

Università degli Studi della Tuscia

Dipartimento per l'Innovazione nei sistemi Biologici, Agroalimentari e
Forestali

Dottorato in Ecologia Forestale

XXVI Ciclo

Variazione degli stock di Carbonio e Azoto nel suolo e studio della
decomposizione della sostanza organica attraverso le forme di
humus in rapporto a diversi trattamenti selvicolturali applicati in
tre faggete dell'Italia peninsulare.

Coordinatore
Paolo De Angelis

Tutor
Giorgio Matteucci

Dottoranda
Flavia Sicuriello

Luglio 2015

INDICE

Introduzione	4
Scopo della tesi	5
1. Il progetto ManFor C.BD.....	6
2. I siti di studio.....	8
Cansiglio	8
Inquadramento geografico	8
Inquadramento climatico.....	9
Inquadramento geologico.....	10
Inquadramento pedologico.....	11
Inquadramento forestale.....	12
Chiarano	13
Inquadramento geografico	13
Inquadramento climatico.....	14
Inquadramento geologico.....	14
Inquadramento pedologico.....	15
Inquadramento della vegetazione.....	16
Mongiana	16
Inquadramento geografico	16
Inquadramento climatico.....	17
Inquadramento geologico.....	18
Inquadramento pedologico.....	18
Inquadramento della vegetazione.....	19
3. Disegno sperimentale, trattamento dati e analisi statistiche	20
Disegno sperimentale (ManFor C.BD.)	20
Trattamenti selvicolturali applicati	22
Cansiglio	22

Chiarano	24
Mongiana	26
Campionamento del suolo.....	28
Campionamento delle forme di humus	30
Le prime classificazioni	30
La classificazione morfo-funzionale.....	30
Gli orizzonti diagnostici.....	32
I Gruppi di riferimento delle forme di hums (Reference Humus Form Groups).....	36
Disegno sperimentale	41
Trattamento dati	44
Analisi statistiche	47
4. Risultati	50
Suolo	50
Carbonio organico e Azoto totale nei suoli trovati	50
Risultati dell'analisi della varianza.....	54
Forme di humus	68
Le forme di humus trovate	68
Analisi della varianza.....	85
Analisi spaziale della varianza.....	99
5. Discussione	102
6. Bibliografia	108
7. Appendice	117
A.Data set suolo	117
B.Data set humus	119
% di azoto totale negli orizzonti dell'episolum umifero	125
% di carbonio organico negli orizzonti dell'episolum umifero	125

Introduzione

La sostanza organica del suolo (SO) viene descritta come “l’insieme dei residui animali e vegetali, a vari stadi di decomposizione, e delle sostanze derivanti dall’attività biologica della popolazione vivente nel terreno” (SSSA, 1996).

All'interno del suolo la SO non è stabile, ma è soggetta a continue trasformazioni che comportano la perdita progressiva delle strutture biologiche originarie ad opera di due processi: la mineralizzazione e l'umificazione. I fattori ecologici che entrano in gioco in questi due processi sono numerosi, da quelli a scala globale come clima, roccia madre, evoluzione temporale a quelli locali e puntiformi come l'attività della fauna edafica e dei microrganismi, qualità della lettiera, tessitura del suolo, etc.

Questi due processi, insieme a quello di alterazione della roccia e all'evoluzione nel tempo, sono responsabili della pedogenesi del suolo che viene definito da Dokouchaev (1883) come "lo strato superficiale della crosta terrestre modificato dall'intervento dell'acqua, dell'aria e degli organismi viventi e dalle loro spoglie; è un corpo naturale indipendente e mutevole".

La complessità delle interazioni all'interno delle comunità edafiche e dei loro rapporti con l'ambiente abiotico, che comporta una variabilità spaziale elevata anche a scala locale, fa sì che l'indagine sui cambiamenti apportati da diverse pratiche forestali su *solum* ed *episolum umifero* debba essere affrontata secondo diversi approcci, sia di tipo quantitativo che qualitativo e con un disegno sperimentale che tenga in considerazione la variabilità a diverse scale.

Parallelamente allo studio quantitativo di elementi cardine come Carbonio e Azoto, i cui cicli bio-geo-chimici sono strettamente legati in termine di abbondanza (stock) (Schulze et al., 1994) e di interazioni nei processi di decomposizione e di sequestro, è stato approntato anche l'approccio di tipo qualitativo della "forma di humus", che negli ultimi anni si sta rivelando come ottimo strumento di sintesi degli aspetti ecologici e funzionali degli ecosistemi forestali, corroborato, a livello quantitativo, dalle misure delle variabili “risposta” (Corg, Ntot) per ciascun orizzonte organico e organo-minerale costituenti la forma stessa.

Un poderoso lavoro di campo, che ha visto nelle due campagne ante e post trattamento la raccolta di 486 carote di suolo e 162 profili di humus per un totale di circa 960 campioni.

Scopo della tesi

Gli effetti della gestione forestale sull'evoluzione della sostanza organica all'interno del suolo sono stati solo raramente oggetto di studio (Holscher et al., 2001).

La necessità di proteggere le foreste e il suolo quali principali serbatoi di Carbonio negli ecosistemi terrestri (Schimel, 1995; Batjes, 1996) sancita a partire dal Protocollo di Kyoto (Schulze, 2003) e ormai comprovata dai numerosi studi sui cambiamenti climatici, ha portato una sempre maggiore attenzione alle dinamiche che interessano la sostanza organica nei suoli forestali sottoposti a differenti gestioni (Prietz et al., 2012; Christophel et al., 2015; Jandl et al., 2007).

Proprio in quest'ottica all'interno del progetto LIFE+ MAN.FOR e in particolare della ACTION FOR C, è stato messo a punto il seguente lavoro di ricerca al fine di indagare gli effetti sulla decomposizione e sul sequestro della sostanza organica in faggete poste nel piano montano lungo un transetto nord-sud dell'Italia peninsulare e sottoposte a tre diversi trattamenti: possono i diversi tipi di trattamenti selvicolturali incidere sullo stock di Carbonio e Azoto? Come cambia la decomposizione della sostanza organica nell'episolum umifero?

Lo scopo di più ampio respiro è quindi quello di valutare la validità delle opzioni di gestione forestale innovative applicate e di individuare “*best practice*” ai fini di aumentare la capacità del suolo di essere un serbatoio di Carbonio (*carbon sink*) favorendo la mitigazione dei cambiamenti climatici e il mantenimento della biodiversità e dell'equilibrio ecosistemico e funzionale.

1. Il progetto ManFor C.BD

Il progetto ManFor C.BD. (*Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing – Gestire le foreste con obiettivi multipli: carbonio, biodiversità e benessere socio-economico*) è un progetto Life+, finanziato dalla Commissione Europea e coordinato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche attraverso l'Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale (IBAF).

Il progetto ManFor C.BD. è supportato dal Corpo forestale dello Stato e annovera tra i partner l'Università degli Studi del Molise, il CRA-Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, la Regione del Veneto, la Regione Molise e lo Slovenian Forestry Institute.

Il progetto ha l'obiettivo di testare e verificare in campo, in dieci boschi selezionati tra Italia e Slovenia, l'efficacia delle opzioni di gestione forestale multifunzionale in relazione alla capacità di immagazzinamento del Carbonio da CO² atmosferica, alla biodiversità, alla produzione di legname, al potenziamento del richiamo turistico e alla protezione, fornendo dati, linee guida e indicazioni di buone pratiche (best-practice).

I dati raccolti sono relativi ai principali indicatori Pan-europei per la gestione forestale sostenibile adottati dalla Conferenza ministeriale sulla protezione delle foreste in Europa (MCPFE), con rilevanza per quegli indicatori relativi al ciclo/sequestro del carbonio e alla biodiversità.

Un ulteriore obiettivo del progetto è quello di sviluppare e testare anche nuovi indicatori come ad esempio "la forma di humus" proposto come nuovo indicatore dell'evoluzione della sostanza organica e dello stato ecologico-funzionale dell'ecosistema forestale.

Tutte le misure sono state rilevate prima e dopo gli interventi per garantire la possibilità di un confronto attendibile fra le diverse opzioni di gestione proposte.

Nell'azione pratica, all'intervento previsto dalla gestione tradizionale applicata dall'ente gestore del sito, si sono affiancate una o due opzioni di gestione proposte dal Progetto. Queste, senza trascurare la finalità produttiva del bosco, hanno cercato di ottimizzare la gestione in termini di:

- mitigazione dei cambiamenti climatici, tramite la rimozione dall'atmosfera di parte dell'anidride carbonica che provoca l'effetto serra;
- conservazione della biodiversità, conservando quella esistente e cercando di incrementarla favorendo l'ospitalità a un maggior numero di esseri viventi (piante, animali, funghi, ecc.)
- incremento della complessità strutturale del bosco, importante sia ai fini ecologici che turistico-

paesaggistici

- qualità del legno anche rispetto alla durata dei prodotti ottenuti, favorendo la produzione di legname da opera piuttosto che legname da ardere.

In particolare il presente lavoro è inserito all'interno della Action ForC improntata alla valutazione di indicatori connessi al ciclo del carbonio di foreste gestite. Gli indicatori utilizzati concernono quelli descritti nella Conferenza ministeriale sulla protezione delle foreste in Europa (MCPFE) agli indicatori connessi a processi del ciclo di carbonio di carbonio, come il cambiamento della produzione primaria netta (NPP), Leaf Area Index (LAI), le emissioni di CO₂ del suolo tramite cuvette, biomassa, necromassa (legno morto e lettiera).

2. I siti di studio

I siti sperimentali selezionati in due paesi Europei (Italia e Slovenia), sono situati in boschi pubblici storicamente gestiti per produzione e protezione, in cui sono presenti specie ed ecosistemi target. Alcuni siti ricadono in aree incluse nel circuito Natura 2000, con habitat e specie a rischio di estinzione. Questi siti sono collocati lungo una linea Nord-Sud in Italia ed Est-Ovest tra l'Italia e la Slovenia. In Italia sono state prese in considerazione faggete (boschi a *Fagus sylvatica*), peccete (boschi a *Picea abies*), boschi misti di abete rosso e bianco (*Abies alba*), cerrete (boschi a *Quercus cerris*); in Slovenia, boschi misti di faggio, abete bianco e abete rosso.

Cansiglio

Inquadramento geografico

Il sito (UTM-WGS84 46°03' N, 12°23' E) si trova nell'altopiano del Cansiglio, nel Comune di Fregona (TV) ed è posto ad un'altitudine di circa 1200 m s.l.m .

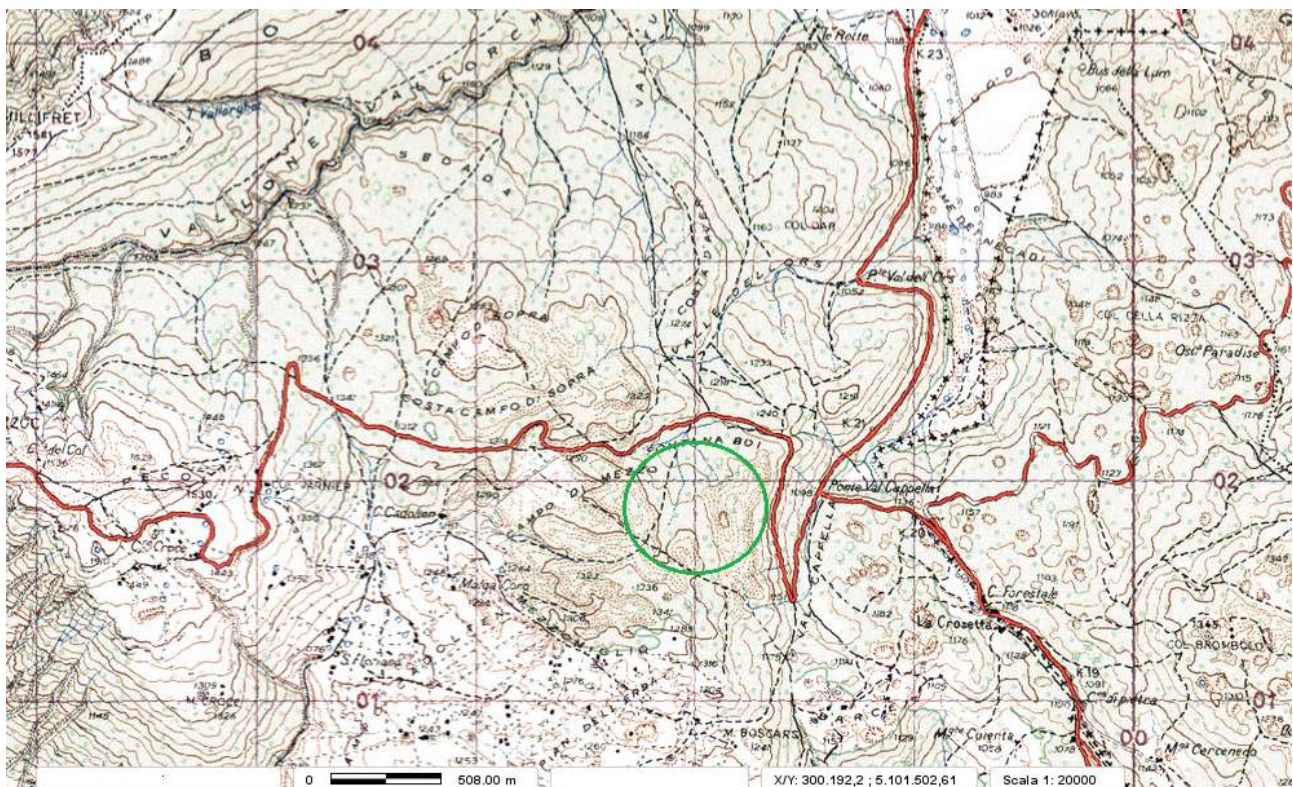


Fig. 2.1-Carta d'Italia 1:25.000 IGM Foglio64 Aviano

Il Cansiglio, altopiano carsico delle Prealpi Carniche, si presenta come una sorta di piattaforma concava, dominante la pianura veneto-friulana e divisa tra le province di Treviso, Belluno e

Pordenone. L'altopiano è delimitato a Sud e a Sud-Est dalla pianura veneto-friulana, a Nord-Est dal gruppo del Monte Cavallo (2.251 m.), a Nord dalla conca dell'Alpago e a Ovest dalla Val Lapisina, con la sella del Fadalto.

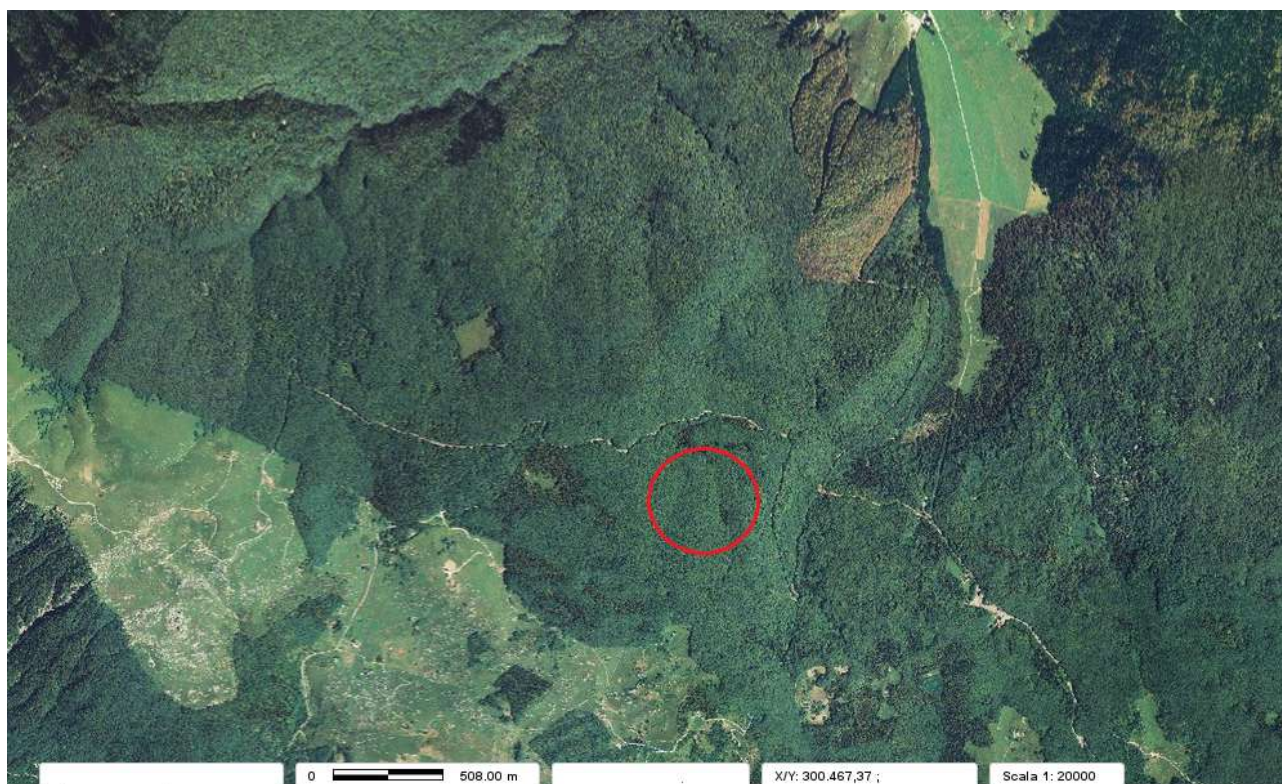


Fig. 2.2- Ortofoto 2012, Geoportale Nazionale

Il sito si trova all'interno della Riserva Naturale Biogenetica *Pian Parrocchia-Campo di Mezzo* (istituita nel 1977), parte della Foresta Demaniale e gestita dall' Ufficio Territoriale Biodiversità di Vittorio Veneto (TV) del Corpo Forestale dello Stato.

La foresta è inclusa all'interno dell'area SIC/ZPS IT3230077 “CANSIGLIO”(Direttiva 92/43 e 79/409/CEE) e dal 1996 è inserita all'interno della rete italiana di monitoraggio degli ecosistemi forestali (CONECOFOR), parte del Programma di Cooperazione Internazionale delle foreste (ICP Forest) e nel 2009-2010 è stata monitorata all'interno del programma LIFE+FutMon

Inquadramento climatico

Il quadro di riferimento climatico, ottenuto dalla stazione meteo CONECOFOR VEN1 (Fig. 2.3) con riferimento alla serie 2000-2005, mostra un clima con abbondanti precipitazioni (dai 1500 ai 2000 mm anno) caratterizzate da regime pluviometrico di tipo equinoziale (massime precipitazioni nei mesi di maggio e novembre), mentre l'80% delle precipitazioni nevose si verifica nel periodo gennaio-febbraio. L'umidità relativa è sempre molto notevole. La temperatura media del sito è di

5.6°C, mentre la media delle minime del mese più freddo (gennaio) è -4°C e la media delle massime del mese più caldo (agosto) è 14.8°C.

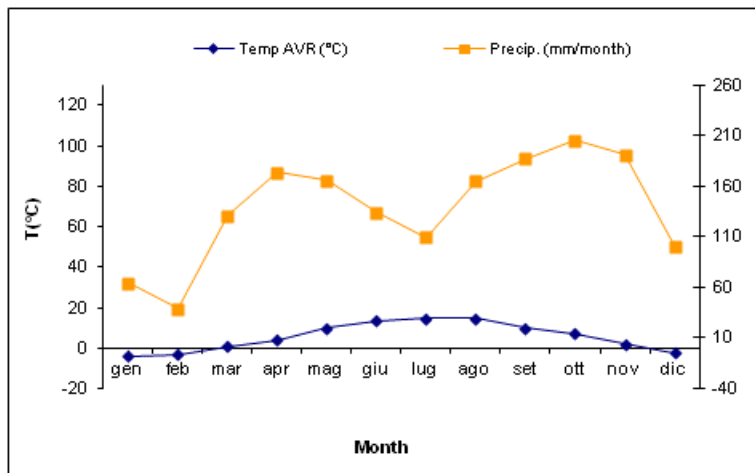


Fig. 2.3- Diagramma Bagnouls-Gaussen della stazione di riferimento VEN1(2000-2005)

L'altopiano è inoltre interessato dal fenomeno dell'inversione termica, che ha determinato un'inversione anche nelle fasce vegetazionali: salendo dalle quote più basse si trova prima il prato-pascolo (tipico dei piani sommitali), poi i boschi di conifere (soprattutto *Picea abies*) ed infine i boschi di latifoglie (*Fagus sylvatica*).

Inquadramento geologico

Il massiccio del Cansiglio è costituito da calcari e marne del Cretacico Medio-Superiore depositate in ambiente marino di scogliera carbonatica. In particolare nell'area di studio affiorano i calcari della formazione del Monte Cavallo, di notevole potenza (400-500 m). (Mantovani et al., 1976) del Cretacico Superiore (Fig. 2.4).



Fig. 2.4-Carta Geologica d'Italia, Foglio 23 Belluno IGM

Si tratta di calcari bioclastici, prevalentemente biancastri, che costituiscono la scarpata di un complesso di scogliera, spesso molto ricchi di organismi costruttori, talvolta rimaneggiati e talvolta in posizione di crescita. Si riconoscono soprattutto le Rudiste e le Nerinee, ma sono numerosi anche i resti di Coralli, Briozoi, Brachiopodi ed Alghe. Tra i Foraminiferi sono abbondanti i Miliolidi e le Textularide. Talvolta si trovano anche calcari conglomeratici con ciottoli calcarei subarrotondati. Scendendo verso il Piano del Cansiglio, i fossili tendono via via a diminuire e la grana diventa più fine (Ferasin, 1958). La roccia è fortemente carsificata con numerose doline e sinkhole anche di notevole ampiezza, come il Bus della Genziana, profondo 582 metri e lungo circa 4 chilometri. All'interno dell'area la morfologia è molto variegata con versanti anche molto acclivi con rocce affioranti, incisioni vallive da piccoli torrenti, zone pianeggianti e una dolina di circa 10 m di diametro e 5-6 m di profondità.

Inquadramento pedologico

Il pedoclima (Carta dei suoli della provincia di Treviso; Soil Taxonomy, 2006) (Fig. 2.5) del bosco del Cansiglio è classificato come UDICO, essendo la sezione di riferimento umida per 90 giorni o più, cumulativi, per almeno 6 anni su 10, e secca per meno di 45 giorni consecutivi nei 4 mesi che seguono il solstizio d'estate. Il regime di temperatura è classificabile come FRIGIDO con una temperatura media annua del suolo (ad una profondità di 50 cm) inferiori agli 8°C.

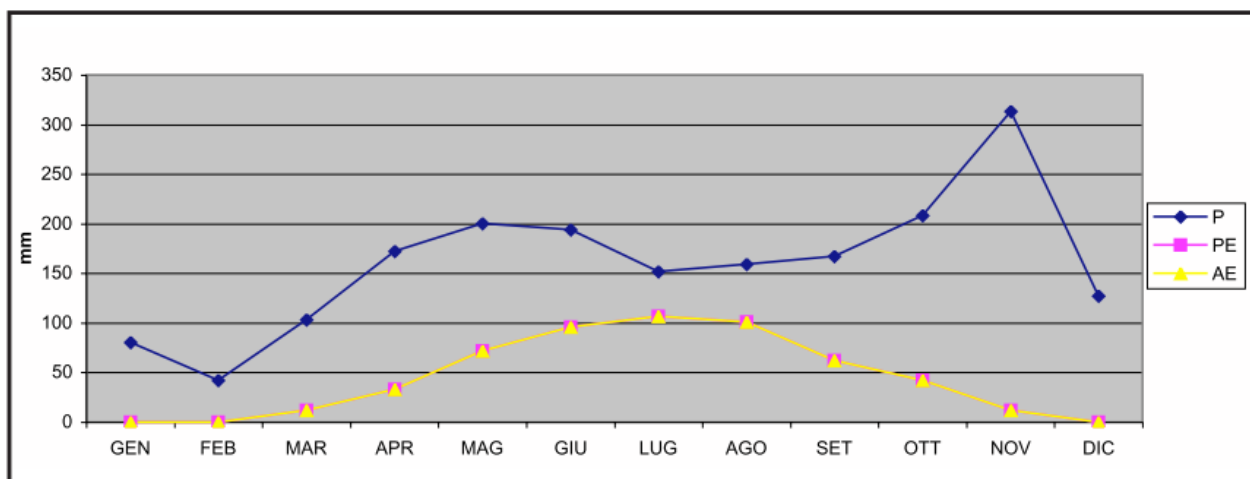


Fig. 2.5-Bilancio Idrico del suolo secondo Thornthwaite-Mather nella stazione di Bosco del Cansiglio (Carta dei Suoli della Provincia di Treviso)

Dal grafico si evince che anche durante la stagione estiva le piogge sono tali da soddisfare la richiesta delle piante, di conseguenza evapotraspirazione reale e potenziale coincidono, quindi non c'è deficit estivo o è molto limitato.

I suoli caratteristici sulle superfici ondulate o lungo dorsali arrotondate sono moderatamente profondi, ad alta differenziazione del profilo, con accumulo di argilla in profondità (Endoleptic Cutanic Luvisols). Sui fianchi, sui margini delle depressioni carsiche e sui versanti più acclivi, soggetti ad intensi fenomeni erosivi, compaiono suoli sottili, fortemente condizionati dai frequenti affioramenti rocciosi (Epileptic Rendzic Phaeozems [Calcaric Episkeletic], Endoleptic Cambisols [Calcaric]).

Inquadramento forestale

La foresta, in cui la specie dominante è il faggio (*Fagus sylvatica*), è stata da sempre gestita con tagli a scelta, per la produzione di remi per le galere veneziane. Nel 1548, sotto la Repubblica di Venezia, il bosco venne proclamato *Gran bosco da Reme di San Marco* ed fu vietato il taglio del legname non autorizzato ed il pascolo.

Il bosco risulta una fustaia matura (circa 120-145 anni), con copertura piena ed stratificata in piano dominante e codominante, con una densità di 320 piante/ha, un Area basimetrica media di 46,67 m²/ha, con una predominanza delle classi diametriche di 35-40 cm. I dendrotipi prevalenti hanno chiome profonde e sviluppate con compressione laterale nei punti di maggiore densità. Nel bosco sono presenti anche piccoli nuclei di rinnovazione di abete rosso (*Picea abies*) e sporadici individui di abete bianco (*Abies alba*). La copertura continua delle chiome ostacola o impedisce la presenza

di un sottobosco arbustivo, mentre è abbondante a copertura erbacea con specie caratteristiche dell'Asperulo-fagetum.

Chiarano

Inquadramento geografico

Il sito (41°51' N 13°57' E) si trova nell'Appennino Abruzzese, nel Comune di Scanno (AQ) all'interno della foresta demaniale regionale di Chiarano-Sparvera che si estende su un territorio di 766 ha ad un'altitudine compresa tra i 1700 ed i 1830 m.s.l (Fig. 2.6, Fig. 2.7).

Compreso nella zona di protezione esterna del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise e nel Sito di Importanza Comunitaria IT7110205 denominato "Parco Nazionale d'Abruzzo". La gestione di tale foresta è affidata al Corpo Forestale dello Stato e all' UTB di Castel di Sangro (AQ).

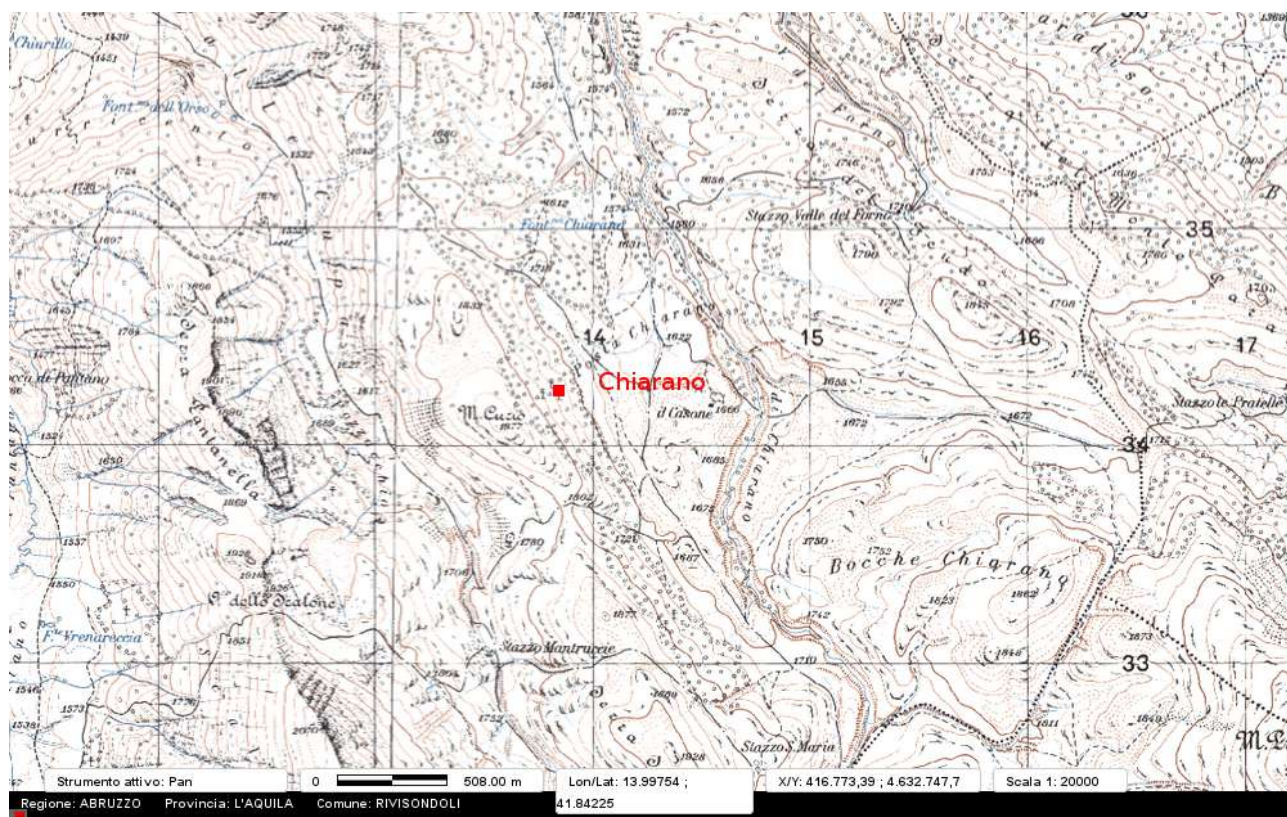


Fig. 2.6-Carta d'Italia, Foglio IGM 1:50000 F 378 Scanno

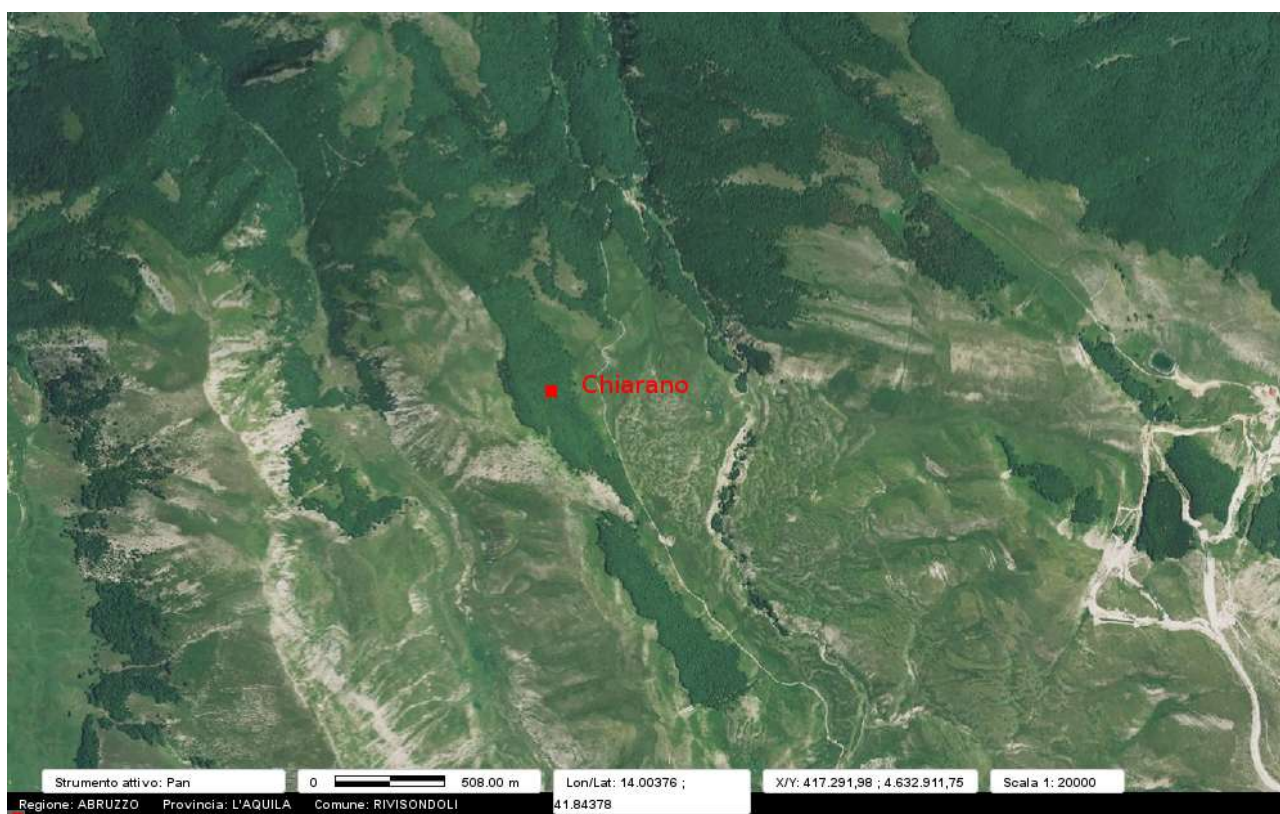


Fig. 2.7-Ortofoto 2006, Geoportale Nazionale

Inquadramento climatico

Il quadro di riferimento climatico è basato sui dati termopluviometrici disponibili della stazione meteorologica di Roccaraso – Aremogna sita a 3 km di distanza. Il clima dell'area è di tipo temperato, con precipitazioni annue superiori ai 1000 mm, con piogge primaverili ed autunnali abbondanti ed assenza di aridità estiva. La temperatura media annua è 8.5°C, ed inferiore ai 10°C per circa 6 mesi l'anno. La media delle minime del mese più freddo (Gennaio) è -0.2°C, la media delle massime del mese più caldo (Luglio) è 17°C.

Inquadramento geologico

Il sito si trova all'interno del gruppo dei Monti Marsicani, caratterizzati da una serie di dorsali disposte in direzione NW-SE, che in più punti superano i 2.000 s.l.m. es. Monte Greco 2.285 m (Fig. 2.8).

