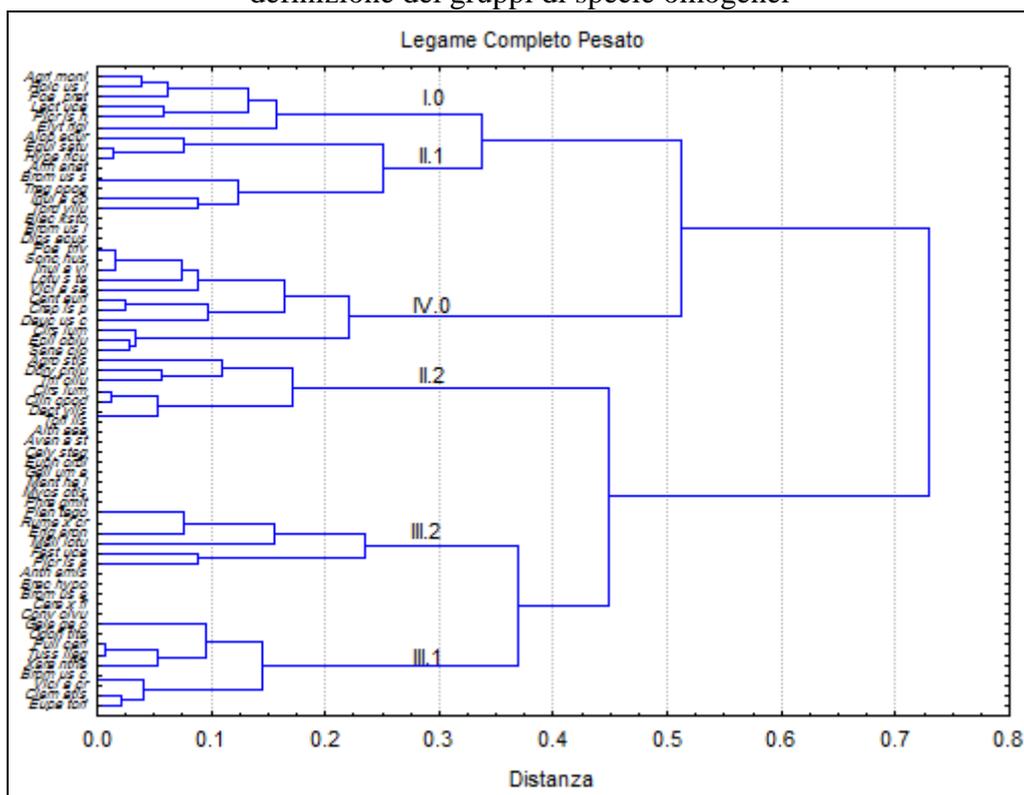


Figura 46. Dendrogramma dell'Analisi Cluster eseguita sugli "scores" pesati sugli autovalori della RDA con la definizione dei gruppi di specie omogenei

Specie (2010)	Prossimità Trattamento	Legame semplice	Legame Pesato
<i>Agrimonia eupatoria</i>	CN-(LG-C)	I.0	I.0
<i>Agrostis stolonifera</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Alopecurus pratensis</i>	C-LG	I.1	II.1
<i>Arrhenatherum elatius</i>	C-LG	II.2	II.1
<i>Althaea cannabina</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Anthemis tinctoria</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Avena sterilis</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Blackstonia perfoliata</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Bromus cfr. squarrosus</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Bromus erectus</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Bromus inermis</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Bromus sterilis</i>	C-LG	II.2	II.1
<i>Calystegia sepium</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Carex flacca</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Centaurium erythraea/C. pulchellum</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Cirsium arvense</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Cirsium vulgare</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Clematis vitalba (plant.)</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Clinopodium vulgare</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Convolvulus arvensis</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Crepis pulchra</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Dactylis glomerata</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Daucus carota</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Dipsacus fullonum</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Elytrigia repens + Agropyron caninum</i>	CN-(LG-C)	I.0	I.0
<i>Epilobium sp.</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Equisetum telmateja</i>	C-LG	I.1	II.1
<i>Erigeron annuus</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Eupatorium cannabinum</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Euphorbia sp.</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Festuca arundinacea</i>	(NN-NS)-	III.2	III.2

	CN		
<i>Galega officinalis</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Galium album</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Holcus lanatus</i>	CN-(LG-C)	I.0	I.0
<i>Hypericum perforatum</i>	C-LG	I.1	II.1
<i>Inula conyza</i>	C-LG	II.2	II.1
<i>Inula viscosa</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Lactuca sp.</i>	CN-(LG-C)	I.0	I.0
<i>Lotus tenuis</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Melilotus officinalis</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Mentha longifolia</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Myosotis arvensis</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Odontites rubra</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Phragmites australis</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Picris echioides</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Picris hieracioides</i>	CN-(LG-C)	I.0	I.0
<i>Plantago lanceolata</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Poa pratensis</i>	CN-(LG-C)	I.0	I.0
<i>Poa trivialis</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Pulicaria dysenterica</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Rumex crispus</i>	(NN-NS)- CN	III.2	III.2
<i>Senecio erucifolius</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Sonchus asper</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Tordylium apulum</i>	C-LG	II.1	II.1
<i>Torilis arvensis</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Tragopogon porrifolius</i>	C-LG	II.2	II.1
<i>Trifolium sp. (cfr. pratensis)</i>	(C-LG)-NN	II.2	II.2
<i>Tussilago farfara</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Vicia cracca</i>	NN-NS	III.1	III.1
<i>Vicia sativa</i>	CN	IV.0	IV.0
<i>Xeranthemum cylindraceum</i>	NN-NS	III.1	III.1

Tabella 74. Analisi dei Cluster: Classificazione delle specie nei gruppi ottenuti e prossimità ai trattamenti (evidenziati i trattamenti Intensivi): con distanza semplice e con distanza pesata su autovalore.

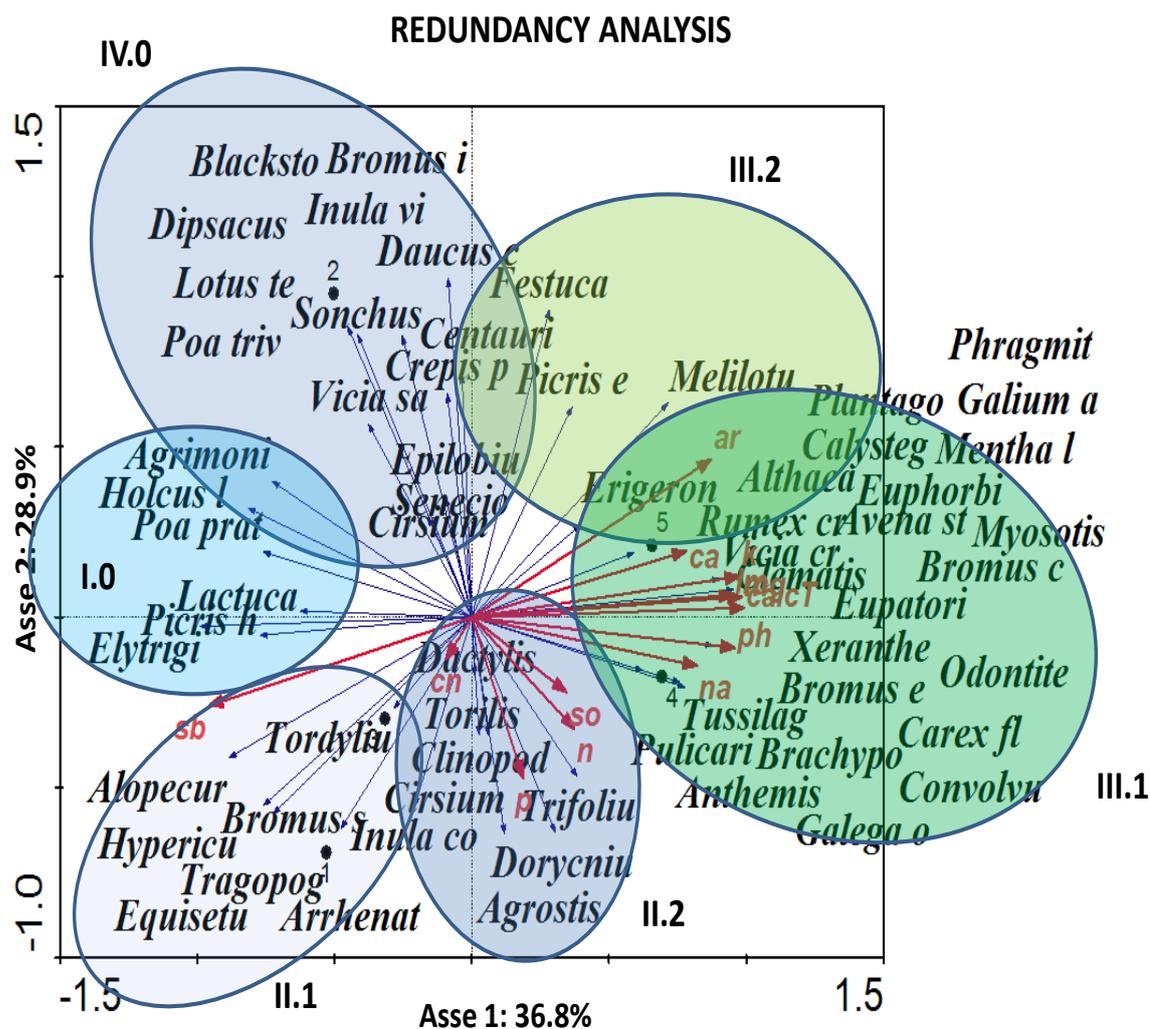


Figura 47. Gruppi di specie erbacee ottenuti dall'Analisi dei Cluster pesata.

5.3.4 Conclusioni

Prima di analizzare i risultati e trarre delle conclusioni è necessario anche per questa prova puntualizzare alcuni elementi di natura metodologica. Questa prova, come le altre nel presente lavoro, più che ad un classico esperimento si avvicina ad un "Campionamento osservazionale", operato su una serie di interventi sperimentali realizzati nell'arco di alcuni anni circa 15 anni fa.

Questi interventi erano pensati e realizzati come applicazione operativa di indicazioni tecniche di recupero derivate dall'esperienza decennale maturata dalla Cattedra di Selvicoltura in questo bacino di cava. E' infatti dal 1987 che è iniziata la collaborazione prima informale e poi ufficiale tra la Società Sibelco e l'Università di Bologna. Questi interventi sono un chiaro esempio di "Gestione Adattativa" applicata al recupero ambientale dove le esperienze passate, misurate ed analizzate, vengono utilizzate nella progettazione e nella gestione dei nuovi recuperi.

Una organizzazione sperimentale di questo tipo manca perciò di una Randomizzazione tipica di un piano sperimentale: le stesse esperienze non sono state reiterate su superfici diverse. Questo può creare dei problemi nel campionamento e nella generalizzazione dei risultati raggiunti. A riguardo un elemento positivo dell'esperienza tecnico scientifica nel bacino estrattivo di Colombara, è dato dalla dimensione delle diverse prove effettuate: le superfici interessate dalle diverse tecniche sono sempre molto ampie, molto superiori a quelle normalmente utilizzate nelle prove sperimentali specifiche. La carenza nella Randomizzazione dei trattamenti viene compensata dall'estensione dell'applicazione che consente di limitare la manifestazione di fenomeni singolari e/o particolari e quindi consente di operare campionamenti indipendenti e non solo dei sottocampionamenti. In ogni caso le indicazioni che possono nascere da questo lavoro sono specifiche al sito ed alle esperienze maturate nel sito e potranno essere generalizzate solo dopo altre osservazioni od altri esperimenti realizzati in condizioni simili. Questi interventi di biologia applicata presentano sempre una forte interazione con la stazione e le condizioni micro ambientali e non possono essere generalizzati con leggerezza.

Un altro limite di questa Prova è rappresentata dalla mancata coincidenza temporale tra gli interventi di recupero a confronto: le prove sono state realizzate in un arco di alcuni anni in successione, secondo una precisa sequenza temporale. Nella interpretazione dei dati

bisogna quindi non sottovalutare queste differenze, anche se il periodo di tempo passato da questi interventi , oramai più di 10 anni, ha certamente sfumato le discrepanze.

Infine, negli interventi susseguitisi negli anni si è parzialmente modificata anche la composizione dei miscugli di essenze erbacee seminati. A riguardo bisogna sottolineare come la filosofia di fondo sia sempre rimasta la stessa (semina di annuali associate a perenni ed integrate con leguminose adattate a supporto , leguminose rappresentate principalmente da *Vicia villosa*), come le differenze qualitative siano state sempre state minime. Maggiori sono state le differenze a carico delle dosi utilizzate per unità di superficie, anche se va precisato che le differenze riscontrate riguardano principalmente le quantità di *Vicia villosa* utilizzate. La *vicia* infatti ha dei semi particolarmente grossi e quindi anche piccole variazioni nel numero di semi distribuiti causano forti variazioni nel peso del miscuglio distribuito per metro quadrato.

Nonostante questi limiti si è voluto organizzare ed analizzare questo ambito sperimentale in quanto esempio forse unico di collaborazione tra proprietà escavatrice ed ente di ricerca nello studio, nello sviluppo e nell'analisi a medio periodo di tecniche di recupero ambientale.

Dopo questa premessa cerchiamo di riassumere i risultati e trarre delle indicazioni utili.

- Suolo

Le analisi delle concentrazioni di N-NO₃ ed N-NH₄, parametri dinamici dell'azoto nel suolo, si caratterizzano per una elevata interazione con il fattore temporale e per un comportamento nelle date molto variabile tanto da risultare poco informative.

L'opposto si manifesta per l'N % totale ed il $\delta^{15}\text{N}$. L'analisi dell'N% non presenta interazioni con il tempo evidenziando quindi un comportamento stabile nel tempo. Anche il $\delta^{15}\text{N}$, pur in presenza di una interazione significativa con le Date, si presenta con un comportamento tendenzialmente omogeneo nel tempo. Per entrambi questi parametri si

evidenzia una netta differenziazione tra i trattamenti: da una parte i trattamenti intensivi (NN/NNF, NS) che si caratterizzano per una concentrazione di N ed un valore di $\delta^{15}\text{N}$ più elevati, dall'altra i trattamenti ordinari (C,CN,LG,LGF).

I trattamenti intensivi, dopo 10 anni dall'intervento, consentono quindi di aumentare statisticamente le disponibilità di N totale nel substrato, anche se in presenza di un aumento significativo dell'isotopo ^{15}N , sintomo di un processo di riutilizzo e lisciviazione che avviene preferenzialmente a carico del ^{14}N . Quindi, associato all'arricchimento si evidenzia un forte dilavamento dell'N distribuito, senza distinzioni tra trattamenti con azoto organico di origine animale o chimico. Viceversa i valori dei parametri delle trasformazioni dell'N nel suolo non evidenziano differenze sostanziali tra i trattamenti, ma solo una grande variabilità entro le Date.

In tutti i casi l'effetto di un elevata dose di azoto all'impianto sembra lasciare una traccia permanente nel suolo anche a 10 anni dall'applicazione sia nel contenuto nel suolo che nella sua impronta isotopica che suggerisce un ambito fortemente dispersivo indipendentemente dalla natura dei materiali ammendanti e concimanti distribuiti.

Rielaborando i dati in termini multivariati emergono risultati contraddittori.

L'analisi complessiva di tutti i rilievi (Analisi Discriminante Canonica), pur in presenza di una risposta sfumata, sottolinea un gradiente dominante (con circa l'84% di informazione spiegata), che consente di ordinare i rilievi dei trattamenti. Questo gradiente presenta una forte correlazione negativa con l'N% e con il $\delta^{15}\text{N}$, parametri del suolo con un comportamento stabile nel tempo. I diversi rilievi si ordinano in funzione dell'intensità dell'ammendamento: da destra verso sinistra si susseguono in modo molto sfumato C, LG, LGF, CN, NS, NNF e NN. Questo gradiente ci permette di discriminare in funzione dell'entità di N distribuito all'impianto.

Per poter associare i valori di azoto del suolo e con la biomassa prodotta si sono rielaborati i dati delle sole date primaverili ed estive a cui si è associato il dato della Biomassa totale prodotta. Anche questa Analisi Discriminante Canonica su i singoli dati primaverili-estivi individua un gradiente dominante (che interpreta circa l'83% dell'informazione) fortemente correlato con l' $N-NO_3$. Osservando la disposizione dei rilievi si evidenzia come siano gli anni a differenziarsi lungo questo primo gradiente: sono le condizioni micro ambientali a caratterizzare i parametri del suolo nella stagione vegetativa ed in particolare a condizionare la disponibilità di $N-NO_3$. Il secondo gradiente invece, legato all' $N\%$ ed al $\delta^{15}N$, tende a nidificarsi entro gli anni: in ogni annata cioè i rilievi si ordinano secondo l'intensità dei trattamenti. Da sottolineare come la Biomassa, obiettivo di tutti gli interventi agronomici eseguiti, non presenta correlazioni con nessuno dei due gradienti dominanti, come se fosse indipendente dai parametri dell' N nel suolo.

Rielaborando i dati medi e i relativi coefficienti di variazione in una Analisi delle Componenti Principali si sono ottenuti 3 gradienti principali: il primo (legato a $N-NO_3$, $N-NH_4$ e $\delta^{15}N$) ordina le diverse annate, il secondo (legato a $N\%$) i trattamenti ed il terzo, legato alla Biomassa prodotta, non presenta un ordinamento razionale interpretabile.

Quindi dalle due analisi multivariate emergono due interpretazioni distinte. La risposta conferma quanto già visto a livello dei singoli parametri: l'interazione con il tempo, che si è manifestata nei rilievi, condiziona molto le risposte. Nell'Analisi dei singoli rilievi (ADC) emerge l' $N\%$ come elemento principale di ordinamento, in quanto unico parametro omogeneo nel tempo. Viceversa usando i valori medi (ACP) l'interazione viene mascherata facendo emergere differenze e comportamenti più articolati e probabilmente meno rispondenti ai dati.

Rispetto ai parametri generali del suolo (Analisi 2010) è evidente un effetto residuo dell'ammendamento intensivo all'impianto anche dopo 10 anni: l'analisi multivariata ci

consente di differenziare e raggruppare i suoli in funzione dei trattamenti in modo molto netto. Anche questi valori ci consentono di sottolineare una differenza netta tra i diversi trattamenti: da una parte vi sono i trattamenti ordinari (C,CN ed LG), dall'altra invece i trattamenti intensivi (NN e NS), mentre non emergono invece differenze sostanziali entro questi gruppi. Da rimarcare inoltre come questi due gruppi si differenziano seccamente dal substrato pedogenizzato *ante operam*.

Ma se esiste questa risposta qualitativa all'intervento agronomico è possibile rappresentarla anche in termini quantitativi ?

I confronti fatti ci restituiscono una risposta qualitativa ma in termini quantitativi esiste un possibile modello che unifica tutti gli interventi ?

Partendo dai dati di Azoto totale all'impianto, sia organico di origine animale che inorganico, ed incrociandoli con i valori emersi dalle analisi del suolo (N e Sostanza Organica) e con i valori medi di N% e $\delta^{15}\text{N}$, (in quanto parametri che presentano una maggiore stabilità ed omogeneità nel tempo) abbiamo costruito 4 diverse "relazioni" (Fig.48;51).

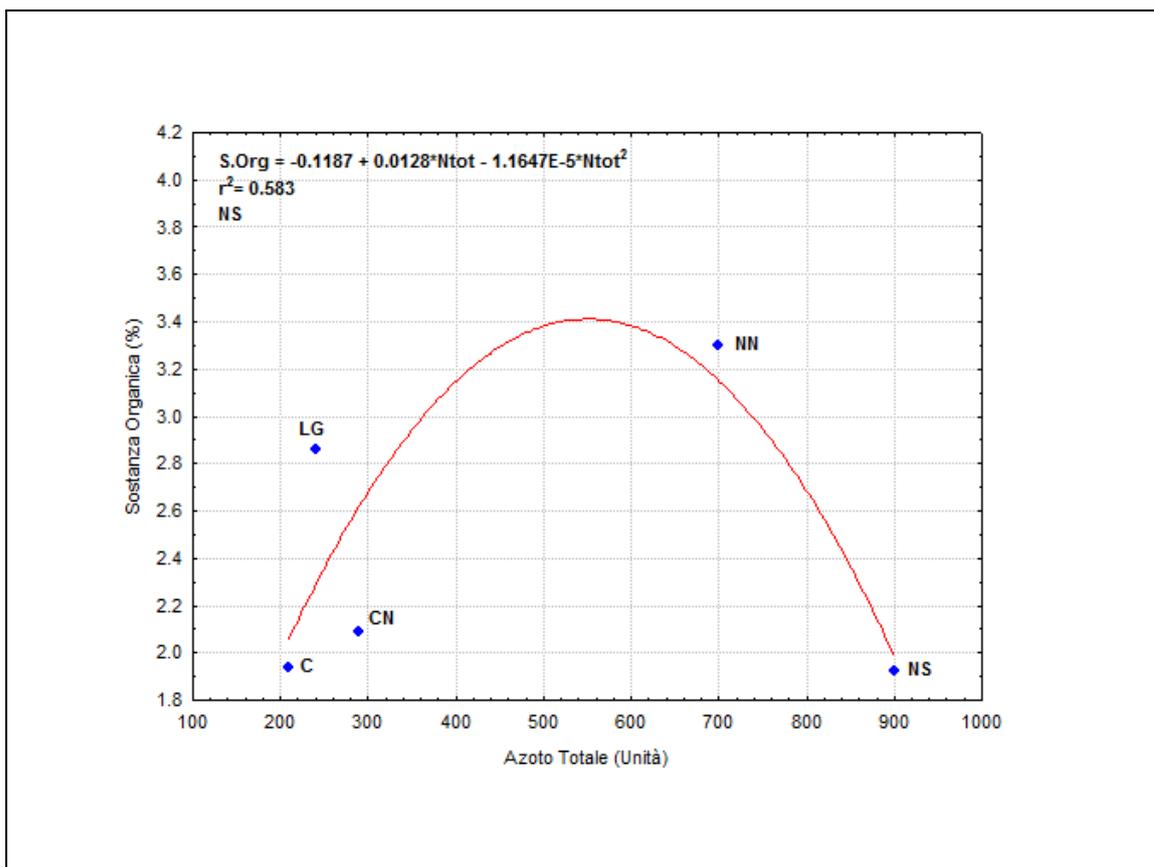


Figura 48. Relazione tra Azoto totale all'impianto e Sostanza organica nel suolo (2010)

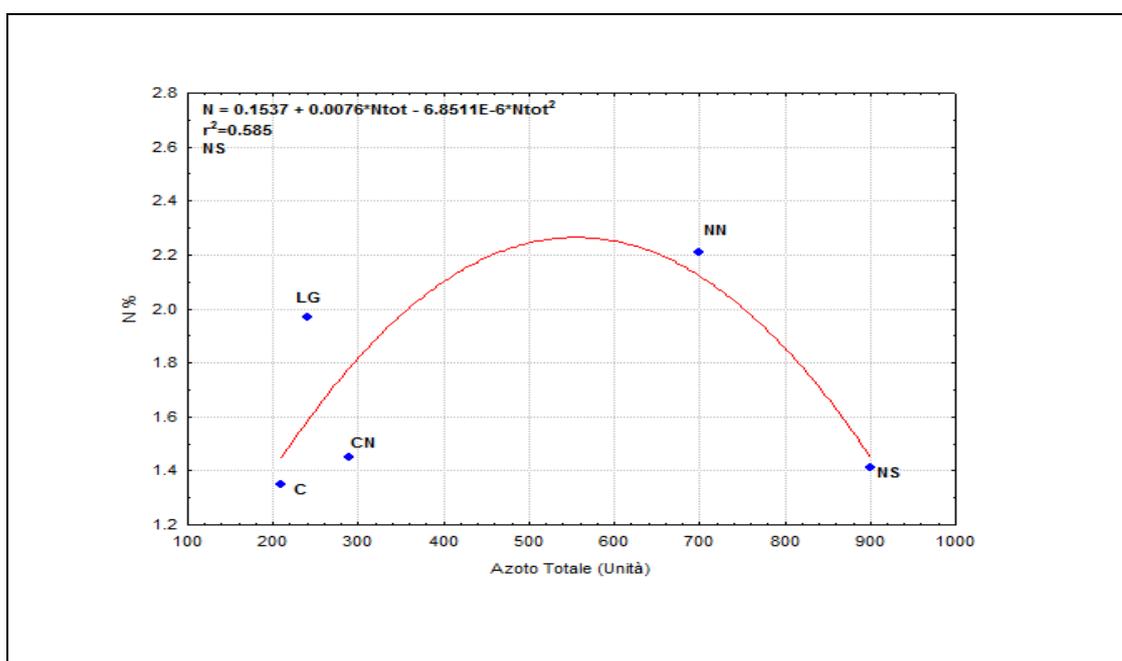


Figura 49. Relazione tra Azoto totale all'impianto e N nel suolo (2010)

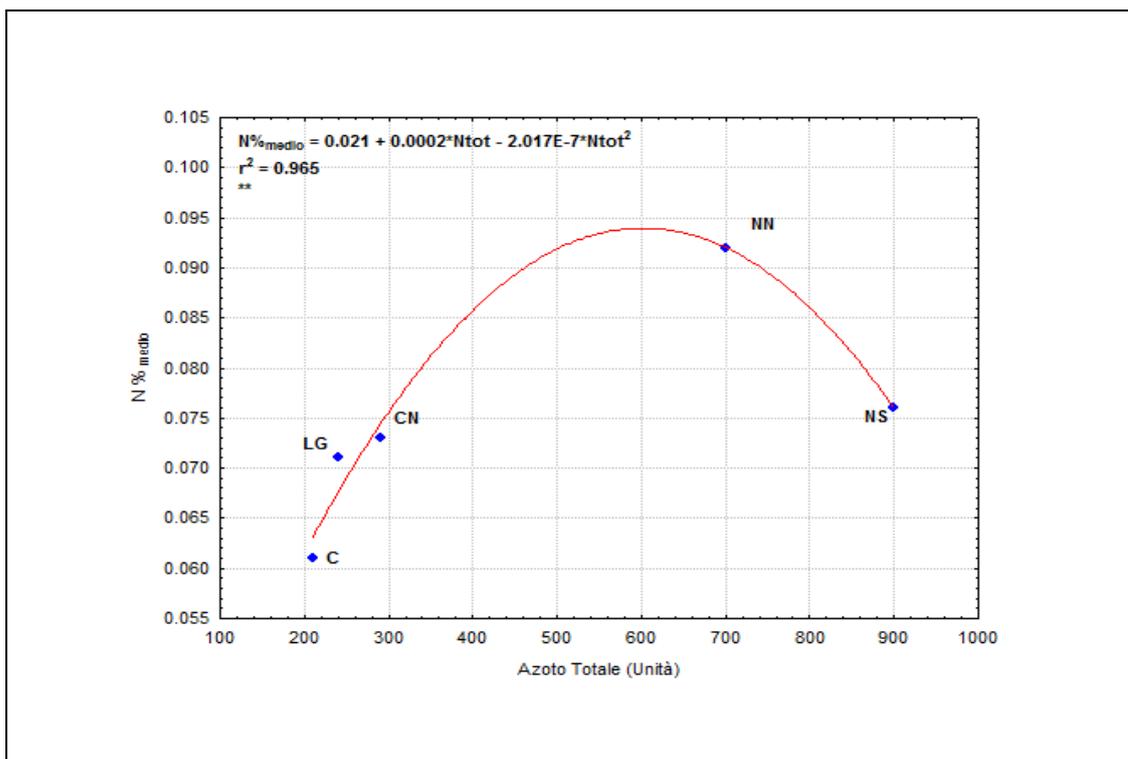


Figura 50. Relazione tra Azoto totale all'impianto e N% medio nel suolo (2010-11)

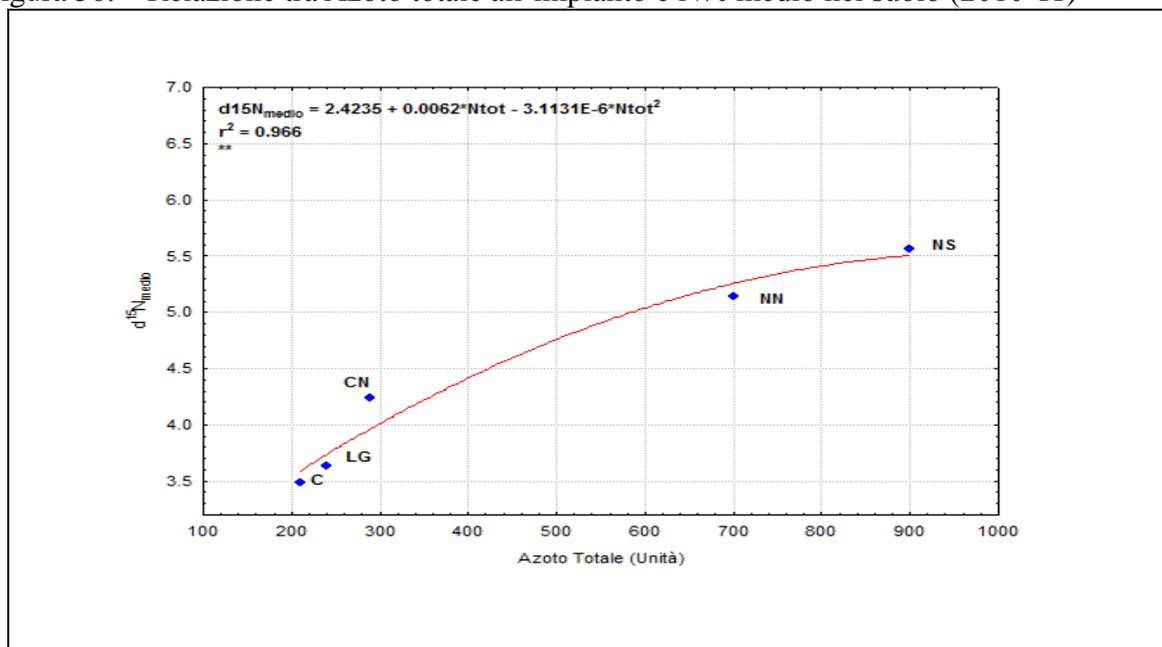


Figura 51. Relazione tra Azoto totale all'impianto e $\delta^{15}N$ medio nel suolo (2010-11).

Da questi grafici emerge chiaramente come la risposta dell' N nel suolo sia strettamente legata con le dosi distribuite al momento dell'impianto. La risposta all'ammendamento ed alla concimazione appare non lineare. Partendo dai trattamenti

ordinari, pur con delle differenze legate, con grande probabilità, alla presenza di Leguminose che migliorano le concentrazioni di N nel suolo e limitano i processi dispersivi, i modelli per i diversi parametri studiati raggiungono tutti un massimo, in corrispondenza di 500-600 unità di N totale distribuito per poi calare in corrispondenza dei trattamenti intensivi. Dosi di N elevate ed eccedenti tale valore non sembrano perciò avere nessun effetto, a medio periodo sui parametri del suolo, se non quello di aumentare inutilmente la dispersione nell'ambiente.

Questo comportamento sembra essere confermato anche se si considera solo l'N di natura organica di origine animale (letame ecc.) distribuito all'impianto. Da questi grafici si evidenzia come il trattamento con Leguminose (LG) presenti un comportamento più articolato rispetto agli altri trattamenti:

- presenta un tenore di sostanza organica nettamente superiore agli altri trattamenti ordinari (Fig. 52);
- presenta un tenore di azoto superiore nelle analisi ordinarie (2010) (Fig. 53);
- presenta un tenore di azoto medio non inferiore ad altri trattamenti anche intensivi (Fig. 54);
- presenta un $\delta^{15}\text{N}$ inferiore tra tutti i trattamenti, assieme al Controllo (Fig. 55).

Da sottolineare a questo proposito come i valori di N% del 2010, ottenuto con metodo Kjeldahl, e quelli medi (2010-2011), ottenuti con spettrometro di massa evidenziano delle discrepanze da ascrivere, con grande probabilità, a problemi campionari.

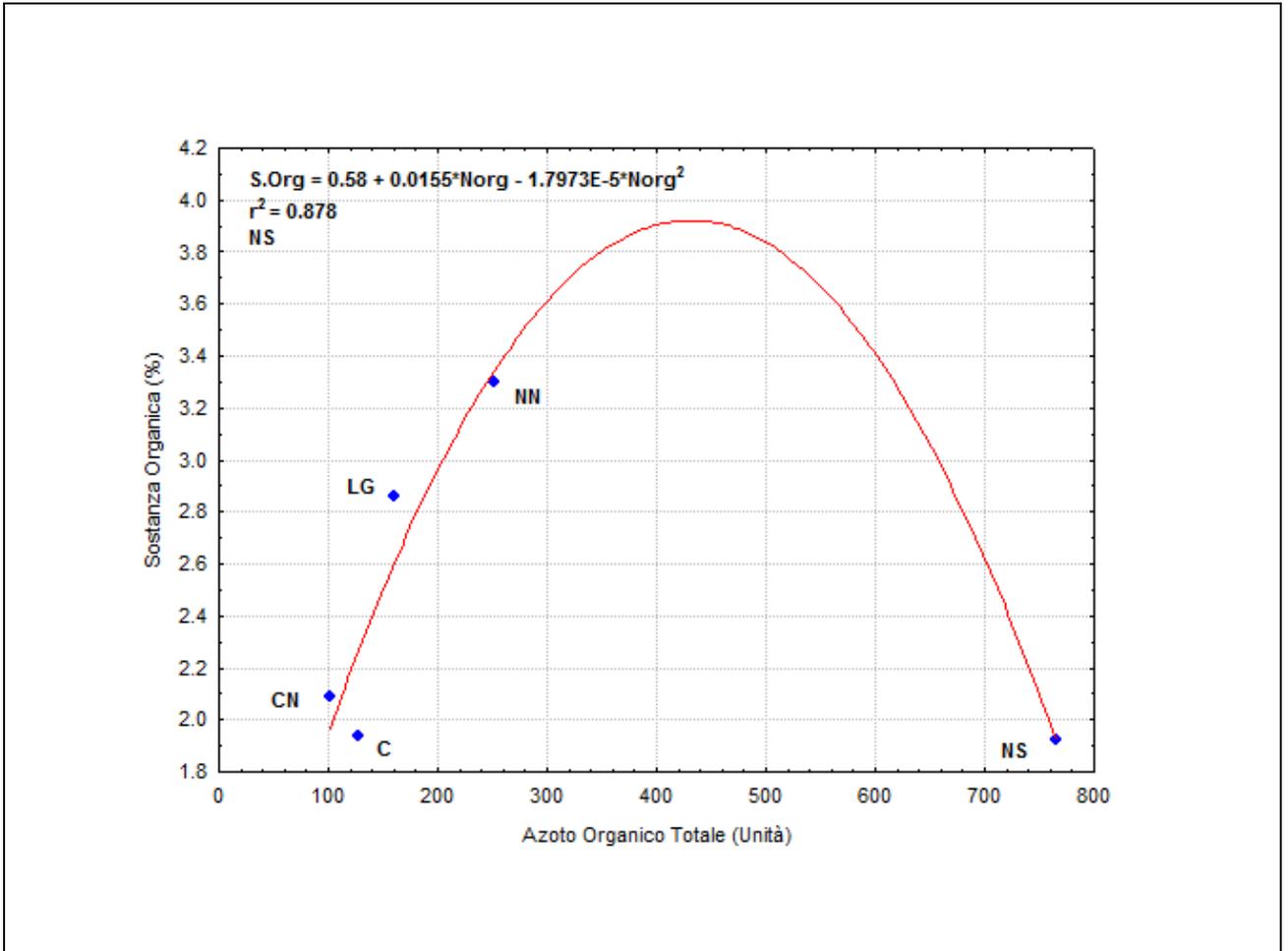


Figura 52. Relazione tra Azoto Organico totale all'impianto e Sostanza organica nel suolo (2010)

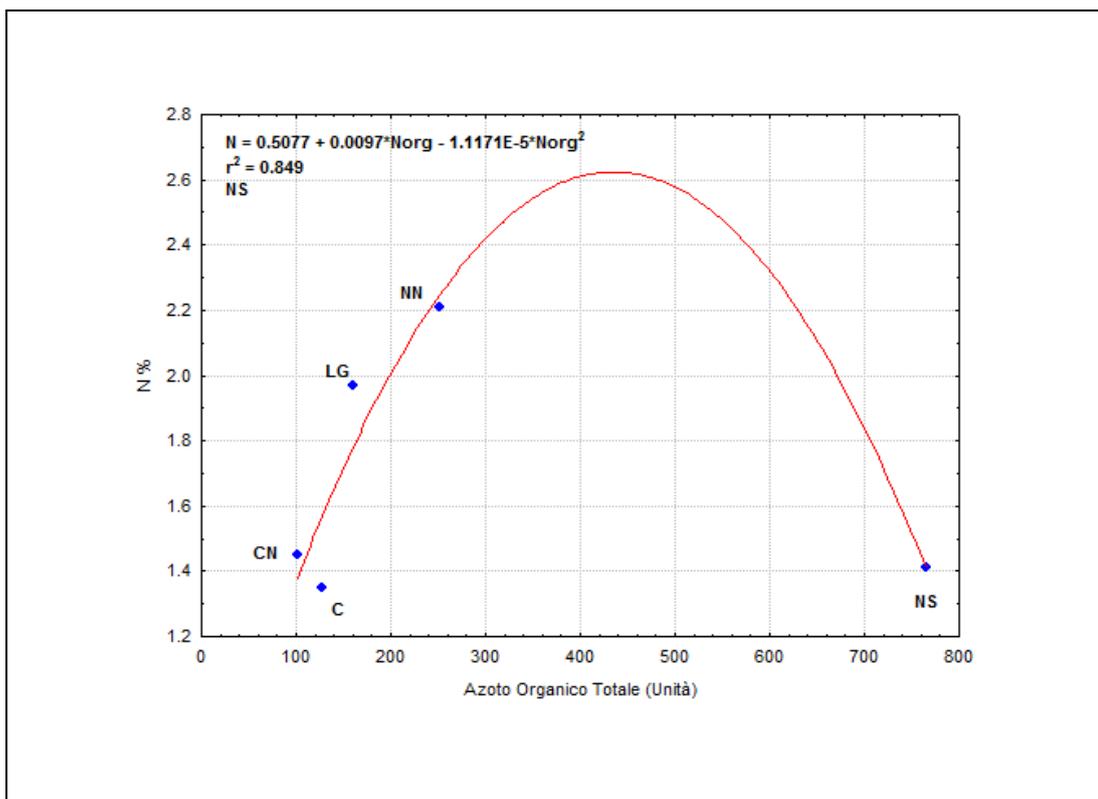


Figura 53. Relazione tra Azoto organico totale all'impianto e N nel suolo (2010)

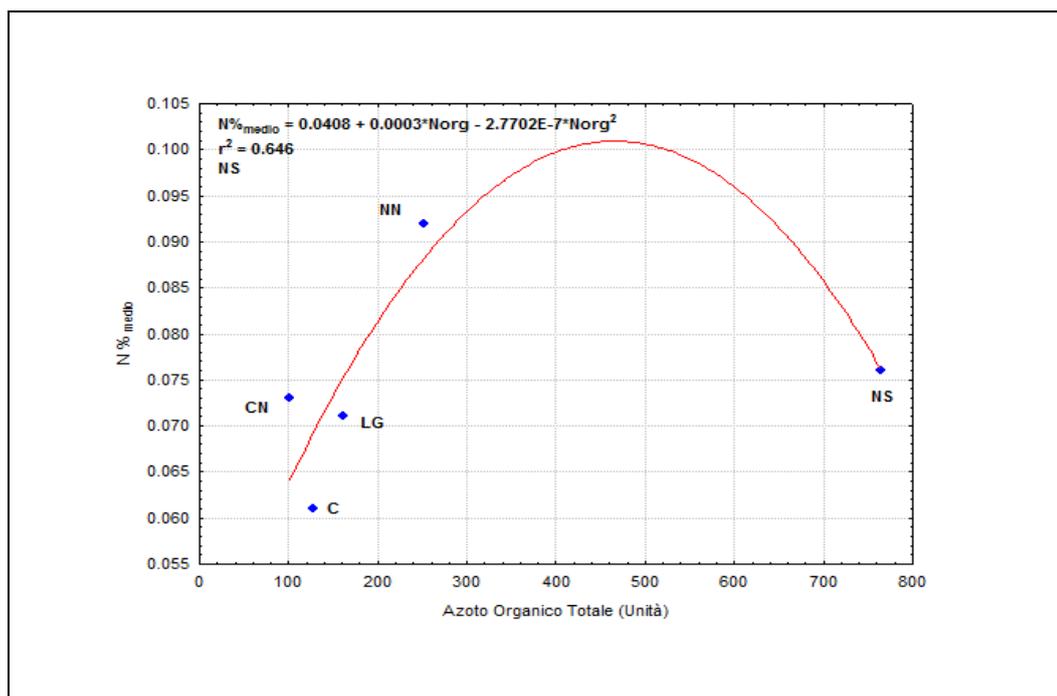


Figura 54. Relazione tra Azoto organico totale all'impianto e N % medio nel suolo (2010-11)

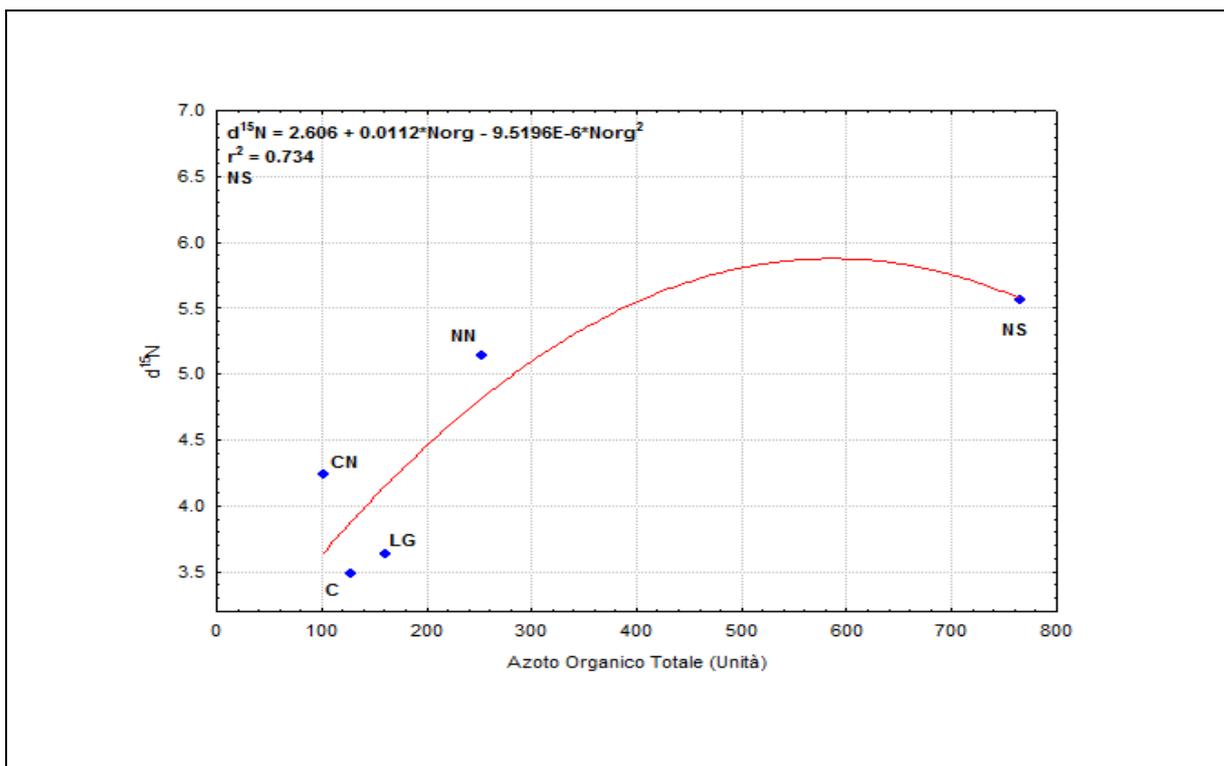


Figura 55. Relazione tra Azoto organico totale all'impianto e $\delta^{15}\text{N}$ nel suolo (2010-11).

- Vegetazione

La risposta della vegetazione ai diversi trattamenti all'impianto appare molto diversificata.

Rispetto alla Biomassa epigea totale prodotta l'impatto di una forte concimazione all'impianto non ha portato a sostanziali differenziazioni. I diversi stock presenti nei suoli e i variabili flussi di N nel suolo non hanno diversificato la produzione di biomassa totale.

I trattamenti hanno invece modificato decisamente la composizione qualitativa della copertura erbacea.

Le analisi multivariate sui rilievi fitosociologici hanno messo in evidenza una risposta diversificata della vegetazione ai diversi trattamenti. L'Analisi delle Componenti Principali ha evidenziato la presenza di due gruppi di Trattamenti che presentano una composizione floristica simile: il gruppo dei trattamenti ordinari (LG,CN,C) , che segue il primo gradiente,

ed il gruppo dei trattamenti intensivi (NN,NS) che segue il secondo gradiente. Il primo gruppo si caratterizza per la presenza di *Torilis arvensis*, *Equisetum telmateja*, *Senecio erucifolius* e *Holcus lanatus*. Il secondo invece per la presenza di *Tussilago farfara*, *Melilotus officinalis*, *Xeranthemum cylindraceum*, *Clematis vitalba*.

Anche con la Redundancy Analisi emergono grandi differenziazioni tra i trattamenti: il primo gradiente ordina i trattamenti in funzione dell'intensità dell'intervento. Come nelle altre analisi, NN ed NS si differenziano da C,CN,ed LG. Il secondo gradiente invece separa in modo diversificato questi gruppi: è sui trattamenti ordinari che questo gradiente agisce di più, differenziando nettamente CN da C ed LG, mentre sui trattamenti intensivi la differenziazione appare molto limitata.

Dall'associazione di questi due gradienti è stato possibile raggruppare le specie ricorrenti nelle diverse condizioni stazionali. Qui la caratterizzazione dei sottoinsiemi di specie funzionali ai diversi trattamenti appare molto articolata: la composizione floristica nei trattamenti intensivi si presenta molto specifica ed omogenea, imperniata sulle specie del gruppo III.1 (Fig. 47). All'opposto la composizione floristica dei trattamenti ordinari tende a differenziarsi: si sono identificati sottoinsiemi diversi in corrispondenza dei trattamenti LG,C (gruppo II.1) e del trattamento CN (gruppo IV.0), così come un sottoinsieme di specie comuni appartenenti al gruppo I.0.

Rispetto alla vegetazione quindi si può concludere che la disponibilità di azoto non sembra incidere, a 10 anni, più di tanto sulla produttività biologica generale quanto sulla sua composizione specifica. L'azoto ha certamente un impatto molto deciso sulla evoluzione delle coperture vegetali erbacee. Già dal primo anno si sono differenziati i cotici erbosi: l'eccesso di azoto ha certamente favorito una grande produttività delle specie annuali, ma ha compromesso l'insediamento e l'affermazione delle altre specie seminate. L'eccesso di biomassa da vicia e loglio nel primo anno ha infatti compromesso, almeno in parte,

l'affermazione delle festuche o dell'agropiro. Inoltre l'eccesso di N ha inibito la risemina efficace della vicia su sé stessa, cosa invece manifesta in condizioni ordinarie. Il risultato è stato un rapido declino della copertura e l'ingresso e l'affermazione di piante pioniere e ruderali stigmatizzate dalla *Tussilago farfara*.

Questo nel tempo ha comportato una differenziazione netta tra i cotici ottenuti. L'impatto dell'N appare evidente anche nella caratterizzazione dei trattamenti ordinari: dove è stata distribuita una dose, anche se limitata di N in copertura (trattamento CN) si è ottenuta una composizione floristica differente rispetto al Controllo ed al trattamento con Leguminose anche se le analisi del suolo non evidenziano concentrazioni di azoto nel suolo differenti.

Le indicazioni finali che emergono da questi confronti individuano nel rapporto tra l'azoto all'impianto e la presenza di Leguminose l'elemento centrale nel pensare e progettare un intervento di rinaturalizzazione efficace. L'apporto limitato di azoto, anche solo all'impianto, può consentire la creazione di uno stock sufficiente per sostenere, nel breve periodo, un cotico erboso in cui però deve trovare spazio una presenza di piante azoto fissatrici, come le Leguminose, che integrino ed arricchiscano la disponibilità di azoto per ricostituire quelle riserve organiche necessarie a sostenere stabilmente l'attività biologica.

5.4 L'esperimento tre: Confronto tra diverse modalità di ammendamenti all'impianto su un substrato minerale argilloso – Prova Alta.

5.4.1 Materiali e Metodi

Durante la primavera e l'estate del 2008 si è provveduto alla risagomatura definitiva della pendice al termine dell'attività di scavo di una bancata di argille in posto. In particolare i mezzi meccanici hanno rimodellato la pendice fino a raggiungere una pendenza media di circa 20°, vicino al limite di stabilità per le rocce argillose, in figura 56.



Figura 56. Esperimento tre: Prova Alta.

La composizione del substrato minerale evidenzia la natura minerale e l'assenza di processi pedogenetici (Tab. 75).