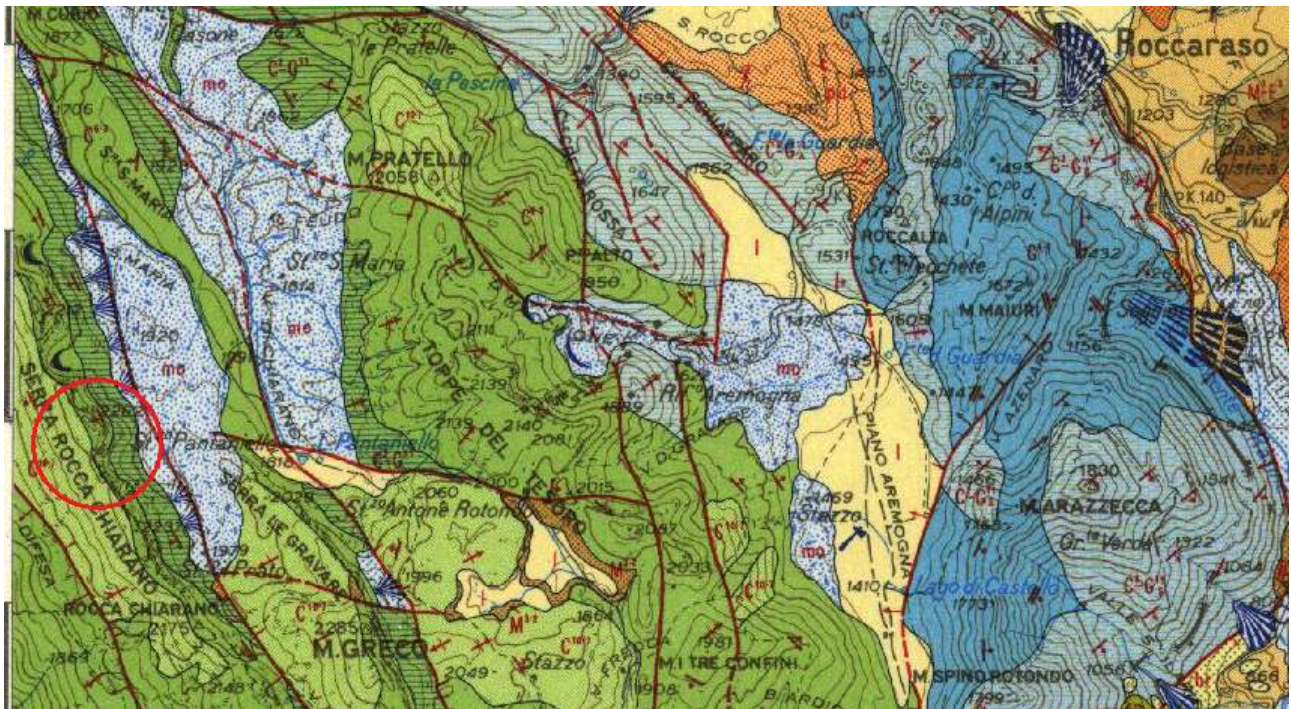


Fig. 2.8-Carta Geologica d'Italia 1:50.000 IGM F 378 Scanno

La serra Chiarano-Sparvera è costituita da calcari del Cretacico depositati in ambiente marino al margine della piattaforma carbonatica. Si tratta di calcari, calcareniti, conglomerati bioclastici silicizzati con frammenti di rudisti e radiolari della Facies Umbra del Cenomaniano-Barremiano.

La morfologia del territorio è fortemente caratterizzata dalle vicissitudini climatiche del tardo pleistocene. Particolarmente evidenti sono i resti dell'azione dei ghiacci, a cui si deve l'aspetto di tutto il versante orientale di Serra Rocca Chiarano (2.262 m) e settentrionale di Monte Greco. Sono presenti numerosi circhi glaciali a cui sono associati depositi morenici e valli glaciali come la stessa Valle di Chiarano. Questa particolare litologia inoltre è associata ad un'intensa fratturazione degli strati rocciosi, e alla presenza diffusa di fenomeni carsici. In particolare, sono molto frequenti nell'area, doline impostate sul fondo di depressioni scavate dall'azione dei ghiacci ed inghiottitoi

Il sito è compreso tutto nello stesso versante della serra con esposizione a N-NE e una pendenza pressoché omogenea di circa 25°

Inquadramento pedologico

Il pedoclima (De Nicola, 2004) del sito è classificato come UDICO e il regime di temperatura è classificabile come FRIGIDO.

I suoli presenti nell'area di studio mostrano generalmente profili sottili o mediamente profondi (70-80 cm) sono di tipo carbonatico, con profilo ABwC caratterizzati da un sottile epipedon con

struttura grumosa-granulare e con elevato contenuto in sostanza organica (10%-20%) e da orizzonte B di tipo Cambico, con struttura grumosa-granulare, spesso contenente scheletro calcareo, tale orizzonte s'inserisce gradualmente nell'orizzonte C. La maggior parte dei suoli sono debolmente acidi a neutri e poveri in carbonato di calcio, ma con una buona saturazione in basi (60%), tali suoli sono stati classificati come Dystric Eutrudepts. Occasionalmente sono stati trovati Typical Eutrudepts, aventi profilo da debolmente a moderatamente alcalino, con debole presenza di carbonato di calcio ed una saturazione in basi alta (>90%). Ambedue i tipi di suolo hanno una tessitura moderatamente fine ed una capacità di ritenzione idrica da media a molto alta (AWC = 120-280 mm).

Inquadramento della vegetazione

Il bosco è composto prevalentemente da una giovane fustaia (circa 70 anni) coetanea di Faggio (*Fagus sylvatica*) derivata da una conversione di un ceduo matricinato invecchiato. Si presenta con una struttura monoplana pressoché monospecifica, fatta eccezione per alcuni esemplari di Salicone (*Salix caprea*) collocati prevalentemente presso le carbonaie presenti nell'area. Il sottobosco è pressoché assente nella componente arbustiva e con scarsa copertura di specie erbacee caratteristiche del *Polysticho-Fagetum*. La conversione del ceduo di faggio all'alto fusto è stata avviata tramite il metodo della matricinatura intensiva, con il rilascio di ca. 1000-1200 individui ad ettaro tra polloni e vecchie matricine.

Mongiana

Inquadramento geografico

Mongiana (38° 30' N, 16° 14'E) si trova nella parte più alta delle Serre calabresi, in provincia di Vibo Valentia, regione Calabria. L'area di studio nella riserva biogenetica di Marchesale (IT 9340119), sito Natura 2000 . L'intera riserva occupa una superficie di 1.257 ettari, ad un'altitudine compresa tra 750 e 1170 m s.l.m. ed è gestita dall'Ufficio Territoriale per la Biodiversità del Corpo Forestale dello Stato.

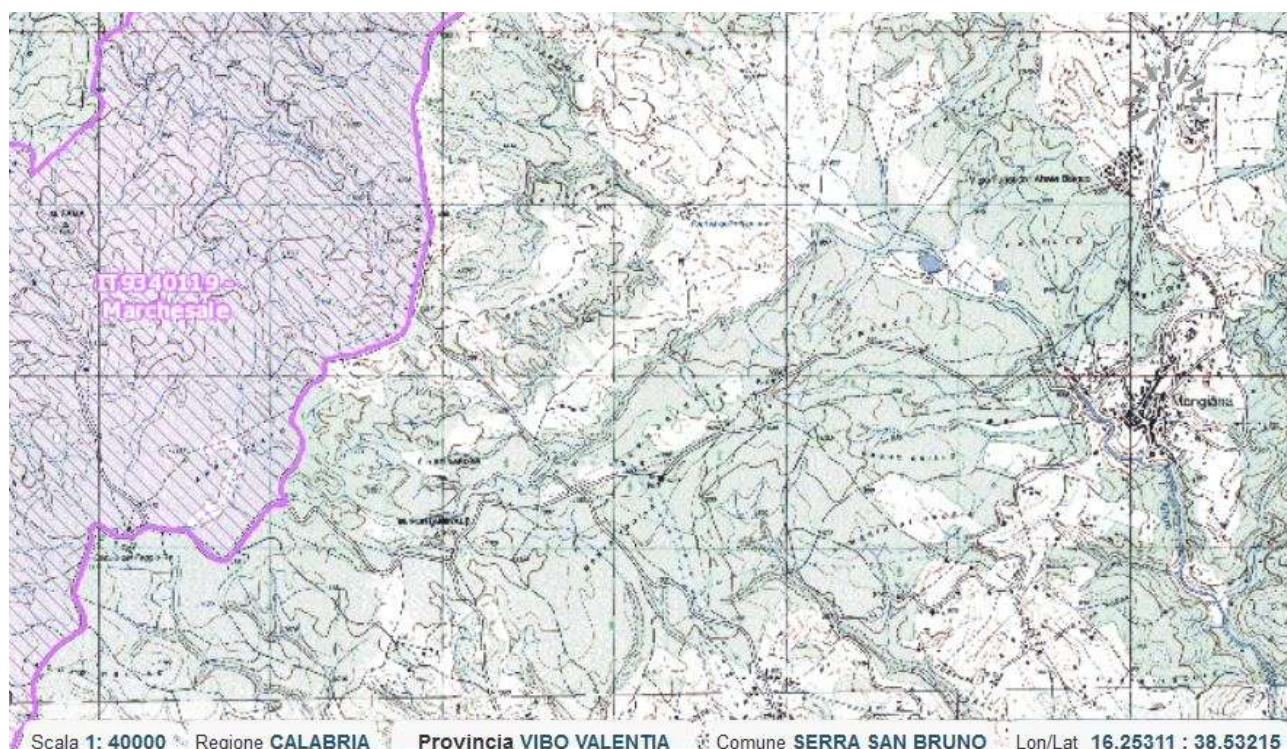


Fig. 2.9-Carta d'Italia, IGM Fabrizia. In rosa la delimitazione della Riserva di Marchesale

Inquadramento climatico

Il regime termo-pluviometrico evidenzia la notevole piovosità dell'area (Fig. 2.10), caratterizzata da circa 116 giorni di pioggia distribuiti nell'arco dell'anno per un totale di circa 1800 mm di pioggia l'anno. La temperatura media annua è di 10.1°C, la temperatura massima del mese più caldo (luglio) è 18.4°C, temperatura minima del mese più freddo (febbraio) è 2.2°C. I valori di umidità atmosferica sono sempre piuttosto elevati e comunque in genere superiori al 60%.

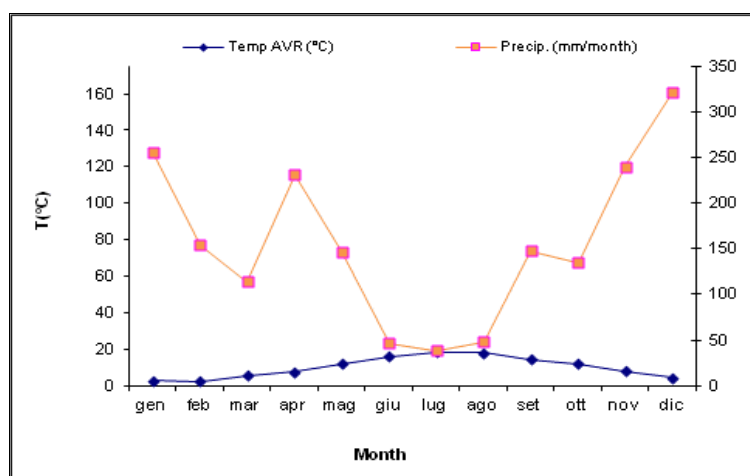


Fig. 2.10-Diagramma climatico di Bagnouls-Gaussen per Mongiana (stazione CAL-1 CONECOFOR)(2000-2005)

Inquadramento geologico

La zona delle Serre è caratterizzata da graniti del ciclo Paleozoico profondamente fratturati (Fig. 2.11). All'interno dell'area la morfologia è molto variegata con incisioni vallive da piccoli torrenti e versanti anche molto acclivi e zone pianeggianti.

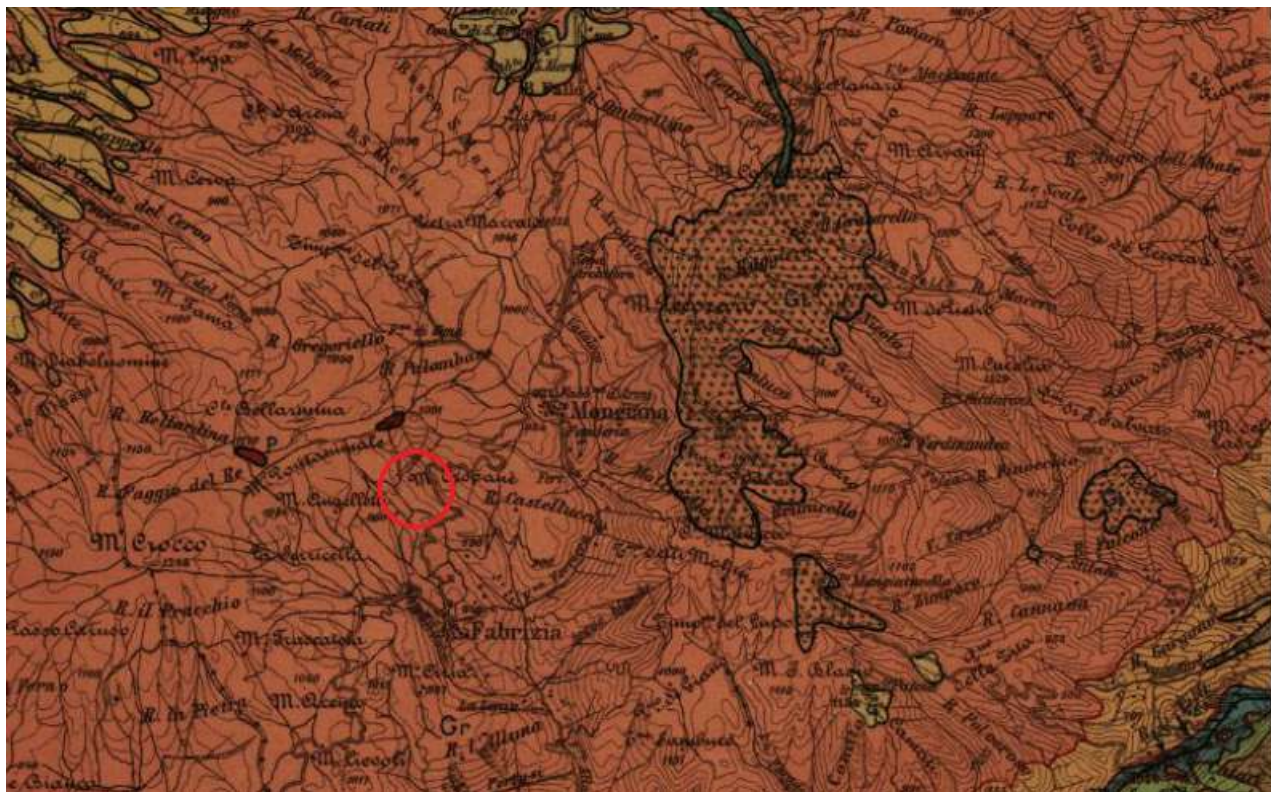


Fig. 2.11- Carta Geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 246 " CITTANOVA", IGM

Inquadramento pedologico

I suoli presenti nell'area di studio si evolvono sulla spessa coltre di alterazione delle rocce granitiche (alterite), sono moderatamente profondi, hanno reazione acida, tessitura grossolana e presentano un contenuto in scheletro comune di piccole dimensioni (Carta dei suoli della Regione Calabria, Mongiana) (Fig. 2.12). L'orizzonte di superficie ricco di sostanza organica, soffice, desaturato, di colore bruno scuro ne determina la collocazione nei "Dystrudepts" della Soil Taxonomy e negli "Umbrisols" del WRB. Anche in questo caso il regime pedoclimatico risulta "udico" e "frigido".

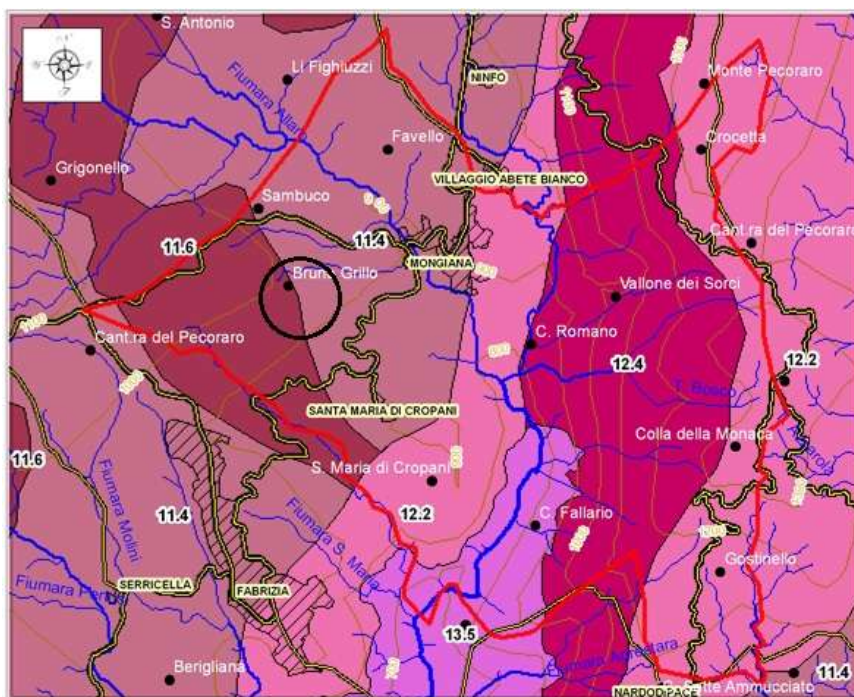


Fig. 2.12-Carta dei Suoli Regione Calabria 1:250000, Mongiana ARSSA

Inquadramento della vegetazione

Il sito di studio è caratterizzato da una densità media di 510 piante ha^{-1} e da un'area basimetrica media di $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$. Il faggio preponderante è consociato all'abete bianco. Il bosco è composto prevalentemente da faggio (*Fagus sylvatica*) ed esemplari sporadici, in piccoli gruppi, di abete bianco (*Abies alba*). Si presenta con una struttura monoplana e coetanea. Il sottobosco ha una copertura limitata, pressoché assente nella componente arbustiva e con scarsa copertura di specie erbacee caratteristiche dei boschi acidofili di faggio misti.

3. Disegno sperimentale, trattamento dati e analisi statistiche

Disegno sperimentale (ManFor C.BD.)

In ciascun sito sono stati studiati gli effetti di tre diverse opzioni gestionali seguendo un disegno sperimentale di tipo *split plot* (o *repeated measures*). Per ciascun sito è stata individuata un'area di circa 30 ha divisa in 9 plot simili per estensione e omogenea dal punto di vista forestale. A ciascun plot è stata assegnata a caso una delle tre diverse tipologie di gestione (trattamento), in modo da ottenere tre plot per ogni trattamento. Inoltre, in ogni plot sono stati eseguiti due gruppi di misure, uno precedente ed uno successivo all'intervento forestale. Quindi il trattamento è il fattore principale applicato alle unità statistiche (plot), mentre il tempo va considerato come un secondo fattore con livelli *ante* e *post* applicato all'interno dei plot. Nel gergo dell'anova, il fattore trattamento è detto *whole plot factor* ed il fattore tempo è detto *split plot factor* (Gotelli & Ellison, 2004). Come detto qui sopra, i 3 trattamenti sono stati assegnati a caso ai 9 plot ottenendo 3 plot per trattamento. In realtà, questo processo di randomizzazione ha subito una restrizione atta a garantire l'indipendenza delle misurazioni: dalla randomizzazione pura si sono esclusi i casi in cui due plot contigui fossero assegnati allo stesso trattamento per evitare possibili effetti di "amplificazione".

Essendo i plot le unità statistiche (le repliche) considerate nel presente studio, le misurazioni usate nell'analisi dati saranno relative ai plot. Tuttavia, vista l'estensione dei plot (circa 3 ha), si è reso necessario un disegno nidificato in cui ad ogni plot corrispondono tre subplot (aree di saggio) ed in ogni subplot vengono effettuate le diverse misurazioni (una misurazione per subplot nel caso dei profili di humus e tre misurazioni per subplot nel caso delle carote di suolo).

Per le misure relative a suolo e humus direttamente considerate in questa tesi si fa riferimento solo ai siti di Cansiglio, Chiarano e Mongiana. Più in dettaglio, la gerarchia del disegno fatta di plot, subplot e misurazioni è descritta qui sotto.

Per ciascun sito (area di studio), di circa 30 ha di superficie, si hanno:

- **9 PLOT** in cui è stata suddivisa l'area di studio attraverso la sovrapposizione su carta di una griglia regolare a maglie quadrate di circa 3 ha ciascuna. Per praticità nella materializzazione in campo dei settori e per non dover ricorrere all'eliminazione di tare di superficie nella fase di applicazione degli interventi, alcune maglie (o porzioni di esse) sono state accorpate. Le porzioni di maglie lungo il perimetro delle aree di studio, sono state

accorpate ad una maglia confinante (con superficie maggiore o uguale all'80% della superficie standard delle maglie) adottando un criterio funzionale alle eventuali operazioni di esbosco.

- **3 SUBPLOT** per ciascun PLOT individuati generando dal centroide del settore un cluster di 3 aree di saggio (i subplot) circolari equidistanti dal centroide e disposte ai vertici di un triangolo equilatero (Fig. 3.1). Il raggio delle aree saggio circolari (fisso per la stessa area di studio) è stato determinato, in funzione della densità delle piante, in modo da includere un numero di piante non superiore a 100-120 per ciascuna area di saggio e comunque non inferiore a 12 m.

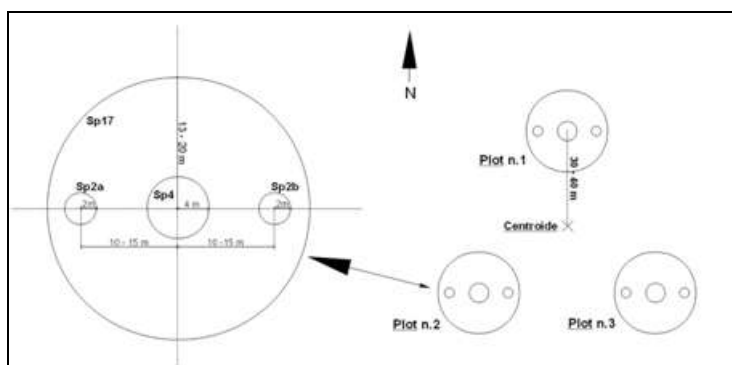


Fig. 3.1- Schema del disegno sperimentale Manfor C.BD.

Relativamente alle misurazioni di humus e suolo, in ogni subplot si è studiato **1 profilo di humus** con relative misurazioni (descritte qui di seguito) e si sono prelevate **3 carote di suolo** con relative misurazioni (descritte qui di seguito). In ogni subplot sono state effettuate altre misurazioni inerenti al progetto come le misure di respirazione del suolo, della necromassa legnosa, prelievi dendrometrici e catture entomologiche, etc. previste dal progetto ManFor C.BD.

Tutte le misurazioni state eseguite in **2 fasi temporali distinte**: prima del trattamento silvicolturale (**ante**) e dopo il trattamento (**post**) (Tab. 3.1)

Sito	Ante suolo	Post suolo	Ante humus	Post humus
Cansiglio	luglio 2012	luglio 2013	giugno 2012	settembre 1014
Chiarano	agosto 2011	ottobre 2013 ottobre 2014	agosto 2011 [plot 1-4] giugno 2013 [plot5-9]	luglio 2013 [plot 1-4] ottobre 2014 [plot5-9]
Mongiana	settembre 2012	ottobre 2014	settembre 2012	dicembre 2014

Tab. 3.1- Date dei campionamenti di suolo e di humus

Trattamenti selvicolturali applicati

Cansiglio

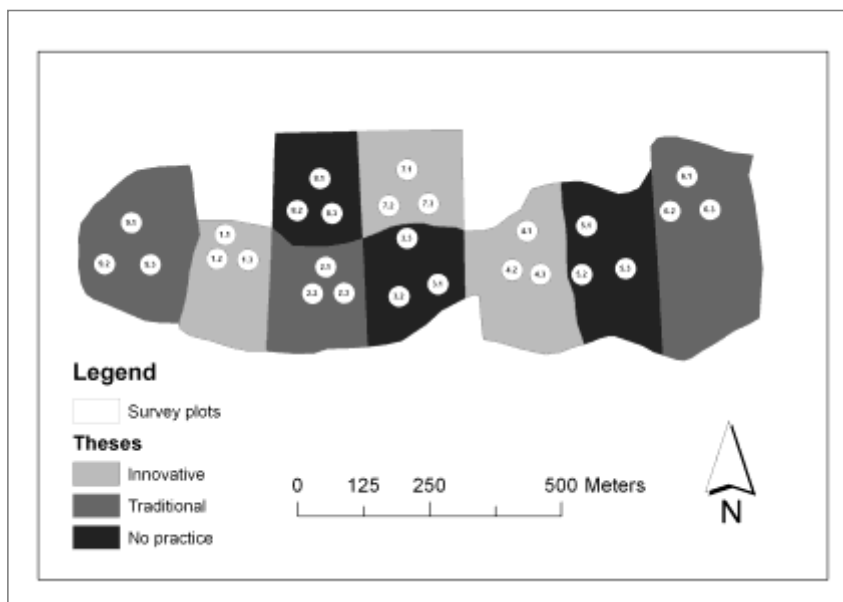


Fig. 3.2-Schema del disegno sperimentale ManFor C.BD. al Cansiglio

Trattamento tradizionale

Consiste in una serie di diradamenti dal basso a intervalli di 20 anni che solo occasionalmente interrompono la continuità della copertura. Il criterio prevalente è quello della ottimizzazione della distribuzione spaziale dei fusti a partire dall'abbattimento dei soggetti dominati e intermedi fino ai codominanti. La struttura principale e il livello della copertura prima e dopo l'intervento rimangono molto simili. I soggetti difettosi sono eliminati.

Trattamento innovativo

Consiste in un diradamento di tipo alto per eliminare i concorrenti dei soggetti migliori, indipendentemente dalla posizione sul terreno. Sono aperti vuoti nella copertura che saranno progressivamente rioccupati dalle chiome dei soggetti dominanti o rimarranno tali con penetrazione durevole della luce al suolo e creazione di microclimi differenziati per insediamento di flora vascolare e migliorare le condizioni per le catene trofiche attualmente ridotte o assenti. Il criterio di rilascio è mirato a ottimizzare il rapporto fusto-chioma dei candidati e a sostenere il loro accrescimento. L'insediamento eventuale di rinnovazione naturale può essere agevolato o il fenomeno essere considerato pre-rinnovazione, per tratti diversi di foresta. Lo sviluppo della gestione culturale nella fase attuale può essere sia quello del governo di una fase matura ma ancora dinamica, sia quello della messa in rinnovazione per gruppi. La coesistenza di queste fasi appare

possibile nelle situazioni descritte (pendenza ridotta e buona accessibilità). Alberi morti in piedi interi o troncati sono rilasciati come alberi-habitat (1-2 per ettaro).

Intervento ritardato

In tre dei settori non è stata messa in atto nessuna tipologia di taglio, prendendo come opzione di gestione la posticipazione dell' intervento. Questo in relazione alle condizioni stazionali e strutturali del bosco che permettevano questo tipo di scelta.

Chiarano

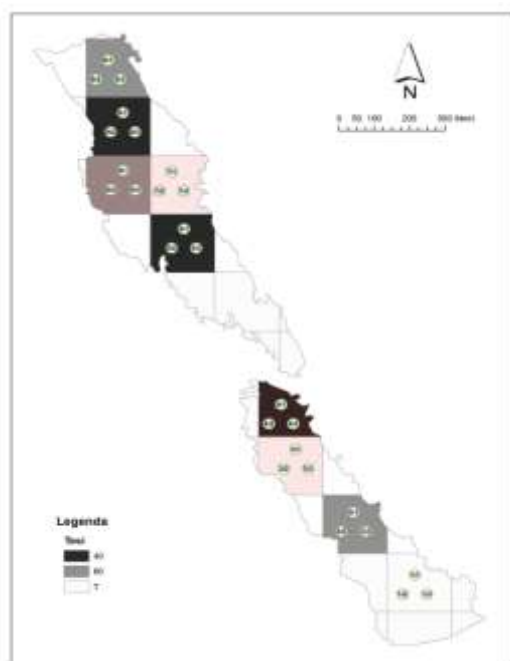


Fig. 3.3-Schema del disegno sperimentale ManFor C.BD. a Chiarano

Trattamento tradizionale

Per questo tipo di foresta, i selvicoltori del luogo, applicano tradizionalmente una selezione massale (ogni 15-20 anni), con diradamenti di moderata intensità e di tipo tendenzialmente dal basso, a volte di tipo misto. Il criterio adottato rappresenta la modalità di trattamento tipica della fase di allevamento della fustaia da polloni fino alla rinnovazione da seme che conclude il ciclo di avviamento. L'intensità dei diradamenti è tale da non produrre soluzioni di continuità permanenti della copertura. Il soprassuolo così trattato presenta una semplificazione strutturale evidente sia in senso verticale che orizzontale, scarsa diversità e sviluppo degli strati arbustivo ed erbaceo, ridotta presenza di microhabitat, quantità limitata di necromassa.

Trattamenti innovativi

I trattamenti innovativi si propongono la selezione di un numero definito di soggetti vigorosi con chioma equilibrata e fusto di buona qualità. Per fare ciò si opera con il prelievo di tutti i concorrenti nell'intorno di piante prescelte (piante d'avvenire chiamate "candidate"). La restante superficie è o meno interessata da un diradamento di tipo basso solo se economicamente conveniente o necessario (esbosco); altrimenti può rimanere intatta con i soggetti dominati e sottoposti che alimentano

un'area di mortalità utile a costituire necromassa in piedi e poi al suolo.

Questo tipo di taglio prevede due varianti (tesi) a seconda del numero di candidate prescelte ad ettaro, quindi della densità:

- Tesi 1: rilascio di 40 candidate ad ettaro
- Tesi 2: rilascio di 80 candidate ad ettaro

In entrambe le tesi vi è l'individuazione di almeno 1 soggetto ad ettaro da cercinare con funzione di albero-habitat, scelto tra quelli di maggiore dimensione diametrica (matricine) e di un soggetto ad ettaro da abbattere e lasciare intero sul letto di caduta. Alberi troncati morti in piedi o a terra sono rilasciati o non esboscati per promuovere elementi di diversità nelle altre comunità biotiche del sistema. Per quanto riguarda le operazioni di taglio ed allestimento, sono effettuate da personale del Corpo Forestale dello Stato e della Regione Abruzzo, altamente qualificato, mentre l'esbosco è a carico della ditta che si aggiudica il materiale legnoso. L'esbosco generalmente è effettuato con bestie da soma o, più raramente, con canaline in polietilene. L'unico assortimento attualmente retraibile dai tagli e richiesto dal mercato è la legna da ardere.

Mongiana

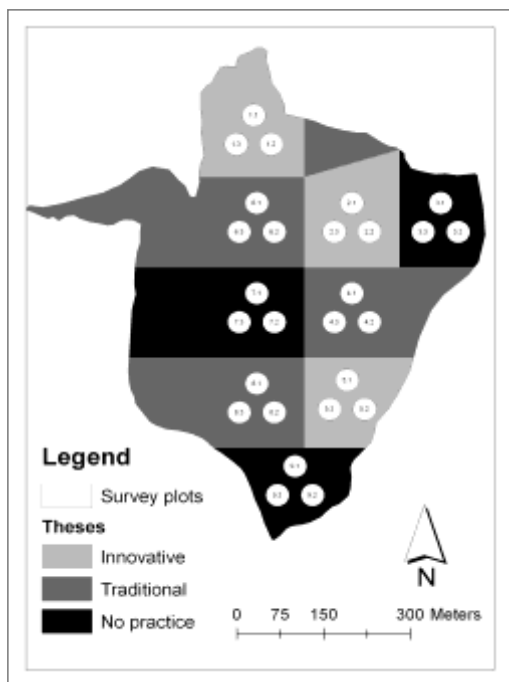


Fig. 3.4- Schema del disegno sperimentale ManFor C.BD. a Mongiana

Trattamento tradizionale

Il sistema ordinario di gestione culturale della faggeta prevede di allevare un bosco formato da soggetti simili in cui le chiome sono contenute in un unico piano (altezze simili) fino ad età comprese tra i 90-100 ed i 120-130 anni. Questo si ottiene con diradamenti periodici che percorrono tutta la superficie del bosco, rimuovono i soggetti rimasti indietro o deperienti e riducono progressivamente e in modo pressoché uniforme la densità. Risultato di questo tipo di coltivazione è un bosco con struttura molto omogenea, estremamente utile per produrre legname delle stesse dimensioni e quindi esboscabile e lavorabile in un modo standard. Questo sistema era perfettamente aderente agli obiettivi prevalenti di produzione di legname di faggio, una delle poche specie adatte allo scopo negli ambienti mediterraneo-montani. Oggi, accanto alla funzione produttiva sempre presente e necessaria al mantenimento del lavoro in montagna, alla creazione di reddito di impresa e comunque collegata all'utilizzo di una risorsa rinnovabile, si configurano altre funzioni di tipo ambientale che spostano in avanti le età di utilizzazione finale del bosco e che prevedono quindi di mantenere in piedi lo stesso sistema biologico per un tempo più lungo che in passato.

Trattamento innovativo

La considerazione che l'attuale bosco, ancora giovane, avrà una vita ancora molto lunga, ha portato

a selezionare un numero minimo di alberi per unità di superficie (45-50 ad ettaro) capaci di crescere sani e vitali e liberi dalla competizione dei soggetti circostanti, di formare chiome ampie, di produrre seme abbondante a maturità ed assicurare così la futura rinnovazione del bosco. Il criterio di diradamento realizzato si sposta quindi dall'intervento omogeneo tradizionale su tutta la superficie a un diradamento localizzato intorno ai soggetti scelti. Ne risulta una minore omogeneità della struttura che si renderà sempre più evidente nel tempo con soggetti di dimensioni superiori sparsi nell'insieme del soprassuolo. L'intervento, ripetuto a distanza di 15-20 anni, andrà a diradare i tratti di bosco non toccati ora secondo il criterio adattativo giudicato ottimale, piuttosto che secondo una regola prescrittiva. I punti naturalmente più radi perché formati da alberi rilasciati dal vecchio ciclo non sono stati diradati, mentre è stato aumentato lo spazio intorno ai nuclei di rinnovazione di abete, elemento di diversità specifica, strutturale e scenica nella faggeta. Il rilascio di legno morto in piedi e a terra è parte integrante del criterio innovativo perché la sua quantità nelle foreste coltivate è bassa rispetto a quella ritenuta ottimale.

Non trattato

In tre dei settori non è stata messa in atto nessuna tipologia di taglio, prendendo come opzione di gestione la posticipazione dell'intervento. Questo in relazione alle condizioni stazionali e strutturali del bosco che permettevano questo tipo di scelta.

Campionamento del suolo

Scelta del punto di rilievo

I punti di rilievo sono stati scelti a partire dal punto centrale di ciascun subplot.