Parametri	Unità	Argilla Minerale
pH		9.69
Calcare Totale	%	2.00
Calcare Attivo	%	1.60
Sostanza Org.	%	0.44
N	%°	0.33
P	ppm	2.00
K	ppm	411.00
Na	ppm	1472.00
Ca	ppm	2048.00
Mg	ppm	734.00
CSC	meq/100g	23.71
C/N		7.73
Sabbia	%	36.00
Limo	%	38.00
Argilla	%	26.00

Tabella 75. Composizione chimico fisica del substrato minerale oggetto del recupero

L'area così preparata è stata suddivisa in 3 grandi parcelle su cui casualmente sono stati implementati i 3 trattamenti a confronto del piano sperimentale:

- Controllo: senza alcun intervento (C);
- Ammendamento con letame associato a paglia e a cippato di legno di potatura (CP);
- Ammendamento con letame associato a paglia (P).

Le parcellone a confronto sono di forma rettangolare larghe mediamente 30 m ed allungate lungo la pendenza fino alla strada di arroccamento sottostante. L'intervento di recupero ambientale ha interessato anche le aree limitrofe per interessare tutta l'area di abbandono del fronte.

Nel settembre dello stesso anno sulla pendice così predisposta si è eseguita una aratura di media profondità (< 60 cm) con lo scopo di rompere ed uniformare il primo strato superficiale del substrato. Associata ad essa si è provveduto alla distribuzione, innanzitutto, delle sostanze organiche ammendanti rappresentate da letame, in una quantità pari a 320 t, mescolato con

paglia di frumento (in una quantità pari a 7 t) e da cippato di potatura (18 t), secondo lo schema spaziale predisposto. In particolare l'ammendamento ottenuto riferito ad ettaro è risultato essere pari a circa 150 t/ha di letame, 2.3 t/ha di paglia e di 6 t/ha di cippato.

Successivamente si è operata una concimazione chimica distribuendo 250 kg/ha di Fosfato biammonico (16.47.0) e di Urea (46.0.0) (150 kg/ha).

Tutti le sostanze distribuite sono state interrare con un'aratura. Il substrato è stato affinato con una estirpatura andante per poi essere seminato con un miscuglio di specie erbacee costituito da:

GRAMINACEE	74,0%	LEGUMINOSE	26,0%
<i>Lolium perenne</i>	10,0	<i>Vicia villosa</i>	6,0
<i>Alopecurus pratensis</i>	22,0	<i>Medicago sativa</i>	10,0
<i>Agropyron cristatum</i>	14,0	<i>Hedysarum coronarium</i>	10,0
<i>Dactylis glomerata</i>	20,0		
<i>Festuca arundinacea</i>	8,0		

Per una dose a metro quadro pari a 110 g (60 g senza *Vicia villosa*).

Il miscuglio è stato distribuito a spaglio in varie passate in funzione della dimensione del seme per poi essere interrato attraverso il passaggio di un erpice a maglie. Sul letto di semina così predisposto è stata poi realizzata la rete di scolo rappresentata da fossi in traverso a bassa pendenza, utilizzando la lama trasversale di un trattore a cingoli. Infine su tutta la superficie seminata si è distribuito uniformemente una pacciamatura di fieno.

5.4.2 Raccolta dati

Suolo

Dal substrato dei tre diversi trattamenti sono stati raccolti diversi campioni di suolo, ad una profondità di 0-25 cm nel periodo di massima attività biologica in tutti e tre gli anni di osservazione. In particolare si è utilizzata una trivella a percussione di 5 cm di diametro.

Questi campioni sono stati poi preparati per analizzare i parametri fondamentali dell'attività biochimica azotata nel suolo rappresentati:

- dalla concentrazione di $N\text{-NO}_3$ e $N\text{-NH}_4$, al fine di caratterizzare i processi dinamici in atto nei substrati;
- dall' N % totale, per definire lo stock globale di azoto presente nel substrato;
- dal $\delta^{15}N$, al fine di determinare l'accumulo dell'isotopo N^{15} , isotopo pesante che risulta essere correlato a processi di dilavamento o riutilizzo dell'azoto distribuito al momento dell'impianto.

Per i primi due parametri i campioni sono trasformati a fresco in beute da 500 ml a cui sono aggiunti 200 ml di una soluzione di KCl 2M. Agitati per un'ora, 60 mL della sospensione sono centrifugati per 10 minuti a 3000 giri/minuto. Il contenuto delle diverse forme azotate, ammoniacali e nitriche è stato successivamente determinato con il metodo della colorimetria a flusso, mediante un analizzatore automatico a flusso continuo, con l'utilizzazione di elettrodi specifici dopo aver tarato lo strumento con soluzioni con concentrazioni standard di N minerale.

Per i restanti parametri, partendo dagli stessi campioni raccolti, sono stati ricavati la presenza di N % totale e il valore del $\delta^{15}N$ utilizzando un analizzatore elementare a spettrofotometria di massa, per determinarne le concentrazioni. In particolare i campioni essiccati sono stati pesati e poi sottoposti ad un Analizzatore elementare e ad una Spettrofotometria di massa utilizzando una macchina della Delta Plus Finnigan-Matt appartenente al Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie dell'Università di Bologna.

Nell'ottobre 2010, infine, si sono raccolti dei campioni di suolo che, essiccati, sono stati poi analizzati chimicamente al fine di caratterizzare i primi 25 cm di substrato. In particolare si sono raccolti tre sottocampioni in aree diverse e sono stati poi riuniti in un unico campione. In dettaglio si sono definiti i parametri granulometrici e quelli chimici,

rappresentati da: tessitura (col Metodo Pipetta/Bouyoucos), pH (col metodo potenziometrico), calcare totale (col Metodo De Astis), sostanza organica (col Metodo Walkley-Black), azoto totale (col Metodo Kjeldahl), fosforo assimilabile (col Metodo Olsen), potassio-sodio-calcio-magnesio (con il Metodo Bario cloruro/Ammonio acetato). Le analisi sono state eseguite presso il Laboratorio Analisi del dott. Cicognani di Forlì.

Vegetazione

- Analisi biometrica

Sulle 3 parcelle così predisposte dal 2009 è iniziata la raccolta dei dati. A fine giugno dei tre anni di osservazione si è provveduto alla raccolta casuale di 3 campioni di biomassa prodotta per trattamento: i campioni sono stati raccolti su superfici quadrate di 40 cm di lato. La biomassa è poi stata essiccata in stufa alla temperatura di 65°C per 2 giorni fino al raggiungimento di un peso costante.

- Analisi floristica

Sempre sulla copertura erbacea in tutti gli anni dello studio si è operata anche una analisi fitosociologia secondo i metodi e la scala di Braun Blanquet , per verificarne la composizione specifica e l'abbondanza delle specie. Questa analisi specialistica è stata eseguita a fine giugno dal dott. Maurizio Sirotti esperto geobotanico che lavora in tutta l'Emilia Romagna.

Analisi dei dati

Suolo

- Analisi Univariate

Si è operata innanzitutto una Analisi Univariata della Varianza analizzando tutti i singoli parametri misurati. Lo schema sperimentale adottato è riconducibile ad un Modello Fattoriale Misto a 4 fattori: Anno, Data, Trattamento, Repliche. In particolare l'Anno e le Repliche sono stati considerati come effetti Random mentre i restanti sono stati valutati come fattori Fissi. Il modello lineare complessivo si è perciò così strutturato:

$$Y = \mu + \text{Anno} + \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Tratt} + \text{Tratt} * \text{Data}(\text{Anno}) + \text{Repl}(\text{Tratt} * \text{Data}(\text{Anno})).$$

Nei trattamenti statisticamente significativi si è poi proceduto alla separazione delle medie adottando un test di confronto a coppie "Tukey type".

- Analisi Multivariate

Poi si è operato con delle tecniche di Analisi Multivariata, considerando contemporaneamente tutte le variabili quantitative misurate per evidenziare dei gradienti e/o ordinamenti. Si sono utilizzate due diverse tecniche:

- Analisi Discriminante Canonica (ADC): utilizzando i singoli risultati analitici dei singoli rilievi realizzati nei 3 anni, utilizzando quindi sia la variabilità tra i Trattamenti che quella entro i Trattamenti;
- Analisi delle Componenti Principali (PCA): dove, invece, si sono utilizzati gli indici di posizione centrale (media) e dispersione unitaria (CV) per ogni Trattamento*Anno delle analisi ricavate dai rilievi ottenuti nel periodo di massimo rigoglio vegetativo di ogni anno (mesi di maggio-giugno). Ai dati analitici dell'azoto nel suolo si è poi aggiunto il parametro della Biomassa.

Per l'elaborazione si è ricorso alla procedura Mixed del programma statistico di SAS 9.0.

Vegetazione

- Analisi Univariate

Per l'analisi statistica dello sviluppo della vegetazione (Biomassa) si è operata una Analisi della Varianza adottando un Modello ad Un Fattore rappresentato dal trattamento all'impianto:

$$Y = \mu + \text{Trattamento} + \text{Repliche}(\text{Trattamento}).$$

ed un test di separazione delle medie a coppie "Tukey type". Per l'elaborazione si è ricorso alle procedure del programma statistico di SAS 9.0.

- Analisi Multivariate floristiche

Durante il periodo di massima produttività biologica (fine giugno) del 2010 si è operata una analisi floristica quantitativa della copertura erbacea affermatasi nel decennio successivo all'impianto. In particolare utilizzando le capacità del dott. Maurizio Sirotti (esperto geobotanico regionale) si è provveduto ad una analisi geobotanica secondo gli schemi e la scala di Braun Blanquet, identificando e quantificando l'abbondanza di tutte le specie erbacee presenti.

- I dati così raccolti sono stati poi informatizzati, trasformati secondo la scala ordinale di Van der Maarel (1-9) e poi elaborati in due Analisi Multivariate specifiche: Una Analisi delle Componenti Principali (PCA): partendo da una matrice Trattamenti

x Specie, per evidenziare eventuali gradienti ed ordinare sia le Specie che i Trattamenti;

- Una Redundancy Analysis (RDA), associando la composizione floristica quantitativa (attraverso la matrice Specie*Trattamenti) ed i parametri chimico fisici del substrato (attraverso la matrice Parametri*Trattamenti) , utilizzando il programma statistico CANOCO 4.5. Sugli “scores” ottenuti dalla RDA si sono poi operate due Analisi dei Cluster (con CSS/Statistica):

1) utilizzando i dati tal quali;

2) pesando i dati in funzione del valore dell’Autovalore del relativo gradiente.

I dendrogrammi ottenuti hanno permesso di caratterizzare meglio la complessa risposta della vegetazione, suddividendola in sottogruppi di specie con comportamenti omogenei.

5.4.3 Risultati

Suolo

- Analisi Univariate
 - a) Azoto nitrico (N-NO₃)

ANOVA (Model III)

TRT N-NO ₃	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	0,0001	**
Trt* Date(Anno)	0.221	NS

Tabella 76. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti

Dall'Analisi della Varianza del modello emerge una significatività statistica tra i trattamenti in assenza di una interazione significativa con il tempo. In particolare si evidenzia come la concentrazione di N-NO₃ sia statisticamente più elevata nelle parcelle ammendate rispetto al Controllo.

	2009	2010	2011	Trattamento	Separazione
C	2.49	1.31	8.36	4.09	b
	0.94	0.54	0.50	0.28	
Cp	4.06	2.45	10.17	5.56	a
	0.77	0.54	0.47	0.24	
P	3.19	2.09	10.76	5.37	a
	0.77	0.47	0.47	0.24	
Anno	3.24	1.96	9.76		**
	0.48	0.30	0.28		

Tabella 77. Medie degli effetti dei trattamenti e degli anni (media + esm) con separazione delle medie

Pur in assenza di interazione significativa nelle singole date si osserva un comportamento diversificato che vede, nel tempo, prevalere il trattamento con Paglia.

Trt/Data	25/06/2009		12/05/2010		23/06/2010		20/04/2011		03/05/2011	
Controllo	2.49	a	1.71	a	0.91	b	9.43	b	7.61	b
	0.65		0.54		0.54		0.46		0.53	
Cippato	4.06	a	1.96	a	2.95	a	11.68	a	8.65	a
	0.54		0.54		0.54		0.46		0.46	
Paglia	3.19	a	2.33	a	1.95	b	12.23	a	9.29	a

	0.54		0.54		0.41		0.46		0.46
	NS		NS		*		*		*

Tabella 78. Medie delle interazioni trattamenti*date(anno) (media+esm) con separazione delle medie entro Data(Anno).

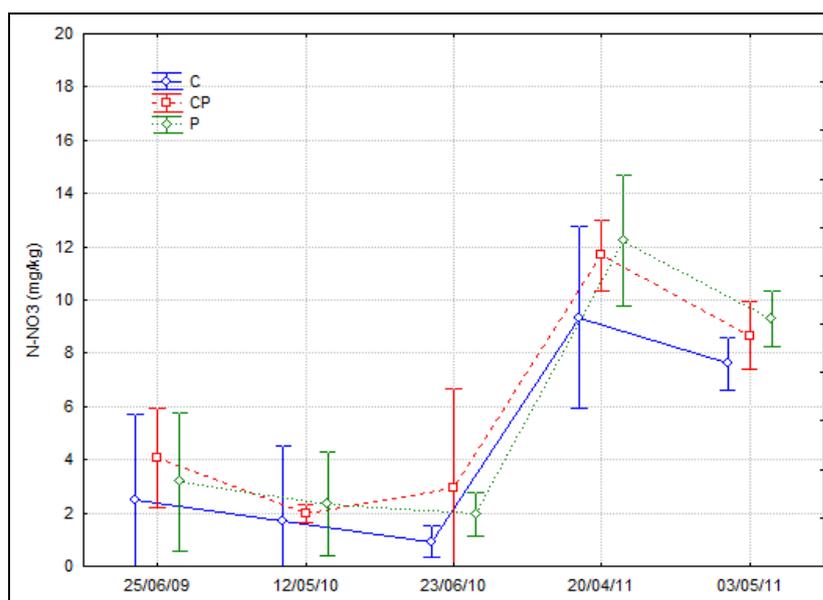


Figura 57. Andamento dell'N-NO₃ nel tempo.

b) Azoto ammoniacale N-NH₄

ANOVA (Model III)

TRT N-NH ₄	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	< 0,0001	**
Trt	0,0002	**
Trt* Date(Anno)	< 0,0001	**

Tabella 79. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

L'analisi dell'azoto ammoniacale evidenzia una elevata significatività dell'interazione tra trattamenti e Date(Anno). Infatti dal confronto delle medie entro Data(Anno) emerge un comportamento diversificato, dove i trattamenti tendono a prevalere sul Controllo non trattato.

	2009	2010	2011	Trattamento
C	0.00	6.41	4.11	3.46
	0.97	0.56	0.52	0.37
Cp	7.87	8.53	3.07	6.49
	0.79	0.56	0.48	0.32
P	1.76	8.68	4.43	4.92
	0.79	0.49	0.48	0.31
Anno	3.21	7.87	3.87	
	0.49	0.31	0.29	

Tabella 80. Medie degli effetti dei trattamenti e degli anni (media + esm).

Trt/Data	25/06/2009		12/05/2010		23/06/2010		20/04/2011		03/05/2011	
Controllo	0.00	c	5.24	a	7.58	b	3.07	a	4.89	a
	0.86		0.70		0.70		0.61		0.70	
Cippato	7.87	a	7.34	a	9.73	a	3.12	a	3.02	b
	0.70		0.70		0.70		0.61		0.61	
Paglia	1.76	b	8.08	a	9.04	a	4.01	a	4.85	a
	0.70		0.70		0.54		0.61		0.61	
	*		NS		*		NS		*	

Tabella 81. Medie delle interazioni trattamenti*date(anno) (media+esm) e separazione delle medie entro Data(Anno).

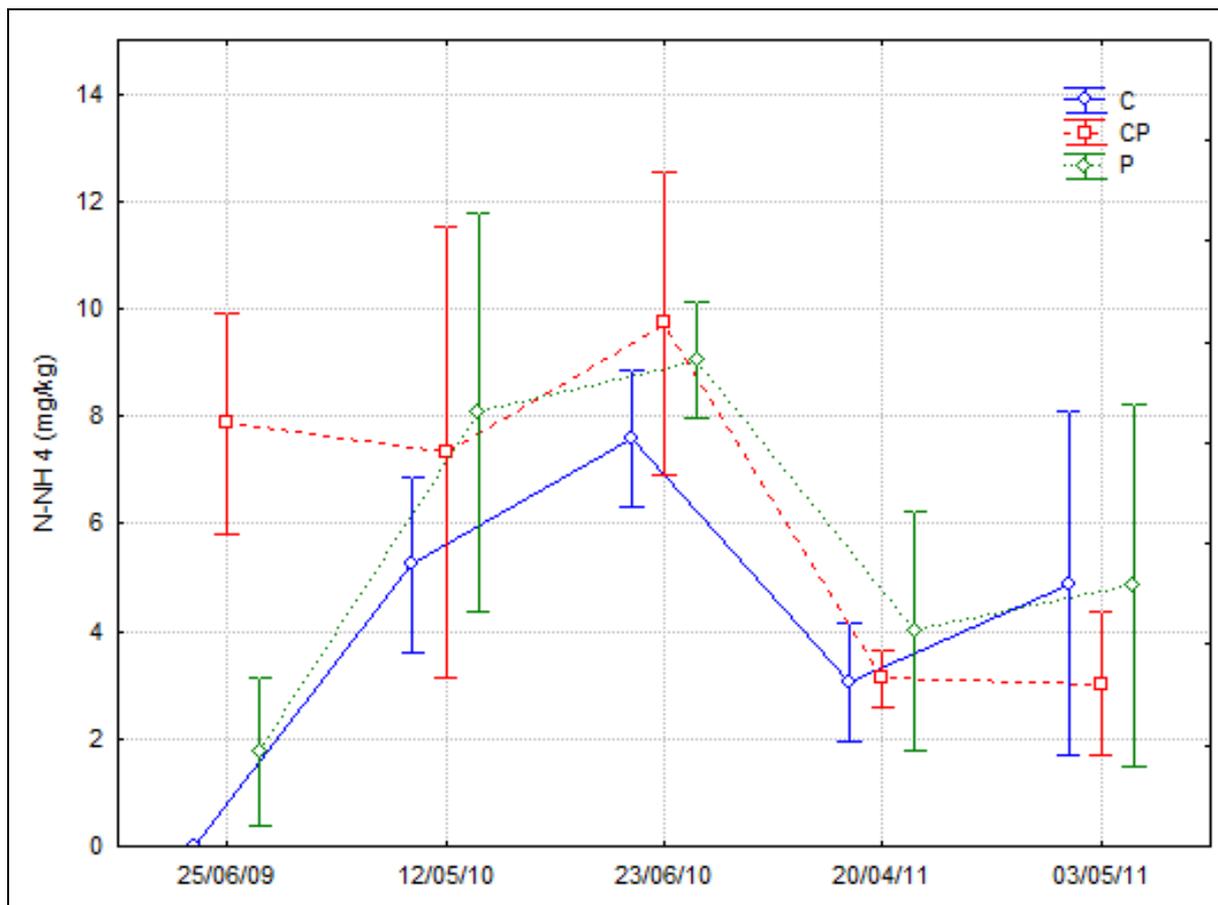


Figura 58. Andamento dell'N-NH₄ nel tempo

c) Azoto totale N(%)

ANOVA (Model III)

TRT N%	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	0,0010	**
Trt	<0,0001	**
Trt* Date(Anno)	0.0001	**

Tabella 82. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti

Rispetto all’N% totale l’analisi sottolinea un comportamento molto altalenante del tempo con una interazione molto significativa associata ad una disomogeneità della varianza tra i trattamenti specie nei primi rilievi effettuati. Analizzando le medie entro Data(Anno) emerge infatti una predominanza delle concentrazioni di N-NH₄ nel trattamento con Cippato, anche se il rapporto con le altre medie varia di data in data.

	2009	2010	2011	Trattamento
C	0.056	0.066	0.070	0.064
	0.014	0.009	0.007	0.005
Cp	0.185	0.090	0.093	0.123
	0.012	0.008	0.007	0.005
P	0.094	0.082	0.097	0.092
	0.012	0.007	0.007	0.005
Anno	0.112	0.079	0.087	
	0.007	0.004	0.004	

Tabella 83. Medie degli effetti dei trattamenti e degli anni (media + esm)

Trt/Data	25/06/2009		12/05/2010		23/06/2010		20/04/2011		03/05/2011	
Controllo	0.056	b	0.081	a	0.052	b	0.059	C	0.078	b
	0.014		0.011		0.011		0.009		0.009	
Cippato	0.180	a	0.099	a	0.081	a	0.098	A	0.088	b
	0.011		0.011		0.011		0.009		0.009	
Paglia	0.094	b	0.089	a	0.077	a	0.082	B	0.113	a
	0.011		0.011		0.011		0.009		0.009	
	*		NS		*		*		*	

Tabella 84. Medie delle interazioni trattamenti*date(anno) (media+esm) e separazione delle medie entro Data(Anno)

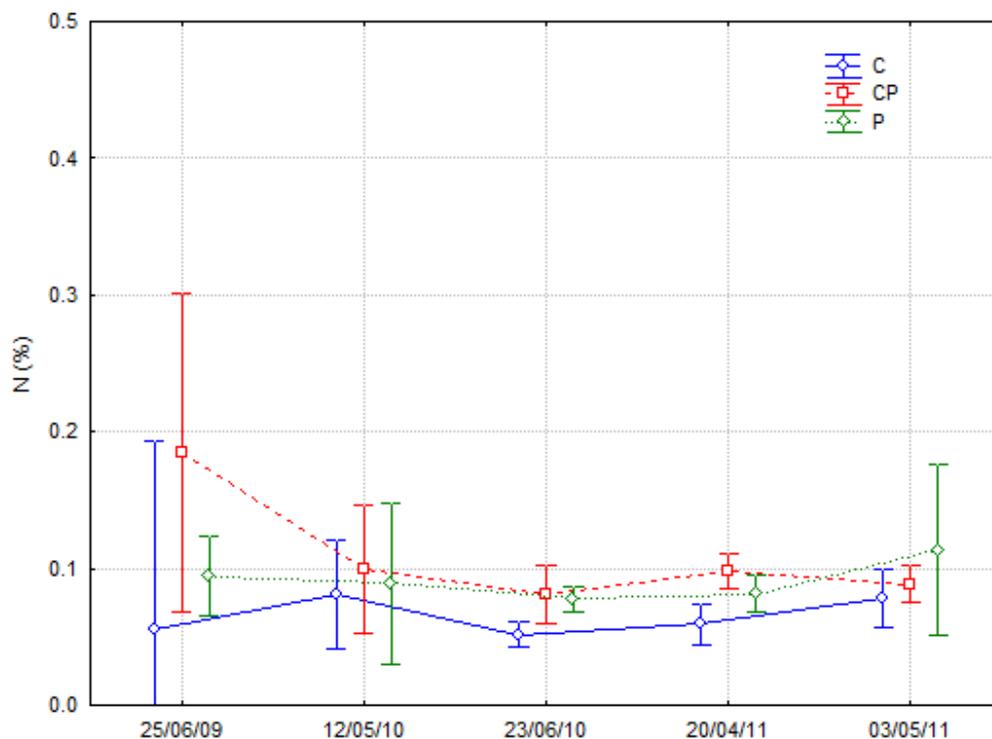


Figura 59. Andamento dell'N% nel tempo

d) $\delta^{15}\text{N}$

ANOVA (Model III)

TRT $\delta^{15}\text{N}$	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Date(Anno)	<0,0001	**
Trt	0,0014	**
Trt* Date(Anno)	0.0175	*

Tabella 85. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti.

L'analisi della variazione dell'isotopo 15 dell'N evidenzia una significatività statistica per l'interazione Trattamento*Date(Anno), sottolineando quindi un comportamento non omogeneo nel tempo di questo parametro tra i trattamenti. Infatti dall'osservazione dei valori medi dei Trattamenti entro Date(Anno) emerge come il Controllo presenti quasi sempre un

valore del $\delta^{15}\text{N}$ superiore. Tra i due interventi di miglioramento a confronto, invece, non si evidenzia una particolare regolarità tra i valori medi osservati: ad ogni data il loro rapporto reciproco tende sempre a variare.

	2009	2010	2011	Trattamento
C	4.38	6.93	5.81	5.76
	0.87	0.50	0.46	0.22
Cp	4.90	5.17	5.09	5.05
	0.71	0.50	0.43	0.19
P	4.94	5.41	4.63	5.11
	0.71	0.44	0.43	0.19
Anno	4.74	5.84	5.18	
	0.44	0.28	0.26	

Tabella 86. Medie degli effetti dei trattamenti e degli anni (media + esm)

Trt/Data	25/06/2009		12/05/2010		23/06/2010		20/04/2011		03/05/2011	
Controllo	4.38	a	7.82	a	6.05	a	7.04	a	4.89	a
	0.52		0.42		0.42		0.37		0.42	
Cippato	4.89	a	5.92	b	4.42	b	5.39	b	4.79	a
	0.42		0.42		0.42		0.37		0.37	
Paglia	4.94	a	7.19	a	4.34	b	5.87	b	3.39	b
	0.42		0.42		0.33		0.37		0.37	
	NS		*		*		*		*	

Tabella 87. Medie delle interazioni trattamenti*date(anno) (media+esm) e separazione delle medie entro Data(Anno)

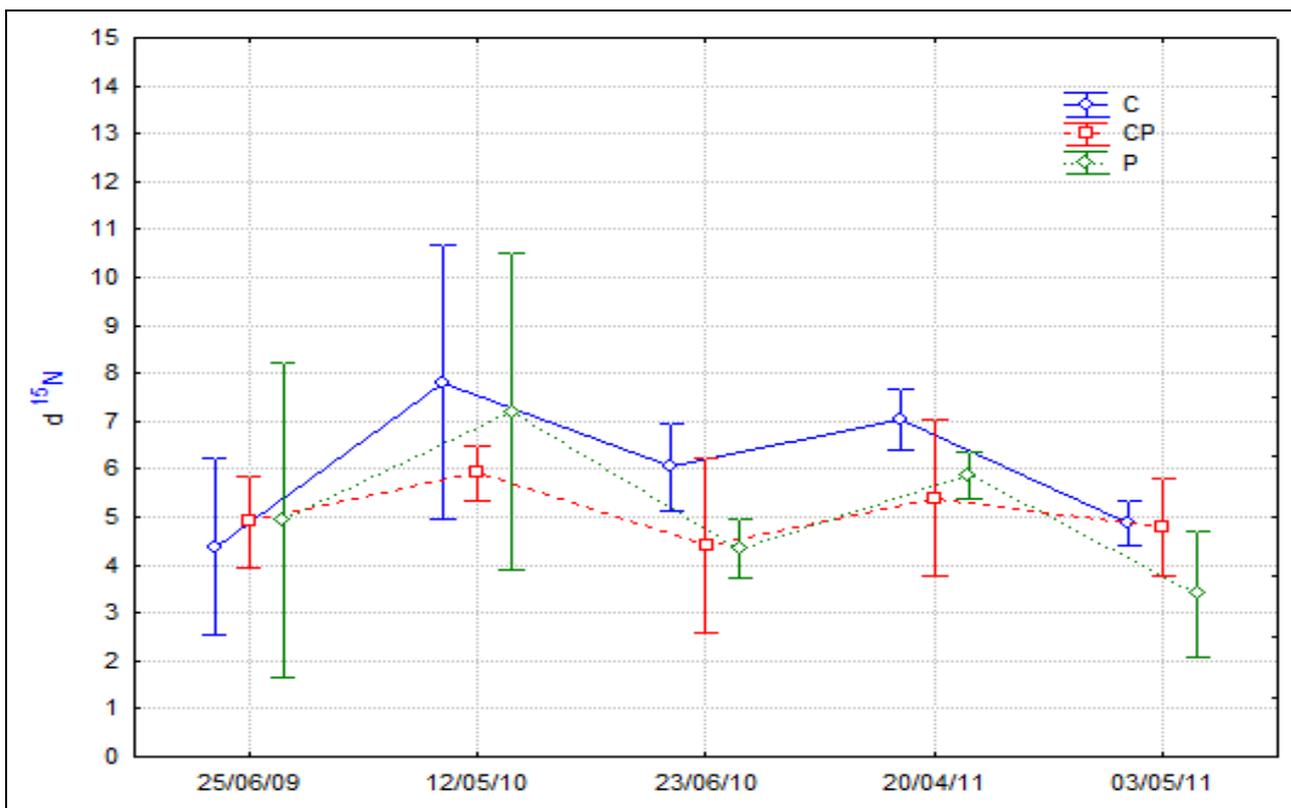


Figura 60. Andamento del $\delta^{15}\text{N}$ nel tempo

- Analisi multivariata

I. Analisi Discriminante Canonica dell'Azoto nel suolo

Radici	Autoval.	R Canonico	Lambda	X^2	$P(X^2)$
0	1.043	0.715	0.299	35.591	0.002
1	0.604	0.614	0.611	14.511	0.069
2	0.019	0.138	0.981	0.569	0.903

Tabella 88. Test del X^2 per le Radici successive rimosse.

L'Analisi Canonica dei parametri dell'azoto del suolo dei dati ripetuti nelle diverse date evidenzia due Radici esplicative. In particolare la prima Radice intercetta l'67.2%

dell'informazione e risulta fortemente correlata in negativo all'N% , mentre la seconda con il 32.8% è legata maggiormente alla Biomassa.

Variabile	Radice1	Radice2
N-NO ₃	0.044	-0.068
N-NH ₄	-0.166	0.192
N(%)	-25.611	-39.454
δ ¹⁵ N	0.252	0.213
Biomassa	-0.013	0.031
Costante	2.323	0.172
Autovalore	0.867	0.423
Cumulata %	0.672	1.000

Tabella 89. Coefficienti grezzi delle variabili canoniche

Variabile	Radice1	Radice2
N-NO ₃	-0.084	0.002
N-NH ₄	-0.252	-0.085
N(%)	-0.843	-0.402
δ ¹⁵ N	0.334	0.075
Biomassa	-0.593	0.562

Tabella 90. Correlazione tra Variabili e Radici canoniche

Dall'osservazione del piano delle due Radici estratte si evidenzia come i trattamenti si distribuiscano secondo il gradiente principale passando dal Controllo ai trattamenti Intesivi, raggiungendo il massimo nel Cippato. Rispetto al secondo gradiente è il Trattamento Paglia a differenziarsi in quanto maggiormente produttivo.

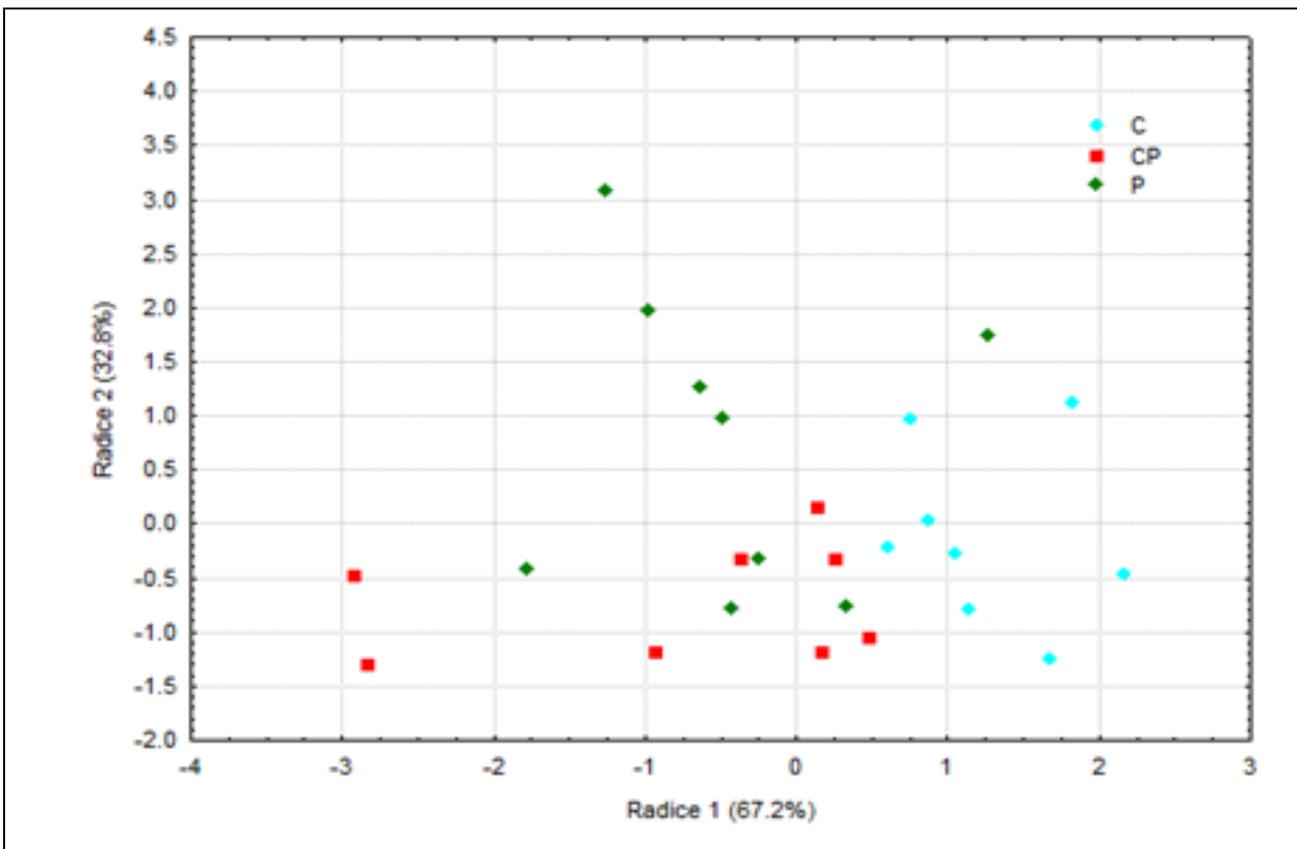


Figura 61. Distribuzione delle prime due Radici dell'An. Discrim. Canonica in funzione dei trattamenti

II. Analisi delle Componenti Principali dell'Azoto nel Suolo

L'Analisi delle Componenti Principali sui dati medi e sui parametri della variabilità (CV) sia dell'azoto nel suolo che sulla Biomassa rilevata evidenzia che i primi 3 gradienti calcolati spiegano circa il 75%. La Prima Componente, che spiega il 35% della varianza, è correlata positivamente con l' $N-NO_3$ e negativamente con l' $N-NH_4$ e con l'indice di variabilità dell' $N-NO_3$, mentre la Seconda, con il 24%, è correlata positivamente con l' $N\%$ e negativamente con $CV(N-NH_4)$. Le restanti Componenti calcolate presentano delle correlazioni elevate con diversi indici di variabilità.

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	3.523	35.232	35.232
2	2.351	23.509	58.741
3	1.660	16.602	75.343
4	1.221	12.209	87.552
5	0.783	7.827	95.394

Tabella 91. Autovalori dell'An. delle Componenti Principali

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3	C.P.4
Biomassa	0.541	0.514	0.333	-0.275
CV(Biomassa)	-0.665	-0.089	0.668	0.301
N-NO ₃	0.841	-0.206	-0.055	0.184
CV(N-NO ₃)	-0.828	-0.167	-0.084	-0.327
N-NH ₄	-0.768	0.312	-0.064	0.534
CV(N-NH ₄)	0.605	-0.702	-0.174	0.109
N%	0.141	0.945	-0.139	0.197
CV(N%)	-0.005	-0.255	-0.539	0.639
$\delta^{15}\text{N}$	-0.645	-0.395	-0.427	-0.362
CV($\delta^{15}\text{N}$)	0.052	-0.549	0.752	0.192

Tabella 92. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali

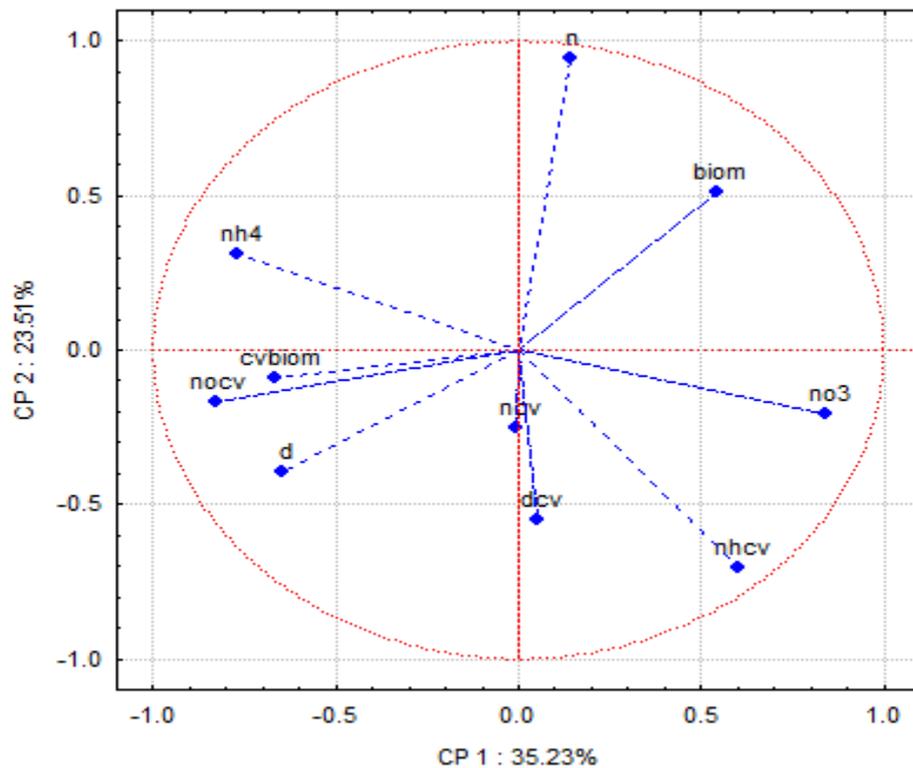


Figura 62. Andamento delle variabili in funzione delle prime due componenti

Dall'osservazione degli "scores" relativi ai primi due gradienti emerge la relazione tra il primo gradiente e le variazioni tra gli Anni di osservazione: il 2010 infatti tende a differenziarsi nettamente dai restanti anni. Lungo il secondo gradiente invece si può osservare come siano i Trattamenti a stratificarsi in verticale: partendo dal Controllo, posizionato nella porzione inferiore del piano, si passa alla Paglia ed infine al Cippato.

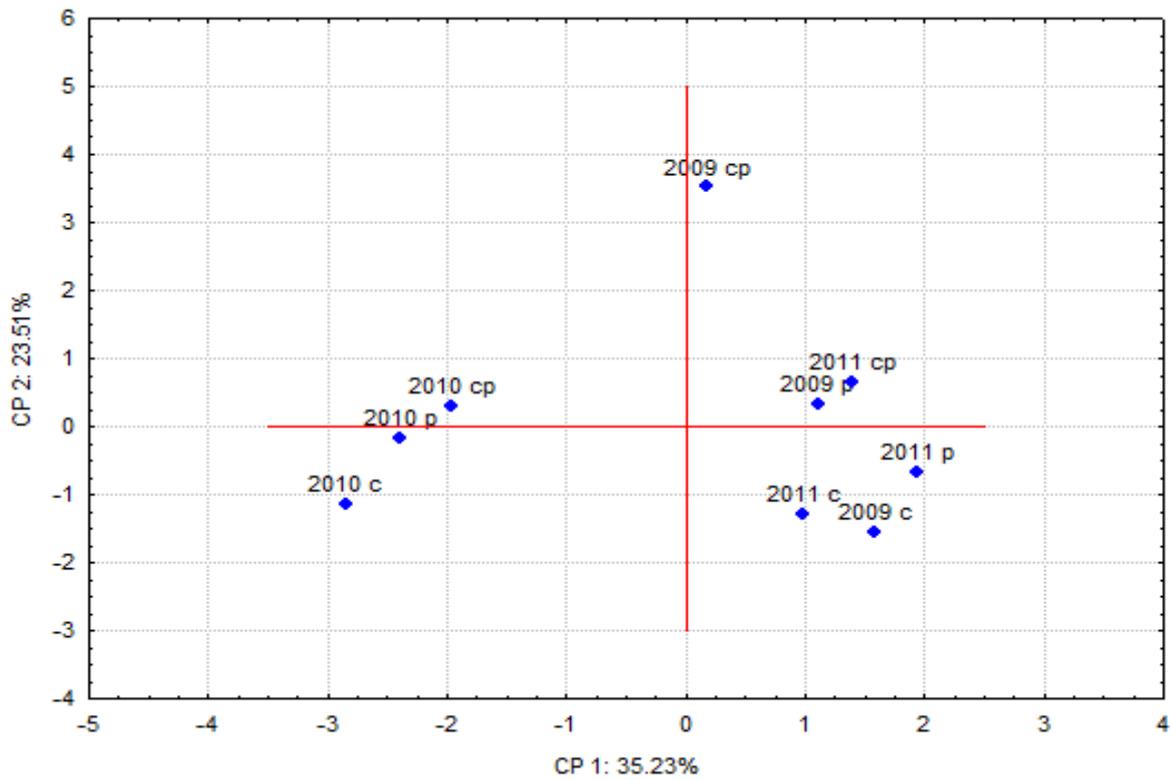


Figura 63. Distribuzione degli “scores” delle prime due componenti in funzione dei trattamenti

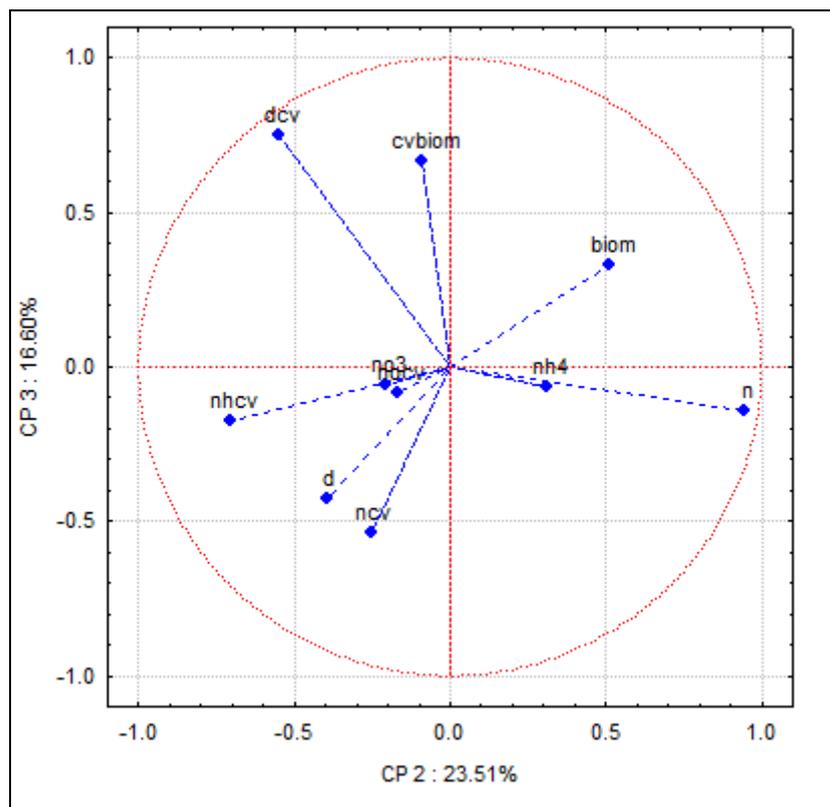


Figura 64. Andamento delle variabili in funzione della 2a e 3a Componente Principale

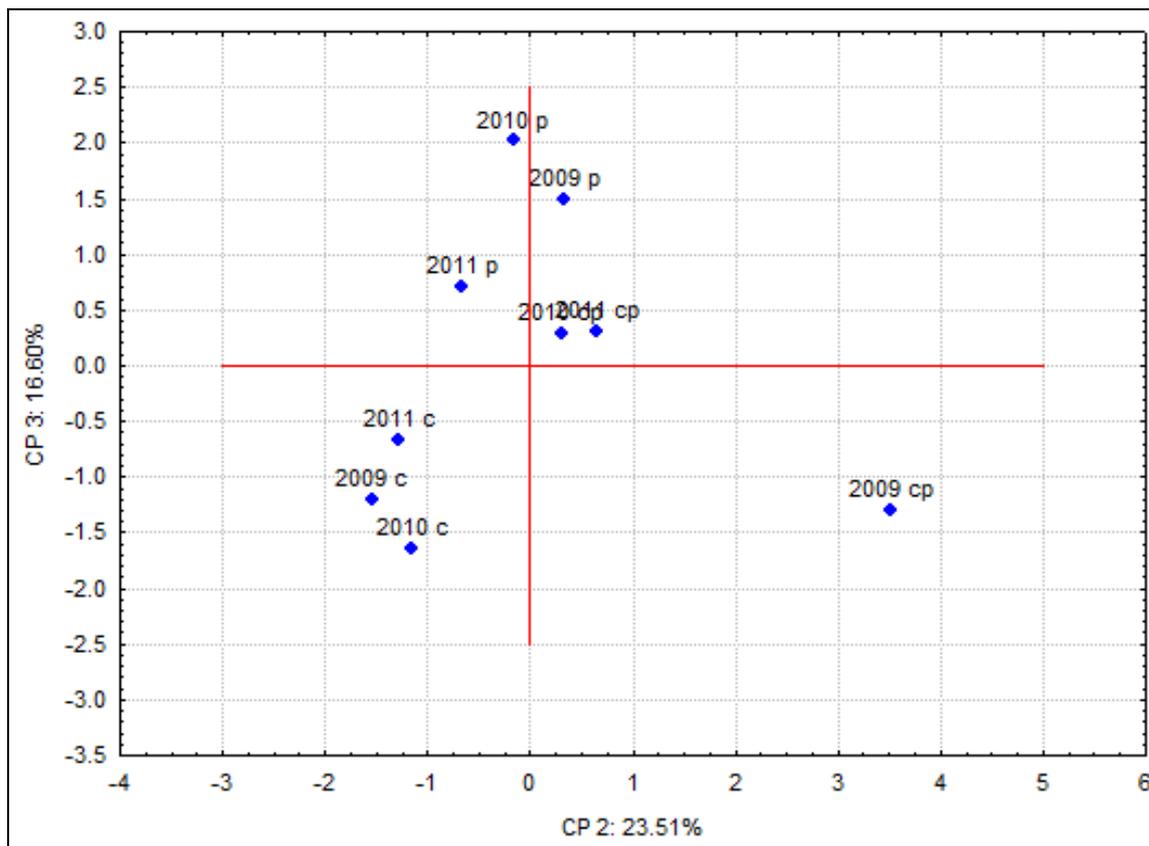


Figura 65. Distribuzione degli “scores” della 2a e 3a Componente in funzione dei trattamenti

Nel piano tra il 2° ed il 3° gradiente la distribuzione degli “scores” si presenta ancora più aggregata in funzione dei trattamenti. Solo il Cippato 2009 si differenzia in modo anomalo, presentando una concentrazione di N% molto più elevata rispetto agli altri punti.

III. Analisi del suolo complessiva (2010)

Dall’osservazione dei dati analitici dei diversi substrati a confronto, tre relativi alla prova ed uno come controllo esterno (Minerale) si evidenzia come gli interventi di ammendamento all’impianto abbiano decisamente migliorato tutti i parametri legati alla fertilità. Sostanza

Organica, N e P risultano fortemente potenziati mentre all'opposto Na e pH sono fortemente contenuti.

Parametri	Unità	Controllo	Cippato	Paglia	Minerale
pH in H ₂ O		8.12	8.07	8.03	9.69
Calcare Totale	%	20.00	19.00	19.00	2.00
Sost.Organica	%	0.73	3.08	1.43	0.44
N	%	0.52	2.11	1.05	0.33
P	ppm	5.00	26.00	24.00	2.00
K	ppm	511.00	443.00	416.00	411.00
Na	ppm	412.00	96.00	81.00	1472.00
Ca	ppm	3008.00	3685.00	3433.00	2048.00
Mg	ppm	548.00	526.00	559.00	734.00
C/N		8.14	8.47	7.90	7.73
CSC	meq/100g	25.16	24.27	23.15	23.71
Sabbia	%	37.00	19.00	16.00	36.00
Limo	%	44.00	53.00	52.00	38.00
Argilla	%	19.00	28.00	32.00	26.00

Tabella 93. Analisi dei parametri del suolo nei diversi trattamenti a confronto (ottobre 2010)

IV. Analisi delle Componenti Principali del Suolo (2010)

Analizzando i dati contemporaneamente, in una analisi delle Componenti Principali, si ottengono due Gradienti che riescono a intercettare il 93% dell'informazione totale. In

particolare la Prima componente, che spiega il 67.8% dell'informazione, risulta essere correlata positivamente con il Na, il Mg ed il pH, e negativamente con tutti gli altri parametri, specie quelli legati alla fertilità. Il Secondo Gradiente invece risulta essere correlato negativamente con il K ed il Calcare Totale.