All'interno dell'area circolare si è individuato il primo punto sulla linea di massima pendenza (esposizione del versante) che non avesse segni di disturbo antropico o di erosione visibili e distante almeno 2 m dagli alberi. Con lo stesso criterio sono stati scelti gli altri due punti sulle linee formanti un angolo di 120° al centro dell'area rispetto a quella di partenza. (Fig. 3.5)

Il punto del rilievo è stato accuratamente annotato al fine di poter eseguire il campionamento *ex post* il più vicino possibile, seguendo i criteri di scelta adottati per quello *ex ante*

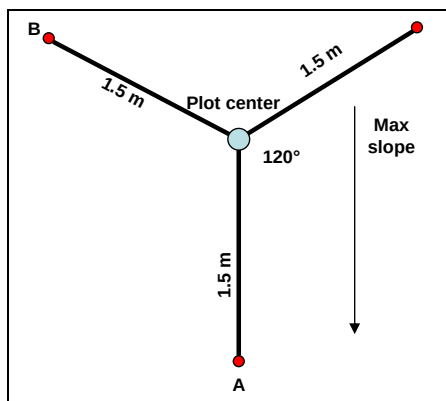


Fig. 3.5 - Schema di campionamento del suolo

Prelievo del campione

Il prelievo di suolo indisturbato è stato effettuato con carotatore a tubo spaccato con profondità operativa di 40 cm e diametro di 53 mm (Eijkelpamp – Agrisearch Equipment): l'elemento campionatore è costituito da un tubo in acciaio diviso in due guance facilmente apribili per l'estrazione del campione. Di ciascuna carota estratta sono stati determinati gli orizzonti diagnostici seguendo Sanesi (1977) annotati i limiti.

I campioni, costituiti dalla massa di suolo di ciascun orizzonte, sono stati separati, inseriti in buste distinte avendo cura di evitare contaminazioni di qualsiasi tipo, contrassegnati con un codice univoco e portati in laboratorio dove sono stati conservati in cella frigorifera a 6°C

Nel sito di Mongiana il campionamento è stato effettuato dal personale dell'CNR-ISAFOM con carotatore a camicia con diametro di 7.5 cm

Fase di laboratorio

La preparazione dei campioni per le analisi chimiche ha seguito il Metodo Ufficiale II.1 (ISO11464, ISO/DIS 11273):

- essiccazione in stufa ventilata a 36°C;
- frantumazione con mortaio degli aggregati più duri con l'ausilio di un mortaio, al fine di rendere il campione il più omogeneo possibile;
- setacciatura con vaglio a 2 mm e separazione della frazione di terra fine <2mm dallo scheletro > 2 mm;
- le due frazioni sono state pesate con bilancia di precisione al grammo/centesimo di grammo;
- i campioni essiccati sono stati omogeneizzati e un sottocampione rappresentativo è stato posto in capsula di stagno o argento per i suoli carbonatici (Cansiglio e Chiarano) e pesato con una bilancia di precisione al millesimo/decimillesimo di grammo;
- trattamento dei campioni provenienti di Chiarano e Cansiglio con HCL per la rimozione del calcio carbonato;
- per ciascun campione sono stati determinati il contenuto di Carbonio totale (SOC) e Azoto totale (N) espressi in % in peso e riferiti al peso secco “tal quale”;
- Azoto totale e Carbonio sono stati determinati con un analizzatore elementare CHNS (Carlo Erba 1108, Milano, Italia).

Le analisi del Carbonio organico e dell'Azoto totale sono state effettuate seguendo il Metodo Ufficiale VII.1 (MIPAF - Metodi di Analisi Chimica del Suolo 2010) ISO 10694 con Analizzatore Elementare CHNS (Carlo Erba 1108, Milano, Italia).

L'espressione dei risultati è la percentuale in peso di Carbonio organico e Azoto totale ($\text{g } 10^{-2} \text{ g di terra fine}$)

Campionamento delle forme di humus

Classificazione delle forme di humus

Secondo la classificazione Europea (European Humus Forms Reference Base, 2003) la FORMA DI HUMUS è "la parte più superficiale del suolo (*episolum*) fortemente influenzata dalla materia organica e dall'attività biologica e coincidente con la sequenza di orizzonti organici (OL, OF, OH) e del sottostante orizzonte organo-minerale."

La sequenza e le caratteristiche di questi orizzonti superficiali, formati da residui organici più o meno trasformati, separati o frammisti a materiale minerale, definiscono quindi le diverse forme di humus.

Le prime classificazioni

Nel secolo scorso le osservazioni di numerosi scienziati (Hartman, 1970; Kubiena, 1953) sui processi e sulla velocità di decomposizione della sostanza organica e sull' incorporazione dei componenti organici all'interno degli orizzonti minerali portarono Muller (1879) ad una prima definizione di tre "forme d'humus" : Muld, poi diventato Mull, Mor and Mullartiger torf, caratterizzati da differenti condizioni climatiche, geologiche e biologiche di faggete Danesi.

Questi concetti furono alla base della classificazioni moderne proposte in diverse nazioni ed in particolare delle due classificazioni Canadese (Green, 1993) e francese (AFES, 1995; 2008) che furono maggiormente utilizzate a livello internazionale ma che non si adattavano ad essere applicate su scala mondiale. Nel 2003 un gruppo di 26 specialisti si riunirono a Trento per il primo meeting del "Humus Group" proprio con lo scopo di armonizzare le classificazioni nazionali e di stabilire una classificazione unitaria valida per l'Europa.

Negli anni successivi questo intento ha portato a definire sempre con maggior dettaglio un impianto sistematico basato sulla sequenza e sulle caratteristiche "morfo-funzionali", incluse quelle derivate dall'attività biologica, degli orizzonti organici e di quelli organo-minerali osservati e descritti sul campo e ad un set completo di chiavi di riconoscimento basate su orizzonti diagnostici e fattori ambientali.

La classificazione morfo-funzionale

Nel 2011 questa classificazione (Zanella et al., 2011) cosiddetta "morfo-funzionale" estesa e modificata al fine di comprendere un vasto ordine di forme di humus di ambienti terrestri e semi sommersi, è stata proposta per l'inserimento all'interno del World Reference Base for Soil Resurces (WRB-FAO) (Jabiol et al., 2013) con la designazione di 31 gruppi di riferimento qualificati da un

set di prefissi e suffissi, seguendo le regole dettate dal WRB.

L'architettura proposta prevede due livelli di classificazione: 31 Gruppi di riferimento delle forme di hums (Reference Humus Form Groups – RHFGs) e la loro combinazione con prefissi e suffissi che definiscono in modo univoco le caratteristiche di ciascun gruppo.

Il primo livello distingue 6 principali tipi morfo-funzionali (main morpho-functional types): Mull, Moder, Amphi, Mor, Tangel, Anmoor, a decrescente attività biologica, abbondanza di fauna edafica e coproliti e crescente accumulazione di residui organici. Questi tipi concernono forme di humus riscontrabili in tutti gli ambienti (Mull, Moder, Mor, Amphi), solo in ambienti terrestri (Tangel) o solo in ambienti sommersi per periodi più o meno lunghi (Anmoor).

Il secondo livello distingue 31 tipi morfo-funzionali specifici (detailed morpho-functional types), che possono essere qualificati da prefissi e suffissi, caratteristici di diverse contesti biologici (vegetazione) o ambientali (geologia, clima).

Ecosystem	Biological activity					
	High		Moderate		Low	
	Main morpho-functional type	Detailed morpho-functional types	Main morpho-functional type	Detailed morpho-functional types	Main morpho-functional type	Detailed morpho-functional types
Terrestrial: on calcareous substrate	Mull	Eumull Mesomull Oligomull Dysmull	Amphi	Leptoamphi Eumacroamphi Eumesoamphi Pachyamphi	Tangel	Eutangel Dystangel
Terrestrial: on acid substrate			Moder	Hemimoder Eumoder Dysmoder	Mor	Hemimor Humimor Eumor
Small semi-terrestrial: brook valleys, little rivers...	Anmoor	Euanmoor Saprianmoor Limianmoor	Amphi or Moder	Humiamphi Mesiamphi Fibriamphi or Saprimoder Humimoder Mesimoder Fibrimoder	Mor	Mesimor Fibrimor
Large semi-terrestrial: floodplains, fens and bogs...	Mull	Limimull Saprimull				

La chiave per la classificazione degli RHFGs è basata sull'identificazione di orizzonti diagnostici, caratterizzati da alcuni elementi di base:

- **Residui vegetali riconoscibili vs componenti humiche**

La lettiera fresca è generalmente formata dal 100% di residui riconoscibili come foglie, aghi, radici, rametti e pezzi di legno, più o meno frammentati di cui i tessuti originali sono riconoscibili ad occhio nudo o con una lente a 5-10 X. In base alle condizioni climatiche ed ecologiche questi residui vengono più o meno rapidamente trasformati nelle sostanza organica fine ad opera dell'attività biologica. Le sostanza organica fine sono costituite da piccoli e non riconoscibili residui organici e/o aggregati organici o organo-minerali, molti incorporati all'interno degli coproliti della

pedofauna di differenti misure.

- **Micro , meso , macro-aggregati e la componente minerale**

La componente umica si trova spesso sotto forma di aggregati visibili ad occhi nudo o con lente d'ingrandimento ed è divisibile in tre diverse strutture chiamate micro ($< 1\text{mm}$), meso ($1-4\text{ mm}$) e macro ($> 4\text{ mm}$) aggregati. Le particelle minerali visibili fortemente legate alla componente umica in un aggregato (peds) sono considerate parte della componente umica stessa. Mentre le particelle minerali di differente grandezza, libere o debolmente legate alla componente umica e visibili ad occhi nudo o con lente sono considerate parte della componente minerale.

- **La componente zoogenicamente trasformata**

I residui vegetali e la componente umica che vengono processati dalla pedofauna sono riconoscibili per la loro trasformazione in coproliti. La componente zoogenica (indicata con "zo" dopo il nome dell'orizzonte o omessa se implicita) può essere attiva (processata attivamente da animali vivi) o inattiva (senza segni di attività recente) . La componente non zoogeneticamente trasformata "noz" è invece stata processata da funghi o altri processi non dovuti all'attività della pedofauna. Non sono riconoscibili coproliti e sono presenti ife fungine di diversi colori che permeano gli strati organici o organo-minerali.

Gli orizzonti diagnostici

Secondo la WRB gli orizzonti diagnostici usati per la definizione delle forme di humus sono caratterizzati dalla combinazione di attributi che riflettono i processi di formazione o che indicano specifiche condizioni della loro formazione.

Lo spessore minimo per stabilire la presenza di un orizzonte diagnostico è 3 mm , al di sotto del quale è considerato discontinuo o in sacche. La transizione tra un orizzonte ed un altro può essere da molto brusca ($< 3\text{mm}$) a brusca ($3-5\text{-mm}$) a diffusa ($> 5\text{mm}$).

Sono definiti orizzonti organici ed indicati con la lettera "O", quegli orizzonti situati generalmente alla superficie del suolo, formati da materiali vegetali ed animali (foglie, residui legnosi, frutti, piante erbacee, spoglie animali, coproliti...) più o meno trasformati.

Gli orizzonti organici si possono distinguere in tre grandi categorie: OL, OF ed OH. Questa distinzione si basa sul grado di decomposizione della sostanza organica. In particolare, nell'individuazione degli orizzonti organici ci si riferisce sia al livello di trasformazione degli apporti organici, sia alla diversa quantità di sostanza organica fine presente, stimata come percentuale in volume. Tale sostanza organica fine è costituita da coproliti (coproliti della

pedofauna) più o meno rimaneggiati, e da altri residui organici (vegetali ed animali) con struttura e forma non riconoscibili ad occhio nudo.

La suddivisione di ogni orizzonte in sotto-orizzonti fornisce ulteriori indicazioni sul modo di trasformazione della sostanza organica.

L'orizzonte "OL" (L come Lettieria)

L'orizzonte OL si trova in superficie e riposa sull'orizzonte OF, oppure direttamente su un orizzonte organo-minerale. Esso è costituito da residui vegetali (prevalentemente foglie intere poco modificate o debolmente frammentate) la cui forma originaria è ancora chiaramente riconoscibile ad occhio nudo. Le sostanze organiche fini sono generalmente assenti o minori del 10%. Talvolta sono presenti quantità variabili di coproliti di lombrichi anecici, depositati quando tali animali risalgono in superficie per nutrirsi della lettiera.

A seconda del grado di trasformazione dei residui vegetali, l'orizzonte OL è distinguibile in due principali sotto-orizzonti:

- OLn ("n" come nuovo): situato alla superficie del suolo, è costituito da residui vegetali giunti al suolo da poco tempo (meno di un anno). Le foglie, di colore bruno scuro, sono ancora intere o quasi, non legate tra loro e disposte casualmente. Tale strato è soggetto ad accumuli o spostamenti a opera del vento e subisce una variazione stagionale di spessore dovuta ai ritmi dell'attività biologica;
- OLv ("v" come vecchio): posto sotto l'OLn e poggia sull'orizzonte OF oppure sull'orizzonte A. Si forma nei casi in cui l'attività biologica, prevalentemente della macro e mesofauna, non sufficientemente intensa da consumare la totalità dei residui vegetali che annualmente si depositano al suolo. Le modificazioni comportano un cambiamento del colore da bruno a giallo-biancastro e la disposizione in pacchetti più o meno coesi pervasi da ife fungine. In questo sotto-orizzonte l'attività biologica prevalente è quella dei funghi; la decolorazione delle foglie, infatti, è causata dall'azione di degradazione dei pigmenti bruni ad opera delle muffe bianche. La presenza di foglie scheletrizzate invece è dovuta all'opera degli enchitreidi, che si nutrono esclusivamente dei tessuti parenchimatici teneri della lamina fogliare, risparmiando le nervature lignificate poco digeribili.

L'orizzonte "OF" (F come Frammentazione)

L'orizzonte OF è situato sotto l'orizzonte OL e poggia sull'orizzonte OH oppure sull'orizzonte A. L'OF è dunque costituito da pezzetti di foglie e di residui legnosi, frammentati a quantità variabili, con sostanza organica fine dal 10% al 70%. Si forma soprattutto per opera di artropodi (larve di ditteri e

di diplopodi, collemboli, acari) e di anellidi (enchitreidi e vermi epigei) quando l'attività di vermi anecici è ridotta o nulla; attraverso l'azione "sminuzzatrice" di questi organismi, il materiale vegetale (soprattutto foglie) viene ridotto in frammenti di piccole dimensioni, ma ancora tali da permetterne il riconoscimento ad occhio nudo, che si mescolano con i coproliti derivanti da questa attività. Se la decomposizione avviene soprattutto ad opera della pedofauna l'orizzonte assume il suffisso "zo" se la cellulosa e la lignina sono decomposte da funghi "noz".

L'orizzonte "OH" (H come Humus)

L'orizzonte OH è posto sotto l'orizzonte OF ed è costituito da più del 70% del volume di sostanza organica fine, valutata escludendo le radici fini, vive o morte, e i residui di legno e di corteccia. Tale sostanza organica fine è rappresentata da coproliti notevolmente rimaneggiati (ammassi millimetrici a struttura granulare) e da micro detriti vegetali e fungini, senza struttura riconoscibile ad occhio nudo; i residui vegetali ancora riconoscibili sono molto ridotti (massimo 30%). All'osservazione questo orizzonte si presenta omogeneo, di colore da bruno rossastro (specialmente in presenza di abbondanti residui legnosi) fino a nero. La struttura è spesso granulare per l'abbondante presenza di coproliti rimaneggiati; altre volte i residui vegetali sono micro frammentati e polverizzati, e conferiscono alla struttura un carattere fibroso o addirittura particellare. Nel caso in cui abbondino i funghi la struttura può essere massiva. A contatto con le mani l'orizzonte è morbido se allo stato secco, mentre può essere grasso e in alcuni casi unto se allo stato umido.

L'orizzonte organo-minerale

Si definisce orizzonte "organo-minerale" (indicato con la lettera "A") l'orizzonte caratterizzato da una mescolanza, più o meno intima, tra la sostanza organica e la sostanza minerale. In questo orizzonte mancano del tutto residui organici riconoscibili; la sostanza organica si trova infatti in uno stato avanzato di trasformazione, sotto forma di sostanza umica. La sostanza organica conferisce all'orizzonte A una colorazione scura tanto più marcata quanto più essa è abbondante rispetto alla sostanza minerale.

Secondo il differente modo in cui la sostanza organica è mescolata con il materiale minerale è possibile distinguere cinque tipi di orizzonti A:

- a) A zoogenico e formato da radici: biomacro, biomeso e biomicrostrutturato
- b) A non zoogenico e non formato da radici: massivo o sciolto

Tale suddivisione ha importanza diagnostica fondamentale ai fini della classificazione delle forme di humus.

a) A biomacrostrutturato

Gli aggregati (peds) di dimensioni > 4mm occupano il volume maggiore nell'unità di suolo. pH>5

In questo orizzonte i principali responsabili del mescolamento della sostanza organica con quello minerale sono gli anellidi che portano alla formazione di aggregati di dimensioni generalmente considerevoli, detti complessi “umo-argillosi” per indicarne la caratteristica composizione.

b) A biomesostrutturato

Gli aggregati (peds) di dimensioni 1- 4mm occupano il volume maggiore nell'unità di suolo. pH<5

In questo orizzonte la trasformazione della sostanza organica avviene soprattutto ad opera di anellidi epigei e piccoli endoeici, enchytraeidi e artropodi, insieme a radici e ife fungine.

c) A biomesostrutturato

Gli aggregati (peds) di dimensioni < 1mm occupano il volume maggiore nell'unità di suolo, sono assenti i macro aggregati ed è presente generalmente fino al 10% di componente minerale sciolta. pH<5

Questo orizzonte presenta una grande quantità di coproliti artropodi (acari, collemboli, ditteri, diplopodi) e di enchytraeidi e di sostanza organica fine. Ife e radici sono molto comuni. È caratteristico di suoli sabbiosi sabbioso-limosi.

d) A sciolto "*single grain*"

In questo tipo di orizzonte la mescolanza tra la sostanza organica e quella minerale avviene senza la formazione di alcun legame tra i due tipi di materiali, che si trovano semplicemente accostati, “giustapposti”. Il materiale organico è presente sotto forma di coproliti di tipo ologranico (orizzonte “coprogeno”), costituiti da microframmenti di tessuti vegetali e da sostanze umiche chimicamente poco trasformate (umina ereditata); la generale povertà di ferro ed argilla impedisce l'insolubilizzazione dei composti organici solubili, che di conseguenza migrano verso il basso; assenti o rari sono i complessi umo-argillosi di derivazione biologica. pH<5

e) A massivo

In questo orizzonte, in cui la presenza di peds (<1mm) è limitata al 5%, si presenta con una struttura compatta, friabile allo stato secco e si forma principalmente per processi chimico-fisici non dovuti all'attività biologica.

I Gruppi di riferimento delle forme di hums (Reference Humus Form Groups)

Vengono riportate di seguito le caratteristiche generali e la distribuzione dei gruppi di riferimento principali e di dettaglio concernenti le forme humus terrestri oggetto di questo studio.

MULL

I mull corrispondono a forme di humus con turnover della sostanza organica piuttosto rapido (≤ 3 anni) ad opera soprattutto di lombrichi anecici insieme a larve di ditteri e diplopodi, acari e collemboli. Si sviluppano in temperature non limitanti l'attività biologica su substrati non acidi, solitamente carbonatici e con lettiera facilmente degradabile ($C/N < 30$). Tanto la mineralizzazione che l'umificazione sono rapide e gli orizzonti organici sono generalmente poco spessi e limitati agli orizzonti OL e OF . Il carbonio viene principalmente immobilizzato nell'orizzonte A all'interno dei complessi umo-argillosi.

Dal punto di vista morfologico sono definiti e suddivisi dalle seguenti proprietà:

1. OH assente;
2. A biomacrostrutturato; o
3. A biomesostrutturato e almeno due delle seguenti:
 - segni o presenza nell'orizzonte di lombrichi viventi;
 - transizione molto brusca ($< 3\text{mm}$) tra orizzonti organici e organo-minerali;
 - A con pH in acqua > 5 ;

Si distinguono in:

- **DYSMULL** con OF presente e continuo;
- **OLIGOMULL** con OF discontinuo o assente e OLv presente e spessore;
- **MESOMULL** con OF assente e OLv presente ma discontinuo;
- **EUMULL** con OF e OLv assenti.

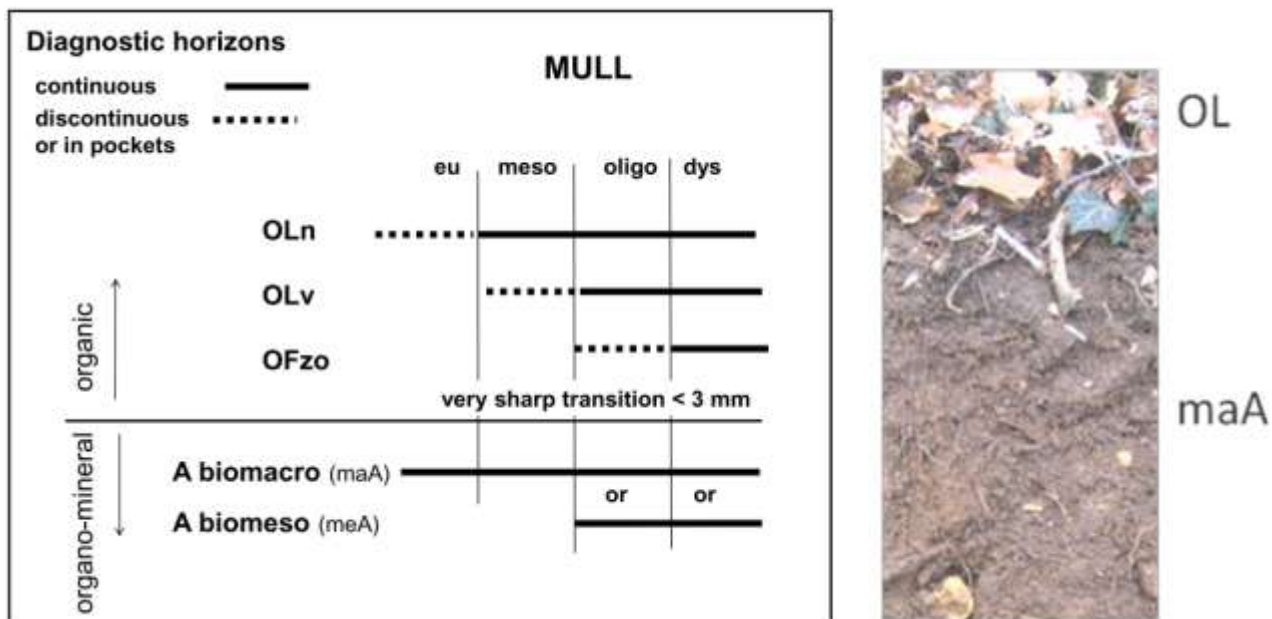


Fig. 3.6 - Orizzonti diagnostici delle forme mull (da Zanella et al., 2011)

AMPHI

Gli amphi, come specificato dalla parola, hanno delle caratteristiche morfologiche intermedie tra i mull e i moder derivate da un "doppio funzionamento". Possiede un orizzonte A macro o meso strutturato, quindi processato da lombrichi anecici e endoeici ma anche un orizzonte OH che indica un ridotto consumo di lettiera fresca e accumulo di sostanza organica fine. Il carbonio viene immobilizzato sia negli orizzonti organici che in quelli organo-minerali. Queste forme di humus si sviluppano soprattutto in condizioni climatiche "mediterranee" con alte temperature e siccità estiva che inibiscono la presenza negli strati superficiali dei lombrichi. Il substrato è generalmente calcareo o dolomitico con lo sviluppo di calcare attivo che impedisce la trasformazione della sostanza organica. Queste forme sembrano essere legate anche a stadi di transizione tra mull e moder per il cambiamento delle condizioni ambientali.

Dal punto di vista morfologico sono definiti e suddivisi dalle seguenti proprietà:

1. OHno2 assente;
2. spessore di A > 1/2 OH

e

3. OH e A biomesostrutturato e almeno una delle seguenti:
 - segni o presenza nell'orizzonte di lombrichi viventi;

- transizione diffusa ($> 5\text{mm}$) tra orizzonti organici e organo-minerali:
- A con pH in acqua ≥ 5 :

Si distinguono in:

- **PACHYAMPHI** con $\text{OH} \geq 3\text{ cm}$;
- **EUMESOAMPHI** con $\text{OH} < 3\text{cm}$;

OPPURE

4. OH e A biomacrostrutturato e almeno una delle seguenti:

- segni o presenza nell'orizzonte di lombrichi viventi;
- transizione brusca ($< 5\text{ mm}$) tra orizzonti organici e organo-minerali:
- A con pH in acqua ≥ 5

Si distinguono in:

- **LEPTOAMPHI** con $\text{OH} < 1\text{ cm}$;
- **EUMACROAMPHI** con $\text{OH} \geq 1\text{cm}$;

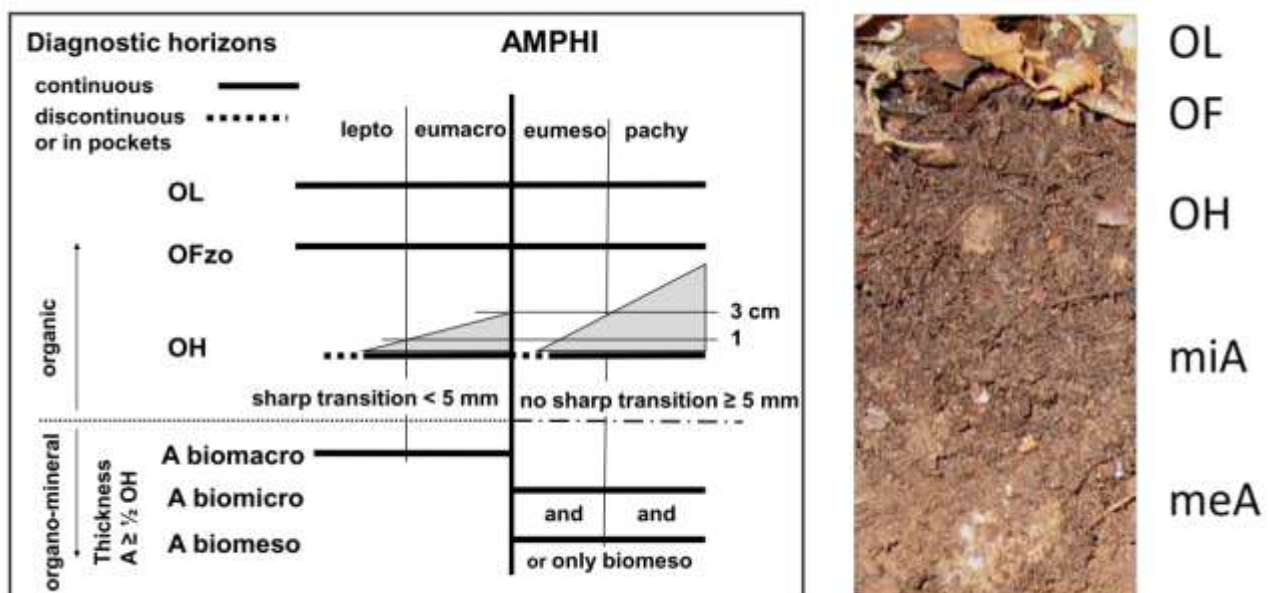


Fig. 3.7 - Orizzonti diagnostici delle forme Amphi, (da Zanella et al., 2011)

MODER

L'ambiente di formazione caratterizzato da basse temperature, da suoli decarbonati o acidificati o con una lettiera difficilmente degradabile poco favorevole alla vita di vermi anecici ed endogei. L'elaborazione della lettiera avviene quindi principalmente ad opera della meso e macrofauna (artropodi, collemboli, isopodi, ditteri etc.) e dei funghi.

La biodegradazione è molto lenta (2-7 anni) e il carbonio viene immobilizzato sia negli orizzonti organici che in quelli organo-minerali.

1. OH presente, talvolta discontinuo;
2. OFnoz assente; e
3. A biomacro e biemesostrutturato assente; e
4. A biomicrostrutturato, o A massivo o A sciolto e almeno una delle seguenti:
 - transizione diffusa (≥ 5 mm) tra OH/A;
 - A con pH in acqua < 5 :

Si distinguono in:

- **DYSMODER** con OH continuo ≥ 1 cm;
- **EUMODER** con OH continuo < 1 cm;
- **HEMIMODER** con OH discontinuo o in tasche.

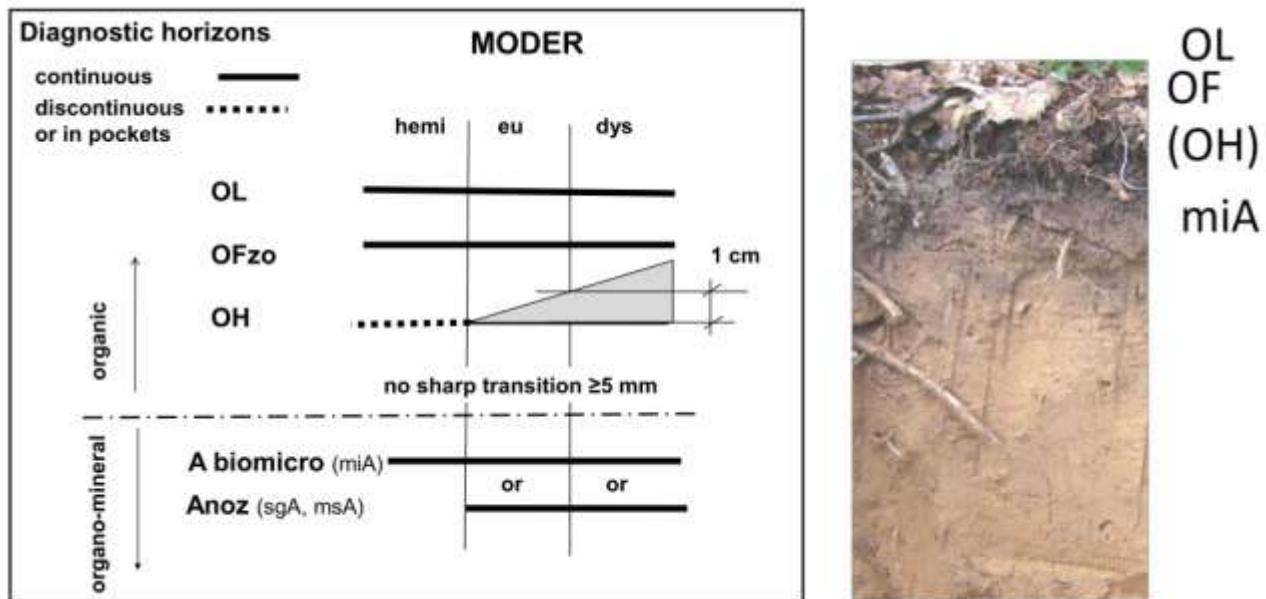


Fig. 3.8 - Orizzonti diagnostici delle forme Moder (da Zanella et al., 2011)

MOR

L'ambiente di formazione caratterizzato da basse temperature, solitamente su rocce silicatiche o con una lettiera difficilmente degradabile. L'elaborazione della lettiera avviene quindi principalmente ad di funghi (spesso micorrizati) e l'attività della fauna è molto scarsa.

La biodegradazione è molto lenta (> 7 anni) e il carbonio viene immobilizzato sia negli orizzonti organici che in quelli organo-minerali.

1. A biomesostrutturato e biomacrostrutturato assenti e tre delle seguenti:

- OFnoz presente;
- transizione abrupta di O con A, AE o E
- A, AE, E con pH in acqua < 4.5
- A biomicrostrutturato assente, o A biomicrostrutturato o A massivo o A sciolto

Si distinguono in:

- **EUMOR** con OFnoz continuo, OH assente, A biomicro assente;

- **HUMIMOR** con OFnoz continuo, con OH presente e continuo, A biomicro possibile ;
- **HEMIMOR** con OFnoz discontinuo, con OH presente e continuo, A biomicro possibile.

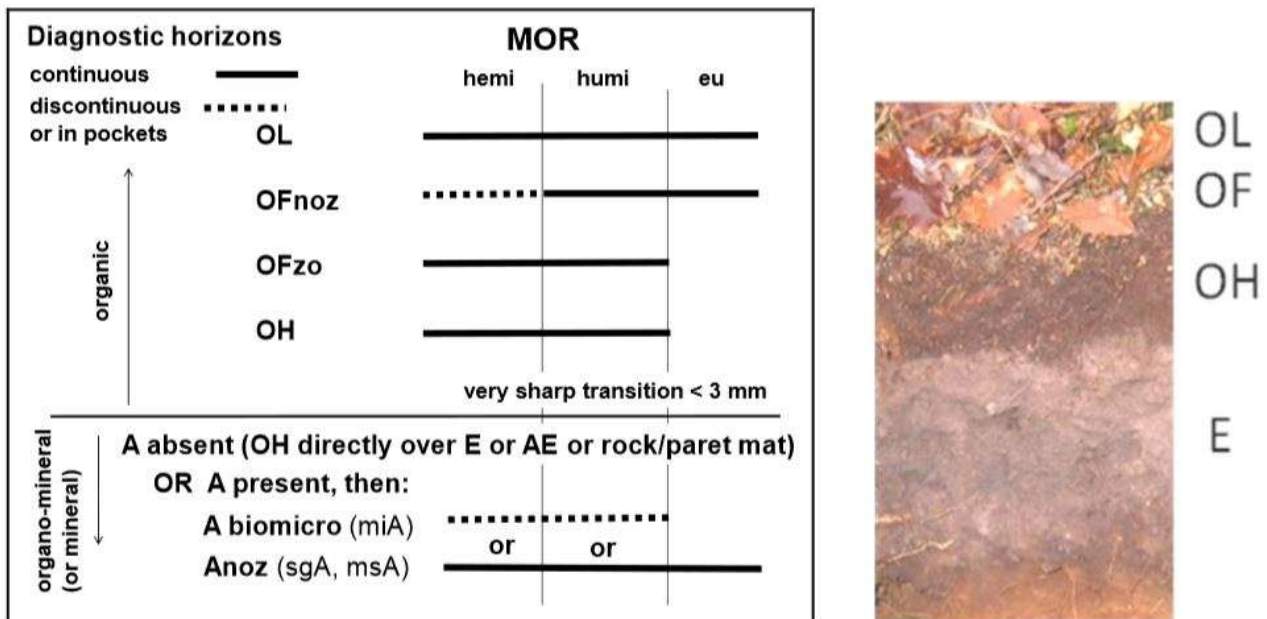


Fig. 3.9 - Orizzonti diagnostici delle forme Mor (da Zanella et al., 2011)

Disegno sperimentale

Lo studio delle forme di humus ha previsto tre fasi distinte :

1. descrizione macroscopica del profilo di humus in campo;
2. raccolta di campioni per ciascun orizzonte;
3. analisi di laboratorio: stima del contenuto di carbonio organico e dell'azoto totale e del ricavato rapporto carbonio/azoto.