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	8.148	67.898	67.898
2	3.0.19	25.156	93.054
3	0.833	6.946	100.00

Tabella 94. Autovalori dell'An. delle Componenti Principali

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3
pH	0.898	0.379	-0.222
Calcare Tot.	-0.478	-0.875	0.074
Sost.Org.	-0.815	0.401	-0.419
N	-0.808	0.433	-0.398
P	-0.893	0.424	0.152
K	-0.426	-0.895	-0.128
Na	0.971	0.023	-0.238
Ca	-0.887	0.453	-0.091
Mg	0.924	0.383	0.014
C/N	-0.894	-0.319	-0.315
Limo	-0.982	-0.044	0.181
Argilla	-0.685	0.567	0.456

Tabella 95. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali

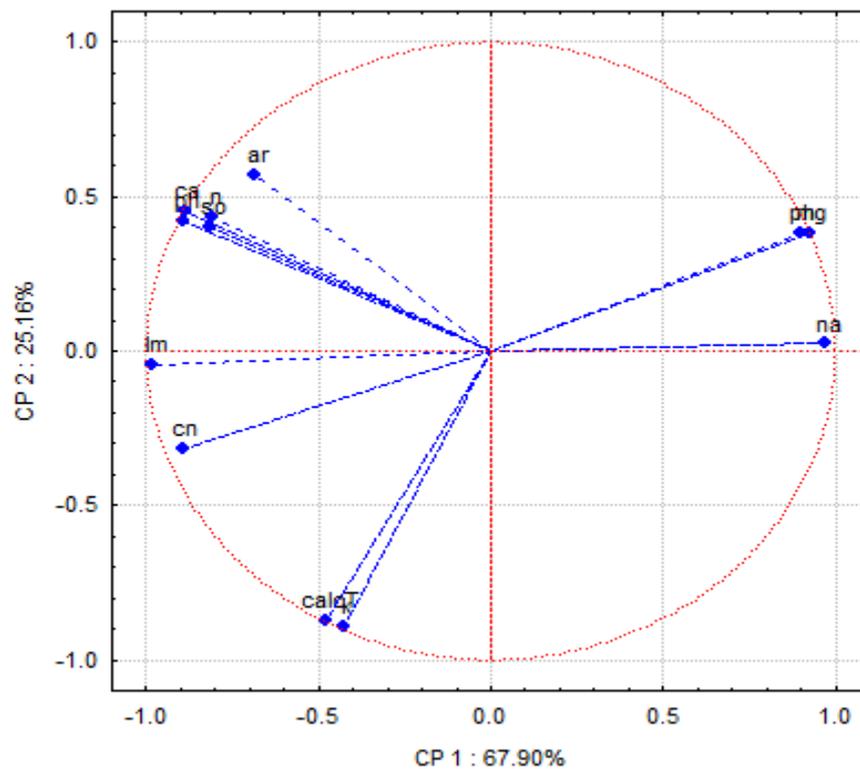


Figura 66. Andamento delle variabili in funzione delle prime due componenti.

L'analisi degli "scores" relativi ai trattamenti a confronto evidenzia una netta differenziazione tra i substrati ammendati ed i substrati di controllo. Da sottolineare la netta separazione tra i due controlli: i caratteri del substrato nella parcella Controllo sembra differenziarsi nettamente dall'Argilla Minerale raccolta sul fronte di escavazione.

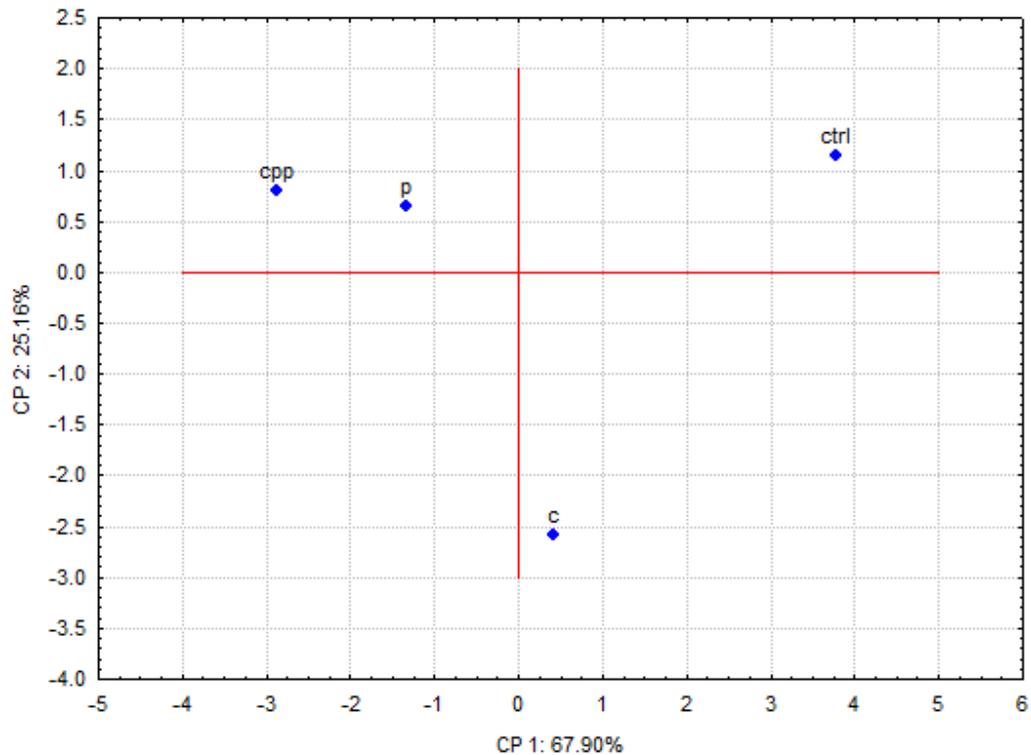


Figura 67. Distribuzione degli “scores” delle prime due componenti in funzione dei trattamenti

Vegetazione

- Biomassa

L’analisi della varianza della biomassa prodotta (Tab. 96) evidenzia la presenza di una forte interazione tra Trattamenti ed Anno: questo impedisce di confrontare direttamente le medie marginali dei trattamenti e ci costringe ad analizzare i Trattamenti entro ciascun Anno. I valori medi dei Trattamenti negli Anni (Tab. 97) mostrano un andamento diversificato nel tempo: il 2010 presenta un crollo della produttività biologica legato probabilmente ad andamenti climatici particolari nel corso della stagione primaverile. Nei restanti anni invece

si evidenziano delle differenze tra i Trattamenti dove l'ammendamento con sola paglia (P) presenta sempre valori medi superiori rispetto all'ammendamento con Cippato.

ANOVA (Model III)

TRT Biomassa	P(F)	Significatività
Anno	Random	
Trt	0.122	NS
Trt*Anno	Random	**

Tabella 96. ANOVA: significatività del modello dei trattamenti

Tratt/Anni	2009		2010		2011	
Controllo	13.50	c	16.67	a	32.93	b
	0.50		2.40		2.88	
Cippato	95.67	b	16.67	a	67.29	ab
	3.47		4.98		4.67	
Paglia	135.00	a	24.00	a	94.76	a
	5.82		11.84		16.09	
Totale	89.88	*	19.60	NS	64.99	*
	9.25		15.76		17.10	

Tabella 97. Valori medi annuali e relativo errore standard della media della biomassa prodotta (g/camp) e separazione delle medie entro Anno.

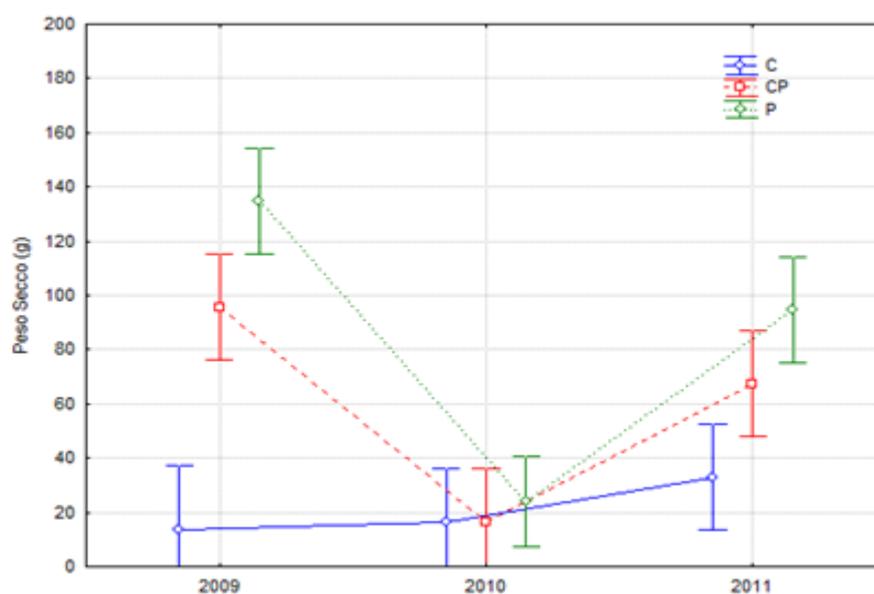


Figura 68. Andamento della biomassa della copertura erbacea

- Analisi floristica

Nei tre anni di osservazione sono state realizzate delle analisi floristiche per definire le abbondanze delle diverse specie rilevate. I tre rilievi, eseguiti nella seconda parte del mese di giugno, evidenziano una decisa variazione nella composizione e nelle abbondanze delle specie.

- Anno 2009

		Cippato	Paglia	Seminate
	Altezza strato erbaceo (cm)			
	Copertura	100	100	
	N° Specie	7	8	
1	<i>Anthemis tinctoria</i>	.	r	
2	<i>Avena sterilis</i>	r	r	
3	<i>Bromus cfr. racemosus</i>	+	.	

4	<i>Cirsium arvense</i>	.	r	
5	<i>Elytrigia repens</i> + <i>Agropyron caninum</i>	+	.	x
6	<i>Fraxinus ornus</i> (plantula)	r	.	
7	<i>Hordeum secalinum</i>	.	r	
8	<i>Lolium sp. pl.</i> (perenne + multiflorum)	+	1	x
9	<i>Torilis cfr. arvensis</i>	r	+	
10	<i>Tussilago farfara</i>	.	r	
11	<i>Vicia villosa</i> (+ <i>V. cracca</i>)	5	5	x

Tabella 98. Abbondanza delle diverse specie rilevate nei tre trattamenti nel giugno 2009.

Nel 2009, primo anno di sviluppo dopo la semina autunnale, si evidenzia un cotico semplificato con poche specie e dominato fortemente dalla presenza della *Vicia villosa* a cui segue il *Lolium sp.*, entrambi costituenti il miscuglio distribuito.

- Anno 2010

	Particella	Controllo	Cippato	Paglia
	GPS UTM WGS84	0673004- (4)919174	0673024- (4)919275	0673050- (4)919320
	Altezza strato erbaceo (cm)	30-40 cm	20-50-60	40-50
	Copertura	70-75	60-65	70-75
	N° Specie	38	34	43
1	<i>Alopecurus myosuroides</i>	+	.	+
2	<i>Alopecurus pratensis</i>	.	+	+
3	<i>Althaea hirsuta</i>	R	+	+
4	<i>Anagallis cfr. arvensis</i>	+	r	+
5	<i>Anthemis tinctoria</i>	2	+	+
6	<i>Anthemis sp.</i>	.	.	+
7	<i>Anthyllis vulneraria</i>			r
8	<i>Atriplex sp.</i>	R	r	.
9	<i>Avena sterilis</i>	+	+	+
10	<i>Bromus sterilis</i>	.	.	+
11	<i>Bromus sp.</i>	.	.	.
12	<i>Bromus cfr. racemosus</i>	.	r	.
13	<i>Cerastium sp.</i>	+	.	.
14	<i>Cichorium intybus</i>	.	r	r
15	<i>Cirsium arvense</i>	R	.	1
16	<i>Cirsium vulgare</i>	R	+	+

17	<i>Clematis vitalba</i>	.	+	.
18	<i>Convolvulus arvensis</i>	.	+	+
19	<i>Conyza sp.</i>	+	+	.
20	<i>Crepis biennis</i>	.	.	.
21	<i>Crepis pulchra</i>	.	.	.
22	<i>Dactylis glomerata</i>	.	r	+
23	<i>Daucus carota</i>	R	1-2	+
24	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	+	.	.
25	<i>Echinocloa crus-galli</i>	.	r	.
26	<i>Elytrigia repens</i> + <i>Agropyron caninum</i>	.	r	.
27	<i>Equisetum telmateja</i>	.	.	r
28	<i>Euphorbia exigua</i>	.	r	.
29	<i>Euphorbia celioscopia</i>	.	.	r
30	<i>Fallopia convolvulus</i>	+	.	.
31	<i>Festuca arundinacea</i> + <i>F. pratensis</i>	.	r	.
32	<i>Fraxinus ornus (plantula)</i>	.	r	r
33	<i>Galium aparine</i>	+	.	.
34	<i>Hedysarum coronarium</i>	R	.	.
35	<i>Hordeum murinum</i>	.	.	.
36	<i>Hordeum secalinum</i>	.	.	.
37	<i>Inula viscosa</i>	.	.	r
38	<i>Lactuca sp.</i>	+	+	+

39	<i>Lapsana communis</i>	+	.	.
40	<i>Lathysru hirsutus</i>	R	.	.
41	<i>Lathyrus cfr. shaericus</i>	R	.	.
42	<i>Legousia speculum-veneris</i>			+ -1
43	<i>Linaria vulgaris</i>	.	.	r
44	<i>Lolium sp. pl. (perenne + multifl.)</i>	.	.	+
45	<i>Lotus tenuis</i>	R	.	.
46	<i>Medicago lupulina</i>	+	r	+
47	<i>Melilotus officinalis</i>	2	+	r
48	<i>Myosotis arvensis</i>	.	.	r
49	<i>Papaver rhoeas</i>	+	.	1
50	<i>Picris echioides</i>	+	1	+ -1
51	<i>Poa bulbosa</i>	.	.	.
52	<i>Poa trivialis</i>	.	.	.
53	<i>Polygonum aviculare</i>	1	.	+
54	<i>Polygonum lapathifolium</i>	.	.	r
55	<i>Pulicaria dysenterica</i>	.	r	.
56	<i>Ranunculus arvensis</i>	+	r	.
57	<i>Rapistrum rugosum</i>	+	2	2
58	<i>Rumex crispus</i>	R	.	r
59	<i>Silene alba</i>	+	.	.
60	<i>Sinapis arvensis</i>	.	+	1-2
61	<i>Solanum nigrum</i>	.	r	r

62	<i>Sonchus asper</i>	.	r	+
63	<i>Stachys annua</i>	.	r	r
64	<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	r
65	<i>Tordylium sp.</i>	1	.	.
66	<i>Torilis cfr. arvensis</i>	2	1-2	2
67	<i>Trifolium cfr. echiantum</i>	R	.	.
68	<i>Tussilago farfara</i>	+	.	.
69	<i>Verbena officinalis</i>	.	.	+
70	<i>Veronica persica</i>	+	+	+
71	<i>Vicia villosa + V. cracca</i>	R	1	1
72	<i>Viola tricolor</i>	.	.	+
73	<i>Xanthium italicum</i>	R	.	.
74	<i>Xeranthemum cylindraceum</i>	2	r	+

Tabella 99. Abbondanza delle diverse specie rilevate nei tre trattamenti nel giugno 2010

Nel corso del 2010 la composizione floristica cambia decisamente: si ritrovano nuove specie diffuse naturalmente e nel contempo crolla l'abbondanza della specie dominante rappresentata dalla *Vicia villosa*. Si evidenzia una netta differenziazione tra le parcelle ammendate ed il Controllo: quest'ultimo si caratterizza per una presenza diffusa di *Torilis arvensis*, *Anthemis tinctoria*, *Melilotus officinalis* e *Xeranthemum cylindraceum*. All'opposto le parcelle ammendate si caratterizzano per la presenza di *Rapistrum rugosum*, *Picris echioides*, e *Vicia villosa*.

- Anno 2011

	Particella	Controllo	Cippato	Paglia
	GPS UTM WGS84	0673001- (4)919205	3026 - 9229	031 - 270
	Altezza strato erbaceo (cm)	(30)35	30-70	30-50
	Copertura	60-70	80	70
	N° Specie	35	40	37
1	<i>Alopecurus myosuroides</i>	+	.	.
2	<i>Alopecurus pratensis</i>	.	r	+
3	<i>Althaea hirsuta</i>	.	+	+
4	<i>Anagallis cfr. arvensis</i>	.	.	.
5	<i>Anthemis tinctoria</i>	3	r	+
6	<i>Anthemis sp.</i>	.	.	.
7	<i>Anthyllis vulneraria</i>	.	.	.
8	<i>Arrhenatherum elatius</i>	.	.	+
9	<i>Atriplex sp.</i>	.	r	+
10	<i>Avena sterilis</i>	+	+	+
11	<i>Bromus sterilis</i>	.	.	r
12	<i>Bromus cfr. racemosus</i>	.	2	+
13	<i>Centaurea nigrescens</i>	.	r	.
14	<i>Centaurea solstitialis</i>	.	.	r
15	<i>Cerastium sp.</i>	.	.	.
16	<i>Cichorium intybus</i>	1	.	r

17	<i>Cirsium arvense</i>	.	.	.
18	<i>Cirsium vulgare</i>	r	+	1
19	<i>Clematis vitalba</i>	r	+	1
20	<i>Convolvulus arvensis</i>	.	+	+
21	<i>Conyza canadensis</i>	.	+	+
22	<i>Conyza sp.</i>	+	.	r
23	<i>Coronilla varia</i>	.	.	r
24	<i>Crepis pulchra</i>	.	r	r
25	<i>Dactylis glomerata</i>	+	1	.
26	<i>Daucus carota</i>	+	2	1
27	<i>Dipsacus fullonum</i>	.	r	.
28	<i>Dorycnium hirsutum</i>	+	r	r
29	<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	2	r	r
30	<i>Echinocloa crus-galli</i>	.	.	.
31	<i>Elytrigia repens</i> + <i>Agropyron caninum</i>	+	.	.
32	<i>Equisetum telmateja</i>	.	.	.
33	<i>Erigeron acer</i>	.	.	r
34	<i>Eupatorium cannabinum</i>	.	.	r
35	<i>Euphorbia exigua</i>	r	.	.
36	<i>Euphorbia helioscopia</i>	.	.	.
37	<i>Fallopia convolvulus</i>	.	.	.
38	<i>Festuca arundinacea</i> + <i>F.</i> <i>pratensis</i>	+	.	r

39	<i>Fraxinus ornus (plantula)</i>	.	r	+
40	<i>Galium aparine</i>	.	.	.
41	<i>Geranium columbinum</i>	r	.	.
42	<i>Hainardia cylindrica</i>	+	.	.
43	<i>Hedysarum coronarium</i>	+	.	.
44	<i>Hordeum secalinum</i>	.	.	.
45	<i>Hypericum perforatum</i>	r	.	.
46	<i>Inula conyza</i>	.	r	r
47	<i>Inula viscosa</i>	.	r	r
48	<i>Lactuca sp.</i>	+	+	.
49	<i>Lapsana communis</i>	.	.	.
50	<i>Lathyrus hirsutus</i>	.	.	.
51	<i>Lathyrus cfr. shaericus</i>	.	.	.
52	<i>Lavatera punctata</i>	.	+	.
53	<i>Legousia speculum-veneris</i>	.	.	.
54	<i>Linaria vulgaris</i>	.	.	.
55	<i>Lolium sp. (perenne + multiflorum)</i>	.	+	+
56	<i>Lotus tenuis</i>	l	r	.
57	<i>Malva sylvestris</i>	.	r	.
58	<i>Medicago lupulina</i>	r	r	.
59	<i>Melilotus alba</i>	.	r	.
60	<i>Melilotus officinalis</i>	+	.	r
61	<i>Myosotis arvensis</i>	.	.	.

62	<i>Papaver rhoeas</i>	.	r	.
63	<i>Petrorhagia prolifera</i>	.	.	r
64	<i>Picris echioides</i>	r	+	l
65	<i>Picris hieracioides</i>	+	.	+
66	<i>Plantago lanceolata</i>	+	r	.
67	<i>Poa bulbosa</i>	.	.	r
68	<i>Poa trivialis</i>	.	+	+
69	<i>Podospermum sp.</i>	r	.	.
70	<i>Polygonum aviculare</i>	.	.	.
71	<i>Polygonum lapathifolium</i>	.	.	.
72	<i>Prunella vulgaris</i>	.	r	.
73	<i>Pulicaria dysenterica</i>	.	.	.
74	<i>Ranunculus arvensis</i>	.	.	.
75	<i>Rapistrum rugosum</i>	+	.	+
76	<i>Rumex crispus</i>	r	.	r
77	<i>Senecio erucifolius</i>	+	r	.
78	<i>Silene alba</i>	.	.	.
79	<i>Sinapis arvensis</i>	.	.	.
80	<i>Solanum nigrum</i>	.	.	.
81	<i>Sonchus asper</i>	.	r	.
82	<i>Spartium junceum</i>	r	.	.
83	<i>Stachys annua</i>	r	.	.
84	<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	.
85	<i>Tordylium sp.</i>	.	r	.

86	<i>Torilis cfr. arvensis</i>	1	2	3
87	<i>Trifolium cfr. echiantum</i>	.	.	.
88	<i>Trifolium repens</i>	.	r	.
89	<i>Tussilago farfara</i>	1	.	.
90	<i>Verbena officinalis</i>	.	r	.
91	<i>Veronica persica</i>	.	.	.
92	<i>Vicia cracca</i>	+	+	+
93	<i>Vicia villosa</i>			
94	<i>Viola tricolor</i>	.	.	.
95	<i>Xanthium italicum</i>	.	.	.
96	<i>Xeranthemum cylindraceum</i>	1	1	.

Tabella 100. Abbondanza delle diverse specie rilevate nei tre trattamenti nel giugno 2011

Nel 2011 la ricchezza floristica si mantiene ma si modificano le abbondanze specifiche. Il Controllo si caratterizza per la presenza di *Anthemis tinctoria*, *Dorycnium pentaphyllum*, *Lotus tenuis*, *Cichorium intybus*, *Tussilago farfara* e *Xeranthemum cylindraceum*, mentre le parcelle ammendate presentano *Torilis arvensis* associata a *Dactylis glomerata* o *Bromus racemosus*.

V. Analisi multivariata del rilievo fitosociologico

Partendo dai dati di abbondanza di Blau-Blanquet si è operata prima una trasformazione secondo Van del Maarel per trasformare tutti i rilevati in una scala ordinale compresa tra 1 e 9; poi si è operata una Analisi delle Componenti Principali.

I risultati dell'analisi mostrano la presenza di tre gradienti principali (con autovalore maggiore di 1) che complessivamente spiegano il 75% dell'informazione. Il primo gradiente, con il 38%, si presenta come un gradiente quantitativo, dove tutte le variabili tendono nella stessa direzione, ordinando i rilievi delle singole specie in funzione del valore quantitativo assegnato.

La seconda componente, con il 22%, evidenzia una differenziazione tra le annate di rilievo: il 2009 tende a differenziarsi nettamente dagli anni successivi posizionandosi all'estremo positivo del gradiente seguito poi dai rilievi del 2010 e del 2011.