Scelta del punto di rilevamento

In un'indagine volta alla descrizione delle forme di humus, la scelta del punto dove eseguire il rilievo è di basilare importanza; all'interno dell'area oggetto di studio e in particolare di ciascuno dei tre subplot di area circolare, il punto di rilevamento è stato scelto secondo i seguenti criteri:

- sono state evitate posizioni in cui prevalevano processi di accumulo o di erosione (impluvi e displuvi, dossi e buche,...) o in prossimità di strade forestali;
- sono state accuratamente segnate le posizioni del rilievo ex ante trattamento in modo da

poter effettuare il rilievo ex post il più vicino possibile.

Modalità di esecuzione del rilevamento

Il rilievo consiste nell'apertura di un profilo che permetta di scoprire l'insieme degli orizzonti del suolo, possibilmente fino al limite dell'orizzonte organo minerale con il sottostante orizzonte minerale. Nel presente lavoro lo scavo ha avuto una profondità media di circa 30 cm.

Il profilo di humus è esaminato cercando di distinguere un orizzonte dal successivo, in base alle caratteristiche seguenti:

- spessore dell'orizzonte (espresso in centimetri);
- andamento del limite inferiore, cioè dell'aspetto morfologico del limite;
- riconoscimento dell'orizzonte diagnostico:
 - determinazione della struttura dell'orizzonte A tramite setacci con maglia di 1 mm e 4 mm.
 - determinazione della tessitura con metodo empirico
- Misura con pH metro da campo (Hanna Instrument) della pH dell'orizzonte A
- Determinazione della forma di humus
- Per ogni orizzonte si è raccolta una quantità sufficiente di campione da analizzare e si è conservata in sacchetti di plastica, cui sono state applicate etichette adesive per l'identificazione. Avendo cura di evitare contaminazioni di qualsiasi tipo, i campioni sono stati portati in laboratorio e conservati in cella frigorifera a 6°C.

Analisi di laboratorio

Le analisi del Carbonio organico e dell'Azoto sono state effettuate seguendo il Metodo Ufficiale VII.1 (MIPAF - Metodi di Analisi Chimica del Suolo 2010) ISO 10694 con Analizzatore Elementare CHNS (Carlo Erba 1108, Milano, Italia), presso il laboratorio del CNR-IBAF dell'Area di Ricerca Roma1, Montelibretti.

Il protocollo ha previsto le seguenti fasi:

- essiccazione in stufa ventilata a 36°C;
- frantumazione con mortaio degli aggregati più duri con l'ausilio di un mortaio, al fine di rendere il campione il più omogeneo possibile;

- polverizzazione con micromulino degli orizzonti OL e OF, dopo la rimozione delle radici.
- setacciatura con vaglio a 2 mm e separazione della frazione di terra fine <2mm dallo scheletro > 2 mm per gli orizzonti OH ed A;
- le due frazioni sono state pesate con bilancia di precisione al grammo/centesimo di grammo;
- i campioni sono stati omogeneizzati e un sottocampione rappresentativo è stato posto in capsula di stagno (Mongiana) o argento per i suoli carbonatici (Cansiglio e Chiarano) e pesato con una bilancia di precisione al millesimo/decimillesimo di grammo;
- i campioni provenienti di Chiarano e Cansiglio sono stati trattati con HCL per la rimozione del calcio carbonato;
- per ciascun campione sono stati determinati il contenuto di Carbonio totale (SOC) e Azoto totale (N) espressi in % in peso e riferiti al peso secco “tal quale”;

L' espressione dei risultati è la percentuale in peso di Carbonio organico e Azoto totale (g / 10² g di terra fine).

Nel presente lavoro sono stati rilevati 162 profili di humus per un totale di 477 campioni analizzati.

Trattamento dati

All'interno del disegno sperimentale le variabili "risposta" scelte sono sia grandezze misurabili in campo o in laboratorio, sia grandezze derivate da queste ed indicatori, che da letteratura vengo largamente utilizzate nel campo di studio.

Variabili misurate:

- gli spessori dei singoli orizzonti della forma di humus OL, OF (suddivisibile a sua volta in OFn ed OFv), OH ed il primo orizzonte organo-minerale;
- gli spessori (cm) degli orizzonti nelle carote di suolo a Cansiglio e Chiarano (nel sito di Mongiana le misurazioni delle carote di suolo sono relative a 2 spessori successivi di profondità fissa 20 cm);
- la massa (g) del campione di suolo, suddivisa in massa della terra fine e massa dello scheletro;
- il pH dell'orizzonte A, utilizzato per la determinazione della forma di humus in campo e che, in fase di elaborazione è stato ritenuto non indicativo ai fini statistici.
- la quantità di carbonio organico OC (*organic carbon*) (% in peso) misurato nei diversi orizzonti di humus e di suolo;
- la quantità di azoto totale Ntot (*total nitrogen*) (%in peso) misurato nei diversi orizzonti;

Variabili derivate ed indicatori:

- il rapporto Carbonio/Azoto (C/N): è un indice del turnover della sostanza organica ed in particolare della velocità della mineralizzazione e quindi della rimessa in composti assimilabili dalle piante. Le velocità relative con le quali carbonio e azoto diminuiscono dipendono dalle caratteristiche pedologiche e dal tipo di sostanza organica (Duchaufour, 1983; Jabiol et al., 1995; Zanella et al., 2001).
- la Bulk density (g cm^{-3}) intesa come rapporto tra massa di terra fine e volume occupato dalla terra fine.
- lo stock di OC ed Ntot (Mg C ha^{-1})
- gli spessori relativi degli orizzonti OL, OF ed OH rispetto allo spessore totale dell'episolum umifero (OL + OF + OH).

- Humus Index: è un indicatore dell'attività biologica di tipo semiquantitativo che si basa sull'assunzione che le differenti forme di humus possano essere indicizzate su una scala di valori correlati con proprietà morfologiche e biologiche. L'indice messo a punto da Ponge (Ponge et al., 2002) è basato sulla classificazione delle forme di humus di Brêthes (Brêthes et al., 1995), modificata da Jabiol, (Jabiol et al., 2000) e assegna i seguenti valori: Eumull = 1, Mesomull = 2, Oligomull = 3, Dysmull = 4, Hemimoder = 5, Eumoder = 6, Dysmoder = 7. Per questo studio si è ritenuto opportuno modificare l'indice secondo la più moderna classificazione, annettendo le forme Amphi e Mor. I valori assegnati sono i seguenti: Eumull = 1, Mesomull = 2, Oligomull = 3, Dysmull = 4, Leptoamphi=5, Eumacroamphi=6, Pachyamphi=8, Eumesoamphi=9, Hemimoder = 9, Eumoder = 10, Dysmoder = 11, Hemimor=12, Humimor=13, Eumor=14.

Poiché le carote prelevate nel sito di Mongiana sono state analizzate dividendole in 2 spessori fissi di 20 cm l'uno. Per Cansiglio e Chiarano invece ogni carota è stata suddivisa in orizzonti a seconda delle eventuali differenze di colore e struttura rilevabili in campo. Per poter rendere i dati dei tre siti confrontabili le varie carote sono state divise in “fette” (*slab*) di spessore fisso ognuna con i suoi valori delle variabili dirette e derivate. L'operazione di creazione delle *slab* è stata quindi effettuata solo per i siti di Chiarano e Cansiglio. Per ogni orizzonte rilevato, si è misurato lo spessore, la massa di terra fine (M_{TF}) e la massa dello scheletro (M_{SC}). Inoltre, sempre per ogni orizzonte, le percentuali in massa di carbonio organico e azoto misurate in laboratorio hanno fornito le rispettive masse (M_C e M_N).

Per le operazioni di **aggregazione verticale** (creazione delle slab) e **aggregazione orizzontale** (media delle varie grandezze al livello di plot) si è seguita la seguente procedura:

- Le masse di terra fine (M_{TF}), scheletro (M_{SC}), carbonio organico (M_C) e azoto (M_N) vengono riferite a spessori di 1 cm tramite divisione per lo spessore dell'orizzonte.
- Le quattro masse relative ad ogni cm della carota vengono aggregate orizzontalmente a livello di plot tramite media aritmetica.
- Le 4 masse (medie) per ogni cm di carota vengono aggregate verticalmente su slab di spessore fissato tramite somma.
- Si ottiene così una carota media per ogni plot in cui le grandezze M_{TF} , M_{SC} , M_C e M_N sono riferite ad ogni *slab*. A questo punto vengono calcolate la bulk density (BD), lo stock di carbonio e azoto (S_C e S_N), le percentuali di C ed N (P_C e P_N) ed il rapporto C/N (CN) secondo le formule seguenti.

$$BD = \frac{M_{TF}}{V_{TF}} = \frac{M_{TF}}{V_{Tot} - V_{SC}} = \frac{M_{TF}}{\frac{\pi}{4} d^2 l - \frac{M_{SC}}{\rho_{SC}}}$$

$$S_C = \frac{M_C}{\frac{\pi}{4} d^2} \times 100$$

$$P_C = \frac{M_C}{M_{TF}} \times 100$$

$$CN = \frac{P_C}{P_N}$$

Dove:

- d è il diametro del carotatore (cm),
- l è lo spessore dello slab (cm),
- V indica il volume, ρ_{SC} è la densità dello scheletro per rocce calcaree (Cansiglio e Chiarano) 2.71 g cm⁻³ per quelle silicee 2.65 g cm⁻³.

Tutte le masse sono espresse in g, BD è espressa in g cm⁻³ ed S_C in Mg C ha⁻¹.

Le formule per S_N e P_N sono analoghe.

Questo modo di procedere ci assicura che le formule qui sopra valgono sia per le singole carote (*row data*) sia per le carote aggregate. Il motivo è che mentre le masse sono quantità additive, la bulk density e le percentuali di C ed N in genere non lo sono e le loro medie vanno adeguatamente ponderate.

Per il calcolo degli stock relativi all'intera carota ci si riferirà ad un unico *slab* di spessore 30 cm che è usato come spessore di riferimento per gli stock di carbonio nel suolo dalla IPCC- Good Practice Guidance (IPCC Penman, 2003).

Infine, ricordiamo che l'aggregazione orizzontale a livello di plot è motivata dal fatto che i plot sono l'unità statistica fondamentale in questo disegno, cioè sono le repliche a cui è applicato il trattamento. Questo punto è descritto più ampiamente nella sezione che segue.

Analisi statistiche

In questo studio vengono eseguite principalmente due tipi di analisi dati. La prima di queste intende testare se esiste una differenza tra i trattamenti nel passare dalle misure ante alle misure post per le varie grandezze considerate. Questa analisi si effettua con la split plot (o repeated measures) ANOVA. Una seconda analisi, resa possibile dalla nidificazione insita nel disegno, è volta a valutare la variabilità delle varie grandezze alle diverse scale spaziali considerate. Questa analisi prende le mosse dalla nested ANOVA.

Split plot (repeated measures) ANOVA

Il primo passo di questa analisi è l'aggregazione di tutte le misure a livello di plot. Questa operazione è fondamentale in quanto i plot sono le unità statistiche a cui è applicato il trattamento, è quindi il numero di plot (le vere repliche) a determinare il numero di gradi di libertà da usare nell'ANOVA. Mentre le singole misurazioni nei subplot vanno considerate come pseudo repliche (Gotelli & Ellison, 2004).

Una volta che le misure sono state aggregate (per un totale di 3 repliche per trattamento sia nelle misure ante sia nelle misure post) il modello dell'ANOVA è il seguente:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_{ij} + C_k + AC_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

dove:

- A indica il fattore trattamento (whole plot factor) di livelli A_i con $i = 1,2,3$ (ad es. a Chiarano si hanno i trattamenti i40, i80 e tradizionale);
- B_{ij} indica l'effetto del j -esimo plot all'interno del trattamento A_i con $j = 1,2,3$ (3 plot per ogni trattamento);
- C indica il fattore tempo (split plot factor) di livelli C_k con $k = 1,2$ (livelli ante e post); AC_{ik} indica l'interazione tra i fattori trattamento e tempo;
- ε_{ijk} indica l'errore residuo;
- μ indica la media generale e y_{ijk} è la misurazione fatta al tempo k , nel plot j all'interno del trattamento i .

Questo modello permette di testare la significatività del fattore A (trattamento), del fattore C (tempo) e della loro interazione AC .

Per una corretta interpretazione dei risultati, osserviamo che la significatività del solo fattore trattamento indica una differenza tra la variabile risposta nei diversi trattamenti insieme ad una

variabilità trascurabile nel tempo. Viceversa, la significatività del solo fattore tempo indica una situazione in cui la variabile risposta non si differenzia per trattamenti ma cambia passando dalle misure ante alle misure post. Infine, la significatività dell'interazione tra trattamento e tempo indica che la variabile risposta cambia passando dalle misure ante alle misure post, ma cambia in modo diverso a seconda del trattamento. Nel nostro caso, è questo ultimo effetto il principale oggetto di indagine. Anche l'effetto del solo fattore tempo è di qualche interesse indicando una situazione in cui c'è un effetto generale della gestione che però non si differenzia per i diversi trattamenti. Infine, l'effetto del trattamento solo non è di nostro interesse.

Questo modello ha due termini d'errore, il termine B_{ij} è il whole plot error mentre ε_{ijk} è lo split plot error. I p-value calcolati dall'ANOVA hanno senso se questi due termini d'errore sono normalmente distribuiti, con varianza omogenea ed indipendenti tra loro (per maggiori dettagli sul modello e la verifica delle assunzioni si veda Gotelli & Ellison, 2004; Casella, 2008; <https://www.ma.utexas.edu/users/mks/384Esp08/splitplot.pdf>).

Nested ANOVA

Nella split plot ANOVA tutte le misure vengono aggregate a livello di plot comportando così una certa perdita di informazione. Nel caso delle carote di suolo, queste misure possono essere recuperate per analizzare la variabilità delle variabili in funzione delle diverse scale spaziali considerate. Il disegno nidificato con le carote all'interno dei subplot ed i subplot all'interno dei plot copre le seguenti scale spaziali.

- Variabilità tra le carote (residua): scala 1m – 10m (distanza tra le carote)
- Variabilità tra i subplot: scala 10m – 100m (distanza tra i subplot)
- Variabilità tra i plot: scala 100m – 1000m (distanza tra i plot)

Nella nested ANOVA non teniamo conto del fattore tempo e l'analisi è ripetuta due volte per i casi ante e post. I plot e subplot sono trattati come fattori random per studiare il loro effetto spaziale. Il modello per spiegare i dati è il seguente:

$$y_{ijkw} = \mu + A_i + B_{ij} + C_{ijk} + \varepsilon_{ijkw}$$

dove ogni misura y_{ijkw} può essere scomposta come segue:

- μ è la media generale; A_i indica l'effetto del trattamento con $i = 1,2,3$;

- B_{ij} indica l'effetto del fattore plot per il j -esimo plot all'interno del trattamento A_i con $j = 1, 2, 3$ (3 plot per ogni trattamento);
- C_{ijk} indica l'effetto del fattore subplot per il k -esimo subplot all'interno del plot j con $k = 1, 2, 3$ (3 subplot per ogni plot);
- ε_{ijkw} indica l'effetto residuo della carota w misurata nel subplot k con $w = 1, 2, 3$ (3 carote per ogni subplot).
- y_{ijkw} è la misurazione w , nel subplot k , nel plot j , relativo al trattamento i .

Il residuo ed i fattori subplot e plot sono modellizzati come effetti random, distribuiti normalmente con media zero e varianze rispettivamente, σ_r^2 , σ_c^2 , σ_b^2 . Queste tre varianze sono relative alle tre scale spaziali menzionate sopra. E' poi possibile anche calcolare la variabilità nella risposta dovuta ai trattamenti σ_A^2 che comunque si riferisce alla stessa scala spaziale dei plot (100m – 1000m) riguardando una variabilità tra gruppi di plot. Va precisato che il trattamento è un fattore fisso e la stima della varianza è lievemente diversa da quello per i fattori random (Quinn & Keough, 2002).

Una volta stimate le 4 varianze σ_r^2 , σ_c^2 , σ_b^2 e σ_A^2 (vedi Quinn & Keough, 2002 per i dettagli) si calcola facilmente la porzione della variabilità (PEV = proportion of explined variance; Gotelli & Ellison, 2004) attribuita ad una determinata scala spaziale come segue:

- $PEV_r = \frac{\sigma_r^2}{\sigma_r^2 + \sigma_c^2 + \sigma_b^2 + \sigma_A^2}$ per la scala 1m – 10m
- $PEV_c = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_r^2 + \sigma_c^2 + \sigma_b^2 + \sigma_A^2}$ per la scala 10m – 100m
- $PEV_b = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_r^2 + \sigma_c^2 + \sigma_b^2 + \sigma_A^2}$ per la scala 100m – 1000m
- $PEV_A = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_r^2 + \sigma_c^2 + \sigma_b^2 + \sigma_A^2}$ per il trattamento (scala 100m – 1000m).

Questa analisi viene ripetuta per i due casi ante e post. Avendo basato il disegno sperimentale generale (vedi dietro) sull'omogeneità spaziale e strutturale dei plot, ci si aspetta che almeno nella fase ante sia la variabilità residua (PEV_r) ad avere la proporzione maggiore, mentre nella fase post i termini PEV_b e PEV_A potrebbero acquistare maggiore importanza.

4. Risultati

Suolo

Carbonio organico e Azoto totale nei suoli trovati

Le analisi del Carbonio organico (OC *organic carbon*) e dell'Azoto totale (Ntot *total nitrogen*) nei primi 30 cm di suolo (Appendice A) mostrano delle differenze nei contenuti medi (stock MgC ha⁻¹) di sostanza organica tra i tre diversi siti (Fig. 4.1, Fig. 4.2)

Lungo il transetto Nord-Sud della penisola i valori più bassi di entrambe le variabili considerate si riscontrano nel sito più settentrionale del Cansiglio in cui il valore medio è di 65 ± 15 MgC ha⁻¹ per il OC e di 5 ± 1 MgN ha⁻¹ per Ntot. Nel sito di Chiarano e Mongiana i valori sono più elevati: il contenuto medio di OC si attesta su valori simili nei due siti, rispettivamente 93 ± 8 MgC ha⁻¹ e 94 ± 9 MgC ha⁻¹, mentre per quanto riguarda Ntot i suoli di Mongiana risultano più poveri con 5.7 ± 0.7 MgN ha⁻¹ rispetto a Chiarano con 7.3 ± 0.5 MgN ha⁻¹. Ne consegue un differente valore medio del rapporto C/N che risulta maggiore a Mongiana (15 ± 1) rispetto al Cansiglio (14 ± 2) e ancora minore a Chiarano (13 ± 2).

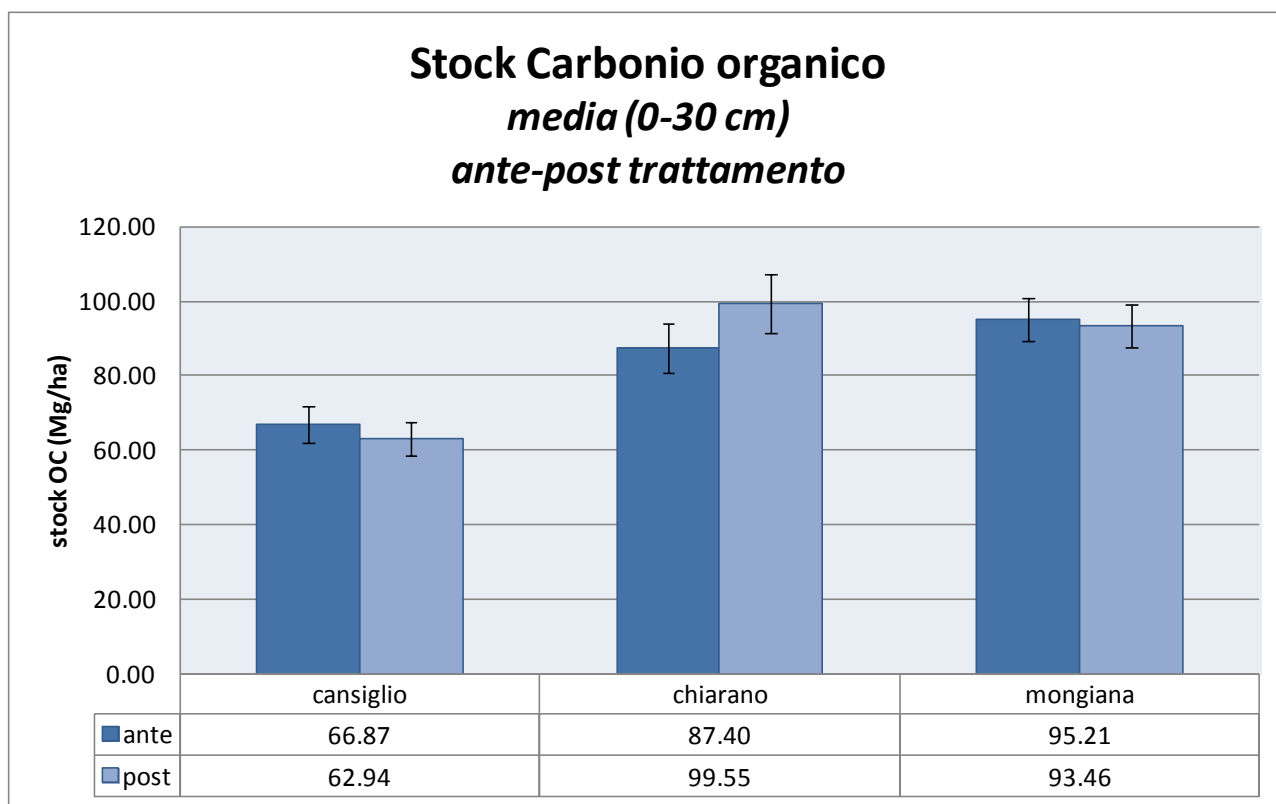


Fig. 4.1- Confronto ante e post trattamento dello Stock di Carbonio organico (MgC ha⁻¹) nei tre siti.

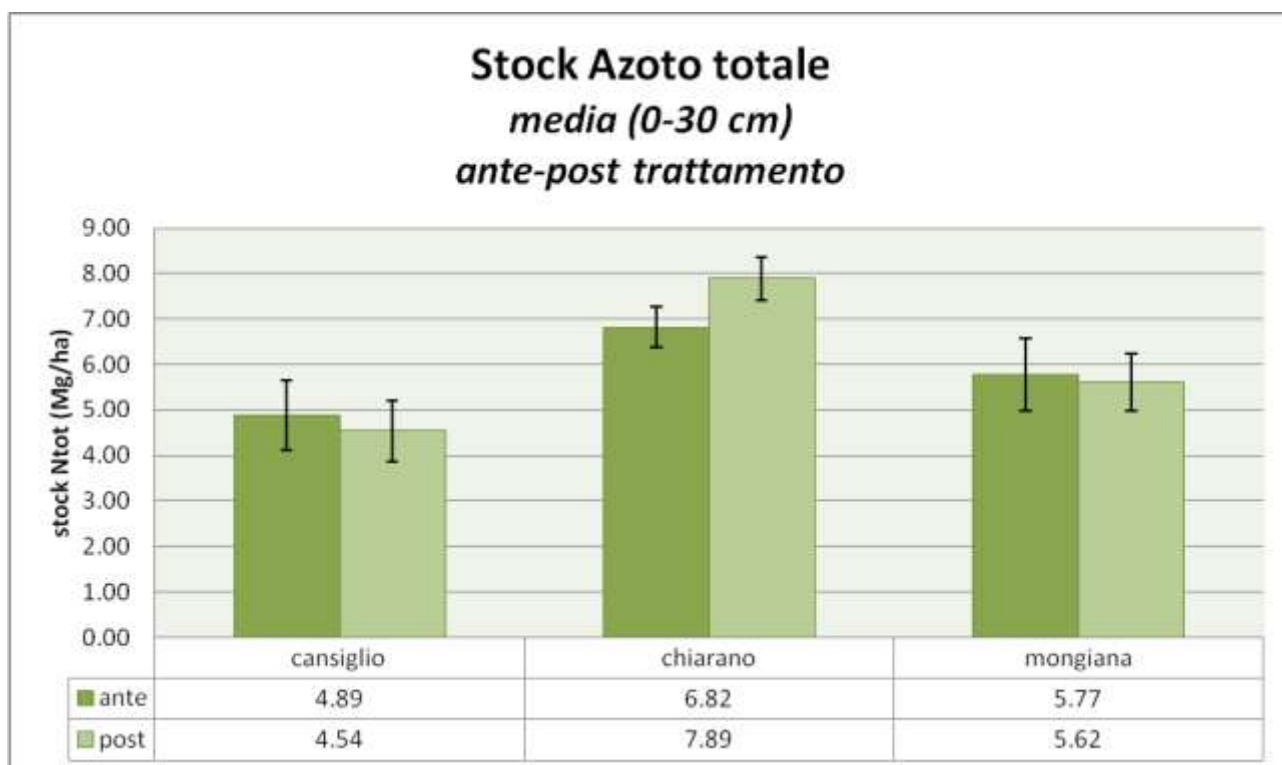


Fig. 4.2- Confronto ante e post trattamento dello Stock di Azoto totale (MgN ha^{-1}) nei tre siti.

Gli andamenti delle percentuali di OC lungo il profilo (Fig. 4.3), calcolati ponderando con il metodo descritto (vedi Cap 2.1) per Cansiglio e Chiarano in *slab* di 5 cm, mostrano, a partire da un valore simile (circa l'8% in peso) per lo strato più superficiale:

- a Cansiglio una diminuzione repentina (4.68%) nell'intervallo tra i 5 e i 10 cm, corrispondente al valore medio dello spessore dell'orizzonte A rilevato di 7 ± 3 cm;
- a Chiarano un andamento più graduale, con un cambiamento di pendenza nell'intervallo tra i 10 e i 15 cm, corrispondente al valore medio rilevato dello spessore A di 13 ± 9 cm.

Gli andamenti delle percentuali di Ntot (Fig. 4.4) mostrano un andamento simile a quello delle percentuali di OC.

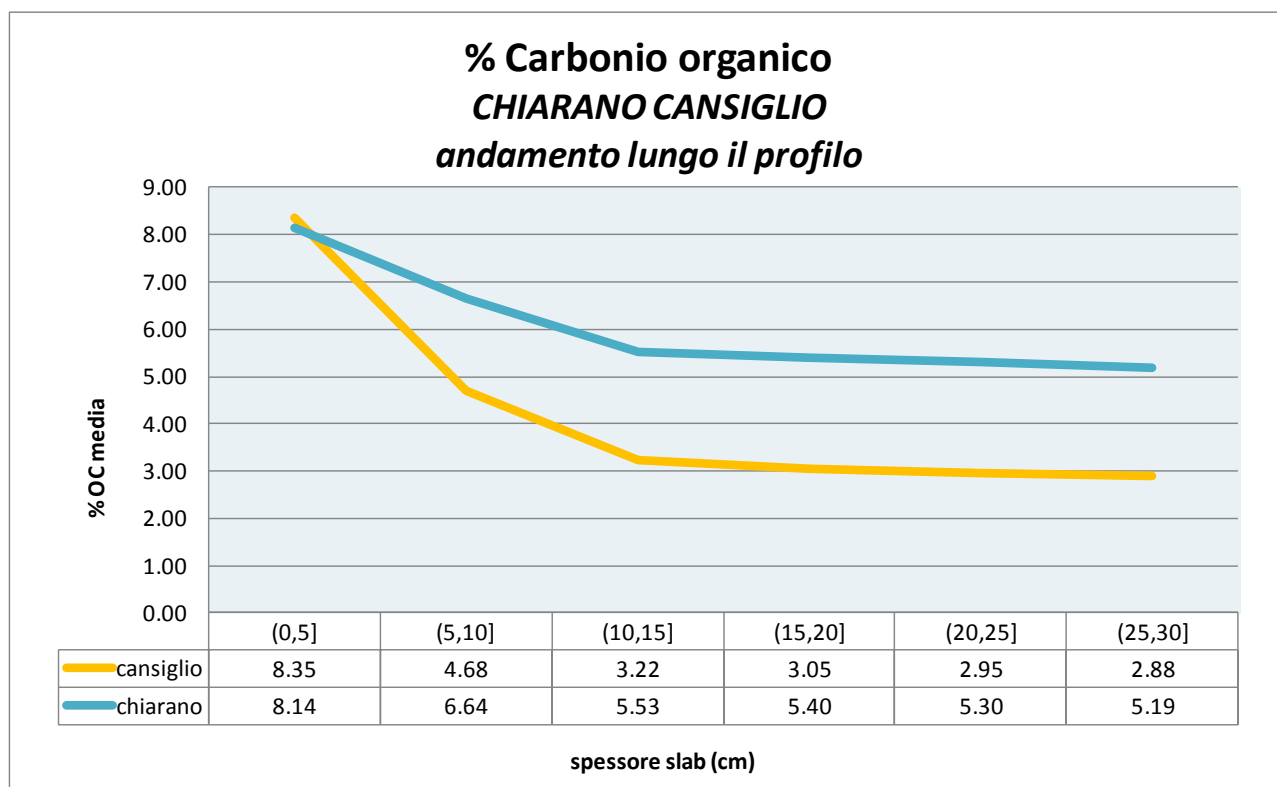


Fig. 4.3-Andamento lungo il profilo della % media di Carbonio organico a Chiarano e Cansiglio.

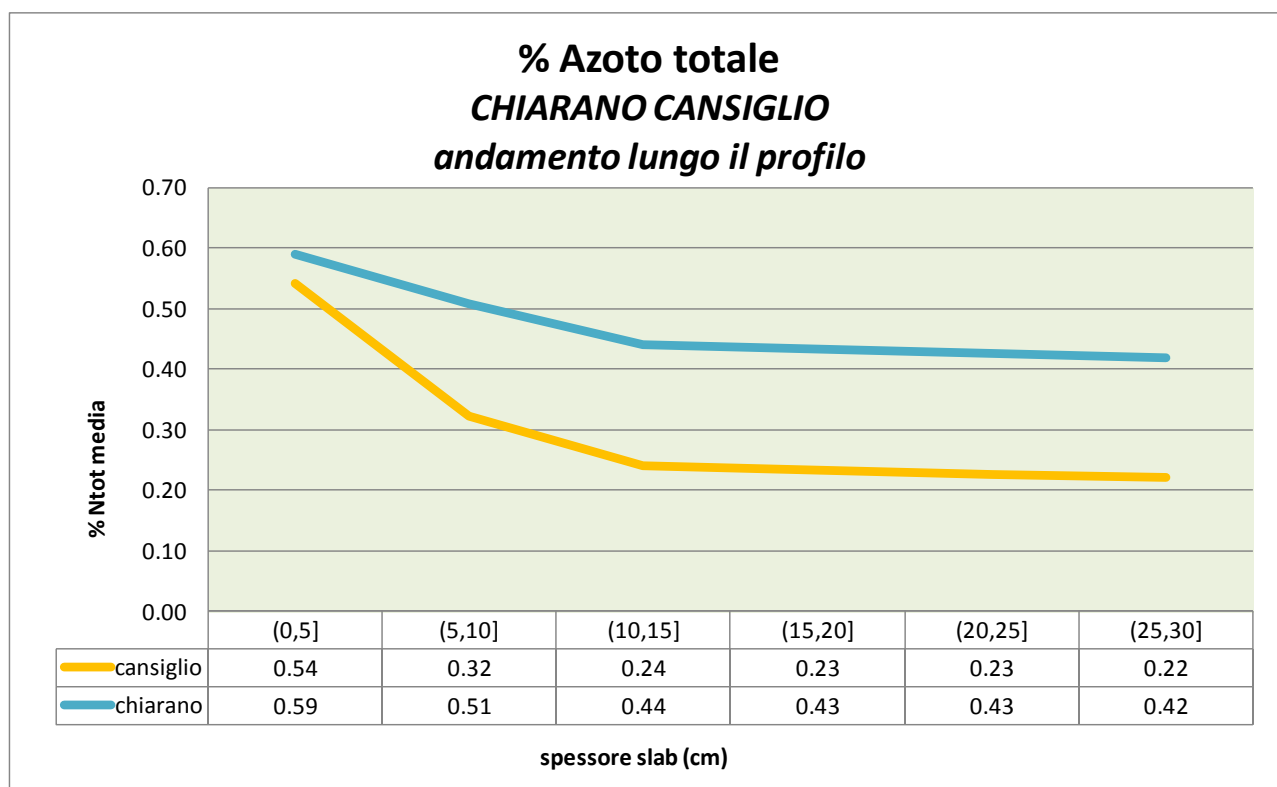


Fig. 4.4- Andamento lungo il profilo della % media di Azoto totale a Chiarano e Cansiglio

A Mongiana, il campionamento effettuato a profondità fisse di 0-20 cm e 20-40 cm (Fig. 4.5) mostra sia per OC che per Ntot una diminuzione di circa la metà dei valori passando tra gli strati superficiali a quelli più profondi.

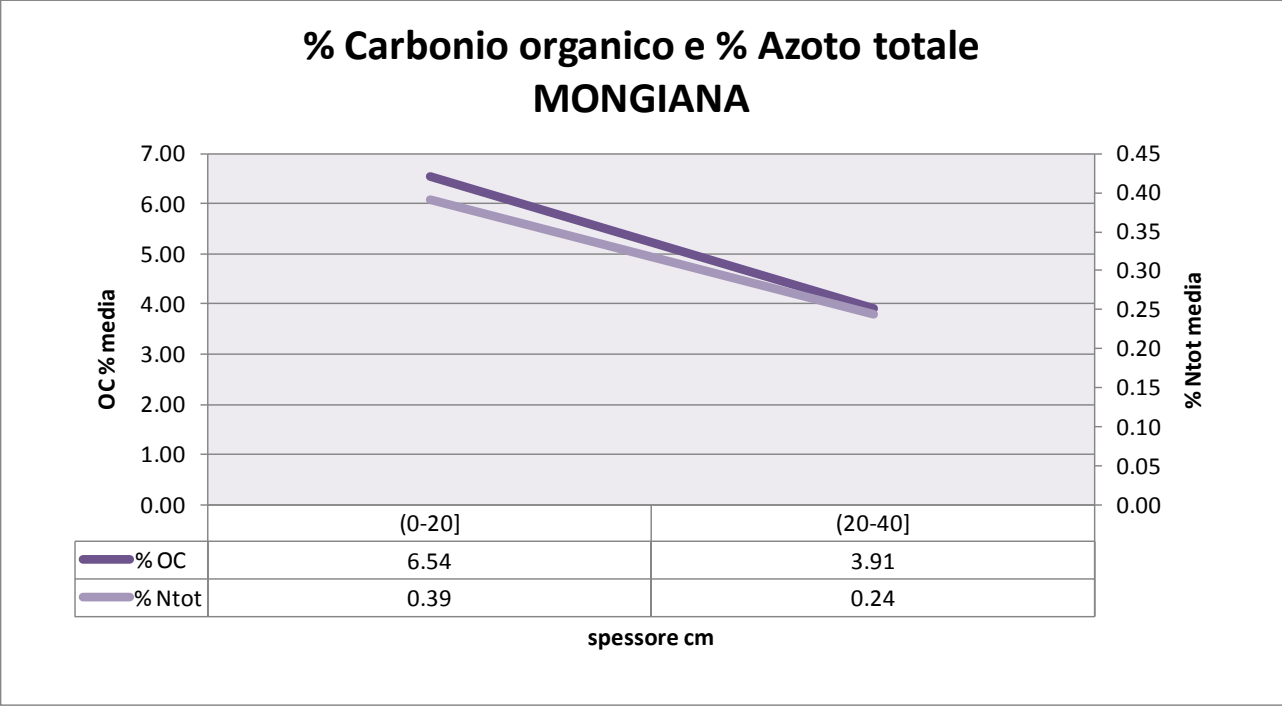


Fig. 4.5-Percentuali di Carbonio organico e Azoto totale nelle due profondità rilevate a Mongiana.

Risultati dell'analisi della varianza

Come discusso in precedenza (*vedi* Cap 2.1), nel disegno sperimentale approntato in questo studio, ogni livello del fattore trattamento (es. nel sito del Cansiglio, "innovativo", "non trattato" e "tradizionale") viene applicato a tre plot (circa 3 ha). In ogni plot sono state effettuate due campagne di misurazioni, una "ante" e una "post" l'applicazione dei trattamenti. Abbiamo dunque due fattori, il fattore trattamento applicato ai plot, costituito da tre livelli ed il fattore tempo con due livelli "ante" e "post", applicato all'interno di ogni plot. In generale, l'analisi della varianza associata a questo disegno (split plot/repeated measures) permette di testare tre effetti: l'effetto del fattore trattamento, l'effetto del fattore tempo e l'effetto della loro interazione. Il principale interesse nel presente lavoro, cioè l'ipotesi scientifica da verificare, è la modificazione delle grandezze osservate nei due diversi momenti dovuta al trattamento, quindi la significatività dell'interazione tra gli effetti trattamento e tempo (indicata come trattamento:tempo). Anche la significatività dell'effetto tempo da solo è di qualche interesse, indicando il caso in cui la differenza tra ante e post è significativa pur non potendo distinguere tra i tre livelli del fattore trattamento. Infine l'effetto del solo trattamento è qui di limitato interesse e viene riportato solo per completezza.

Differenze nel tempo tra trattamenti

Cansiglio

L'analisi della varianza (Tab. 4.1) effettuata sui dati raccolti al Cansiglio mostra che l'effetto del trattamento non modifica in modo significativo le grandezze analizzate. Cioè le medie delle differenze post-ante nei tre diversi trattamenti non sono statisticamente diverse. Le uniche significatività riguardano il solo fattore tempo che risulta discriminare due variabili, entrambe relative ai primi 10 cm di suolo, la Bulk density (g cm^{-3}) (Fig. 4.6), cioè la densità della terra fine all'interno dell'unità di volume e la percentuale di Azoto totale (Fig. 4.7).

variabile	spessore (cm)	P value			
		trattamento	data		data:trattamento
Bulk density (g cm^{-3})	(0-30]	0.322	0.937		0.355
	(0,10]	0.706	0.043	*	0.938
	(10,20]	0.204	0.412		0.3
	(20,30]	0.215	0.744		0.18
C/N	(0-30]	0.397	0.423		0.235
	(0,10]	0.585	0.116		0.612
	(10,20]	0.443	0.823		0.351
	(20,30]	0.339	0.874		0.212
% OC	(0-30]	0.415	0.748		0.318
	(0,10]	0.518	0.389		0.721
	(10,20]	0.639	0.441		0.368
	(20,30]	0.578	0.286		0.586
% Ntot	(0-30]	0.665	0.381		0.426
	(0,10]	0.594	0.038	*	0.581
	(10,20]	0.907	0.268		0.336
	(20,30]	0.867	0.2		0.637
stock OC (MgC ha^{-1})	(0-30]	0.887	0.47		0.784
	(0,10]	0.538	0.11		0.756
	(10,20]	0.946	0.187		0.427
	(20,30]	0.963	0.204		0.58
stock Ntot ($\text{MgN ha}^{-1}\text{a}$)	(0-30]	0.786	0.373		0.553
	(0,10]	0.438	0.301		0.936
	(10,20]	0.654	0.164		0.325
	(20,30]	0.728	0.252		0.379

Tab. 4.1- Analisi della varianza, Cansiglio. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05)

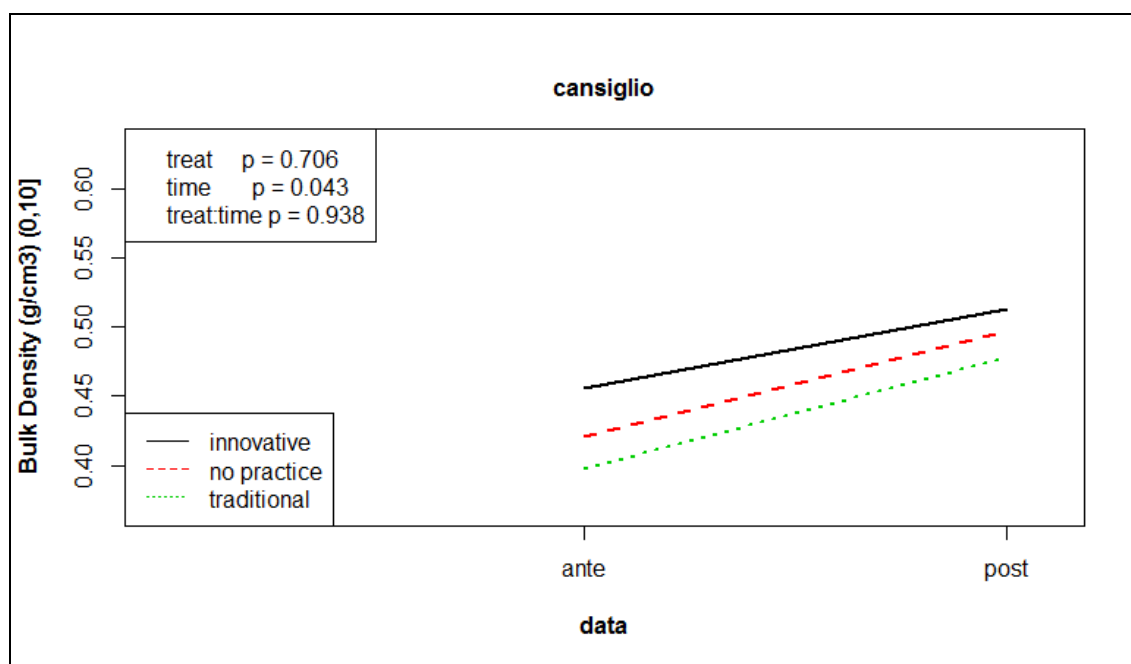


Fig. 4.6- ANOVA PLOT, Bulk density (g cm⁻³) ante-post tra 0-10 cm, Cansiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

Come illustrato dal grafico la bulk density aumenta in tutti e tre i trattamenti in modo omogeneo passando da valori compresi tra i 0.40 e 0.45 (g cm⁻³) a dei valori compresi tra 0.45 e 0.50 (g cm⁻³).

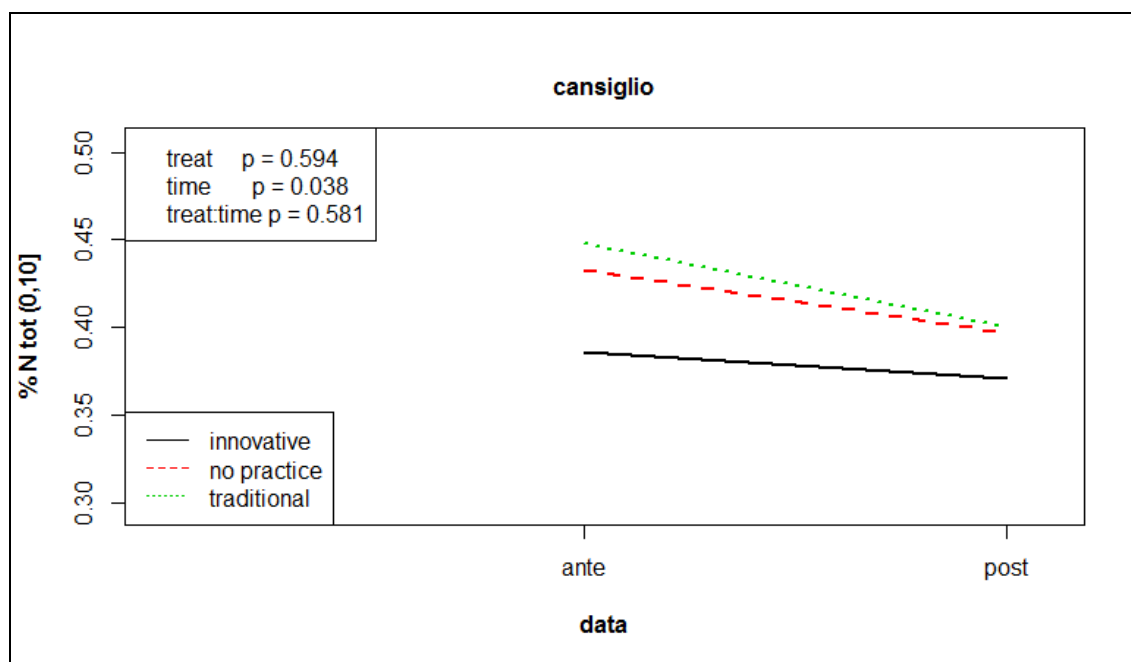


Fig. 4.7-ANOVA PLOT, % Ntot ante-post tra 0-10 cm, Cansiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

La percentuale di Azoto totale (Fig. 4.7.) diminuisce per tutti e tre i trattamenti con una lieve differenza, se pur non significativa, che distingue il trattamento tradizionale e il non trattato, che diminuiscono di circa 0.2 punti percentuale, rispetto al trattamento innovativo che rimane praticamente costante.

Chiarano

Anche nel sito di Chiarano l'analisi della varianza (Tab. 4.2- Analisi della varianza, Chiarano. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05)) mostra delle differenze significative non scrivibili all'effetto del trattamento rispetto al tempo ma solamente il fattore tempo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata., Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

variabile	spessore (cm)	P value				
		trattamento	data		data:trattamento	
Bulk density (g cm^{-3})	(0-30]	0.644	0.001	*	0.29	
	(0,10]	0.868	0.001	*	0.257	
	(10,20]	0.526	0.003	*	0.132	
	(20,30]	0.686	0.042	*	0.81	
C/N	(0-30]	0.68	0.494		0.672	
	(0,10]	0.577	0.118		0.839	
	(10,20]	0.823	0.638		0.49	
	(20,30]	0.683	0.517		0.611	
% OC	(0-30]	0.916	0.159		0.595	
	(0,10]	0.99	0.011	*	0.609	
	(10,20]	0.925	0.201		0.399	
	(20,30]	0.812	0.773		0.69	
% Ntot	(0-30]	0.842	0.081		0.547	
	(0,10]	0.968	0.006	*	0.622	
	(10,20]	0.789	0.083		0.313	
	(20,30]	0.782	0.976		0.531	
stock OC (MgC ha^{-1})	(0-30]	0.355	0.066		0.942	
	(0,10]	0.036	0.351		0.792	
	(10,20]	0.833	0.062		0.906	
	(20,30]	0.682	0.023	*	0.708	
stock Ntot (MgN ha^{-1})	(0-30]	0.21	0.012	*	0.667	
	(0,10]	0.28	0.122		0.656	
	(10,20]	0.87	0.015	*	0.44	
	(20,30]	0.688	0.02	*	0.439	

Tab. 4.2- Analisi della varianza, Chiarano. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05)

La differenza tra i valori medi della Bulk Density risulta significativa sia nell'analisi del dato medio di tutto il profilo (Fig. 4.8- ANOVA PLOT, Bulk density (g cm^{-3}) ante-post tra 0-30 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli) ponderato sui 30 cm di profondità (vedi Cap 2.1) sia nel dettaglio delle diverse slab di 10 cm (Fig. 4.9, Fig. 4.10, Fig. 4.11). I valori aumentano per tutti i trattamenti e maggiormente negli strati superficiali rispetto allo strato profondo. Come è possibile vedere dai grafici le differenze maggiori, se pur non significative, riguardano il trattamento innovativo 40. In generale per tutto il sito nel post trattamento la BD risulta più omogenea all'interno del profilo, con quindi minor differenziazione tra gli strati superficiali e quelli profondi (Fig. 4.12).

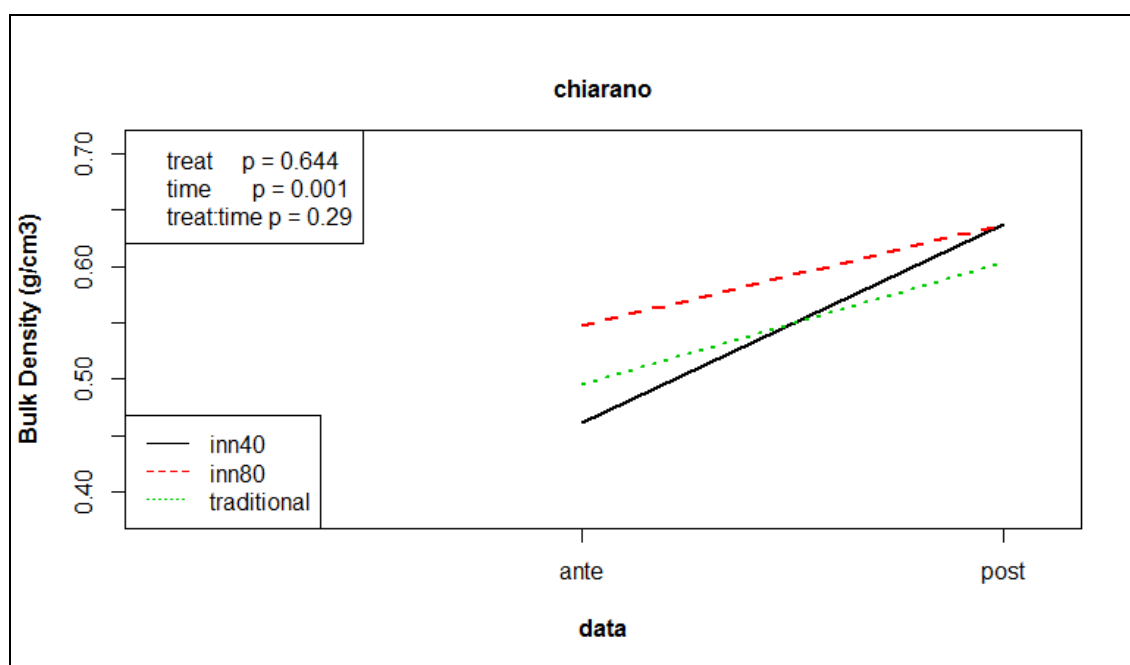


Fig. 4.8- ANOVA PLOT, Bulk density (g cm^{-3}) ante-post tra 0-30 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

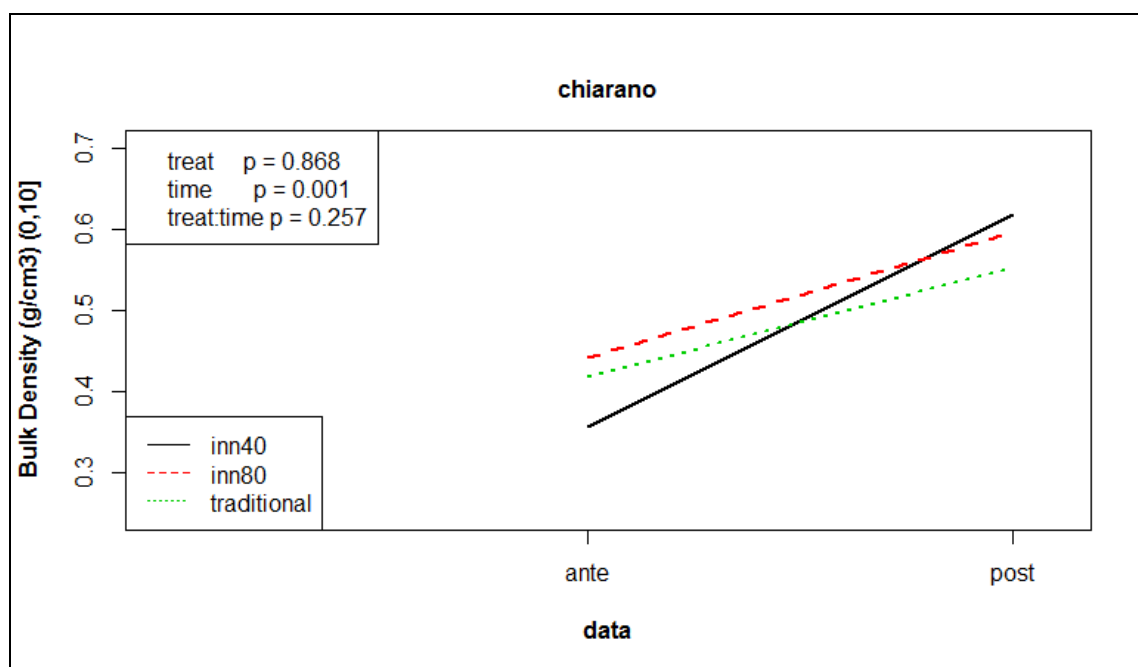


Fig. 4.9- ANOVA PLOT, Bulk density (g cm^{-3}) ante-post tra 0-10 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

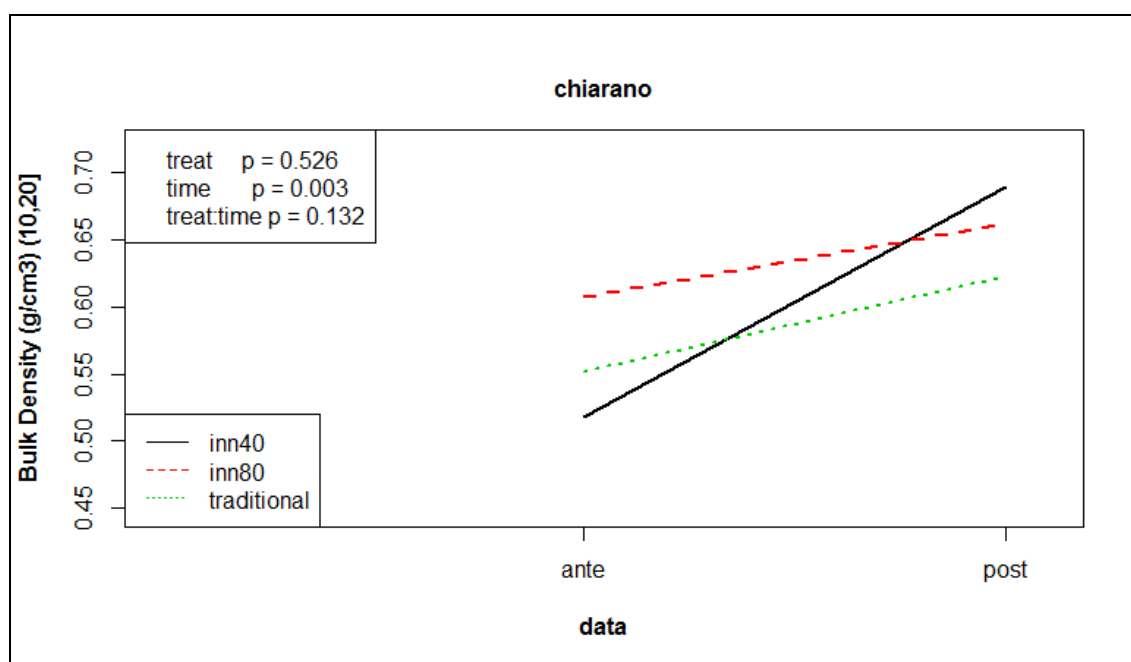


Fig. 4.10- ANOVA PLOT, Bulk density (g cm^{-3}) ante-post tra 10-20 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

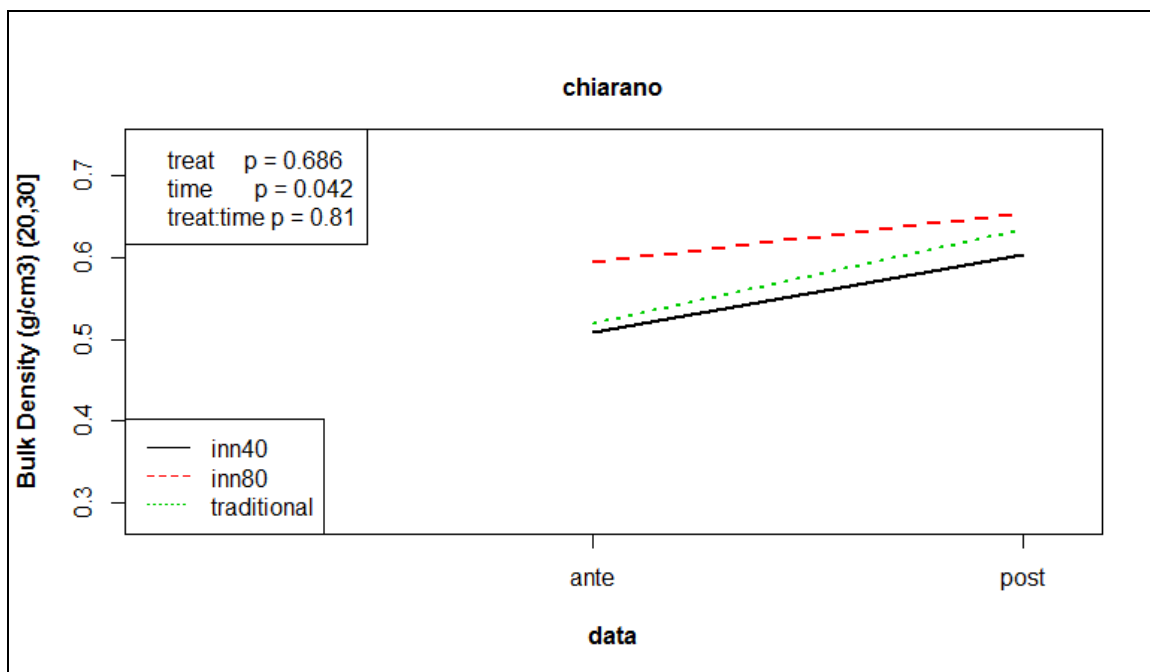


Fig. 4.11- ANOVA PLOT, Bulk density (g cm⁻³) ante-post tra 20-30 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

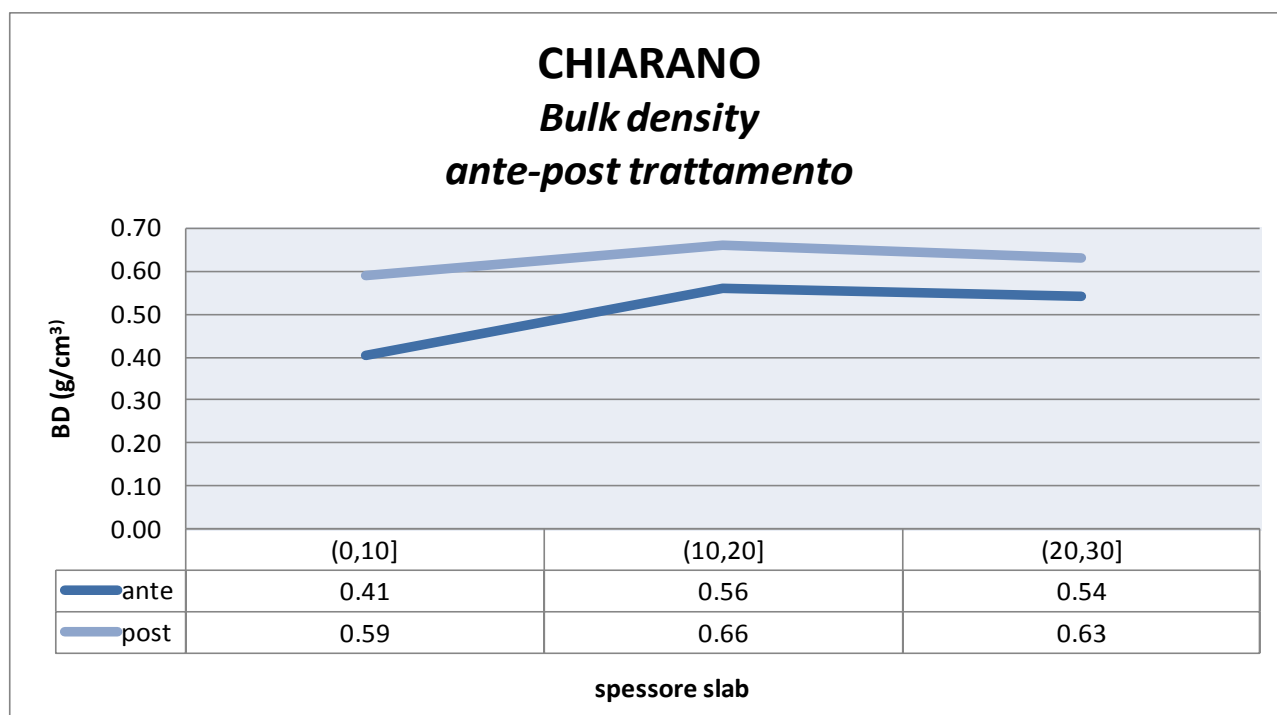


Fig. 4.12-Confronto ante post dell'andamento della Bulk Density media tra 0-30 cm a Chiarano.

Le differenze tra le percentuali in peso di Ntot e OCt post-ante trattamento risultano significativamente diverse per la strato più superficiale da 0 a 10 cm (Fig. 4.13, Fig. 4.14) mentre negli strati inferiori (10-30 cm) i due valori ante post sono equivalenti. Per entrambe le variabili si riscontra una diminuzione della media dei valori misurati di circa il 2% per OC e dello 0.15 % per Ntot (Fig. 4.15).

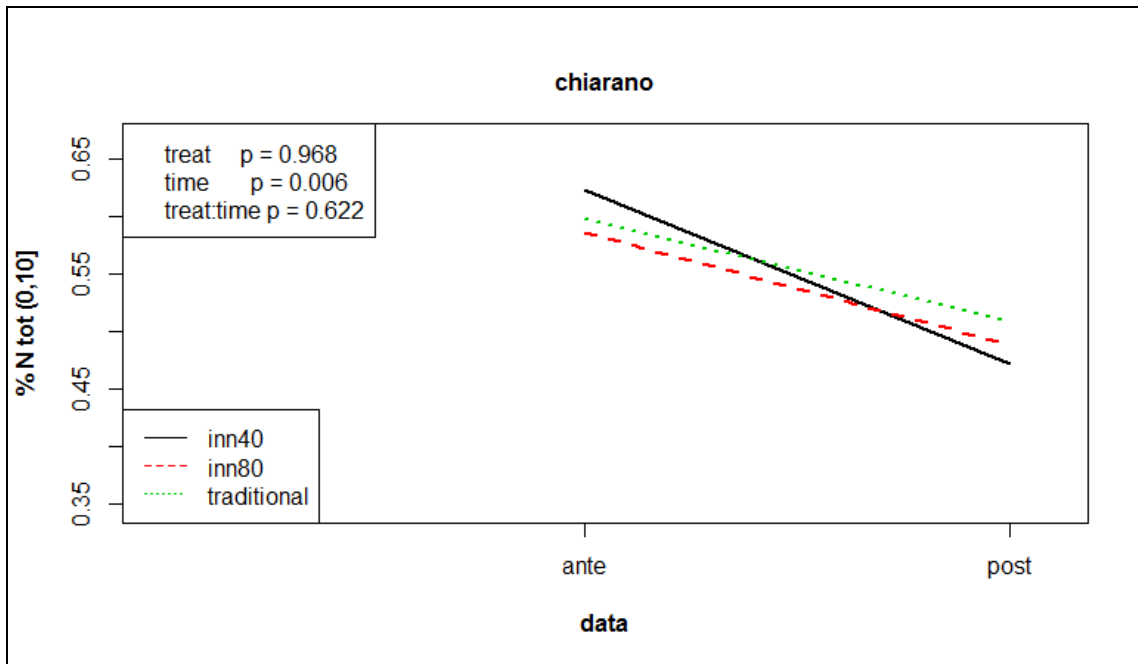


Fig. 4.13- ANOVA PLOT, % Ntot ante-post tra 0-10 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

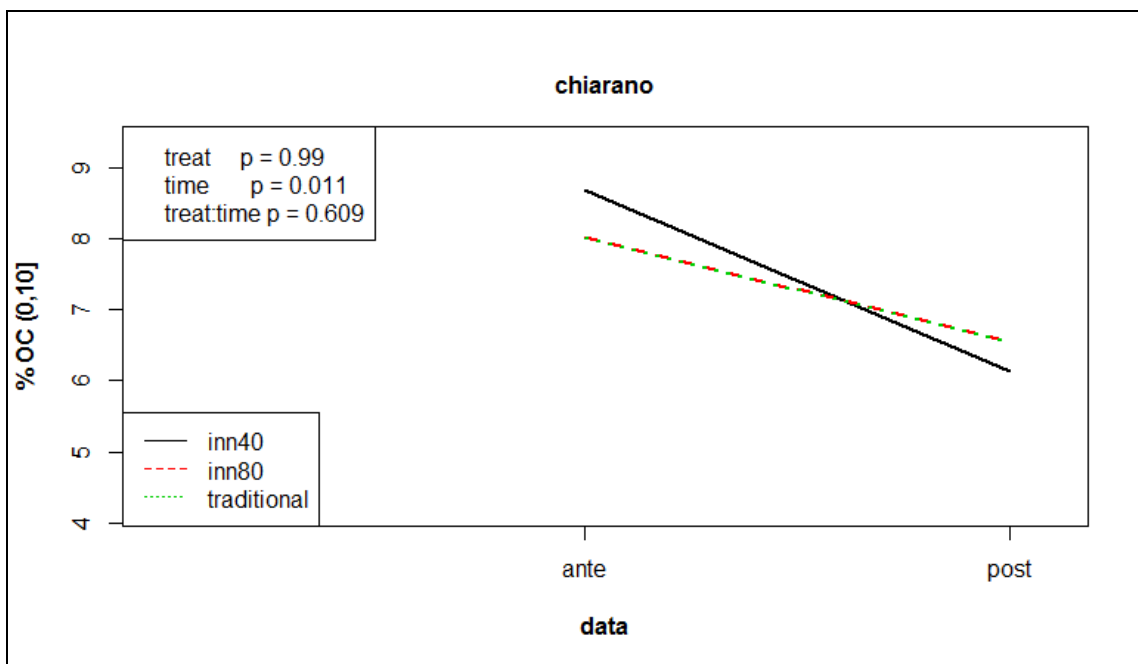


Fig. 4.14- ANOVA PLOT, % OC ante-post tra 0-10 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi

livelli)

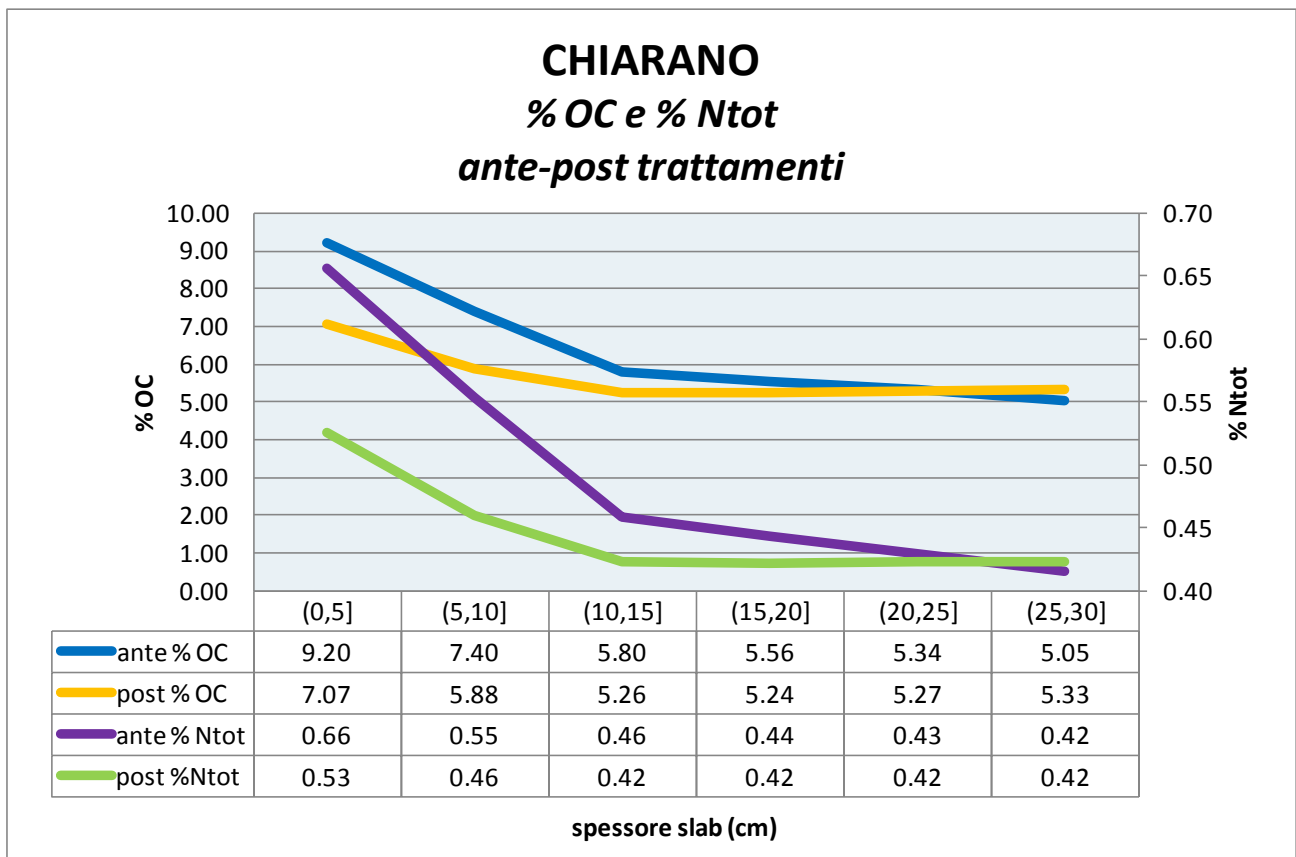


Fig. 4.15-Confronto ante post dell'andamento delle percentuali medie di OC e Ntot tra 0-30 cm a Chiarano.

Questa diminuzione dei valori di OC e Ntot non è quindi proporzionale e determina un cambiamento della variabile derivata C/N i cui valori diminuiscono da 14 a 13 nello strato superficiale fino a circa 15 cm, ma rimangono pressoché costanti negli strati inferiori (Fig. 4.16).