Componente	Autovalore	% Var.Tot.	Var.Cumulata
1	3.091	38.633	38.633
2	1.787	22.339	60.972
3	1.108	13.849	74.821
4	0.862	10.777	85.598
5	0.462	5.777	91.375

Tabella 101. Autovalori dell'An. delle Componenti Principali

Variabile	C.P.1	C.P.2	C.P.3	C.P.4
Cont_11	-0.4427	-0.372	0.599	0.380
Cont_10	-0.564	-0.274	0.604	-0.097
Cipp_11	-0.653	-0.266	-0.435	0.346
Cipp_10	-0.862	-0.117	-0.120	-0.219
Cipp_09	-0.434	0.856	0.032	0.192
Pagl_11	-0.7194	-0.284	-0.397	0.218
Pagl_10	-0.676	0.031	-0.027	-0.664
Pagl_09	-0.494	0.821	0.145	0.120

Tabella 102. Correlazioni tra Variabili e Componenti Principali

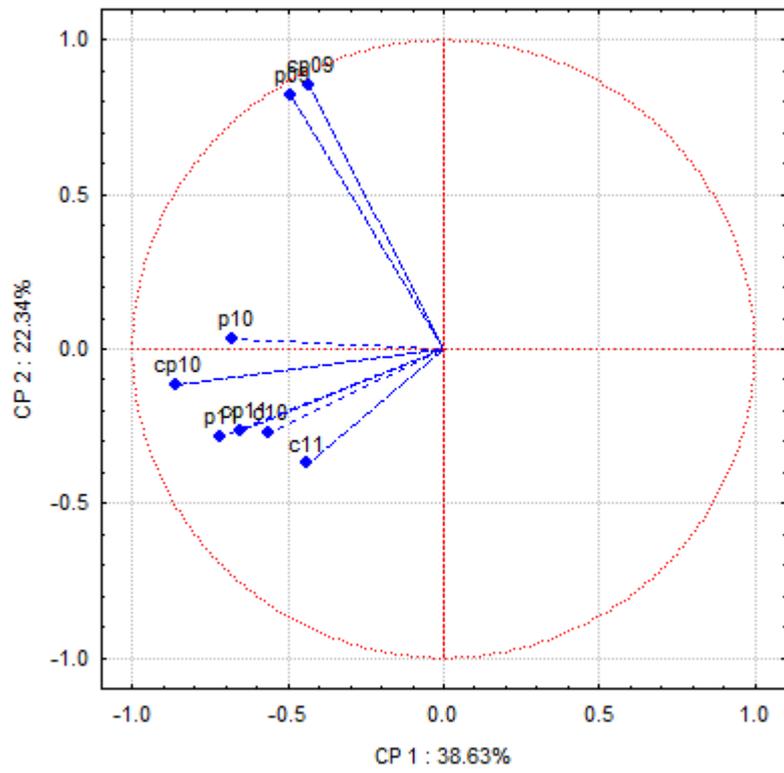


Figura 69. Distribuzione dei Trattamenti nel piano delle prime due componenti principali

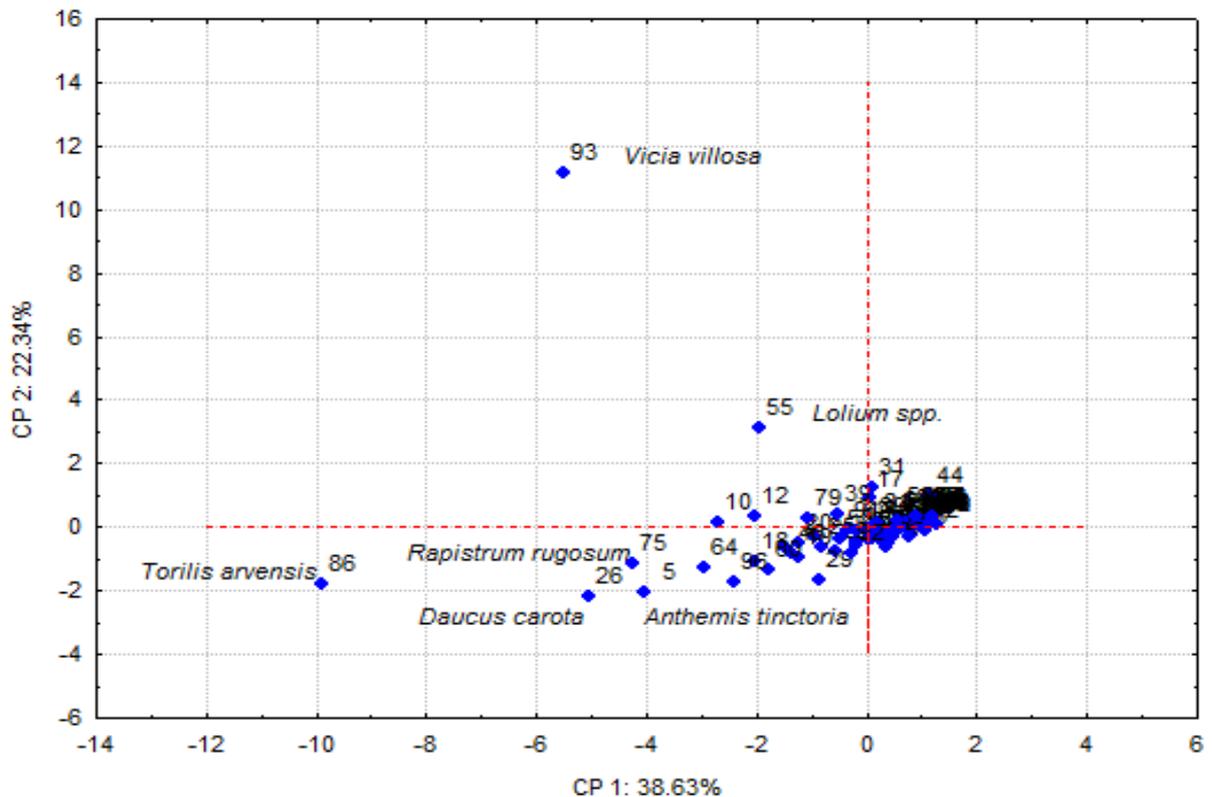


Figura 70. Distribuzione degli “scores” delle specie nel piano delle prime due componenti principali.

Analizzando la distribuzione degli “scores” relativi alle singole specie si evidenzia il particolare comportamento di *Torilis arvensis*, *Rapistrum rugosum*, *Daucus carota* che caratterizzano il primo gradiente, mentre è la *Vicia villosa* ed il *Lolium spp.* a caratterizzare il secondo gradiente.

L’osservazione del piano definito dal 2° e 3° gradiente permette di interpretare anche il terzo gradiente che spiega il 13%: sono i rilievi sul Controllo a differenziarsi dagli altri trattamenti che a loro volta si ordinano in modo più definito lungo il secondo gradiente, in funzione degli anni di rilievo (Fig.71).

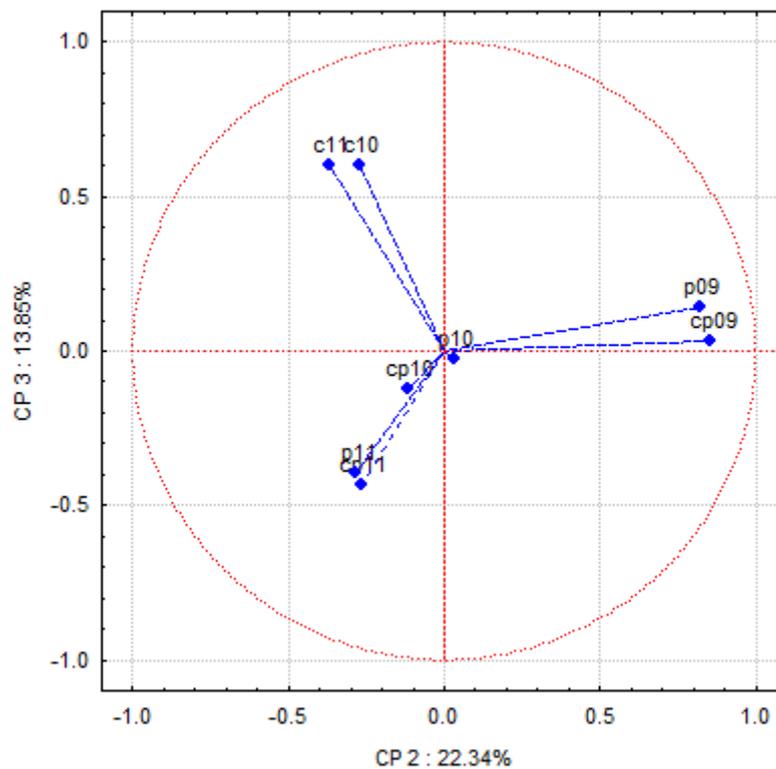


Figura 71. Distribuzione dei Trattamenti nel piano della 2a e 3a componente principale.

Gli “scores” dei due gradienti confermano quanto sopra osservato nei commenti ai rilievi. *Anthemis tinctoria*, *Dorycnium pentaphyllum*, *Melilotus officinalis*, *Tussillago farfara* e *Xeranthemum cylindraceum* sono le specie che caratterizzano i Controlli, mentre *Vicia villosa*, *Lolium* spp, *Bromus racemosum* e *Daucus carota* sono le specie che differenziano i diversi ammendamenti negli anni.

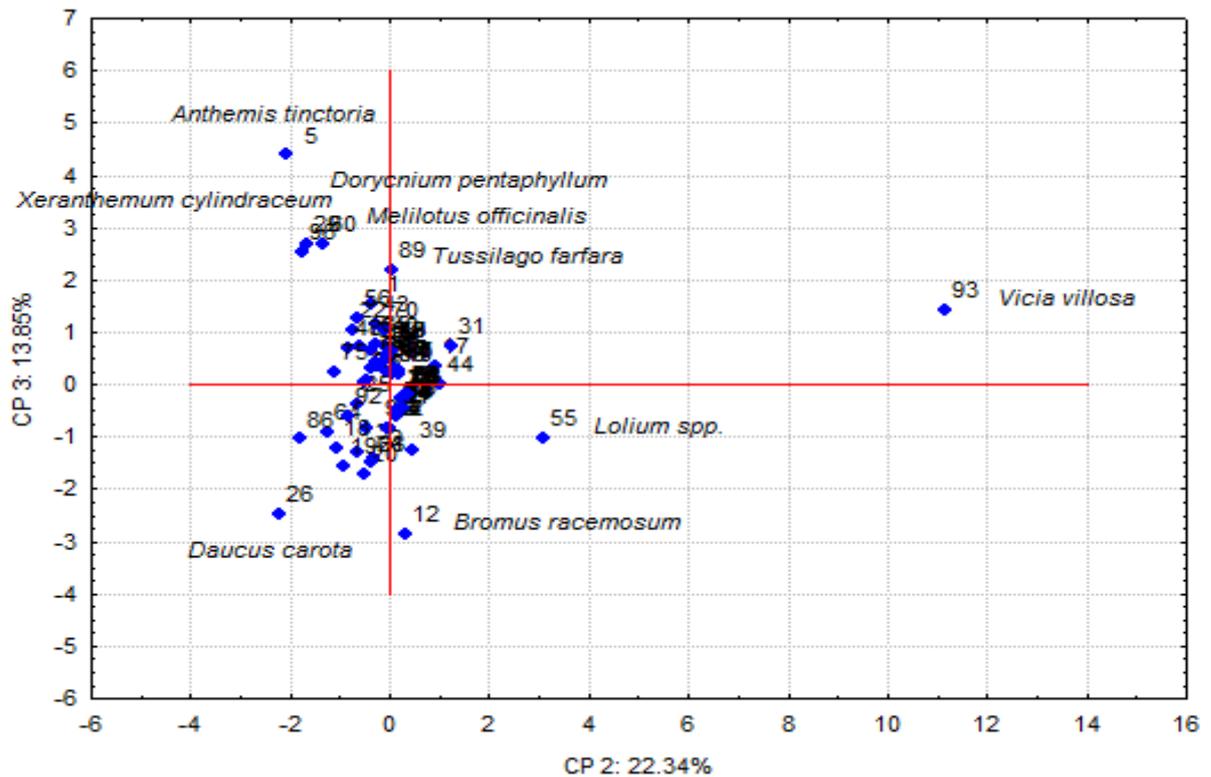


Figura 72. Distribuzione degli “scores” delle specie nel piano della 2a e 3a componente principale.

VI. Redundancy analysis (RDA)

Utilizzando i dati del rilievo del 2010 in associazione ai parametri dell’analisi del suolo analizzati sempre su campioni del 2010 è stato possibile eseguire una RDA per poter confrontare la risposta della vegetazione con i parametri ambientali.

La RDA ha permesso la definizione di due gradienti che intercettano tutta l’informazione disponibile ed in particolare il primo ne spiega il 68.5% ed il secondo il 31.5%.

Dall’osservazione del Biplot tra Trattamenti e Parametri (Fig. 73) si evidenzia come il primo gradiente sia fortemente correlato con i parametri granulometrici e con alcuni parametri chimici. In particolare esiste una correlazione positiva tra Sabbia, Na, K e Calcare Totale mentre esiste una correlazione negativa tra Limo, Argilla, P e Ca.

Questo primo gradiente riesce a discriminare tra i trattamenti separando gli ambiti ammendati dal Controllo di riferimento.

Il secondo gradiente invece presenta una forte correlazione negativa con il Mg e nella direzione opposta una forte correlazione positiva con il rapporto C/N l'N, la Sostanza organica ed il pH. Anche in questo caso il gradiente discrimina tra i trattamenti ed in particolare tra i due diversi ammendamenti: il Cippato presenta una relazione più stretta con N e Sostanza Organica mentre il trattamento con Paglia solo con il Mg.

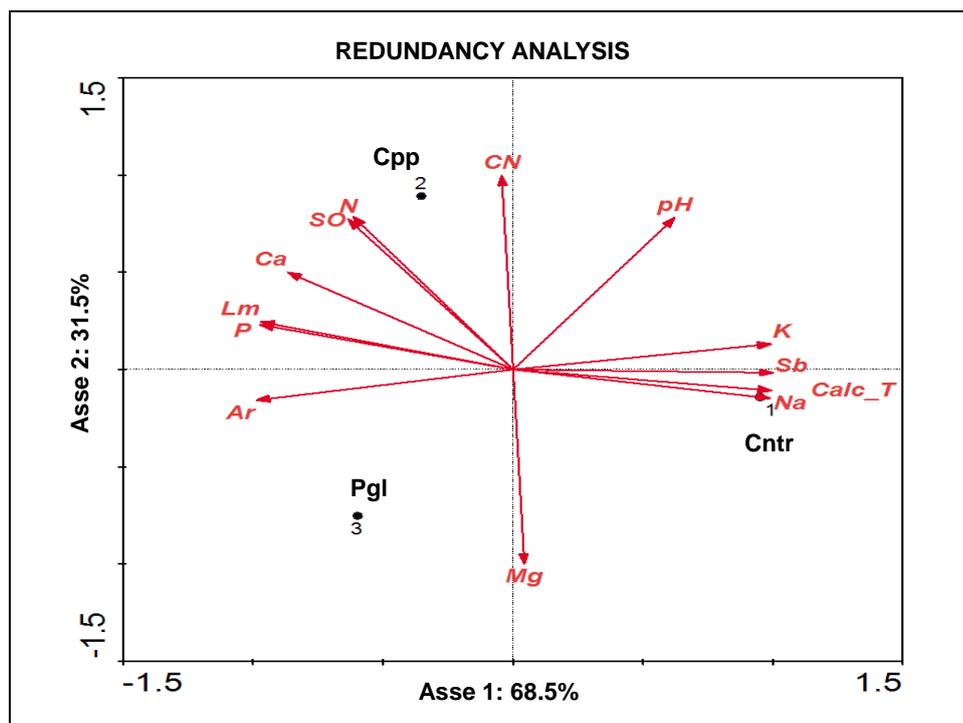


Figura 73. Biplot dei Parametri del suolo e dei Trattamenti nel piano dei primi due Assi (100%)

REDUNDANCY ANALYSIS

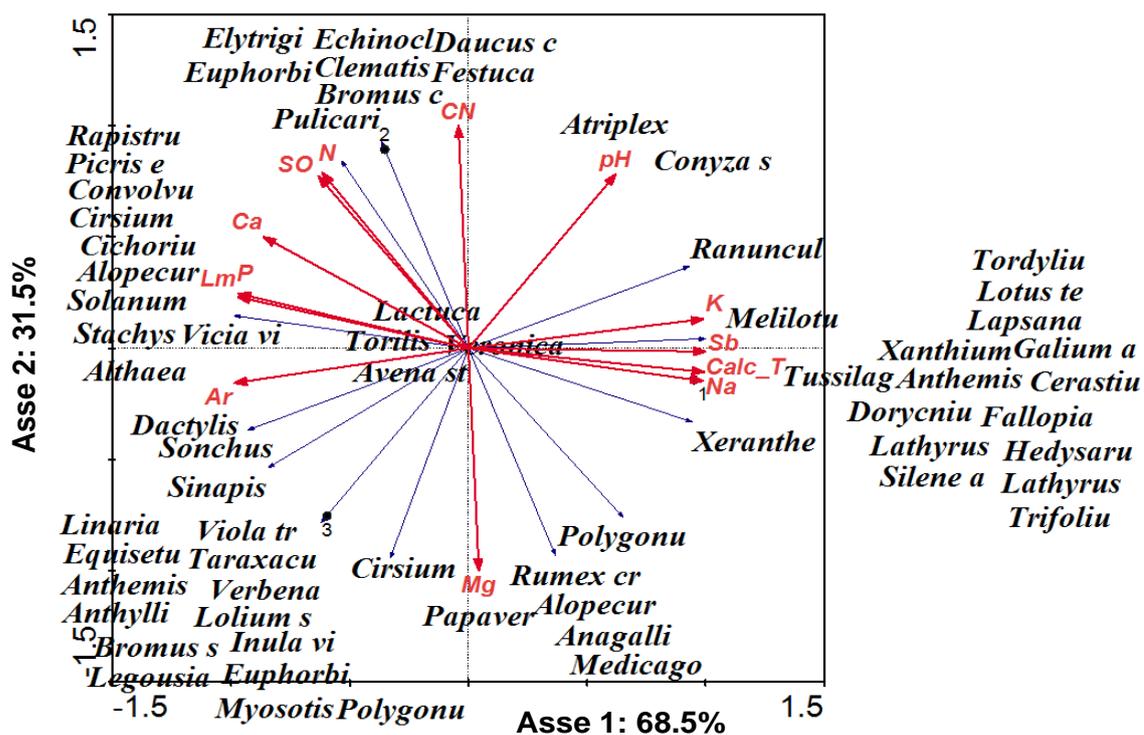


Figura 74. Triplot dei Parametri del suolo, dei Trattamenti e delle Specie nel piano dei primi due Assi (100%).

Dall'osservazione del Triplot, dove sono posizionate anche le specie rilevate dal rilievo fitosociologico, si possono definire anche le correlazioni tra i parametri demografici ed i parametri ambientali. In particolare, applicando una analisi Cluster sugli "scores" ricavati dalla Redundancy Analysis si evidenziano aggregazioni tra specie sostanzialmente omogenee sia usando gli "scores" tal quali (Fig.75), sia usando gli "scores" pesati per il valore dell'Autovalore ricavato dall'analisi (Fig. 77 e Tab. 103). A riguardo solo il *Papaver rhoeas* viene raggruppato in ambiti diversi nelle due analisi.

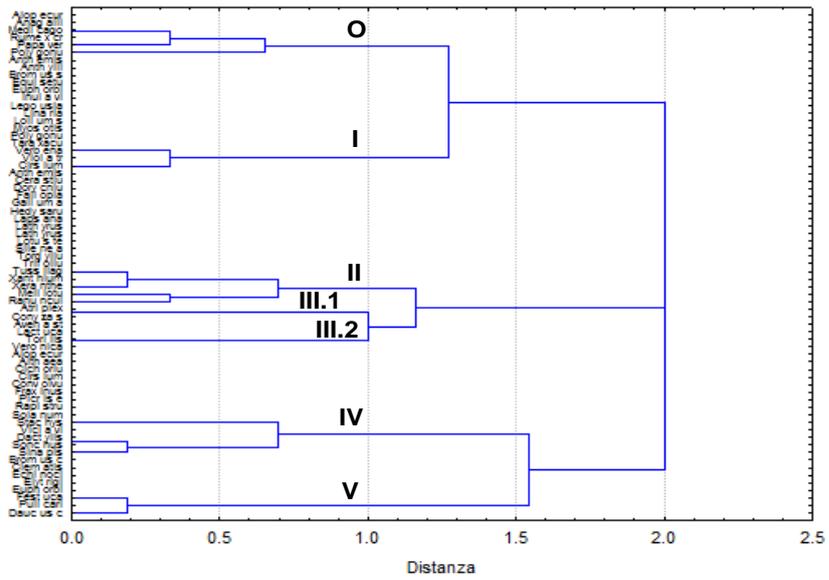


Figura 75. Dendrogramma degli “scores” delle specie ottenuti dalla RDA e definizione dei gruppi omogenei

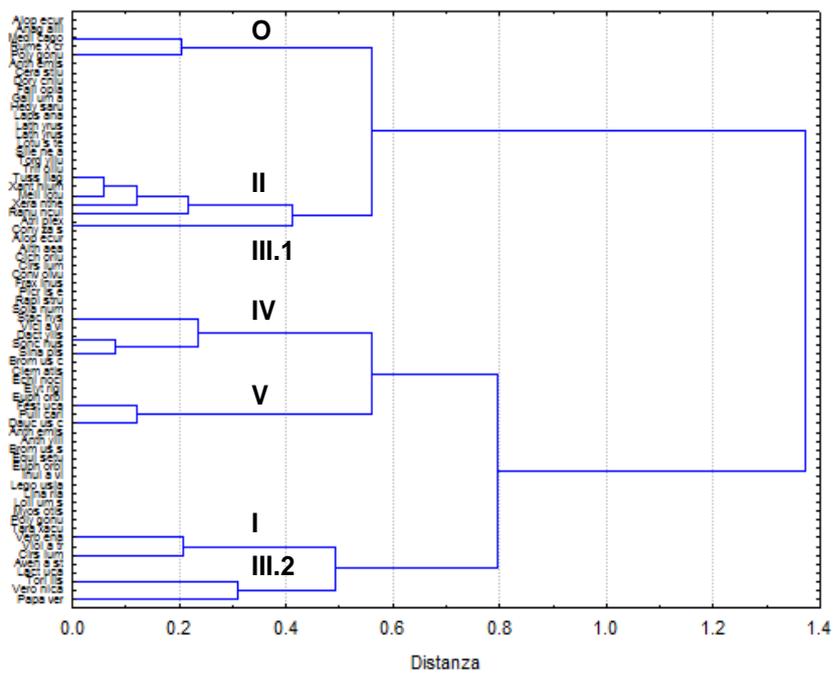


Figura 76. Dendrogramma degli “scores” delle specie pesati sugli autovalori ottenuti dalla RDA e definizione dei gruppi omogenei

Sulla base del dendrogramma dell'Analisi Cluster su dati pesati si possono definire diversi gruppi omogenei a seconda della Distanza prescelta. Gerarchicamente l'analisi individua due primi grandi sottoinsiemi che contrappongono le specie tipiche del Controllo e quelle delle parcelle Trattate. Questi si possono poi separare in ulteriori 6 sottogruppi:

a) Sottogruppo Controllo:

- gruppo O) costituito da 5 specie che si posizionano nella parte destra e bassa del piano, intermedie tra Paglia e Controllo (C-P)
- gruppo II) costituito da 5 specie che si posizionano nella parte destra del piano in corrispondenza del Controllo (C);

- gruppo III.1) costituito da 2 specie che si posizionano nella parte destra ed alta del piano in posizione intermedia tra Cippato e Controllo (C-CP);

b) Sottogruppo Trattati:

- gruppo V) costituito da 5 specie che si posizionano nella parte sinistra ed alta del piano in corrispondenza del trattamento Paglia (P);

- gruppo IV) costituito da 5 specie che si posizionano nella parte sinistra del piano in posizione intermedia tra Paglia e Cippato;

- gruppo I) costituito da 5 specie che si posizionano nella parte sinistra e bassa del piano in corrispondenza del trattamento Cippato;

- gruppo III.2) costituito da 5 specie che si posizionano nella parte centrale del piano, baricentriche a tutti i trattamenti a confronto.