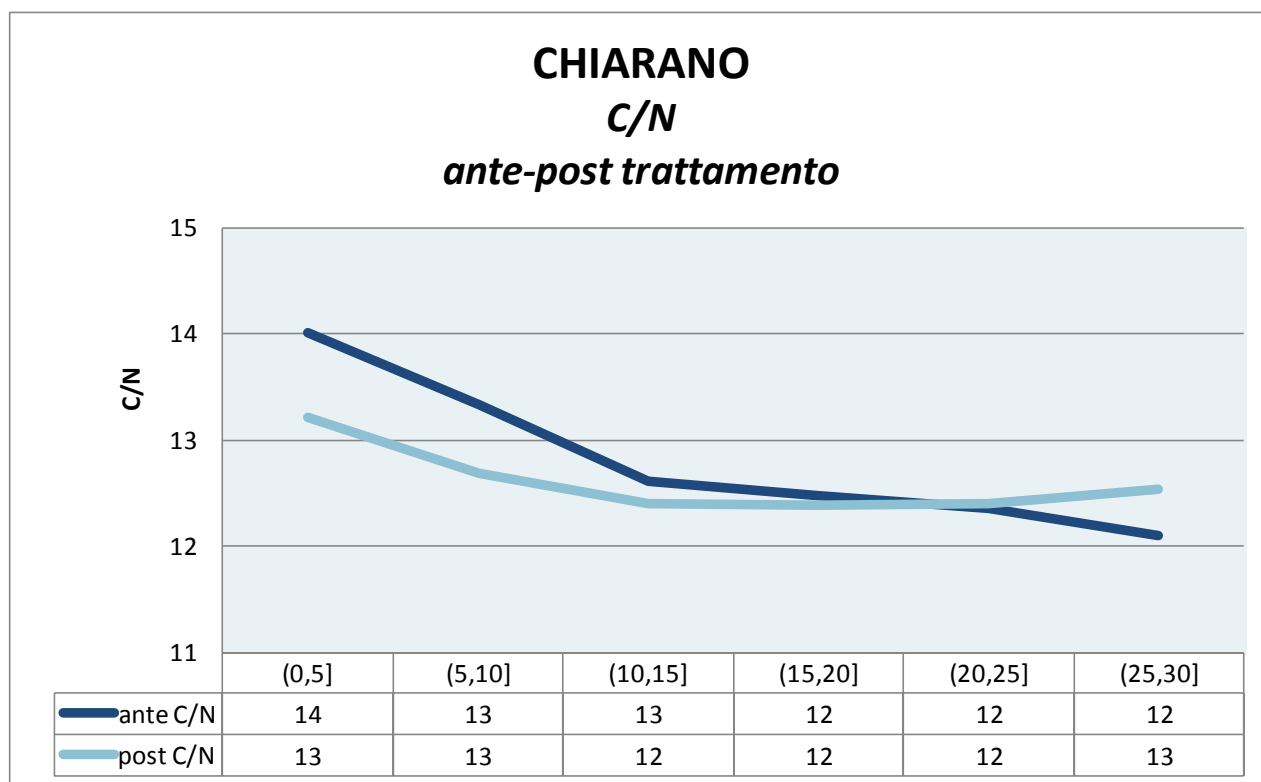


Fig. 4.16-Confronto tra gli andamenti ante post nel profilo del C/N a Chiarano.

Per quanto riguarda gli stock di CO e Ntot la differenza significativa tra ante e post riguarda gli strati più profondi (Fig. 4.17, Fig. 4.18, Fig. 4.19,) che nel caso dell'azoto si riflette anche nel valore medio ponderato sui 30 cm. I risultati mostrano che entrambe le variabili aumentano in valore assoluto. L'aumento più accentuato negli strati profondi provoca una "omogeneizzazione" dei valori lungo il profilo e quindi una minore differenziazione tra gli strati superficiali e quelli profondi (Fig. 4.20).

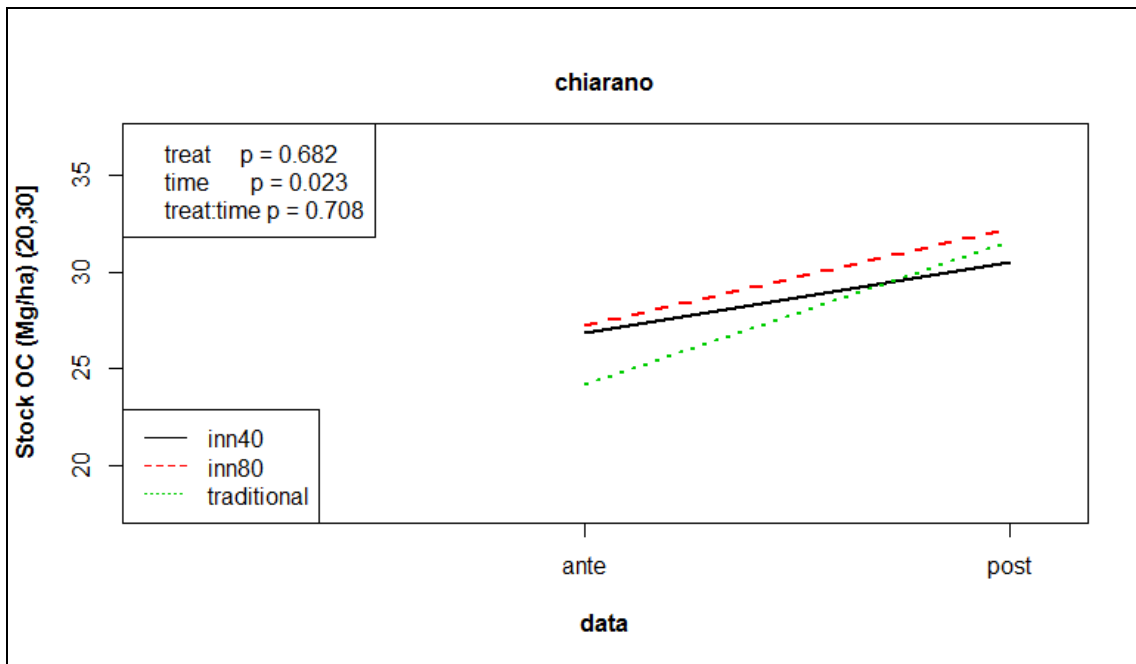


Fig. 4.17- ANOVA PLOT, stock OC (MgC ha^{-1}) ante-post tra 20-30 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

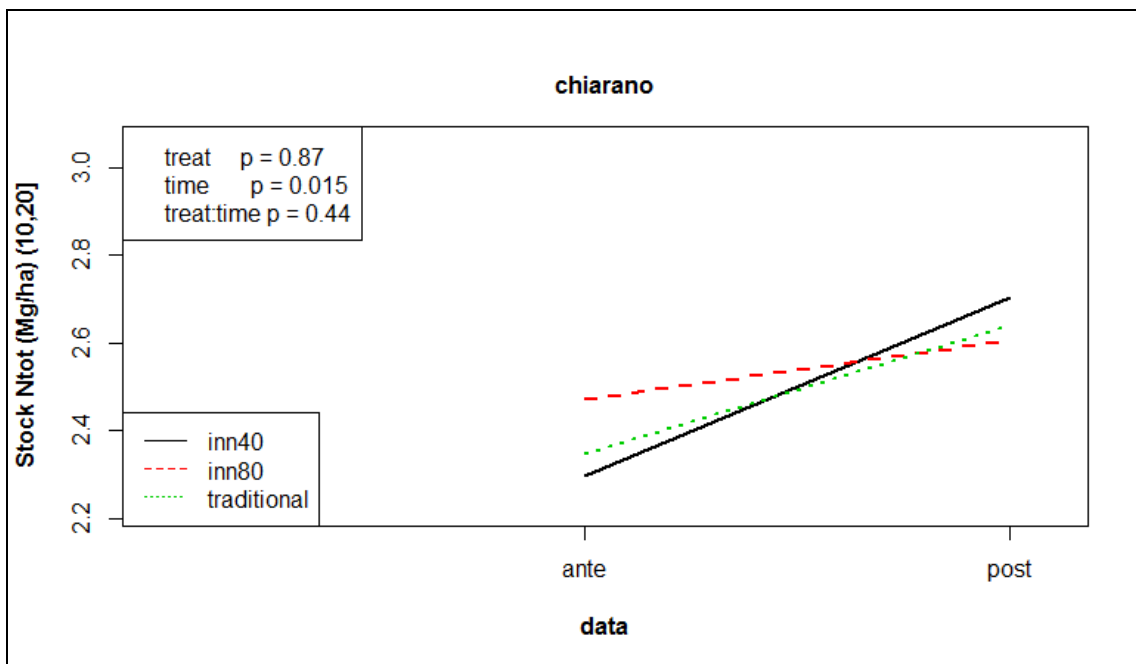


Fig. 4.18- ANOVA PLOT, stock Ntot (MgN ha^{-1}) ante-post tra 10-20 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

value dei diversi livelli)

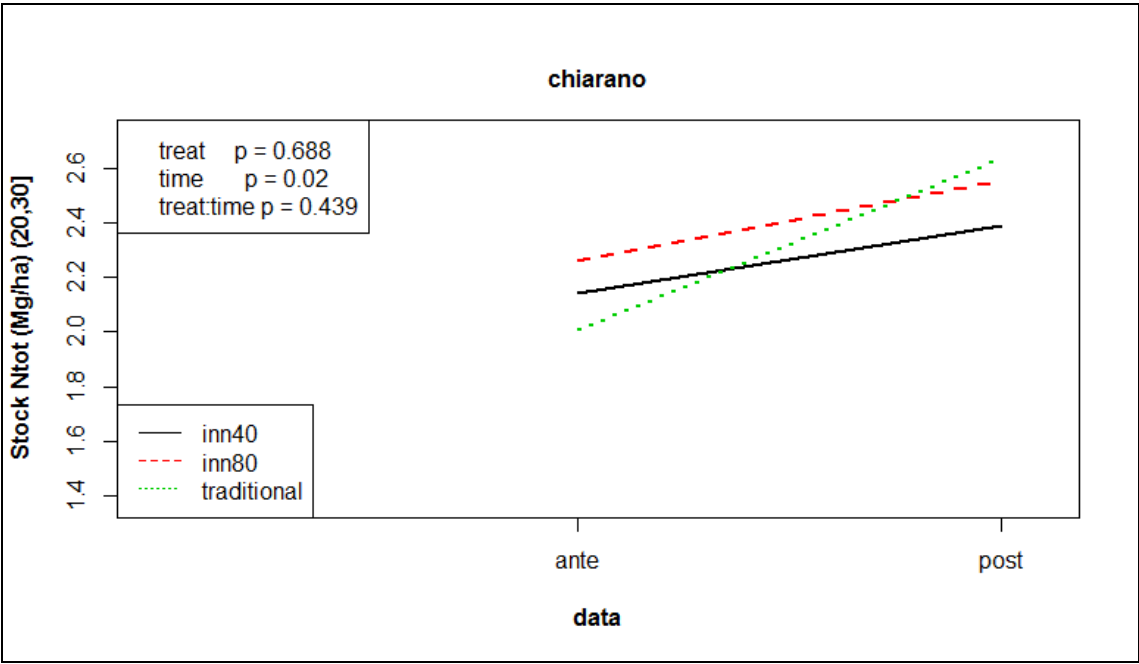


Fig. 4.19- ANOVA PLOT, stock Ntot (MgN ha^{-1}) ante-post tra 20-30 cm, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

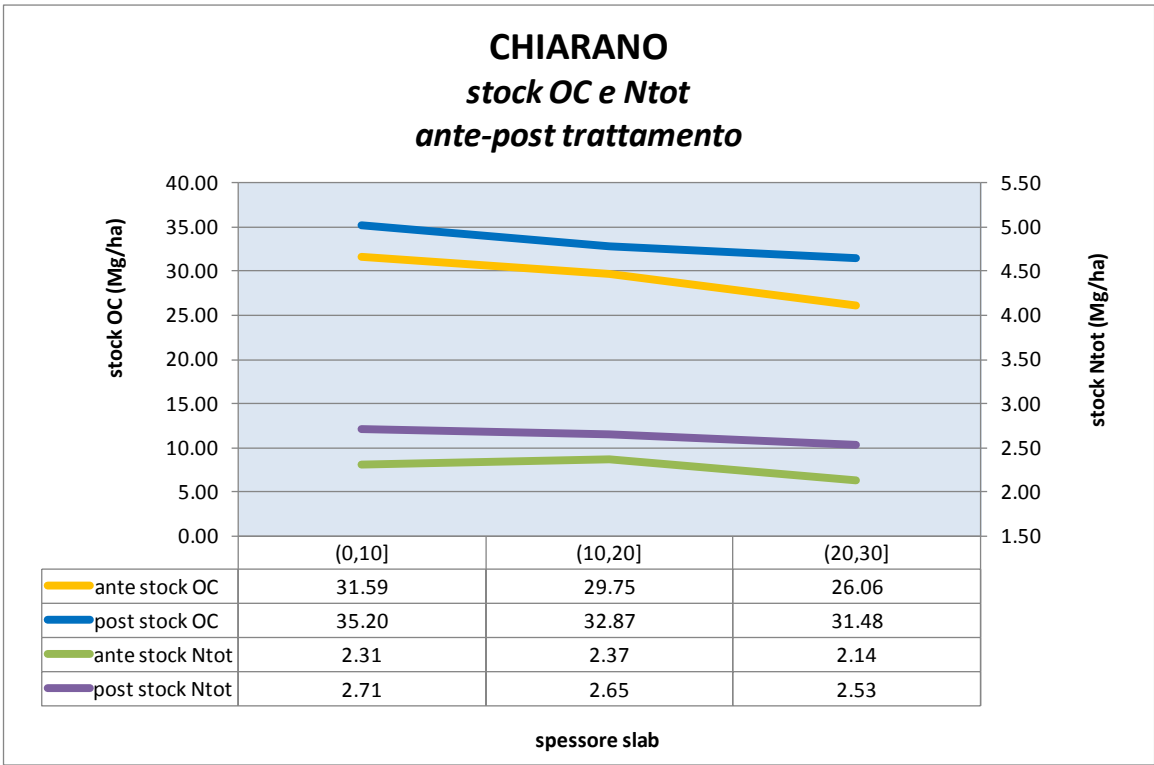


Fig. 4.20-Confronto tra gli andamenti ante post nel profilo dello stock di OC e Ntot a Chiarano.

MONGIANA

Nel sito di Mongiana l'analisi della varianza (Tab. 4.3- Analisi della varianza, Mongiana. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05) Tab. 4.3) mostra una unica differenza significativa che, come detto in precedenza, non riguarda l'effetto del trattamento rispetto al tempo ma solamente il fattore tempo. (Fig. 4.21).

variabile	spessore (cm)	P value			
		trattamento	data		data:trattamento
Bulk density (g cm-3)	(0-40]	0.389	0.102		0.772
	(0,20]	0.202	0.061		0.778
	(20-40]	0.614	0.01	*	0.878
C/N	(0-40]	0.832	0.649		0.674
	(0,20]	0.846	0.494		0.604
	(20-40]	0.889	0.819		0.302
% OC	(0-40]	0.258	0.992		0.199
	(0,20]	0.197	0.228		0.289
	(20-40]	0.397	0.06		0.14
% Ntot	(0-40]	0.418	0.843		0.254
	(0,20]	0.353	0.471		0.248
	(20-40]	0.52	0.221		0.415
stock OC (MgC ha-1)	(0-40]	0.691	0.403		0.284
	(0,20]	0.596	0.684		0.493
	(20-40]	0.803	0.121		0.141
stock Ntot (MgN ha-1a)	(0-40]	0.736	0.396		0.308
	(0,20]	0.7	0.5		0.372
	(20-40]	0.816	0.385		0.484

Tab. 4.3- Analisi della varianza, Mongiana. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05)

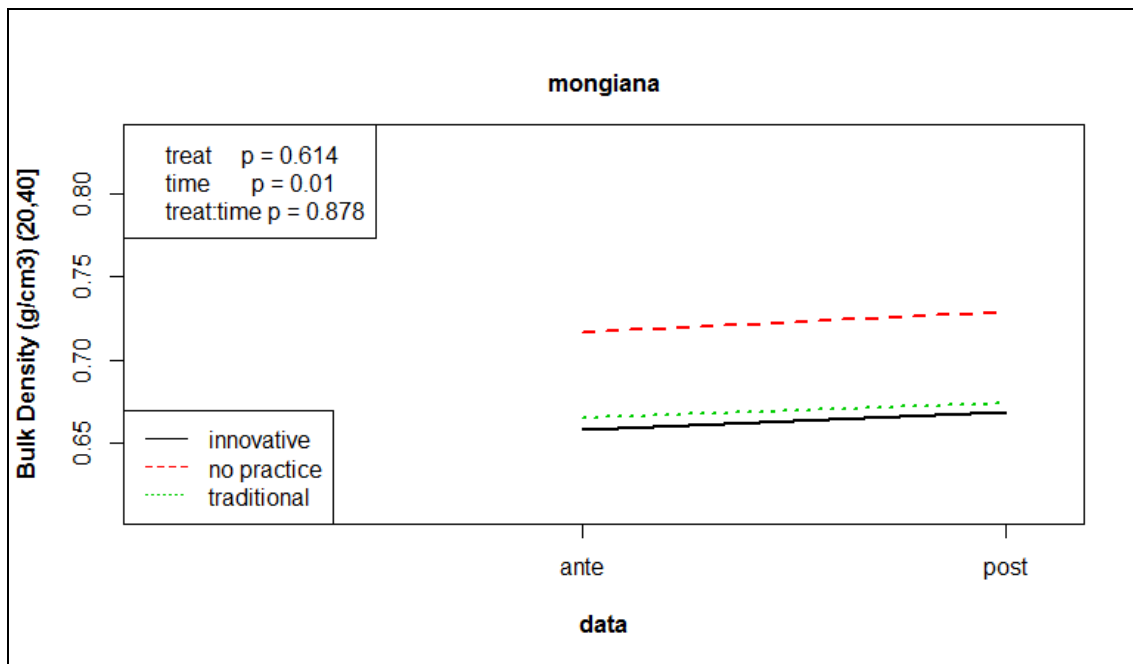


Fig. 4.21-ANOVA PLOT, Bulk density (g cm⁻³) ante-post tra 20-40 cm, Mongiana (in legenda i p value dei diversi livelli)

Come si evince dal grafico le differenze risultate significative sono nei valori assoluti molto esigue.

Forme di humus

Le forme di humus trovate

Nelle due campagne di campionamento è stata rilevata una vasta gamma di forme (Fig. 4.22), che comprende quasi tutti i Gruppi di Riferimento della Humus Reference proposti alla WRB-FAO (Jabiol et al., 2012). Tutte le forme trovate nei tre siti sono di tipo "Terroform", cioè mai sommerse e/o sature in acqua, se non per qualche giorno l'anno. Si trovano tutte su suoli moderatamente profondi in cui è sempre stato rilevato anche l'orizzonte minerale.

Nei siti di Cansiglio e Chiarano, dove la roccia madre è di tipo calcareo e il pH dell'orizzonte A misurato in campo è risultato da subacido a neutro, con valori compresi tra 5.5 e 6.7, le forme di humus trovate sono state tutte classificate come MULL o AMPHI. Nel sito di Mongiana formato da roccia silicatica invece, l'orizzonte organo-minerale (A, AE, E) dà una reazione da fortemente acida ad acida, con pH compresi tra 3.8 a 5.1 e tutte le forme trovate sono state classificate come MODER o MOR.

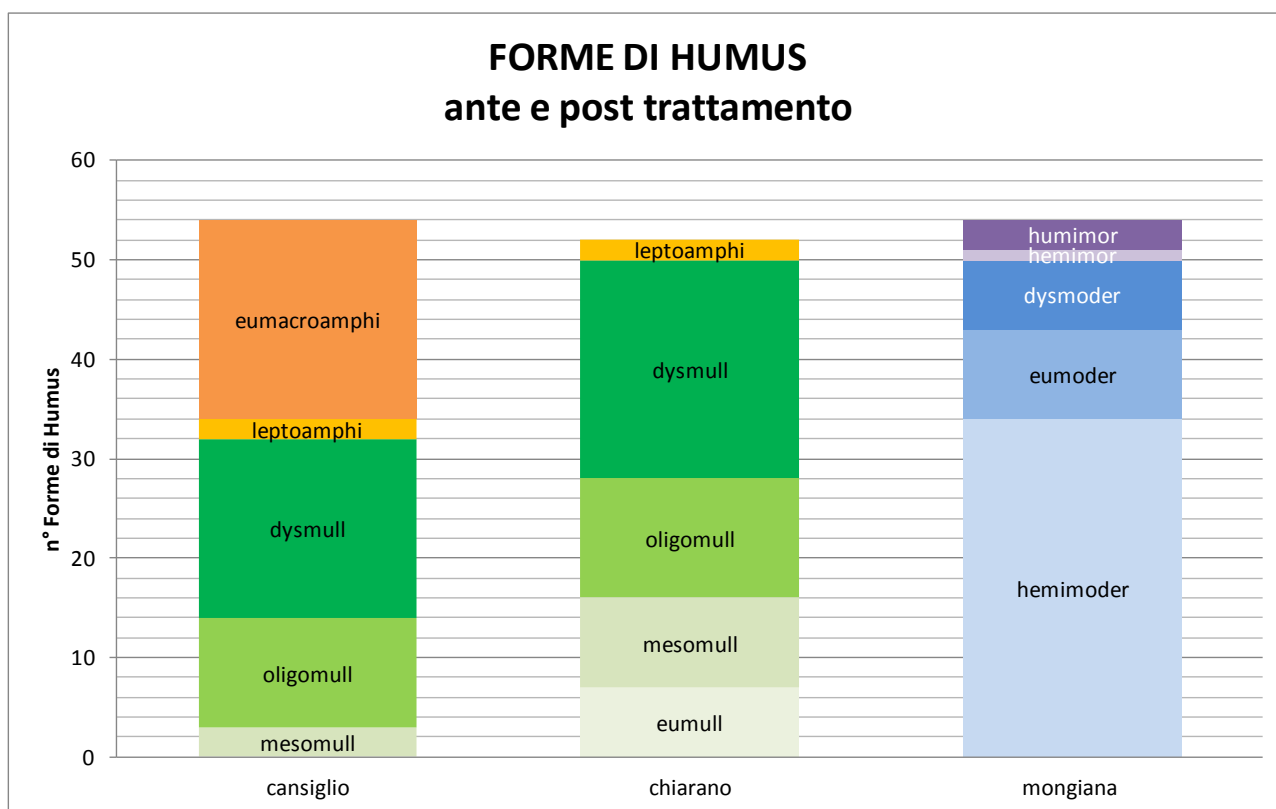


Fig. 4.22-Forme di humus rilevate nelle due campagne ante-post nei tre siti

Cansiglio

Le forme di humus rilevate al Cansiglio appartengono al gruppo dei MULL e degli AMPHI (Appendice B). Nella campagna ante trattamento, (Fig. 4.23) sono state trovati principalmente DYSMULL (12), ed EUMACROAMPHI (13) ed in misura minore OLIGOMULL (1) e LEPTOAMPHI (1). Nella campagna post (Fig. 4.24) le forme maggiormente rilevate sono invece OLIGOMULL (10), EUMACROAMPHI (7) e DYSMULL (6), con la presenza di MESOMULL (3) non rilevato nella campagna precedente ed infine una forma classificata come LEPTOAMPHI.

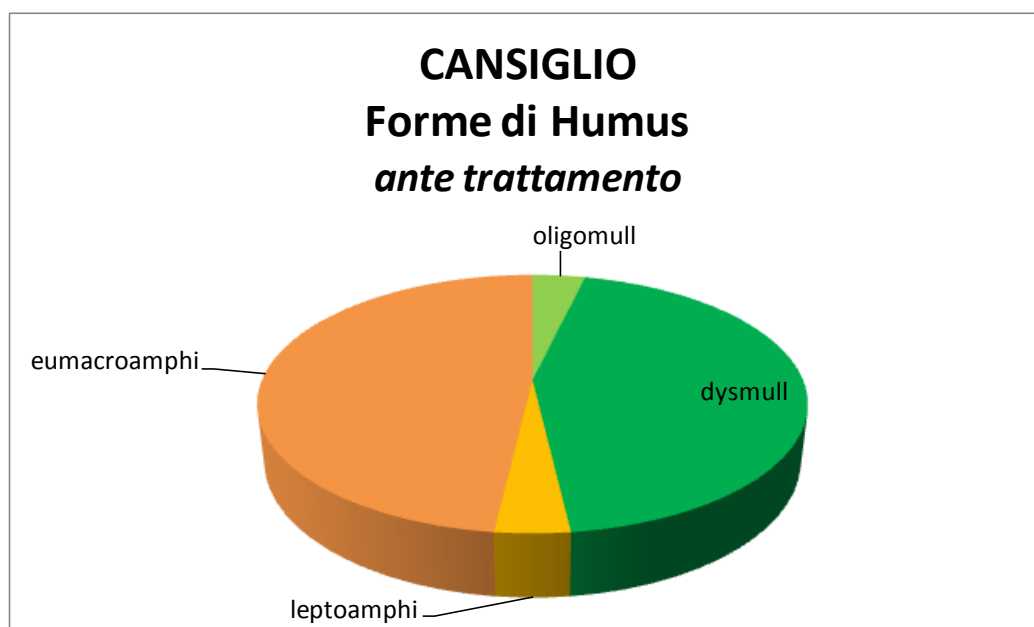


Fig. 4.23-Forme di humus rilevate nella campagna ante, Cansiglio

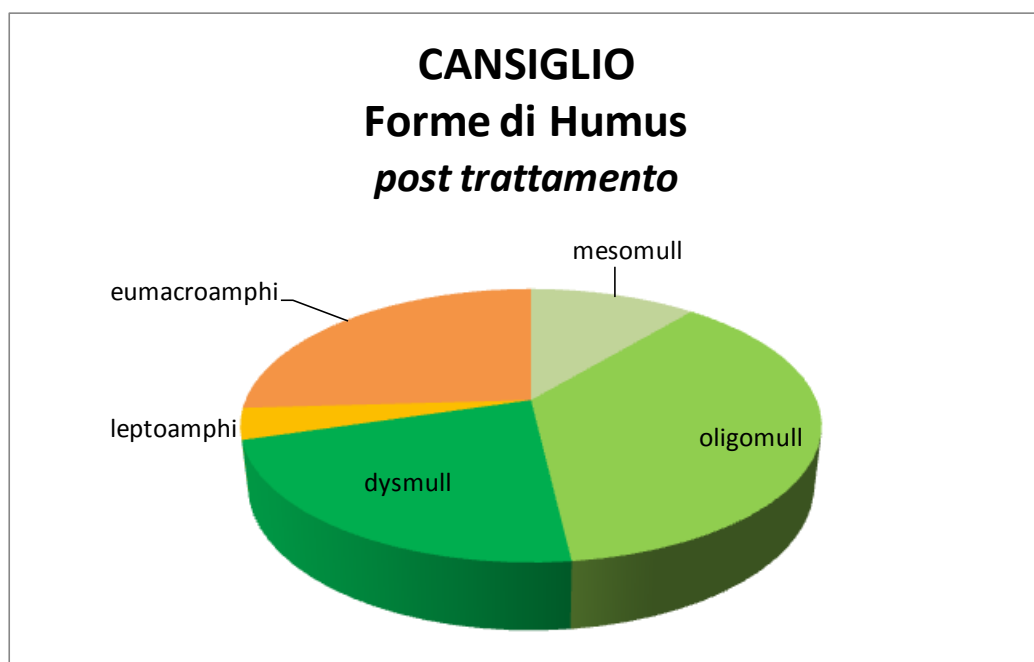


Fig. 4.24- Forme di humus rilevate nella campagna post, Cansiglio

Scendendo nel dettaglio del rilievo all'interno dei plot sottoposti allo stesso trattamento (Fig. 4.25), dalla campagna ante risulta una distribuzione non omogenea delle forme all'interno del sito, con una predominanza dei DYSMULL (circa l'80%) nei plot che sono stati successivamente sottoposti a trattamento innovativo e degli EUMACROAMPHI (circa il 70%) nei plot destinati al taglio tradizionale e al non trattamento. Nel campionamento post sono invece predominanti gli OLIGOMULL (circa il 50%) nei plot sottoposti a trattamento innovativo e tradizionale, mentre in quelli non trattati la forma di humus più frequente rimane l'EUMACROAMPHI. **Come si mostrerà in seguito, le differenze tra le forme, espresse dall'Humus Index, sono risultate significative all'analisi della varianza per quanto riguarda il fattore tempo.**

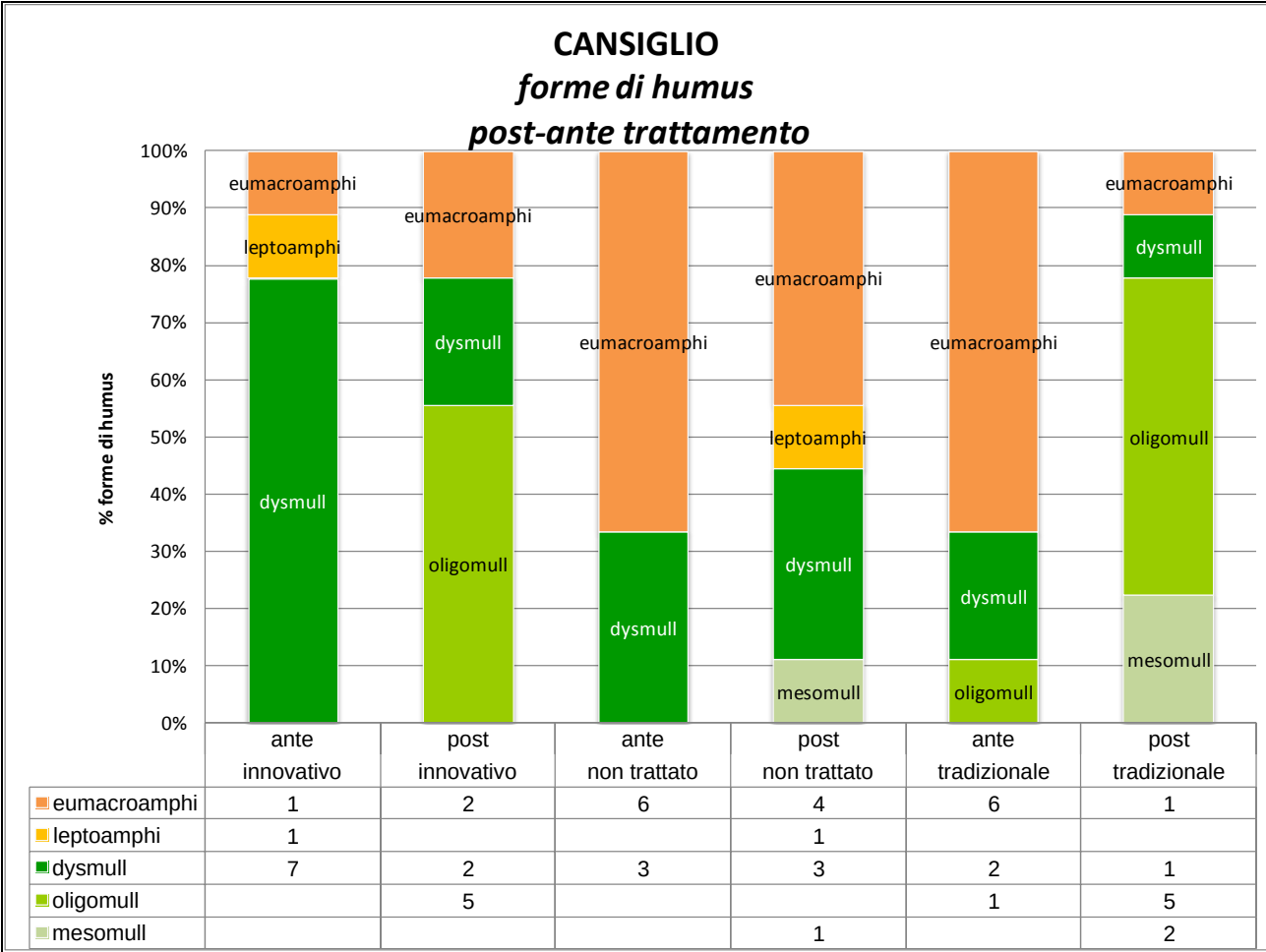


Fig. 4.25- Forme di humus rilevate nelle due campagne ante-post nei diversi trattamenti, Cansiglio

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTI DIAGNOSTICI

Gli orizzonti diagnostici determinanti le forme rilevate al Cansiglio sono molto omogenei per quanto riguarda le caratteristiche di struttura, reazione, pH e colore, mentre differiscono nello spessore:

- OL: orizzonte sempre presente; è suddiviso in OL_n costituito principalmente da foglie di faggio sciolte e non alterate dalla pedofauna e OL_v, a volte discontinuo, formato da foglie leggermente sbiancate, in pacchetti più o meno compatti e percorsi da ife, con la presenza di cupole, faggiole, perule. e piccoli rametti. Spesso al di sopra o all'interno dell'orizzonte è stata rilevata la presenza di coproliti di lombrichi anecici e gruppi di coproliti di artropodi. **Lo spessore varia da 1.5 cm fino a 5 cm e, come sarà illustrato in seguito, dall'analisi statistica della varianza (ANOVA) il rapporto tra lo spessore di OL e quello di tutti gli orizzonti organici OL/(OL+OF+OH) risulta significativo rispetto al fattore tempo.**
- OF: orizzonte non sempre presente e/o continuo; è costituito da frammenti di foglie sminuzzate, scheletrizzate e perule e da sostanza organica fine in cui si riconoscono coproliti di diversa misura (< 4mm). Nel maggior parte dei casi è percorso da una fitta rete di radici fini e da scarse radici medie. Lo spessore varia da 1 a 3 cm **e la differenza risulta statisticamente significativa rispetto al fattore tempo. Il rapporto tra lo spessore di OF e quello di tutti gli orizzonti organici OF/(OL+OF+OH) inoltre, risulta significativo rispetto al fattore trattamento:tempo.**
- OH: orizzonte non sempre presente e normalmente sottile, varia da 0.5 a 3 cm; si presenta come uno strato di sostanza organica fine al di sotto di OF in cui i residui riconoscibili sono pressoché assenti. Il limite con A è abrupto (< 5 mm). La struttura è granulare, priva di componente minerale e con colore (da umido) molto scuro e nero (5 YR 2/1, 7.5 YR 1.7/1).
- A: orizzonte sempre presente con spessore variabile da 2 a 12 cm; la struttura è di tipo biomacrostrutturato (> 4 mm), umido, con tessitura franco e franco limosa, scheletro fine e/o medio comune, radici fini da scarse a comuni, pH da 5.5 a 6.5, limite chiaro con B. Frequente la presenza di lombrichi anecici e endogei. Il colore è normalmente scuro (7.5 YR 2/2, 7.5 YR 2/3, 10 YR 2/3) e nelle aree carbonili assume un colore molto scuro, nero derivato dalla presenza di carbone (10 YR 2/2).

CARBONIO ORGANICO E AZOTO TOTALE

I risultati delle analisi chimiche di Carbonio organico (OC) (Fig. 4.26) e Azoto totale (Ntot) (Fig. 4.27) effettuate sui campioni provenienti dai diversi orizzonti rilevati in campo (tab appendice) mostrano per il Cansiglio dei valori medi differenti per ciascun orizzonte, con una diminuzione progressiva, con l'aumentare della profondità. L'orizzonte OL, il più ricco in sostanza organica ha valori molto simili nei campioni provenienti dalle due campagne ante e post con una media del 43% di OC e del 1,95% di Ntot (g/100 g di terra fine). I valori del rapporto C/N oscillano intorno a 23-28, un valore più basso rispetto ai valori solitamente indicati in letteratura per la lettiera del faggio C/N=45, (Zanella et al., 2001) è probabilmente dovuto alla presenza dell'orizzonte OLv e non solo a OLn di lettiera fresca.

Negli orizzonti OF e OH le variabili hanno un comportamento differente: nel passare dalla fase ante alla fase post, la % OC aumenta leggermente mentre % Ntot diminuisce; questo comporta un leggero aumento anche del C/N nei due orizzonti (Fig. 4.28). L'analisi della varianza su queste variabili non è possibile, essendo la loro presenza troppo sporadica. Anche i valori dell'orizzonte A risultano differenti tra ante e post ed in particolare la % di OC resta simile mentre quella di azoto diminuisce in maniera statisticamente significativa, come si illustrerà in seguito.

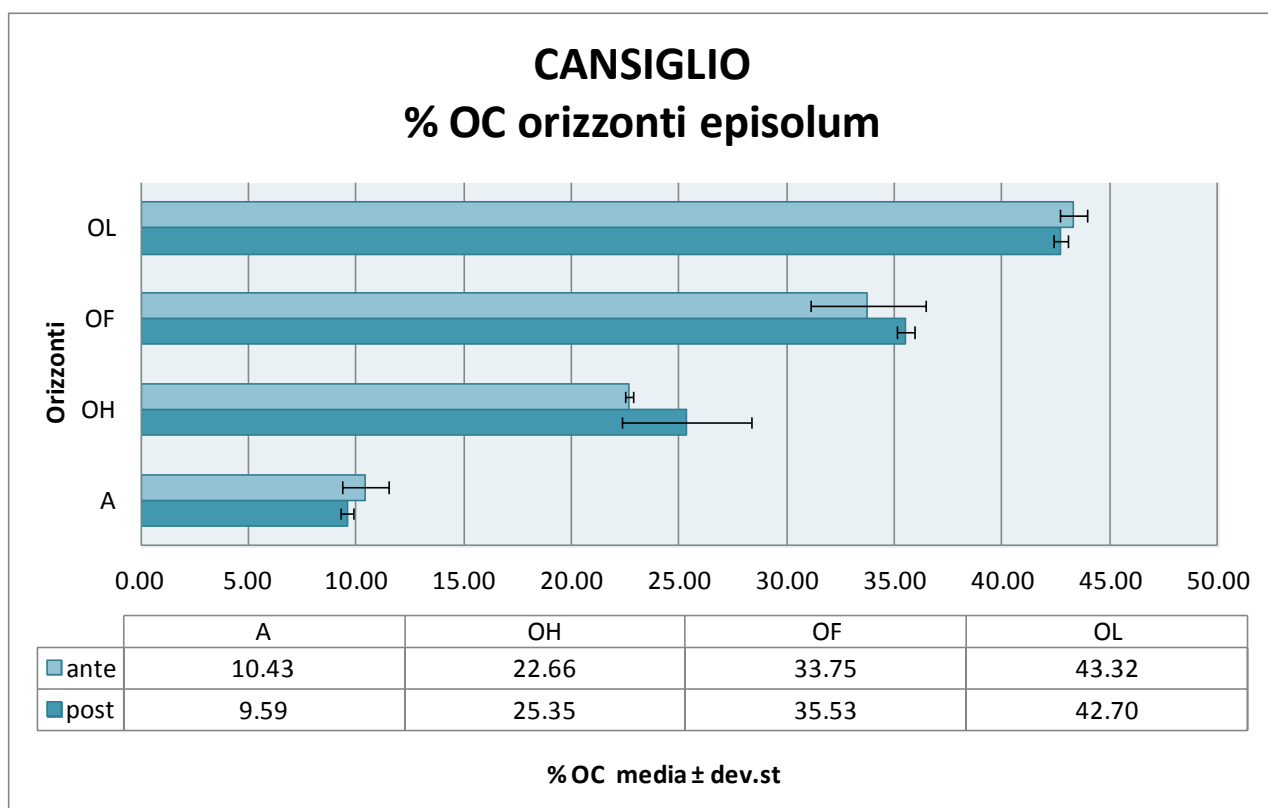


Fig. 4.26- % OC negli orizzonti dell'episolum nelle due campagne ante-post, Cansiglio

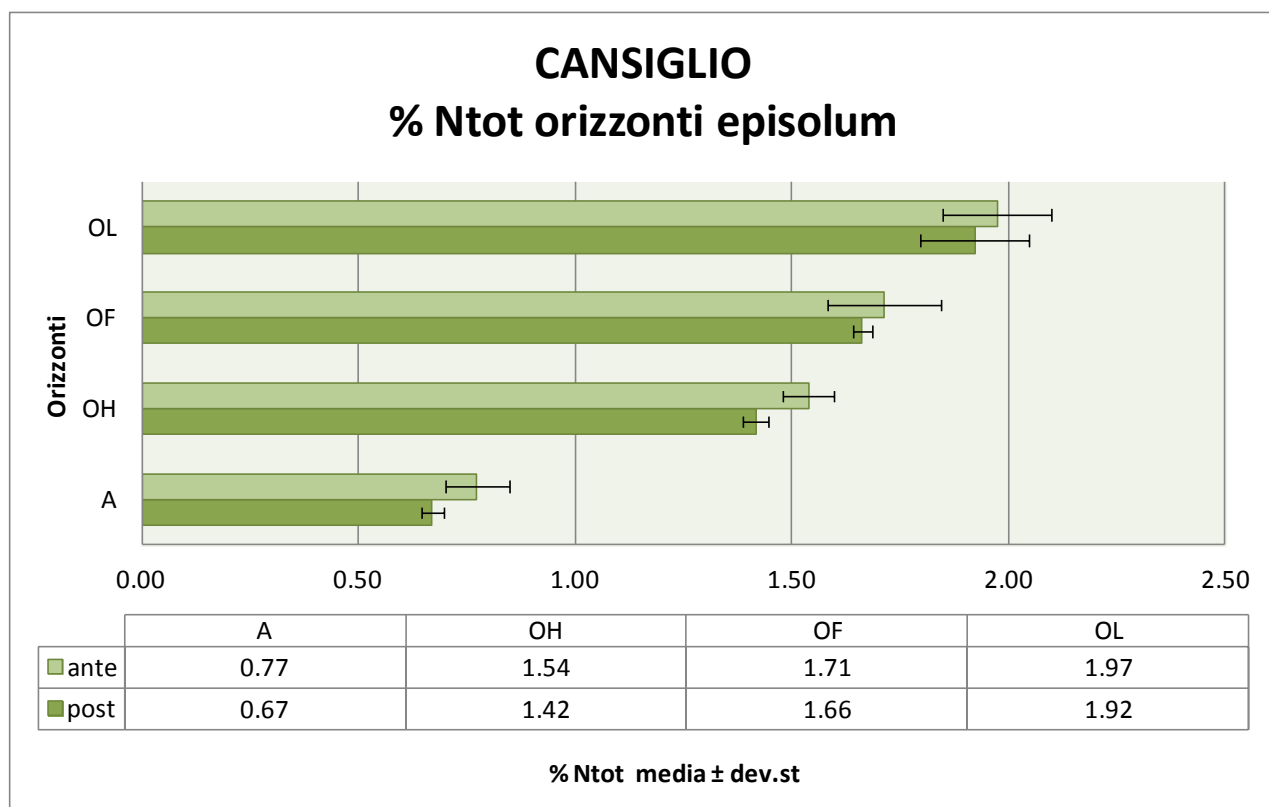


Fig. 4.27- % Ntot negli orizzonti dell'episolum nelle due campagne ante-post, Cansiglio

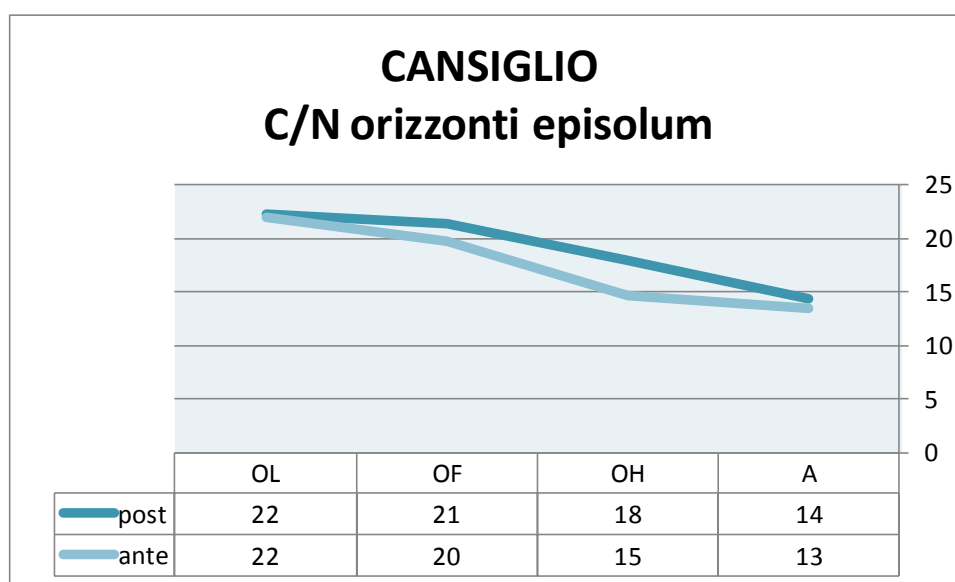


Fig. 4.28- Andamento negli orizzonti dell'episolum di C/N nelle due campagne ante-post, Cansiglio

Chiarano

Le forme di humus rilevate a Chiarano appartengono principalmente al gruppo dei MULL, con la presenza sporadica di forme AMPHI (Appendice B). Nella campagna ante trattamento (Fig. 4.29), sono state trovati principalmente DYSMULL (11), ed in misura minore OLIGOMULL (5), MESOMULL (4), EUMULL(4), un LEPTOAMPHI e un EUMACROAMPHI. Nella campagna post trattamento (Fig. 4.30) la presenza/abbondanza di ciascuna forma rimane pressoché la stessa con una predominanza delle forme DYSMULL (11), e a seguire OLIGOMULL (7), MESOMULL (5) ed EUMULL(3) ed infine una forma classificata come LEPTOAMPHI ed una come EUMACROAMPHI.

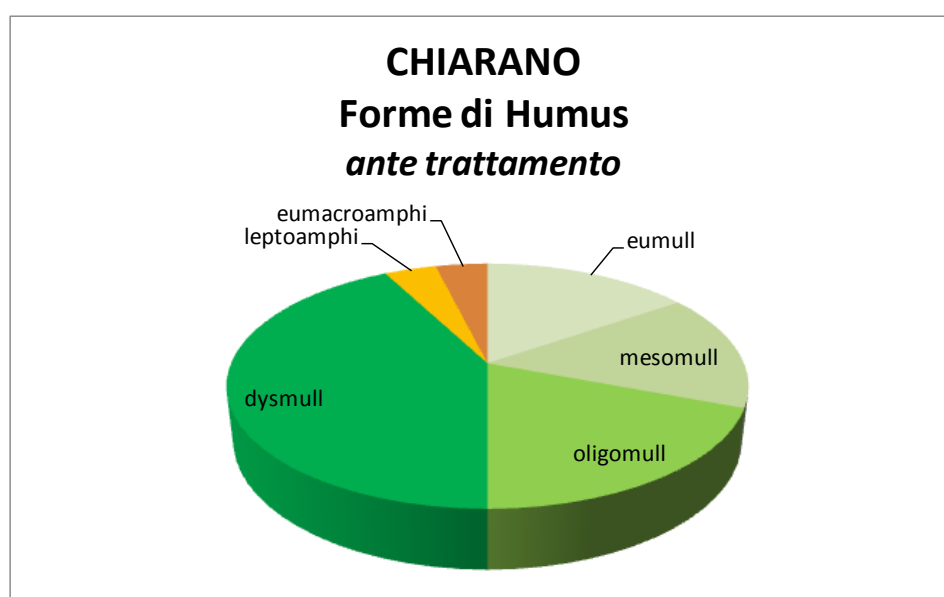


Fig. 4.29-Forme di humus rilevate nella campagna ante, Chiarano

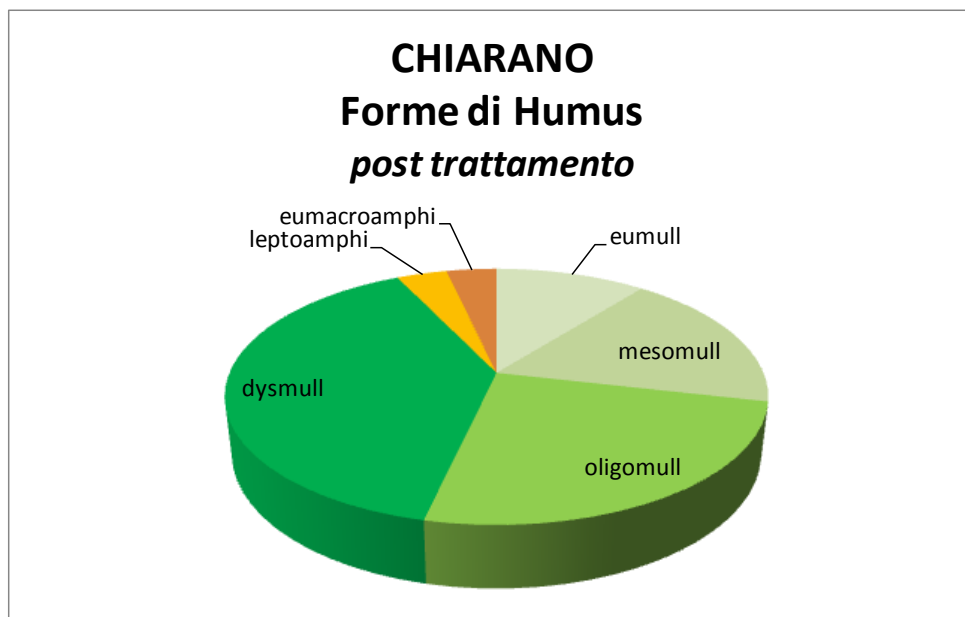


Fig. 4.30-Forme di humus rilevate nella campagna post, Chiarano

Considerando le forme rilevate all'interno dei plot sottoposti allo stesso trattamento (Fig. 4.31), dal campionamento ante risulta una distribuzione abbastanza omogenea delle forme all'interno del sito, che riflette le condizioni stazionarie (pendenza, esposizione, quota) anch'esse omogenee. Anche nel campionamento post trattamento la distribuzione è molto simile a quella rilevata in precedenza, con una predominanza dei DYSMULL presenti in tutto il sito e delle altre forme di MULL presenti in almeno quattro delle sei repliche. Le forme AMPHI invece sono più sporadiche.

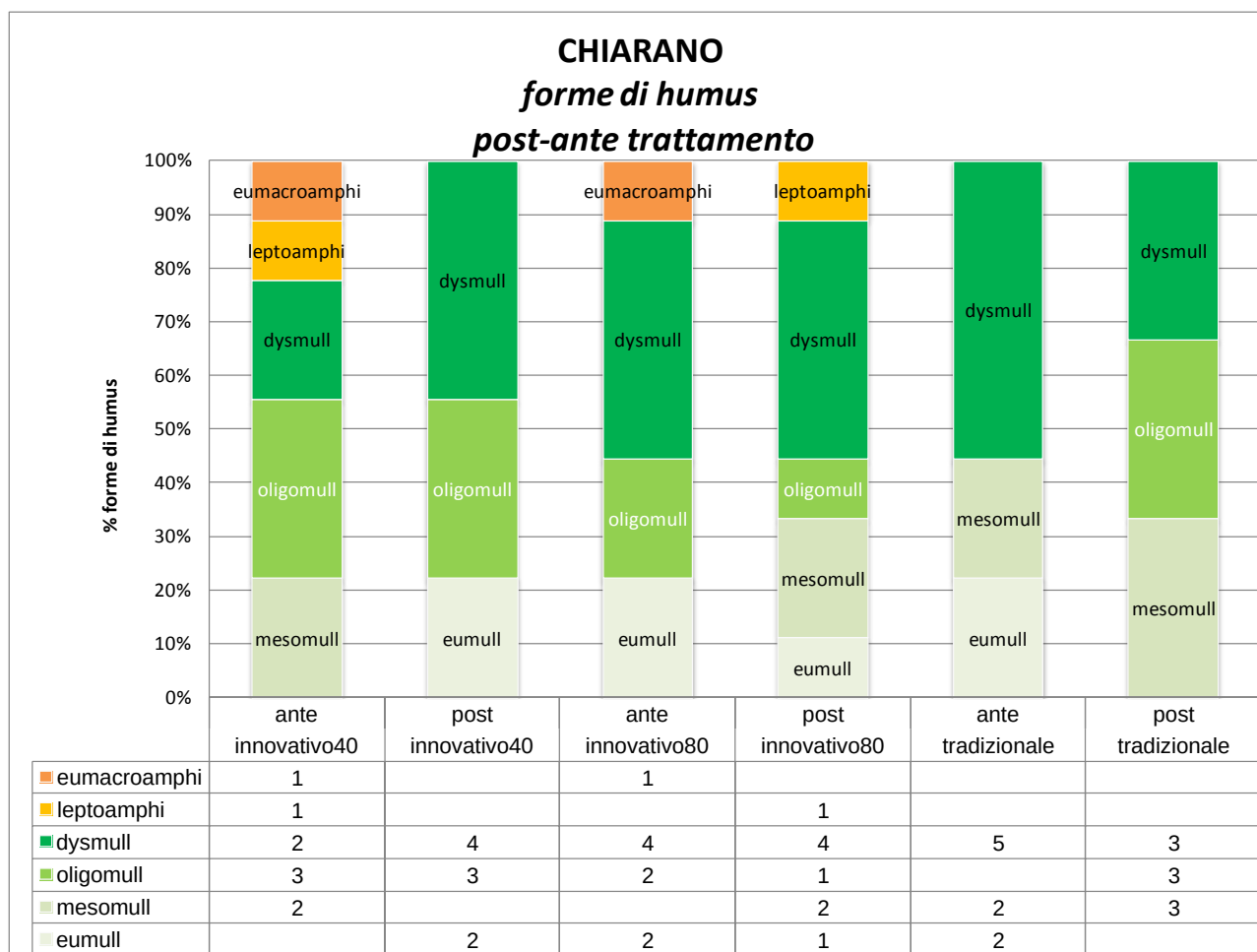


Fig. 4.31- Forme di humus rilevate nelle due campagne ante-post nei diversi trattamenti, Chiarano

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTI DIAGNOSTICI

Come per il Cansiglio gli orizzonti diagnostici determinanti le forme rilevate al Chiarano sono molto omogenei per quanto riguarda le caratteristiche di struttura, reazione, pH e colore, mentre differiscono nello spessore:

- OL: ha uno spessore che va da 1 cm fino a 7 cm ed è sempre presente il sottorizzonte OL_n costituito principalmente da foglie di faggio sciolte e non alterate dalla pedofauna. OL_v, a volte in tasche, a volte molto spesso (fino a 5 cm), è formato da foglie sbiancate, scheletrizzate e in pacchetti più o meno compatti e percorsi da ife, con la presenza di cupole, faggiole, perule e piccoli rametti. Frequente la presenza di coproliti di lombrichi anecici e gruppi di coproliti di artropodi tra gli strati formati dai pacchetti di foglie incollate.
- OF: ha uno spessore variabile da 1 a 3 cm e non sempre è presente e/o continuo. Sono abbondanti i frammenti di foglie sminuzzate, scheletrizzate e perule e coproliti di lombrichi anecici oltre alla sostanza organica fine in cui si riconoscono coproliti di diversa misura (< 4mm). In alcuni casi è percorso da una fitta rete di radici fini e da ife fungine.
- OH: presente soltanto in 4 rilievi (su 54) con uno spessore che varia da 0.5 a 2 cm. Si presenta come un sottile strato di sostanza organica e polverosa al di sotto di OF in cui i residui riconoscibili sono pressoché assenti. Il limite con A è abrupto (< 5 mm). La struttura è granulare, priva di componente minerale e con colore (da umido) molto scuro e nero (5 YR 2/1, 5YR 1.7/1, 7.5YR 1.7/1).
- A: orizzonte sempre presente con spessore molto variabile. **Nei campionamenti ante e post, come verrà illustrato in seguito, la differenza dello spessore medio, che tende ad aumentare nel post, è risultata statisticamente significativa (ANOVA) per quanto riguarda il fattore tempo.** La struttura è di tipo biomacrostrutturato (> 4 mm) e nei rilievi in cui l'orizzonte è più spesso, col crescere della profondità la struttura tende verso una maggiore somiglianza con quella tipica dell'orizzonte B di tipo poliedrico subangolare. Si presenta umido, con tessitura franco limosa, scheletro fine e/o medio da scarso a comune, radici fini da scarse a comuni, pH da 5.7 a 6.1, limite da chiaro a diffuso con B. Frequente la presenza di lombrichi anecici e endogei. Il colore è normalmente scuro (7.5 YR 2/2, 7.5 YR 2/3, 7.5 YR 3/2, 10 YR 2/3) e nelle aree carbonili assume un colore molto scuro e nero derivato dalla presenza di carbone (10 YR 2/2, 7.5YR 1.7/1).

CARBONIO ORGANICO E AZOTO TOTALE

I risultati delle analisi del Carbonio organico (Fig. 4.32) e Azoto totale (Fig. 4.33) effettuate sui campioni provenienti dai diversi orizzonti rilevati in campo (Appendice B) mostrano per Chiarano delle differenze dei valori medi tra i due campionamenti ante e post. **Nell'orizzonte OL, risulta una diminuzione statisticamente significativa del carbonio organico e dell'azoto totale.** Questo comporta un aumento del rapporto C/N che va da 24 a 28 (Fig. 4.34).

L'orizzonte OF ha una variazione simile ad OL con una diminuzione del carbonio ed un aumento dell'azoto, mentre in OH il valore medio del carbonio rimane circa costante e quello dell'azoto diminuisce. A queste due variabili non può essere applicata l'analisi della varianza a causa dell'incompletezza dei dati. Infine nell'orizzonte A i valori di carbonio leggermente più bassi per il carbonio e più alti per l'azoto non risultano significativamente diversi tra ante e post.

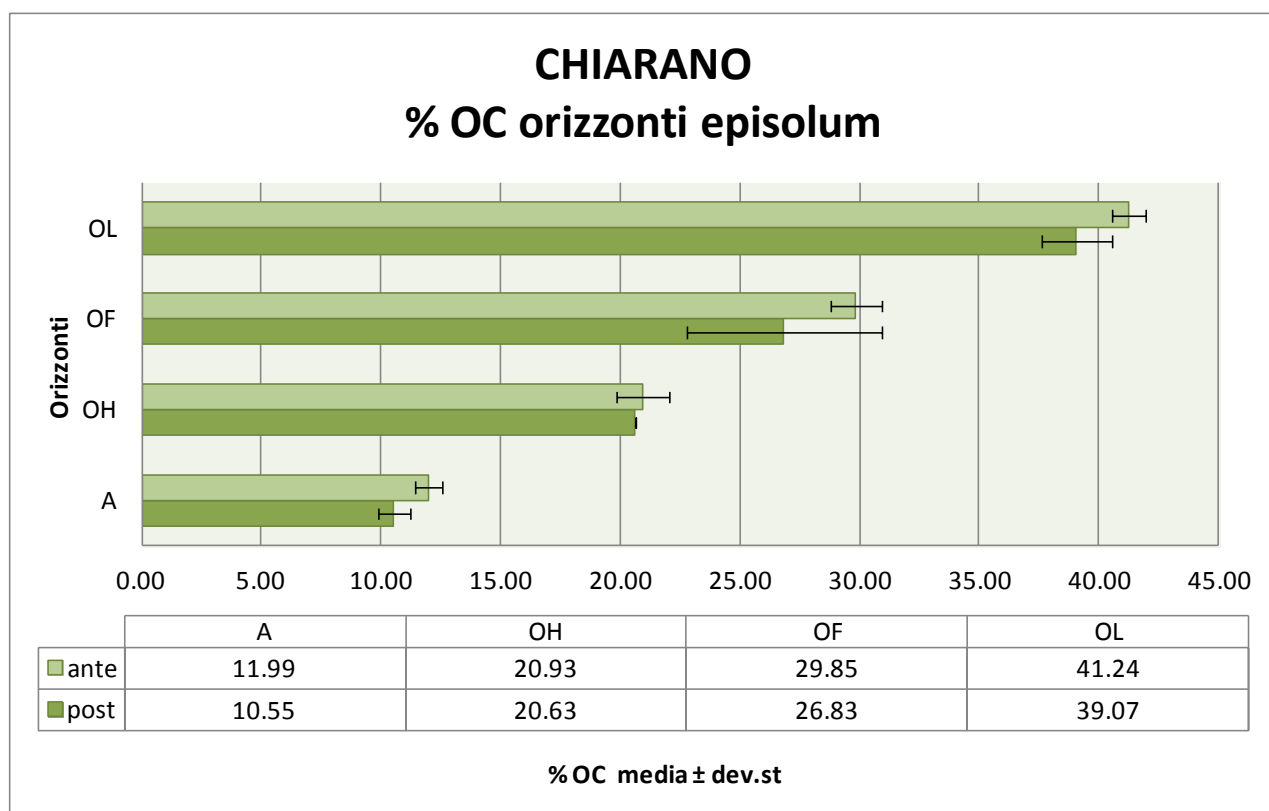


Fig. 4.32- % OC negli orizzonti dell'episolum nelle due campagne ante-post, Chiarano

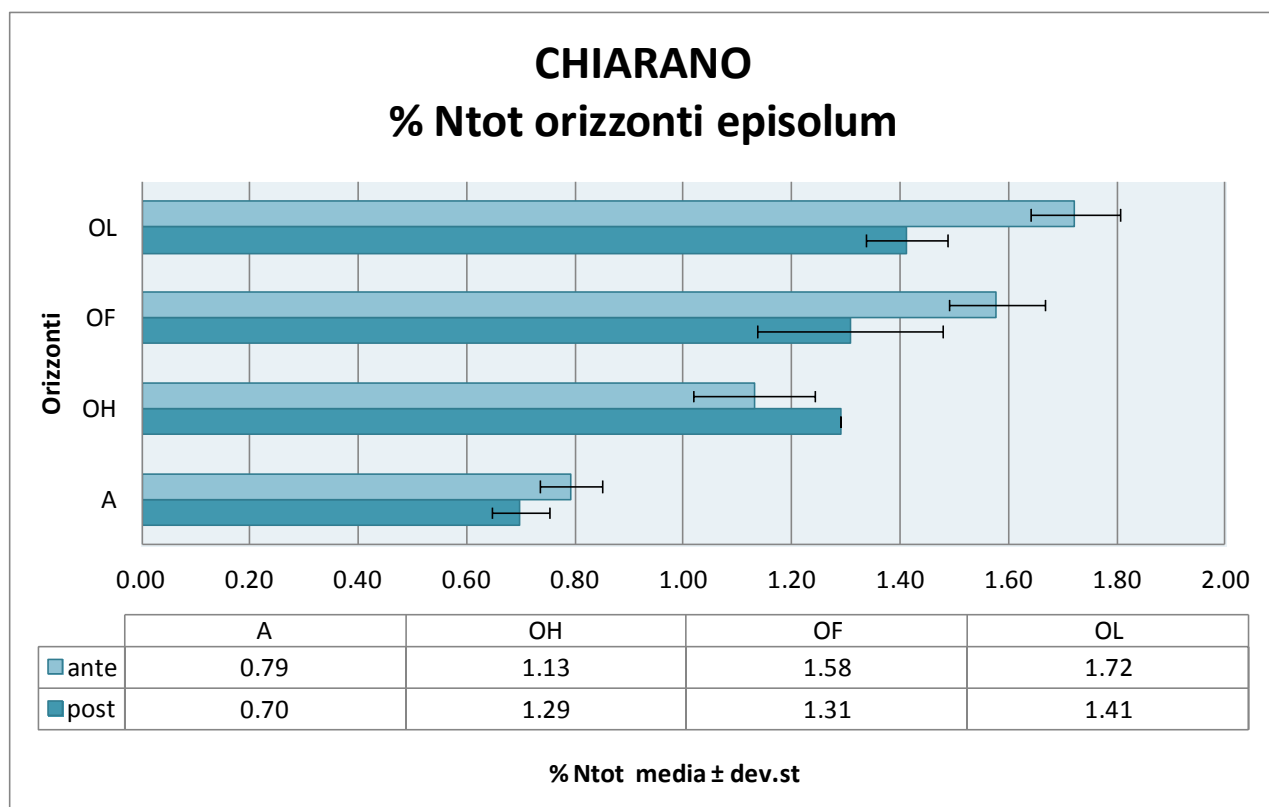


Fig. 4.33- % Ntot negli orizzonti dell'episolum nelle due campagne ante-post, Chiarano

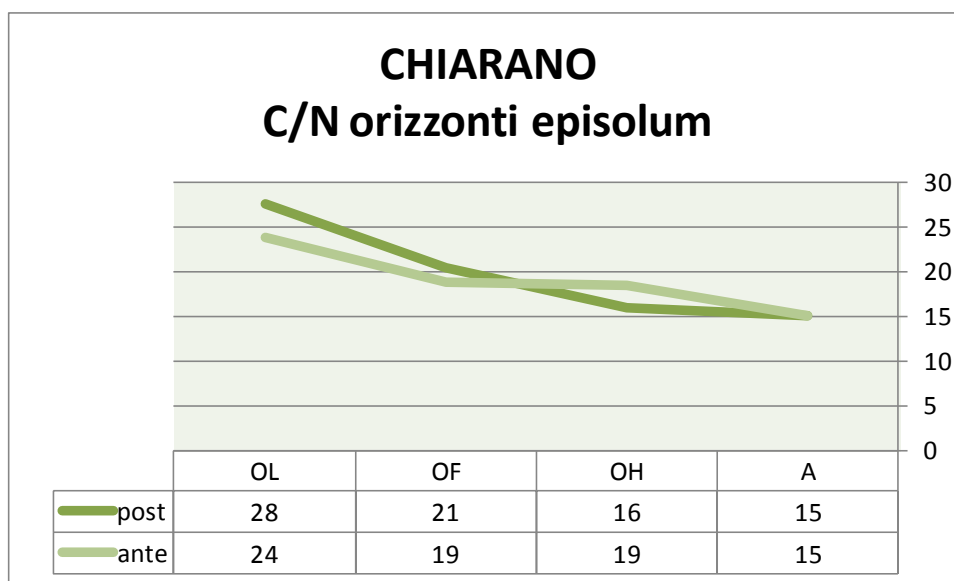


Fig. 4.34 - Andamento negli orizzonti dell'episolum di C/N nelle due campagne ante-post, Chiarano

Mongiana

A differenza di Cansiglio e Chiarano le forme di humus rilevate al Mongiana appartengono principalmente al gruppo dei MODER, con la presenza sporadica di forme MOR (Appendice B). Sia nella campagna ante trattamento, (Fig. 4.35, Fig. 4.23) che in quella post (Fig. 4.36) la forma di humus predominante è l'HEMIMODER (rispettivamente 18 e 16) ed in misura minore EUMODER (4, 5) e DYSMODER (2,5). Soltanto 4 rilievi (su 54) sono stati attribuiti a forme di HEMIMOR e HUMIUMOR

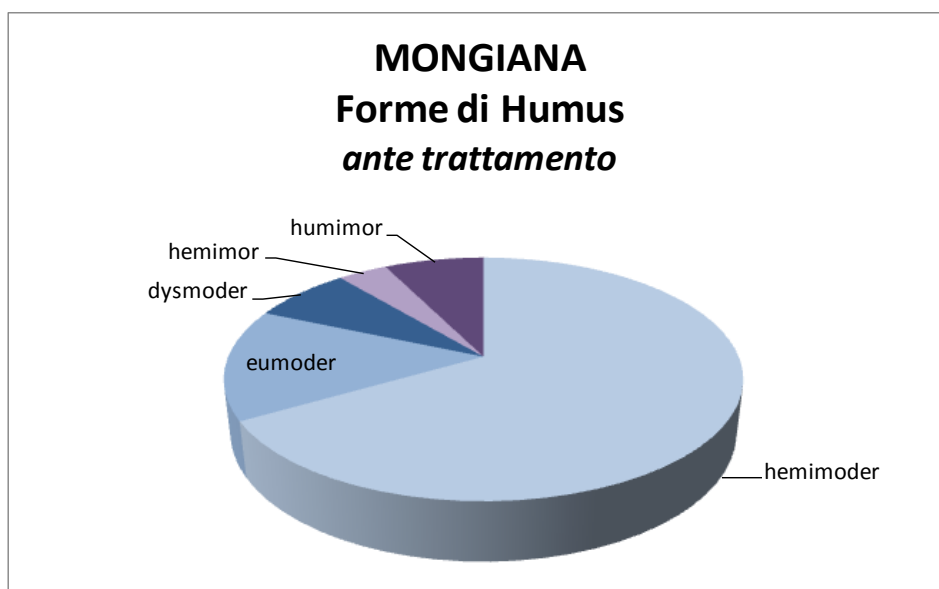


Fig. 4.35 - Forme di humus rilevate nella campagna ante, Mongiana

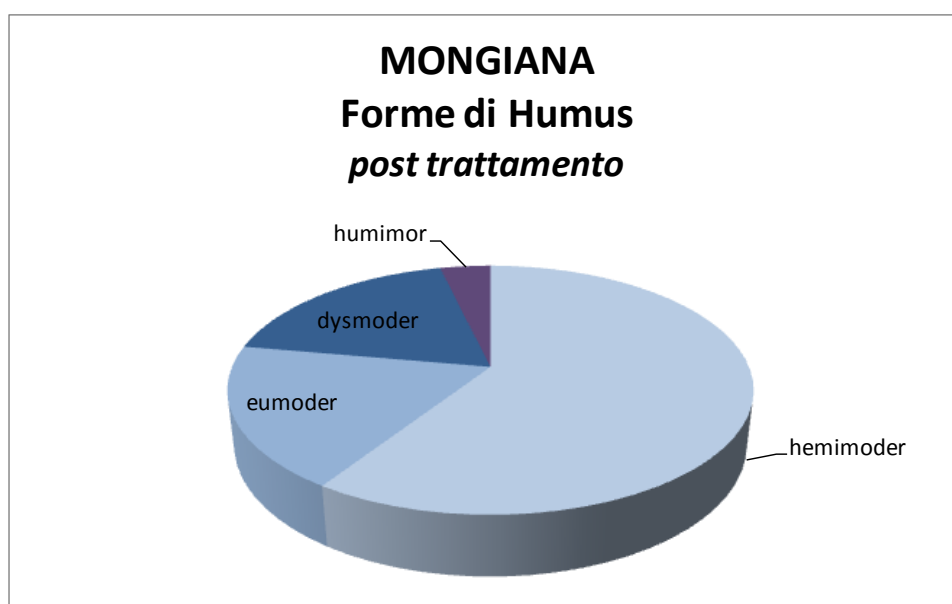


Fig. 4.36- Forme di humus rilevate nella campagna post, Mongiana

Lo studio della distribuzione delle forme rilevate all'interno dei sito (Fig. 4.37), rivela una predominanza sia nella campagna ante che in quella post, degli HEMIMODER, quasi totale nei plot sottoposti a trattamento innovativo, e di circa il 60% in quelli sottoposti a trattamento tradizionale. All'interno dei plot non sottoposti a trattamento oltre agli HEMIMODER hanno la loro importanza numerica anche le forme EUMODER (circa il 30%) con la presenza minore di forme DYSMODER. Nei plot sottoposti a trattamento tradizionale infine c'è la presenza esclusiva delle forme di HUMIMOR.