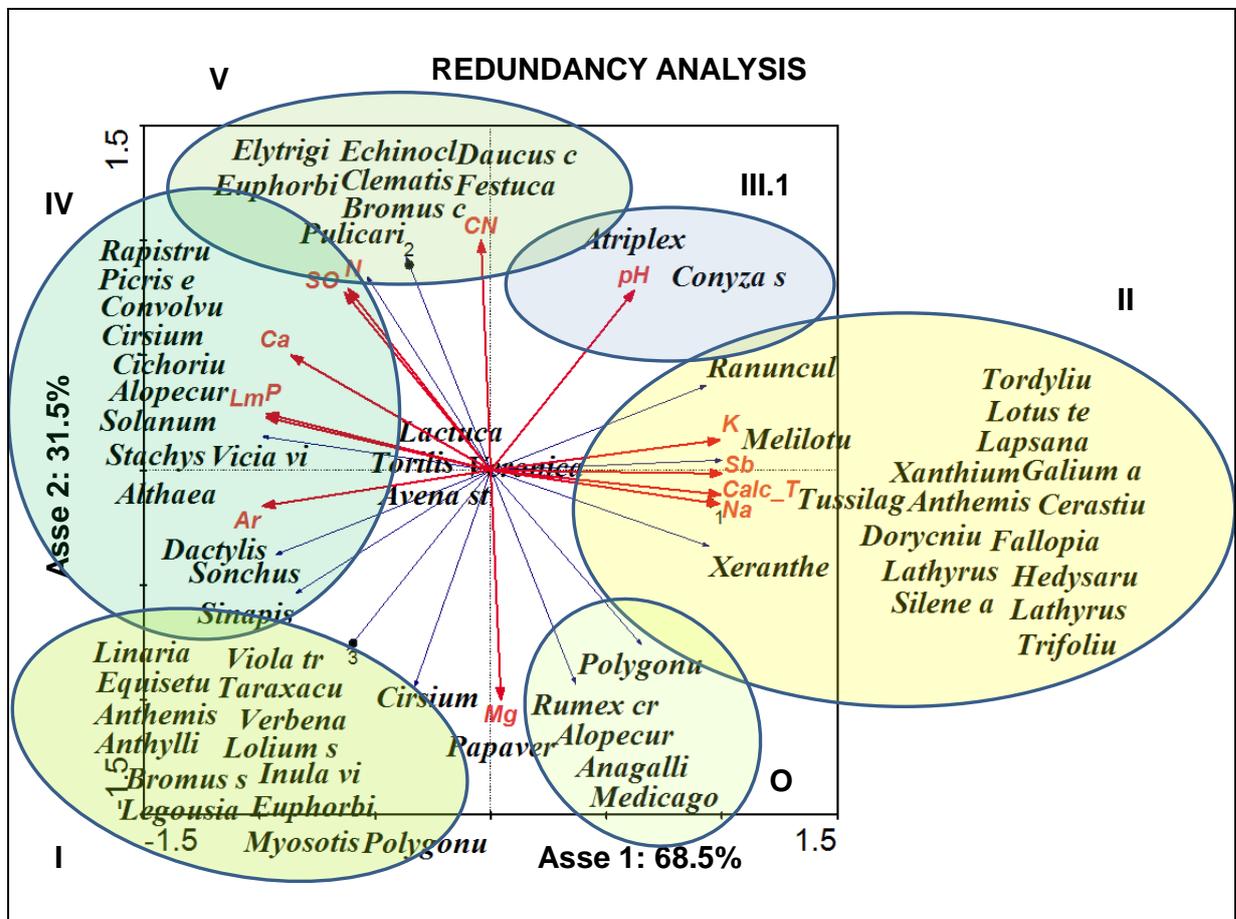


Figura 77. Gruppi omogenei di specie ricavati dall'Analisi dei Cluster degli "scores" pesati

Specie	Distanza	Dist.Pesata	Vicinanza
<i>Alopecurus myosuroides</i>	O	O	C-P
<i>Alopecurus pratensis</i>	IV	IV	P-CP
<i>Althaea hirsuta</i>	IV	IV	P-CP
<i>Anagallis cfr. arvensis</i>	O	O	C-P
<i>Anthemis tinctoria</i>	II	II	C

<i>Anthemis sp.</i>	I	I	P
<i>Anthyllis vulneraria</i>	I	I	P
<i>Atriplex sp.</i>	III.1	III.1	C-CP
<i>Avena sterilis</i>	III.2	III.2	
<i>Bromus sterilis</i>	I	I	P
<i>Bromus cfr. racemosus</i>	V	V	CP
<i>Cerastium sp.</i>	II	II	C
<i>Cichorium intybus</i>	IV	IV	P-CP
<i>Cirsium arvense</i>	V	V	CP
<i>Cirsium vulgare</i>	IV	IV	P-CP
<i>Clematis vitalba</i>	V	V	CP
<i>Convolvulus arvensis</i>	IV	IV	P-CP
<i>Conyza sp.</i>	III.1	III.1	C-CP
<i>Dactylis glomerata</i>	IV	IV	P-CP
<i>Daucus carota</i>	V	V	CP
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	II	II	C
<i>Echinochloa crus-galli</i>	V	V	CP
<i>Elytrigia repens</i> + <i>Agropyron caninum</i>	V	V	CP
<i>Equisetum telmateja</i>	I	I	P
<i>Euphorbia exigua</i>	V	V	CP
<i>Euphorbia celioscopia</i>	I	I	P
<i>Fallopia convolvulus</i>	II	II	C
<i>Festuca arundinacea</i> + <i>F. pratensis</i>	V	V	CP
<i>Fraxinus ornus</i> (plantula)	IV	IV	P-CP

<i>Galium aparine</i>	II	II	C
<i>Hedysarum coronarium</i>	II	II	C
<i>Inula viscosa</i>	I	I	P
<i>Lactuca sp.</i>	III.2	III.2	
<i>Lapsana communis</i>	II	II	C
<i>Lathysru hirsutus</i>	II	II	C
<i>Lathyrus cfr. shaericus</i>	II	II	C
<i>Legousia speculum-veneris</i>	I	I	P
<i>Linaria vulgaris</i>	I	I	P
<i>Lolium sp. pl. (perenne + multfl.)</i>	I	I	P
<i>Lotus tenuis</i>	II	II	C
<i>Medicago lupulina</i>	O	O	C-P
<i>Melilotus officinalis</i>	II	II	C
<i>Myosotis arvensis</i>	I	I	P
<i>Papaver rhoeas</i>	O	III.2	
<i>Picris echioides</i>	IV	IV	P-CP
<i>Polygonum aviculare</i>	O	O	C-P
<i>Polygonum lapathifolium</i>	I	I	P
<i>Pulicaria dysenterica</i>	V	V	CP
<i>Ranunculus arvensis</i>	II	II	C
<i>Rapistrum rugosum</i>	IV	IV	P-CP
<i>Rumex crispus</i>	O	O	C-P
<i>Silene alba</i>	II	II	C
<i>Sinapis arvensis</i>	IV	IV	P-CP
<i>Solanum nigrum</i>	IV	IV	P-CP
<i>Sonchus asper</i>	IV	IV	P-CP
<i>Stachys annua</i>	IV	IV	P-CP
<i>Taraxacum officinale</i>	I	I	P
<i>Tordylium sp.</i>	II	II	C
<i>Torilis cfr. arvensis</i>	III.2	III.2	
<i>Trifolium cfr. echiantum</i>	II	II	C
<i>Tussilago farfara</i>	II	II	C
<i>Verbena officinalis</i>	I	I	P
<i>Veronica persica</i>	III.2	III.2	
<i>Vicia villosa + V. cracca</i>	IV	IV	P-CP
<i>Viola tricolor</i>	I	I	P
<i>Xanthium italicum</i>	II	II	C
<i>Xeranthemum cylindraceum</i>	II	II	C

Tabella 103. Gruppi omogenei di specie e definizione della vicinanza tra specie e trattamenti in funzione degli “scores” pesati

5.4.4 Conclusioni

Innanzitutto bisogna puntualizzare alcuni elementi di natura metodologica. L'organizzazione spaziale di questa prova manca di una Randomizzazione tipica di un piano sperimentale: gli stessi trattamenti non sono stati reiterati su superfici diverse. Questo può creare dei problemi nel campionamento e nella generalizzazione dei risultati raggiunti. Per ragioni operative si è operato con interventi su ampie superfici, nettamente superiori alle tradizionali prove sperimentali. La carenza nella Randomizzazione dei trattamenti viene in questo modo compensata dall'estensione dell'applicazione che consente di limitare la manifestazione di fenomeni singolari e/o particolari e quindi consente di operare campionamenti indipendenti e non solo dei sottocampionamenti. In ogni caso le indicazioni che possono nascere da questo lavoro sono specifiche al sito ed alle esperienze maturate nel sito e potranno essere generalizzate solo dopo altre osservazioni od altri esperimenti realizzati in condizioni simili.

Dopo questa premessa cerchiamo di riassumere i risultati e trarre delle indicazioni utili.

La prova implementata nel 2008 aveva come scopo il confronto di diverse tecniche di ammendamento e concimazione in un intervento ricostruttivo di recupero ambientale su un substrato minerale argilloso. In particolare si è voluto analizzare l'effetto della presenza di cippato di potatura nei processi che investono l'azoto nel suolo e nella risposta conseguente della copertura vegetale erbacea. Si è organizzata una raccolta di informazioni sincronica per osservare e confrontare nel tempo tutti i processi sia chimici che biologici: si è lavorato su due piani: suolo e vegetazione.

- Suolo

L'analisi della concentrazione di N-NO₃ nella soluzione circolante del suolo evidenzia un effetto importante dei trattamenti (Paglia e Cippato) rispetto al Controllo in assenza di interazione con il tempo.

Viceversa l'analisi della componente ammoniacale (N-NH₄) mostra innanzitutto una forte interazione con il tempo. Nelle diverse date analizzate le risposte dei diversi trattamenti variano in modo disomogeneo rendendo (prima con massimi con il Cippato, poi con la Paglia) quindi l'interpretazione molto complessa.

Anche la concentrazione totale di N% evidenzia una forte interazione con il tempo: i trattati si differenziano dal Controllo, innalzando in modo sistematico la concentrazione azotata, anche se le risposte tendono a variare nelle diverse date.

Per la variazione del ¹⁵N, infine, l'analisi univariata sottolinea, ancora una volta, una netta differenza tra trattati e Controllo, modulata da una interazione statisticamente significativa. Entro le date le differenze tra i trattamenti appaiono infatti molto altalenanti.

Complessivamente le singole analisi evidenziano un processo ancora molto dinamico e apparentemente instabile dove gli effetti dei trattamenti sono chiaramente e statisticamente definiti anche se non ancora stabilizzati in un comportamento omogeneo.

Rielaborando i dati dell'azoto nel suolo in termini multivariati, in associazione alla biomassa, emergono, anche in questo caso, risultati contraddittori. L'analisi complessiva di tutti i rilievi (Analisi Discriminante Canonica (ADC)) sottolinea la presenza di un gradiente dominante significativo (con circa il 64% di informazione spiegata), che consente di ordinare in modo razionale i rilievi dei trattamenti. Questo gradiente presenta una forte correlazione negativa con l'N% ed in misura minore con la Biomassa prodotta. I diversi rilievi si ordinano in funzione dell'intensità dell'ammendamento: da destra verso sinistra si susseguono in modo sfumato Controllo e Paglia con Cippato. Questo gradiente ci permette cioè di discriminare i trattamenti ma non tra i trattamenti.

Rielaborando i rilievi, attraverso i valori medi ed i relativi coefficienti di variazione, in una Analisi delle Componenti Principali (ACP) sono stati ottenuti 3 gradienti principali:

- Il primo (legato a N-NO₃, e N-NH₄) ordina le diverse annate; in particolare sottolinea la particolarità del 2010 che presenta valori del tutto anomali;
- Il secondo (legato a N% e Biomassa) ordina in funzione dei trattamenti graduando in modo sfumato il Controllo rispetto alla Paglia ed al Cippato;
- Il terzo (legato a $\delta^{15}\text{N}$ ed alla sua variabilità) ordina ancora i trattamenti ma in funzione della variabilità della risposta isotopica, dai più variabili (Controllo) ai meno variabili (Paglia).

Quindi dalle due analisi multivariate emergono due interpretazioni in parte contraddittorie. La risposta conferma quanto già visto a livello dei singoli parametri: l'interazione con il tempo, che si è manifestata nei rilievi, condiziona molto i risultati. Nell'Analisi dei singoli rilievi (ADC) emerge l'N% come elemento principale di ordinamento. Viceversa usando i valori medi (ACP) l'interazione viene mascherata facendo emergere differenze e comportamenti più articolati: in questa analisi l'N% ha una importanza minore superata dalle variazioni medie dei parametri dinamici del suolo (N-NH₄ e N-NO₃) che variano in funzione delle condizioni microclimatiche annuali.

Rispetto ai parametri generali del suolo (Analisi 2010) è evidente un effetto dell'ammendamento intensivo all'impianto: l'analisi multivariata ci consente di differenziare e raggruppare i suoli in funzione dei trattamenti in modo molto netto. Da rimarcare inoltre come questi due gruppi si differenziano nettamente sia dal Controllo che dal substrato pedogenizzato *ante operam*, substrati che a loro volta evidenziano differenze costitutive sostanziali.

Complessivamente le diverse analisi, pur con delle differenti sfumature sottolineano un effetto positivo degli ammendamenti operati anche se non evidenziano ancora delle differenze

costanti e distintive tra i trattamenti: l'effetto del Cippato nel trattenere ed arricchire il substrato di N si è manifestato ma non in modo costante nel tempo. Le forti interazioni sottolineano un sistema ancora molto dinamico in via di assestamento.

- Vegetazione

La risposta della vegetazione ai diversi trattamenti all'impianto appare diversificata.

L'analisi della Biomassa epigea evidenzia una forte interazione con il tempo causata dall'anomalia del 2010. Dai confronti entro Data si ritrova una differenziazione statistica tra i trattamenti, dove la Paglia presenta produzioni di Biomassa sempre superiori, fatta eccezione per il 2010, annata molto problematica per tutti i trattamenti.

Pur non presentando una correlazione stretta con i parametri dell'azoto nel suolo la risposta quantitativa della vegetazione appare razionale e correlata con i trattamenti eseguiti: gli ammendamenti e le concimazioni stimolano decisamente la produttività biologica; la presenza del Cippato sottrae parte dell'azoto circolante limitando la risposta quantitativa della vegetazione, anche se tutto questo è condizionato dall'interazione con la casualità del tempo.

I trattamenti hanno anche modificato decisamente la composizione qualitativa della copertura erbacea, cioè la sua composizione specifica.

L'Analisi delle Componenti Principali complessiva dei rilievi floristici dei tre anni analizzati evidenzia nel piano dei primi due gradienti una netta differenziazione nella composizione del primo anno di vegetazione rispetto a quelle degli anni seguenti. Infatti, il primo anno si caratterizza per lo sviluppo impetuoso della vegetazione seminata, ed in particolare lo sviluppo di *Vicia villosa* e *Lolium perenne*. Nelle annate successive, sia il 2010 che il siccitoso 2011, la vegetazione insediata si è modificata a favore di *Anthemis tinctoria*, *Dorycnium pentaphyllum*, *Xeranthemum cylindraceum*, nel Controllo e *Daucus carota*, *Bromus racemosum* ed altre nelle parcelle Trattate.

La Redundancy Analysis dei rilievi del 2010, in associazione con l'analisi generale del suolo, evidenzia una differenziazione netta tra i Trattamenti a confronto. Il primo gradiente separa i trattati dal Controllo, il secondo diversifica invece i trattati tra loro. Nel piano dei primi due gradienti si ottiene di conseguenza una netta separazione tra i tre trattamenti. A questa corrisponde anche una diversa correlazione con i parametri del suolo: il Controllo si caratterizza per il Calcare totale, il K, il Na ed il tenore in Sabbia. Agli ammendamenti si associano tutte le altre variabili del suolo ed in particolare quelle legate alla fertilità anche se Sostanza organica e N presentano una relazione più stretta con il trattamento con Cippato. Anche l'ordinamento conseguente delle specie rilevate evidenzia dei comportamenti omogenei tanto da consentire la creazione di gruppi similari ben definiti. In particolare al Controllo si associano le specie raggruppate nel gruppo II, al Cippato le specie del gruppo V ed alla Paglia le specie del gruppo I. Dall'analisi emergono anche altri gruppi di specie omogenei che si posizionano in modo sfumato tra i tre trattamenti a confronto.

Dai risultati ottenuti sia a livello edafico che vegetazionale si può quindi concludere che gli interventi di ammendamento, in questo recupero ambientale di tipo ricostruttivo, in questi primi anni dopo l'impianto hanno permesso la modifica delle condizioni edafiche del substrato minerale ed hanno favorito l'affermazione di una buona copertura vegetale. Specie a livello del substrato queste variazioni ottenute però non si presentano ancora del tutto stabilizzate: la resilienza di questi ambienti ricostruiti appare molto labile e quindi in balia delle condizioni micro ambientali che si modificano nelle diverse annate. Saranno necessari molti anni per raggiungere una condizione più stabile, dotata di maggiore inerzia e quindi più facilmente caratterizzabile. Rispetto alla vegetazione gli effetti dei trattamenti appaiono più netti e definiti tanto da condizionare i processi dinamici evolutivi e da indirizzare la rinaturazione successiva agli interventi in direzioni diverse e distinte. Da un punto di vista tecnico scientifico si può affermare che l'analisi della vegetazione ha consentito di definire in

modo molto rapido e più chiaro i processi in atto e le differenze tra i trattamenti. Questo ha certamente un grande impatto dal punto di vista dell'organizzazione degli esperimenti: attraverso lo studio della vegetazione si possono caratterizzare in modo molto più semplice ed economico i processi evolutivi in atto. A livello edafico sono sicuramente necessari modi più onerosi e tempi più lunghi.

Capitolo 6. Conclusioni generali

In conclusione, in questo lavoro sono state analizzate diverse strategie di recupero di una cava dismessa. Sono state condotte tre prove (denominate bassa, media e alta data la loro ubicazione), ognuna delle quali prevedeva l'analisi di diverse parcelle, alle quali è stato assegnato un trattamento del terreno (suolo pedogenizzato e no) e di concimazione differente.

Sono state svolte diverse analisi del suolo: concentrazione e firma isotopica di azoto nitrico, ammoniacale e totale a due differenti profili di profondità (0-25 cm e 25-50 cm), analisi chimiche classiche del suolo, con le concentrazioni dei più importanti elementi chimici, nonché della sostanza organica. In più le analisi hanno riguardato sia la vegetazione con analisi di azoto fogliare nelle sue diverse forme minerali più la firma isotopica, sia uno studio della composizione floristica dell'impianto. Alle analisi sono seguite dettagliate elaborazioni statistiche, con analisi univariate e multivariate che hanno evidenziato differenze significative.

Si è posta particolare attenzione sulla dinamica nel suolo dei principali componenti utili alla vegetazione quali azoto, nelle sue diverse forme, e la sostanza organica. Esperienze di questo genere con rilievi a distanza di un decennio dall'impianto non sono frequenti, specie nel panorama italiano. Anche in letteratura è difficile recuperare analisi così dettagliate nel settore estrattivo, fatta eccezione forse per i Biosolidi ed i fanghi di depurazione usati come ammendanti nel Nord America (Cielap, 2008; Curtis e Claasen, 2009; Borden e Black, 2011). Questo lavoro si prefigge lo scopo di colmare seppur parzialmente, questa lacuna.

Per quanto riguarda i risultati salienti del lavoro, riusciamo a evincere quanto la concentrazione di azoto nella concimazione all'impianto incida sullo sviluppo dell'ecosistema negli anni successivi.

Dal confronto delle diverse parcelle emerge che un supporto minimo di azoto è comunque fondamentale per l'insediamento e lo sviluppo della vegetazione in un suolo

fortemente degradato. Tuttavia si nota che al superare una soglia, che nel nostro caso si quantifica intorno ai 400 kg/ha, la vegetazione inizia a risentire di una dose troppo elevata di nutriente, e quindi tutto ciò che supera detta soglia non contribuisce al miglioramento del suolo; anzi complica lo sviluppo delle piante. Ancor più importante è l'aspetto qualitativo legato agli ammendamenti ed alle concimazioni azotate.

Esse infatti influenzano drasticamente la composizione floristica delle parcelle. In parcelle con poco azoto sono cresciute piante meno esigenti in N, mentre l'aver più azoto a disposizione (fosse esso di origine chimica od organica) ha prodotto uno sviluppo di piante con esigenze maggiori di N.

In particolare sotto la soglia di 240 kg/ha si è avuto lo sviluppo di Leguminose, in particolare di *Vicia villosa*, unica leguminosa a resistere brillantemente alle condizioni di semina autunnali e fino ad ora poco utilizzata negli interventi di recupero. Così con il passare degli anni, le parcelle che avevano ricevuto una cospicua concimazione azotata, pur mantenendo un livello di N nel suolo più alto hanno mostrato un trend negativo nel sostenere lo sviluppo.

Queste proprietà si palesa nell'analisi di azoto fogliare degli alberi e degli arbusti delle parcelle della prova bassa: infatti le foglie della parcella dove sono presenti Leguminose (LG) nella quasi totalità delle specie ha visto un contenuto di azoto superiore rispetto a quello della parcella con più azoto nel suolo (NN).

Questo risultato, che può sembrare contraddittorio trova la sua spiegazione nell'analisi isotopica; infatti le foglie delle piante presenti in LG hanno valori di $\delta^{15}\text{N}$ negativi mentre in NN questi sono positivi. Ciò vuol dire che in LG vi è più ^{14}N e questo può essere dovuto solo all'azione dei batteri simbiotici delle Leguminose che hanno sequestrato ^{14}N dall'atmosfera. Inoltre è da sottolineare che l'azoto proveniente da questa fissazione risulta più disponibile rispetto a quello somministrato attraverso la concimazione.

Questo risultato mette in luce l'estrema complessità del problema trattato, dove convivono aspetti quantitativi ed aspetti qualitativi: dall'esperienza maturata in questi ambienti degradati non sempre vale la pena cercare di ricostruire una condizione ideale (elevate concentrazioni di azoto organico nel suolo) poiché questo non permetterà l'insediamento e lo sviluppo di piante che meglio si adattano a situazioni particolarmente critiche come quelle di una cava dismessa e che meglio sostengono il processo di rinaturazione necessario per il recupero. Ultima considerazione va fatta sulla prova alta in cui sono stati confrontati ammendamenti e concimazioni, in un caso di paglia e in un altro di cippato e paglia su suolo minerario non pedogenizzato.

L'obiettivo era di favorire una migliore immobilizzazione dell'azoto nel suolo, dato l'alto valore del rapporto C/N che hanno i materiali suddetti. Con la premessa che questa prova è molto recente e quindi ha bisogno di ulteriori anni per una più sicura validazione, emerge come la paglia presenti risultati migliori riuscendo ad arricchire il substrato ed nel contempo a mantenere una migliore produttività biologica della copertura. Per cui in una superficie assolutamente ostile alla vegetazione quale un substrato minerale argilloso sub alcalino pare che la paglia possa dare un buon contributo al processo di affermazione e di riqualificazione dell'attività biologica.

BIBLIOGRAFIA:

- A.A.V.V. (2000). Metodi di analisi chimica del suolo. FrancoAngeli Editore.
- A.N.I.M. (2003). Associazione Nazionale Ingegneri Minerari.
- Abakumov, E.V.; Frouz, J. (2009) - Evolution of the soil humus status on the calcareous Neogene clay dumps of the Sokolov quarry complex in the Czech Republic. *Eurasian Soil Science* 42 (7):718-724.
- Aichinger, E. (1951). *Agewandte Pflanzensoziologie*. 1:1 – 56.
- Almeida, R. O. P. C. (2002). *Revegetação de áreas mineradas: estudo dos procedimentos aplicados em mineração de areia*. Tese de Mestrado – USP, faculdade de Engenharia, sao paulo.
- ARPAT (2010). Report della Agenzia Regionale per la Protezione ambientale della Toscana.
- Arrigoni, O. (1973). *Elementi di biologia vegetale-botanica generale*. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.541 pagine.
- Arrigoni,O. (1973). *Elementi di biologia vegetale – botanica generale*, casa editrice Ambrosiana.
- Bagnaresi, U. (2000). *Boschi in pianura?. Ecologia e Tecnica applicate alle foreste e all'ambiente montano_n°2* .Gruppo Calderini edagricole.
- Baiani,S.; Valitutti, A. (2008). *Tecnologie di ripristino ambientale*. Publisher: Alinea.
- Baver, L. D. (1968). The effect of organic matter on soil structure. *Scient. Varia*, 32: 368 -96.
- Bergamini,M.; Pugliaro, E. L. (2008).*PARCO GEOMINERARIO ED ECOMUSEO DI BALANGERO E CORIO*. Società a capitale pubblico per il risanamento e lo sviluppo ambientale della miniera di Balangero e Corio.
- Bertolini, G; Guida, M.; Pizziolo, M. (2005). *Landslides in Emilia-Romagna region (Italy): strategies for hazard assessment and risk management*.
- Biology
- Borden, R. K. e Black, R. (2011). *Biosolids application and long-term noxious weed dominance in the Western United States*.

- Bortolini, C.G. (2000). Eficiencia do metodo de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta apos aveia preta. 48 folhas. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Universidade do Rio Grande do Sul.
- Bot, A.; Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food and production (FAO soils bulletin) [Paperback].
- Bradshaw A.D. (1993). The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied ecology*, 20:1-17.
- Bradshaw A.D. (1997). Restoration of mined lands using natural processes. *Ecological Engineering* 8(4):255-269.
- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Springer-Verlag, Wien and New York.
- Bredemeier, C & Mundstock, C. M. (2000). Regulation of nitrogen absorption and assimilation in plants. *Ciencia Rural*, Santa Maria, volume 30, n°. 2, pages 365 -372. ISSN 0103-8478.
- Camargo, P.B. et al. (1989) - Destino do N de fertilizantes _ N15 (ureia e aquamonia) aplicados na cultura da cana-de-açúcar. I. Deslocamento no solo. In: Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo, 22, Recife. Resumos/Recife: SBCS 1989. paginas 70 - 71.
- Campacci, M. (2000-2001). valutazioni sullo stato fitosanitario di impianti di arboricoltura da legno nella collina Forlivese. Università degli studi di bologna. Facolta di agraria/scuola di specializzazione in fitopatologia. Tesi di specializzazione, Anno accademico 2000-2001.
- CANOCO
- Carfora, A. (2008). Soil nitrogen cycle and fluxes of greenhouse gases (ch4 and N₂O) in mediterranean-type ecosystems (tesi in Biologia applicata). Università degli studi di Napoli Federico II. Tesi doutorato
- Chang S.X. & Handley L.L (2000). Site history affects soil and plant ¹⁵N natural abundances (δ¹⁵N) in forest of northern Vancouver Island, British Columbia. *Functional ecology*, 14:273-280.
- Cheng H.H. et al (1964) Variations of nitrogen-15 abundance in soils. *Science*, 146:1574-1575.
- Cielap. (2008). Biosolids in Mine Reclamation?. A Review of the literature. Cielap: Canadian institute for environmental law and policy.

- Colombo, M. (2011). La Convenzione europea del paesaggio nel recupero dei paesaggi degradati: analisi e confronti di progetti italiani ed europei. Facoltà di architettura, Corso di laurea in progettazione di giardini, parchi e paesaggio.
- Comino, E.; Cardu, M.; Ranieri, S e Vascetta, M. (2005). Valutazione dello stato trofico di un lago di cava finalizzata alla mitigazione degli effetti ambientali causati dall'attività estrattiva. DITAG, Politecnico di Torino, Torino, Italia.
- Corticelli, S; Guermandi, M. e Mariani, M.C. (2008). Due indice per valutare l'impermiabilizzazione e il consumo di suolo. Atti 12a. Conferenza ASITA – L'Aquila.
- Costa, G. S.; Franco, A. A.; Damasceno, R. N. e Faria, S. M. (2004) – Revista Brasileira de Ciencia do Solo, volume 28, 919 – 927.
- Curtis, M. J.; Claassen, V. P.(2009). Regenerating Topsoil functionality in four drastically disturbed soil types by compost incorporation. Restoration Ecology: The Journal of the Society for Ecological Restoration International.
- Danneberg, O. (1971). Investigationen mit 15N als Beitrag zum Wissen der Humifikationsprozesse. II: Synthese von organischen Substanzen und Stickstoffformationen der Rotte von Maisstoppeln. Bodenkult. 22 (3): 264 – 78.
- De Nicola, Cristina Maria Pilar (2008). Studio della complessità dell'ecosistema a Fagus nell'Appennino centrale attraverso ecoindicatori basati su specie, suolo, humus, microclima. Dall'uniformità alla complessità. UNIVERSITA' DI NAPOLI FEDERICO II. Dottorato di Ricerca in Biologia Applicata XXI ciclo.
- DeKock, P. C.; Strmecki, E. L. (1954). An investigation on the growth promoting effect of a lignite, *Physiol. Plant.* Durasov, A. M.; Marschenko, V. F. (1966)). Humus composition in dark chestnut soils and the carbon total/ nitrogen ratio. *Poschvov.* 10:56-63.
- Duan,WJ., Ren, H., FU, SL., Wang, J., Yang, L. e Zhang, JP. (2008). Natural recovery of different areas of a deserted quarry in South China. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES-CHINA* 20 (4):476-481.
- Duchaufour, P., Jacquin, F. (1966). Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. ENSAV, VIII, 1, 3-24.*
- Durasov, A.M. e Marschenko, V. F. (1966). Humus composition in dark chestnut soils and the carbon total/nitrogen ratio. *Pochvov.* 10:56-63.
- E. Muzzi, G. Rossi, (2003). Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia Romagna. Regione Emilia Romagna, Bologna.

- EPA: Environmental Protection Authority (2006). GUIDANCE FOR THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL FACTORS: In accordance with the Environmental Protection Act 1986, No. 6 Western Australia.
- Fabbri, F. (2004). Le foreste ferite. Greenpeace/Jaca Book.
- FAO (2006). World reference base for soil resource. 2nd edition. World soil resources reports 132.Rome.
- Fergus, L.; Sinclair, B. L.; Healey, J. R. (2008). Opportunities for ecological restoration of quarry sites around Kota in Rajasthan - School of the Environment and Natural Resources, Bangor University.
- Fertil. Soil 3, 31-38.
- Fonti, L.; Missori, S.; Pagano, C. (2006). Parchi, reti ecologiche e riqualificazione urbana. Alinea Editrice – Firenze.
- Gaspari, G. (2004). Analisi idraulico-ambientale del sistema Gran Sasso. Università degli Studi di Roma – La Sapienza. Tesi de Laurea.
- Gaudio, A. D.; Vallario, A. (2007). Attività estrattive: cave, recuperi, pianificazione. Liguori Editore, S.r.l.
- Giordano, A. (1999). Pedologia. Editore UTET. Torino.
- Gisotti, G. (2008). Le cave: Recupero e pianificazione ambientale. Editore: Flaccovio Dario. ISBN 13: 9788877586797.
- Giunti Demetra. (2005). Orto e frutteto biologico. Il grande libro.
- Grandy A.S., Robertson G.P. (2006). Aggregation and organic matter protection following tillage at a previously uncultivated soil. Soil Science Society American Journal. 70:1398-1406.
- GRAY, A. (1842). Scientific and practical agriculture or the application of biology geology and chemistry to agriculture and horticulture intended as a text book for farmers and students in agriculture by Alonzo Gray an author of elements of chemistry and teacher of chemistry and natural history in Phillips Academy. .
- Gray, A. (1855). The American journal of science and arts. New York , second series, volume XIX/ 69.
- Greenland, D. J. (1958). Nitrate infiltration in tropical soils. Journal Agric. Sci. 50:80-92.
- Haider, K. M. (2005). University Halle, Halle, Germany G Guggenberger, University of Bayreuth, Bayreuth. Genesis and Formation. Germany. Elsevier Ltd.

- Haider, K; Martin, J. P. (1967). Synthesis and transformation of phenolic compound by *Epicoccum nigrum*. *Soil Sci. Amer. Proc.* 31 (6): 766- 72.
- Handreck, K. A.; Black, N. D.(2002) .*Growing Media for Ornamental Plants and Turf*. Editore: UNSW Press.
- Hausmann, G. (1968). Culture technique from the standpoint of conservation an incrementation of organic matter in the soil, in the light of modern research. *Scient. Varia*, 32:415 -449.
- Hearing K.G., Daniels W.L. eagley S.E., (200) Reclaimed mined lands with biosolids, manures and papermills sludges. In Barnhisel et al (Eds) *Reclamation of drastically disturbed lands*. ASA, CSSA and SSSA Madison WI: 615-644.
- Hogberg P., Hogberg M.N., Quist M.E. et al (1999) Nitrogen isotope fractionation during nitrogen uptake by ectomycorrhizal and non mycorrhizal *Pinus silvestris*. *New Phytology*, 142:569-576.
- Hogberg P., Hogborm H., Schinkel H. et al (1996). ¹⁵N Abundance of surface of surface soils, roots and mycorrhizas in profiles of European forest soils. *Oecologia* ,108:207-215
- Hotan-Hartwig, Bockman, O. C. (1994). Ammonia exchange between crops and air. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, n.14, p. 52 -61.
- Hsieh, W.W., and Tang, B. (1998). Applying Neural Network Models to Prediction and Data Analysis in Meteorology and Oceanography. *Bulletin of the American Meteorological Society*: Vol. 79, No. 9:1855–1870.
- http://sasweb.regione.emilia-romagna.it/cgi-bin/broker.exe?_program=pgmprvt.trter05.sas&_debug=0&_service=provvisorie
- <http://www.rainbowplantfood.com/agronomics/efu/nitrogen.pdf> 2012 don eckert. access in(18/01/2012)
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857497000220> (Restoration of mined landds – using natural process).
- ISOTOPI
- Jacquin, F.; Juste, C. D. P. (1965). Determination de lá valeur agronomique de quelques compostes de sciure. *Bull. Ecole Nat. Sup. Agron. Nancy*, VII (1): 24 – 8.
- Jenny, H. (1930). Consistency of organic matter in soil as dictated by the zonality principle. *Missouri Agr. Exp. Sta. Bull.* 152.

- Jim, C.Y. (2001). Ecological and landscape rehabilitation of a quarry site in Hong Kong . *Restoration Ecology* 9 (1): 85 - 94.
- Kellermann, V. V.; Tsyurupa, I. G. (1966). Role of iron and organic matter in the aggregation of the soil clay components. *Pochvov.* 8: 940 - 47.
- Killpack, S.C.; Buchholz, D. (1993) .Nitrogen in the Environment: What is Nitrogen?. Department of Agronomy Missouri.
- Kohnlein, J. (1957). Futterbau un Bodenfruchtbarkeit. *Landw. Forsch, Sonderth*, 9: 201-12.
- Kolbash R.L., Freeman J.R., Ramonoski T.I. & Sturm J.W. (1990). Coal refuse reclamation: effects of topsoil thickness on the growth and maintenance of vegetation. *Proceeding of the mining and reclamation conference and exhibition*: 69
- Koltakova, P. S.; Schwetschenko, G. A.(1966). Einfluss langjähriger Kultur und systematischer Dungeranwendung auf Gehalt und Zusammensetzung von Humuns in ausgelaugter Schwarzerde. *Agrokhimiya*,5: 27 – 33.
- Kononova, M. M. (1961). *Soil organic matter*. Pergamon Press, Oxford.
- Kononova, M. M. (1968). Humus of the main soil types and soil fertility. *Scient. Varia*, 32: 361 – 82.
- Legambiente (2008). Il punto sulle cave in italia: I numeri, leggi i piani, le buone e cattive pratiche (Rapporto di Legambiente sulla gestione dell'attività nel territorio italiano).
- Legambiente.(2011). Report sulle cave.
- Lehman A. (2006). Tecnosol and other proposals on urban soil for the WRB. *International Agro-physics*, 20:129-134.
- Lenz, K. (1968). Uber den Abbau von organischen substanzen verschiedenen Alters mit unterschiedlichem N-Gehalten im Boden. *A. Thaer Arch.* 12(5): 413 -23.
- Leone U. (2002). *Nuove politiche per l'ambiente*, Carocci, Roma.
- Leone, A. (2004). *Ambiente e territorio agroforestale. Linee guida per la pianificazione sostenibile e gli studi di impatto ambientale* (Collana: Urbanistica-Documenti). Editore: Franco Angeli.
- Levashkevich, G. A. (1966). Interaction of humic acids with iron and aluminium hydroxides. *Pochvov.* 4:422-27.
- Lewis, O.A.M. (1986). *Plants and nitrogen*(The Institute of Biology's: studies in biology no. 166), Edward Arnold - Publishers, Great Britain.

- Liwang, M.; Lajpat, R.; Ahuja, T. B. (2008). Quantifying and Understanding Plant Nitrogen Uptake for Systems Modeling. Editore: CRC Press Inc.
- Maffei, M. (1998). Biochimica Vegetale. Editor Piccin. ISBN: 978-88-299-1462-3.
- Mancino, G. (1999) Valutazioni della qualità del paesaggio del paesaggio in relazione ad interventi di arboricoltura da legno. Tesi di Dottorato.
- Maniglio, A. C. (2010). Progetti di paesaggio per i luoghi rifiutati. Università degli studi di Genova (Facoltà di architettura - dipartimento POLIS –sezione paesaggio : Sintesi della ricerca MIUR – PRIN 2007 -2010). Gancemi editore.
- Mantovi, P.; Piccinini, L. Rossi, R.; Laraia, A.; Lanz, M.; Bergonzoni, M. (2004). Utilizzo di frazione organica stabilizzata (fos) nel recupero di cave di argilla: monitoraggio degli effetti sull'ambiente.
- Marc Girard. (2001). The Regeneration of a Highly Disturbed Ecosystem: A Mined Peatland in Southern Québec. *Ecosystems*: Vol 5, number 3, 274-288.
- Marino, L. (2007). Cave storiche e risorse lapidee: Documentazione e restauro. Alinea editrice s.r.l.
- Mariotti et al (1981) Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: some principles: illustration for the denitrification and nitrification processes. *Plant and Soil* 62:413-430.
- Marques, A. Q.; Bertoni, J.; Barretto, G.B. (1961). Perdas por erosão no Estado de São Paulo. *Bragantia*, 20 (47):1143-82.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants, 2nd. Edn. Academic Press, London, 889 p.
- Martin, J.P.; Haider, K.; Wolf, D. 1972. Synthesis of phenols and phenolic polymers by *Hendersonula toruloides* in relation to humic acid formation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36 (2): 311-15.
- Martinelli L.A., Piccolo M.C., Townsend A.R. (1999). Nitrogen isotope studies in forest ecosystems. In Lajtha K. e Michener R.H. (Eds). *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell Scientific, Boston: 23-44.
- Martis, G. D.; Serri, G. (2009). L'analisi fitosociologica della vegetazione per il monitoraggio degli habitat nel Parco Naturale Regionale Molentargius-Saline (Sardegna meridionale). *Primi risultati. INFORMATORE BOTANICO ITALIANO*, 41 (2) 293-301

- Mazzino, F.; Gherzi, A. (2004). Per un atlante dei paesaggi italiani. Collana: Architettura del paesaggio. Editore: Alinea.
- Migroet, H. V; Cole, D. W. (1984). Acidification Sources in Red Alder and Douglas Fir Soils-Importance of Nitrification. Soil Science Society of America Journal, Vol. 49 No. 5, p. 1274-1279.
- Migroet, V. e Cole, D.W. (1984). Journal Environmental Qual. 13, 586-590.
- Minelli, L. C. (1994). Il bosco torna in Pianura: Le prospettive dopo 15 anni di esperienza. Consorzio della bonifica reno-Palata. Atti.
- Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del Suolo (1994). Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo con commenti ed interpretazioni. ISMEA, Roma.
- Ministero per le Politiche Agricole (1999). Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. D.M. del 13/09/99, Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21.10.99
- Miyasaka, S; Camargo, A. P.; Inforzato, R. (1966). efeitos de cobertura e dá incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio, de diferentes formas de materia organica nao decomposta, na cultura do feijoeiro. Bragantia, 25 (32): 349 – 69.
- Molina, J. S. (1968). lá composición aeròbia de lá celulosa y lá estructura activa de los suelos. Progr. Biodin. Prod. Solo, Sta. Maria/RGS, pp 217-24.
- Morri, E., Pezzi G., Santolini R., (2010). Le trasformazioni del territorio nel Comune di Rimini attraverso l'analisi diacronica del paesaggio. Urbanistica n.143; pp 96-105.
- Naglitsch, F.; Matschke, J. (1970). Untersuchungen uber den Abbau organischer Substanz im Boden. Pedobiol. 10:121 -34.
- Nardoto, G. B. (2005). Abundância natural de 15N na Amazônia e Cerrado - implicações para a ciclagem de nitrogênio. Tese de Doutorado/USP, Unidade Ecologia de Agroecossistemas (ESALQ/CENA).
- Natale, W e Marchal, J. (2002). Absorption and distribution of Nitrogen (15N) In Citrus mitis BI. Revista Brasileira Fruticultura, Sao Paulo, v. 24 n.1, p. 183-188.
- Nehring, R.; Wiesemuller, W. (1968). Untersuchungen uber den Einfluss der Mineraldungung auf den Humusgehalt der Ackerboden. Z. Pflanzenern Bodenkd. 119 (1): 11 - 24.
- Palermo D. 2010. Effetto dell'età sul ciclo dell'azoto di foreste temperate. Tesi di Laurea. Università di Bologna, p.44.

- Panizza, M. (2005). Manuale di geomorfologia applicata. Publisher: Franco Angeli, Series: Uomo, ambiente, sviluppo.
- Pauli, F.W. (1961). Humus and plant. Sci. Progr. XLIX: 427 – 39.
- Perakis, S.S.; Sinkhorn, E.R.; Compton, J.E.;(+++). Delta (15) N constraints on long-term nitrogen balances in temperate forests. OECOLOGIA Volume: 167 Issue: 3 Pages: 793-807.
- Polacco, J. C.; Tood, C. D. (2011). Ecological Aspects of Nitrogen Metabolism in Plants.
- Primavesi, A. (1968).Organic matter and soil productivity. Scient. Varia, 32:654-99.
- Primavesi, A. M. (1973). Influencia do teor de calcio sobre ó nivel de materia organica em solos nativos do Rio Grande do Sul. XIV Congr. Brasileiro de Ciencias do Solo.Santa Maria – Rio Grande do Sul.
- Primavesi, A. M. (1999). Manejo ecologico do solo: agricultura em regioes tropicais. Sao Paulo: Nobel editora.
- Radaelli, L., Calamai,L. 2001. Chimica del Terreno_(Cap. Umificazione).
- Raven, P.H. (2001). Biology. : McGraw-Hill Publishing Co.
- Redente E.F., Mc Lendon T. & Agnew T. (1997). Influence of topsoil depth on community dynamics of a seeded site in North Colorado. Arid soil research and rehabilitation, 11(2):139-149
- Reeder J.D. (1988). Transformations of nitrogen 15 labeled fertilizer nitrogen and carbon mineralization in incubated coal mine spoils and disturbed soils. Journal of Environmental Quality, 17:291-298.
- Reese, E. T. (1968). Microbial transformation of soil polysaccharides. Scient. Varia, 32: 325 – 82.
- Regione EMILIA ROMAGNA (1994). I suoli dell'Emilia Romagna (*suoli dell'Emilia-Romagna : carta / a cura di: Nicola Filippi e Luisa Sbarbati. - Scala 1: 250000. - [Bologna] : Regione Emilia-Romagna, 1994 (Firenze : S.EL.CA.). - 1 c. geogr. : color. ; 72x140 cm, ripieg. in 24x14 cm. ((In testa al front.: Regione Emilia-Romagna: Servizio cartografico: Ufficio pedologico).
- Rossi, G. (2003). Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia Romagna. Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Regione Emilia-Romagna. (2006) .Raccontare la Terra: 14 itinerari geologici in Emilia-Romagna. Pendragon.

- Requena, N.; Perez, E.; Azcón, A.; Jeffries, P.; Barea, J.M. (2001). Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl Environ Microbiol.*- 67 : 495-8.
- Rizzati, A.; Romagnoli, M. (2010). Servizio Difesa del Suolo: Regione Emilia-Romagna.
- Roberts J.A., Daniels W.L., Bell J.C. & Burger J.A. (1988). Early stages of mine soil genesis as affected by topsoiling and organic amendments. *Soil Science Society of American Journal*, 52(3):730-738
- Robinson, D. (2001). Title delta N-15 as an integrator of the nitrogen cycle. *TRENDS IN ECOLOGY & EVOLUTION* Volume: 16 Issue: 3 Pages: 153-162.
- Russell, E. J.; Russell, R. W.(196) . *Soil conditions and plant growth*. 9 ed, Longmanns & Green, London.
- Salomon, E.P; Berg, L. R.; Martin, D. W. (2006). *Biologia – IV edizioni*, EdiSES s. r.l. Napoli.
- Sanchez, M. A et al (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes.
- Sanclair, A. J. et al (2008). Conceptualizing learning for sustainability through environmental assessment: critical reflections on 15 years of research. *Environmental Impact Assessment - Review*.
- Sanesi, G. (2000). *Elemento di pedologia: I suoli, loro proprietà, gestione e relazioni con l'ambiente*. Calderini edagricole.
- Sangoi, L.; Ernani, P.R.; Lech, V. A.; Rampazzo, R. (2003) Nitrogen leaching as affected by urea application method and oat residue management in soils with contrasting textures. *Ciencia rural*, Santa Maria, v. 33, n.1, jan-fev, p 65-70. ISSN 0103-8478.
- Santoro, T.; Stotzki. (1967). Influence of cations on flocculation of clay minerals by microbial metabolites, determined by the electrical sensing zone particle analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31 (5): 761 -65.
- SAS
- Sbaraglia M., Lucci E. (1994). *Guida all'interpretazione dell'analisi del terreno ed alla fertilizzazione*. Studio Pedon, Pomezia.
- Scharpenseel, H.W.; e Kruse, E.(1971) .Aufbau und Bindungsformen der Ton-Humus-saurekomplexe. *Z. Pflanzenern. Bodenkd.* 129 (3): 226-36.

- Schlesinger, W. H. (1997). *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Publisher: Academic Press Inc.
- Schulze E.D., Chapin III F.S. e Gebauer G. (1994). Nitrogen nutrition and isotope differences among life forms at the northern treeline of Alaska. *Oecologia*, 100: 406-412
- Sekera, F. (1943). *Der gesunde und der kranke Boden*. Parey, Berlin.
- Sequi, P. (1989). *Chimica del suolo*. Publisher: Pàtron.
- Shrestha R.K. & Lal R. (2007). Soil carbon and nitrogen in 28 year old land uses in reclaimed coal mine soils of Ohio.
- Simoni, A.; Berti, M.; Ghirottis, M.(2001). Caratterizzazione geomeccanica delle Arenarie di Loiano ai fini della stabilità dei fronti di – R. tecinco).
- Simoni, A.; Berti, M.; Ghirottis, M.(2001). Caratterizzazione geomeccanica delle Arenarie di Loiano ai fini della stabilità dei fronti di scavo Gruppo di lavoro.
- Soane, B.D. (1989). The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. Scottish Centre of Agricultural Engineering, Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 OPH Gt. Britain.
- Sorensen P.L. & Fresquez P.R. (1991). Nitrification potential in reclamation coal mine spoils on soils in the semi arid southwest. *Journal of Environmental Quality*, 20:279-285
- Statgrafics
- Stevenson, F.J. (1986). *Cycles in Soil*. John Wiley & Sons, New York. pp. 285-320.
- Studio della complessità dell'ecosistema a Fagus nell'Appennino centrale attraverso ecoindicatori basati su specie, suolo, humus, microclima. Dall'uniformità alla complessità.
- Swaby, R. J. (1968). Stability of soil organic matter and its significance in practical agriculture. *Scient. Varia*, 32: 582 – 613.
- Taylor R.W., Ibeabuchi I.O., Sistani K.R & Shuford J.W. (1992). Accumulation of some metals by legumes and their extractability from acid mine soils. *Journal of Environmental Quality*, 21:176-180.
- Touring, C. I. (2003). *Emilia-Romagna: Bologna, le città d'arte, il Po, la Riviera adriatica, la pianura e l'Appennino*.
- Toutain, F. (1987). *Activité biologique des sols, modalités et lithodépendance*. Biol.

- Tyurin, I. V. (1965). Soil organic matter and its role in soil fertility. Izd. Nauka, Moskow.
- U. Bagnaresi, E. Muzzi, C. Ferrari, G. Rossi, (1990). Rivegetazione di suoli minerali con interventi a basso costo energetico nell'Appennino Settentrionale. Acer, Il verde Editoriale, Milano, 72-75.
- Vageler, P. (1930). Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkunde. Parey, Berlin.
- VanLoo, T. D. (2008). Organic matter accumulation in sand based root zones. Michigan State University.
- Violante, P. (2002). Chimica del suolo e della nutrizione delle piante. Edizione Agricole – Bologna.
- Vitousek, P.M.; Hedin, L.O.; Matson, P.A.; Fownes, J.H.; Neff, J. (1998). Within-system element cycles, input-output budgets, and nutrient limitation. In: Pace ML, Groffmann PM (eds) Successes, limitations, and frontiers in ecosystem science. Springer, New York, pp 432–451.
- Waksman, S. A. (1938). Humus, origin, chemical composition and importance in nature, Wilkins, Baltimore Md.
- Wiebe, H. J. (1966). Einfluss von Stroh und Torf auf ertragsbestimmende Faktoren des Bodens. Gartenbauwiss. 31:125-62.
- www.ermesambiente.it/difesasuolo. Buone pratiche nel recupero delle aree estrattive: gli esempi in Emilia-Romagna, Piermario Bonotto Responsabile Servizio Difesa del Suolo, della Costa e Bonifica della Regione Emilia-Romagna, www.sarmaproject.eu. Accesso in dicembre 2011.
- Carneiro, M.C. et al (2008). Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronosseqüências de reabilitação após a mineração de Bauxita. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 32:621-632.
- Domene X, Mattana S, Ramírez W, Colón J, Jiménez P, Balanya T, Alcañiz JM, Bonmatí M (2009) Bioassays prove the suitability of mining debris mixed with sewage sludge for land reclamation purposes. J Soils Sediments.
- Farndon, J. (1999). The elements: Nitrogen. Library of Congress Cataloging. Benchmarks Books.
- Nannipieri P. (1993) Ciclo della sostanza organica nel suolo: aspetti agronomici, chimici, ecologici e selvicolturali. Patron Editore, Bologna. p. 174.

- Keeney, D. R.; Hatfield, J. L.(2008). The Nitrogen Cycle, Historical Perspective, and Current and Potential Future Concerns. University of Nebraska – Lincoln DigitalCommons@University of Nebraska – Lincoln.
- Sengupta M, (1993). Environmental Impacts of Mining (Lewis, Chelsea, MI).
- Zurli M. (2003) Gestione ed analisi dei dati raccolti (GIS). In Muzzi E. & Rossi G. (a cura di) Il recupero e la riqualificazione ambientale delle cave in Emilia-Romagna. Manuale Teorico-pratico.: 91-92. Regione Emilia-Romagna.
- Walter, H. e LIETH, H. (1960): World atlas of climatic diagrams. Jena.
- Peter M. Vitousek et al., (1997). “Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences,” Issues In Ecology, number 1, p. 2.