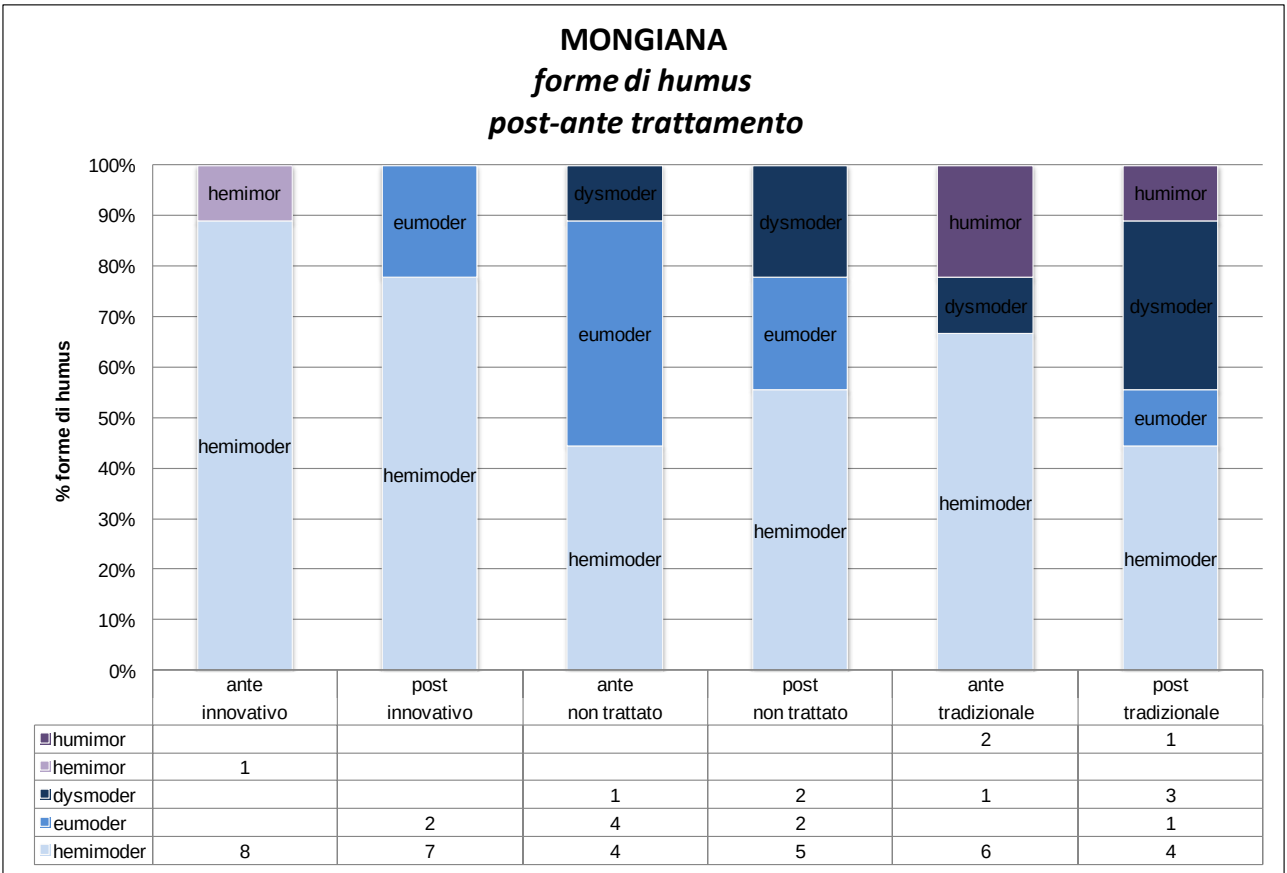


Fig. 4.37- Forme di humus rilevate nelle due campagne ante-post nei diversi trattamenti, Mongiana

CARATTERISTICHE DEGLI ORIZZONTI DIAGNOSTICI

A differenza di Cansiglio e Chiarano, gli orizzonti diagnostici, in particolare gli orizzonti OH e l'orizzonte organo-minerale a Mongiana hanno delle caratteristiche differenti tra loro, per quanto riguarda struttura, pH, colore e spessore, passando da forme MODER a forme MOR:

- OL: ha uno spessore elevato che va da 3 cm fino a 8 cm e nei campionamenti ante e post, come verrà illustrato in seguito, **la differenza dello spessore medio, che tende ad aumentare nel post, è risultata statisticamente significativa (ANOVA) tra i trattamenti rispetto al tempo.** Il sottorizzonte OLn è sempre presente (dai 2 a 4 cm) e costituito principalmente da foglie di faggio e sporadici aghi di abete bianco (*Abies alba*) non alterati dalla pedofauna. OLv molto spesso (fino a 5 cm) è formato da foglie sbiancate, moderatamente sminuzzate e fortemente incollate in pacchetti ricchi di ife e muffe. In alcuni casi, nelle zone maggiormente aperte del bosco, l'orizzonte è formato anche da foglie di graminacee, cyperacee e *Vinca sp.* oppure in zone particolarmente umide, le foglie più o meno frammentate poggiano su un tappeto di muschi.
- OF: ha uno spessore variabile da 1 a 5 cm ed è sempre presente. **Dall'analisi statistica della varianza (ANOVA) il rapporto tra lo spessore di OF e quello di tutti gli orizzonti organici OL/(OL+OF+OH) risulta significativo rispetto al fattore tempo.** In questo orizzonte sono abbondanti i frammenti di foglie sminuzzate, scheletrizzate, cupole, faggiole, perule, gli aghi di abete e piccoli rametti. All'interno della struttura friabile si riconoscono coproliti, solitamente in gruppo di diversa misura (< 4mm) . Nella maggior parte dei casi è totalmente pervaso da una fitta rete di radici fini e da ife fungine polverose al tatto e grigiastre alla vista.
- OH: ha uno spessore che varia da 0.3 a 5 cm. Si presenta come uno strato di sostanza organica polverosa al di sotto di OF, in cui i residui riconoscibili sono pressoché assenti. E' ricco di componente minerale sciolta, soprattutto quarzo. Nelle forme MOR il limite con l'orizzonte sottostante E (o AE) è abrupto (< 5 mm), Nelle forme MODER la sostanza organica scura sembra "colare" nell'orizzonte sottostante, normalmente costituito da un A. Il colore è da molto scuro a nero (5 YR 1.7/1, 7.5YR 1.7/1).
- A: orizzonte con spessore da 1 a 15 cm. La struttura è di tipo biomicrostrutturato (> 4 mm) e in alcuni casi "single grain" con presenza di granuli minerali sciolti, secco al tatto. La tessitura è franco, franco limosa e franco sabbiosa, lo scheletro fine e/o medio da comune ad abbondante, presenza di radici fini abbondanti, pH da 4.5 a 5.1, limite da chiaro a diffuso

con B o E. Sporadica la presenza di lombrichi endogei. Il colore è normalmente bruno e bruno scuro (7.5 YR 3/2, 7.5 YR 2/2, 10 YR 2/2).

- E: orizzonte di eluviazione, chiaro (7.5 YR 4/4) presente principalmente nelle forme di humus MOR, in cui il limite con l'orizzonte OH superiore è abrupto (< 5 mm) e pH da 3.8 a 4.6. Il limite con l'orizzonte inferiore B è chiaro, la tessitura è franco, franco limosa e franco sabbiosa, lo scheletro fine e/o medio da comune ad abbondante, scarsa la presenza di radici.

CARBONIO ORGANICO E AZOTO TOTALE

I risultati delle analisi del Carbonio organico (Fig. 4.38) e Azoto totale (Fig. 4.39) effettuate sui campioni provenienti dai diversi orizzonti rilevati in campo (Appendice B) mostrano per Mongiana dei valori medi di poco più bassi tra il campionamento ante e quello post. L'unica differenza sostanziale si riscontra nell'**orizzonte OL**, in cui risulta secondo il fattore tempo una **diminuzione statisticamente significativa del dell'azoto totale**, mentre il **carbonio organico rimane invariato**. Questo comporta un **aumento del rapporto C/N** (Fig. 4.40) dell'**orizzonte OL** che va da 22 a 27, anch'essa risultata significativa rispetto al fattore tempo.

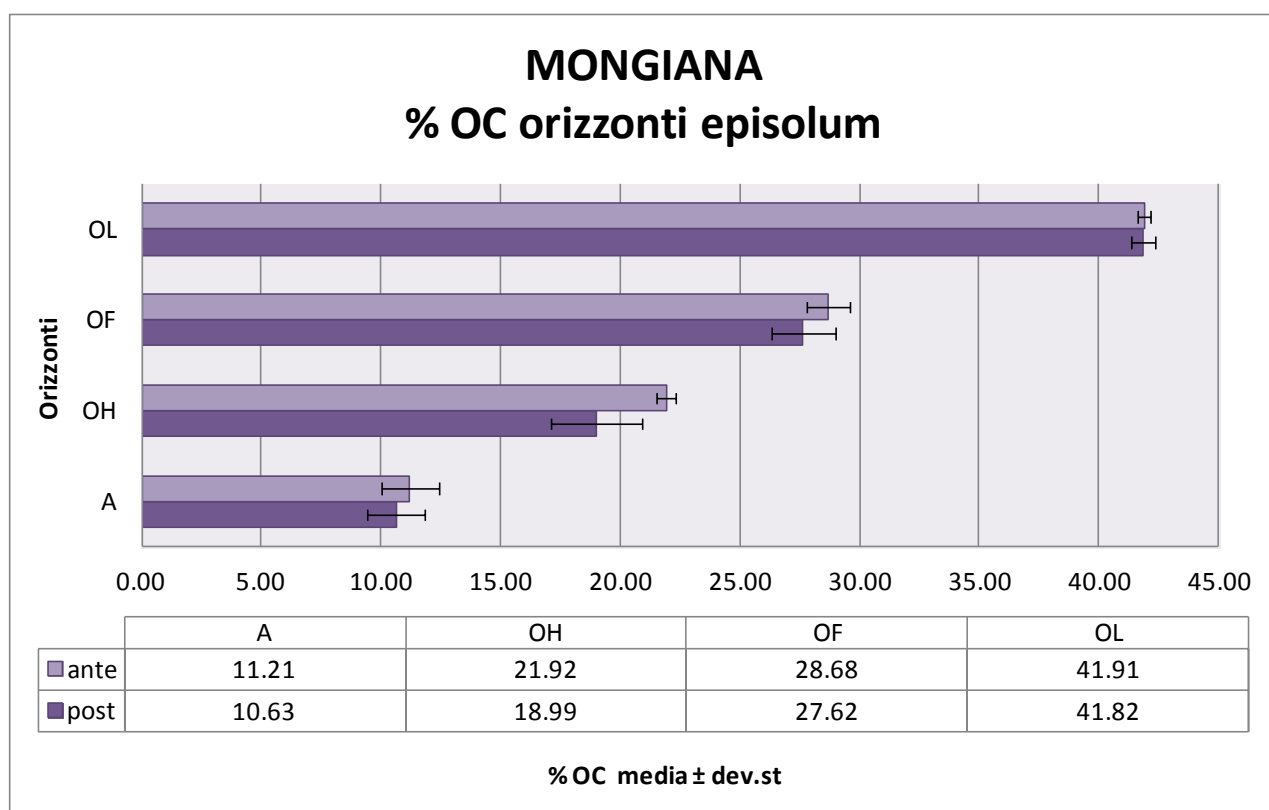


Fig. 4.38- % OC negli orizzonti dell'episolum nelle due campagne ante-post, Mongiana

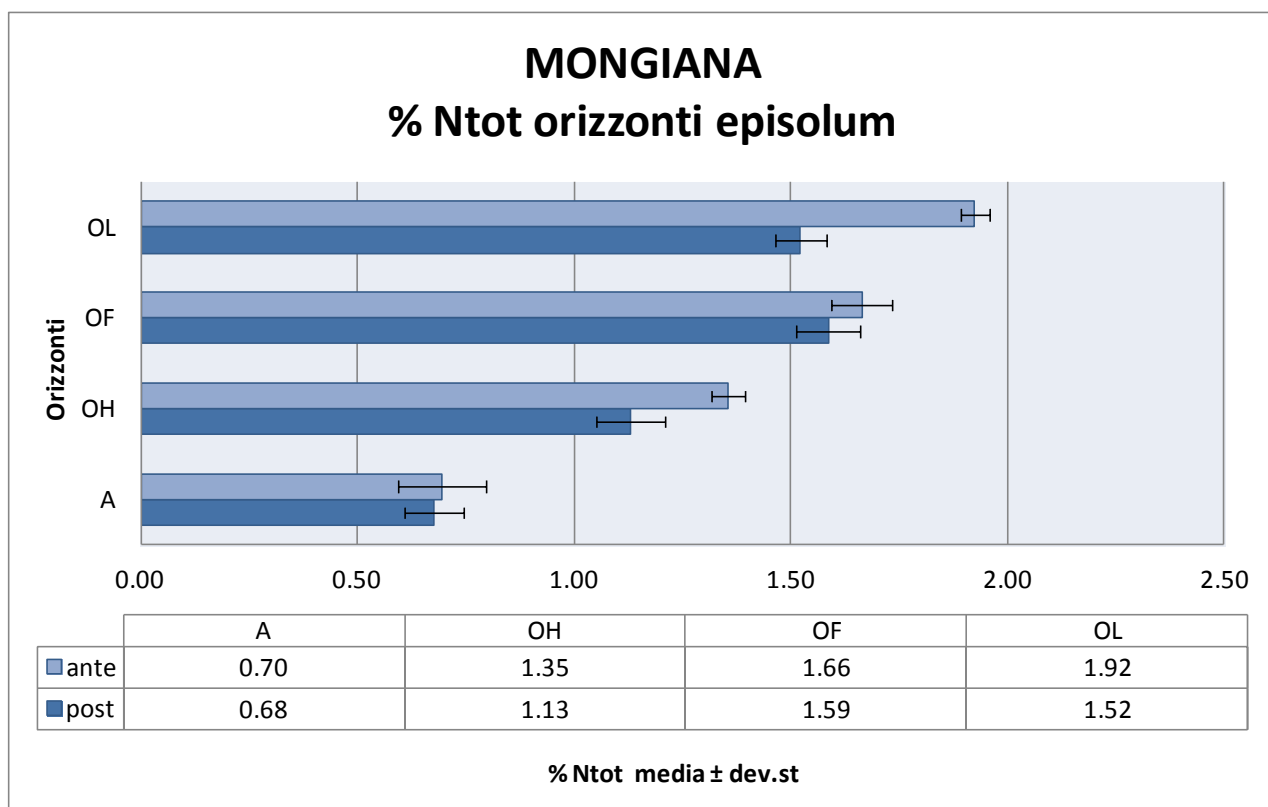


Fig. 4.39 - % Ntot negli orizzonti dell'episolum nelle due campagne ante-post, Mongiana

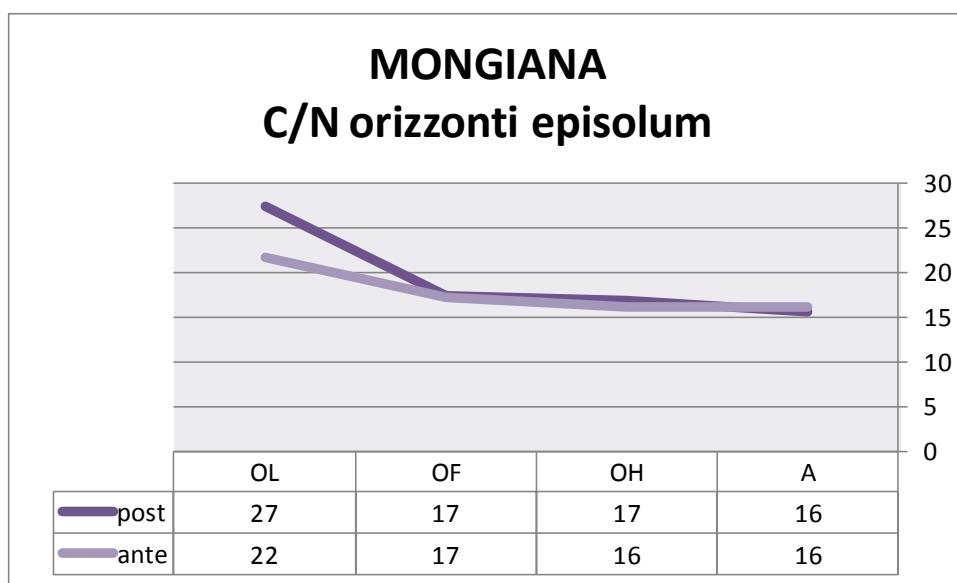


Fig. 4.40- Andamento negli orizzonti dell'episolum di C/N nelle due campagne ante-post, Mongiana

Analisi della varianza

Come illustrato in precedenza (cap. metodi), sia per il suolo che per l'humus, ogni livello del fattore trattamento (es. nel sito di Chiarano, “i40”, “i80” e “tradizionale”) viene applicato a tre plot. In ogni plot, le misurazioni vengono divise in misurazioni prima e dopo l'applicazione del trattamento. Con questo disegno si ha dunque l'opportunità di testare l'effetto del fattore trattamento, l'effetto del fattore tempo e l'effetto della loro interazione. Nel presente studio l'ipotesi scientifica da verificare concerne il cambiamento delle grandezze osservate nel tempo (passaggio da ante a post) dovuto al trattamento, quindi l'interesse è nella significatività dell'interazione tra gli effetti trattamento e tempo (indicata come trattamento:tempo). Anche la significatività dell'effetto tempo, pur non distinguendo tra i tre livelli del fattore trattamento può essere interessante per l'interpretazione dei dati. Mentre la significatività per il solo effetto trattamento non è di nessun interesse ma viene riportata per completezza di informazione.

CANSIGLIO

L'analisi della varianza (Tab. 4.4 - Analisi della varianza, Cansiglio. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05) Tab. 4.4) effettuata sul data-set del sito del Cansiglio ha individuato diverse significatività sia per il fattore di interazione trattamento:tempo, sia per il solo fattore tempo.

CANSIGLIO	P value		
variable	trattamento	tempo	trattamento:tempo
OL cm	0.524	0.07	0.287
OF cm	0.305	0 *	0.063
OH cm	0.139	0.083	0.271
A cm	0.491	0.602	0.355
HUMUS INDEX	0.04	0.044 *	0.274
OL %Ntot	0.317	0.391	0.292
OL %OC	0.204	0.345	0.883
A %Ntot	0.509	0.032 *	0.325
A %OC	0.384	0.169	0.502
OL/(OL+OF+OH)	0.088	0.007 *	0.116
OF/(OL+OF+OH)	0.09	0.002 *	0.012 *
OH/(OL+OF+OH)	0.105	0.263	0.304
OL+OF+OH	0.398	0.001 *	0.389
(OL+OF+OH)/A	0.602	0 *	0.03 *
A C/N	0.477	0.08	0.493
OL C/N	0.374	0.724	0.259

Tab. 4.4 - Analisi della varianza, Cansiglio. Gli asterischi indicano una significatività (p value <0.05)

L'effetto del trattamento nel tempo risulta essere significativo su due variabili derivate che corrispondono allo spessore relativo dell'orizzonte OF rispetto al totale degli orizzonti organici (Fig. 4.41) e al totale degli spessori organici rispetto allo spessore dell'orizzonte A (Fig. 4.45). Queste due variabili risultano avere differenze significative anche per quanto riguarda l'effetto del tempo.

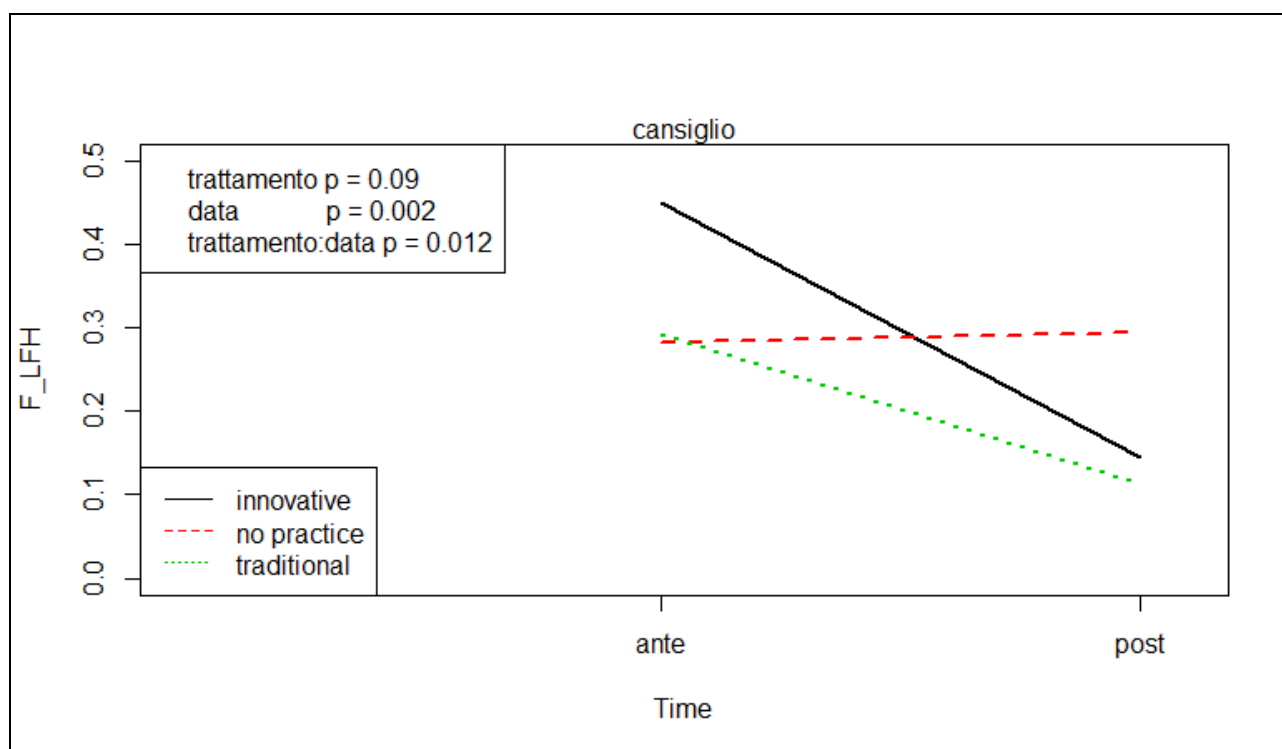


Fig. 4.41 - ANOVA PLOT, rapporto $OF/(OL+OF+OH)$ ante-post, Cansiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

Dal grafico su cui sono riportati gli andamenti della variabile $F_{LFH} = OF/(OL+OF+OH)$ per i tre diversi trattamenti, si evince un effetto dei due trattamenti innovativo e tradizionale che portano alla diminuzione dello spessore di questo orizzonte in rapporto allo spessore totale degli orizzonti organici, mentre nei plot non trattati i valori rimangono pressoché invariati. I termini del rapporto OF e $OL+OF+OH$, considerati separatamente, risultano influenzati dal fattore tempo (Fig. 4.42, Fig. 4.43) con una diminuzione in valore assoluto in tutti e tre i trattamenti (Fig. 4.44). Lo spessore dell'orizzonte OF in particolare risulta diminuire soprattutto nei trattamenti innovativo e tradizionale, come si evince dal valore del p value (trattamento:tempo=0.06) vicino alla significatività.

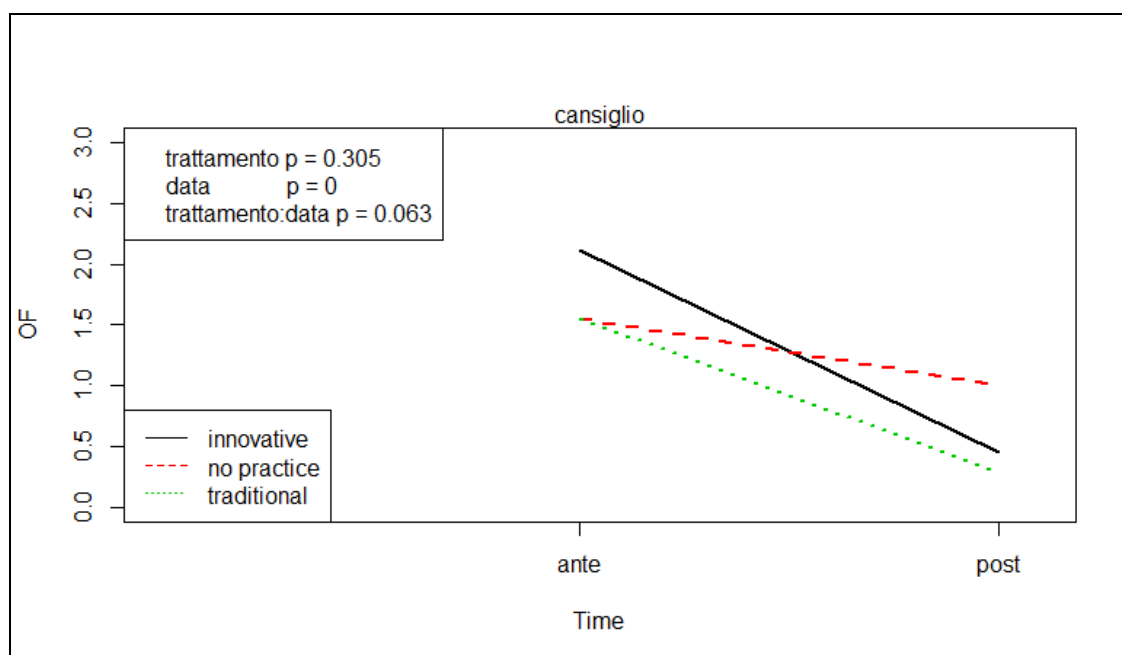


Fig. 4.42- ANOVA PLOT, spessore OF ante-post, Consiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

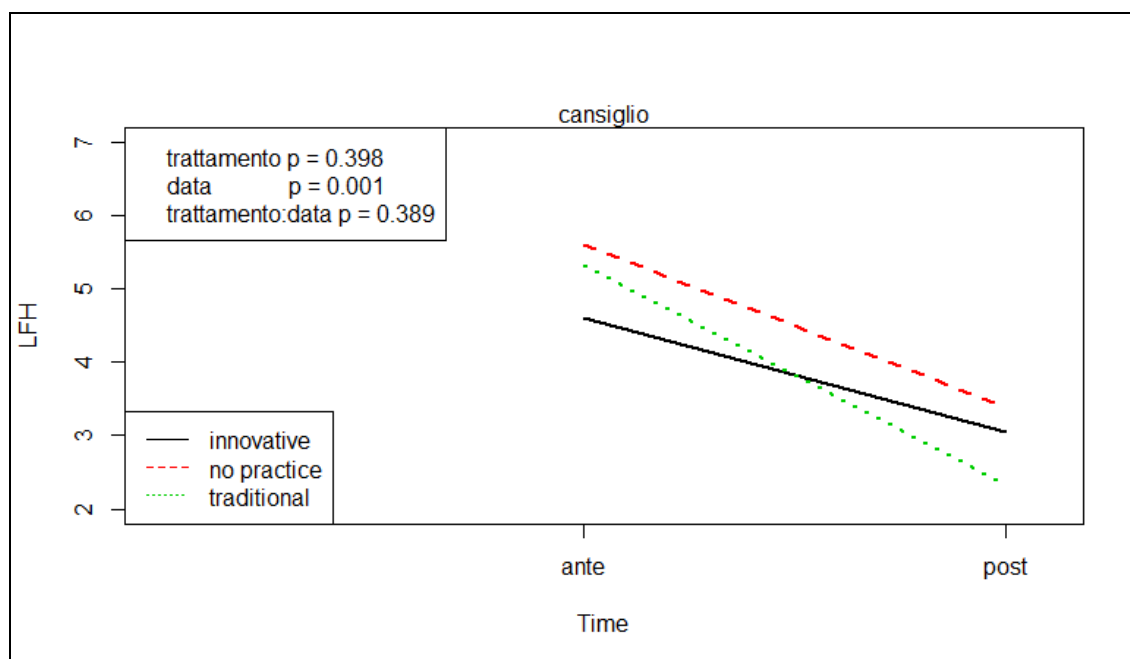


Fig. 4.43 - ANOVA PLOT, spessore (OL+OF+OH) ante-post, Consiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

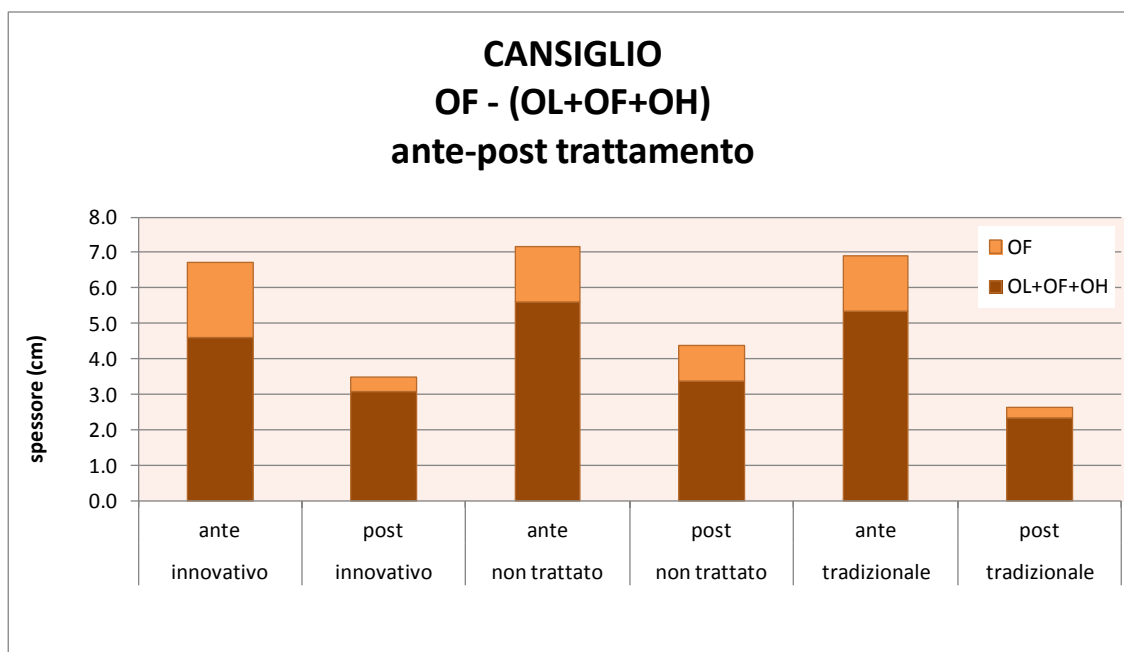


Fig. 4.44 - Spessore dell'orizzonte OF e degli orizzonti (OL+OF+OH) ante-post trattamenti, Cansiglio

L'altra variabile che risulta influenzata dall'effetto del trattamento è il rapporto dello spessore totale degli orizzonti organici con l'orizzonte organo-minerale A ($LFH_A = (OL+OF+OH)/A$) (Fig. 4.45). In generale si ha una diminuzione dovuta alla diminuzione di (OL+OF+OH) (Fig. 4.46) che è più pronunciata nel trattamento tradizionale, mentre lo spessore dell'orizzonte A è, in generale, molto omogeneo.

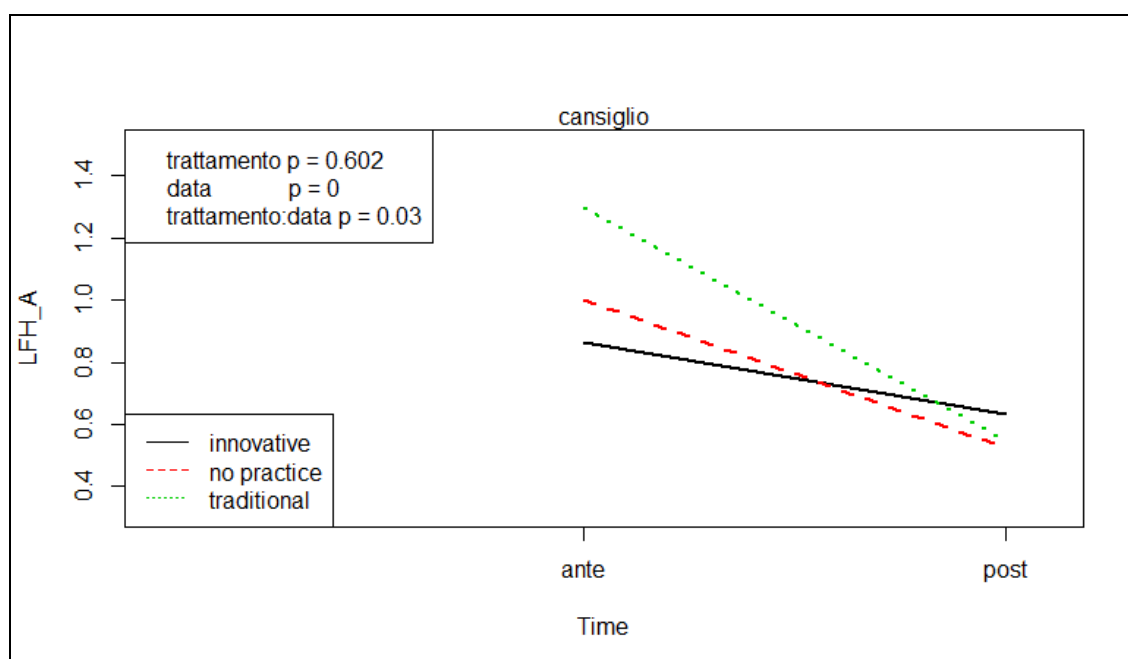


Fig. 4.45- ANOVA PLOT, rapporto (OL+OF+OH)/A ante-post, Cansiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

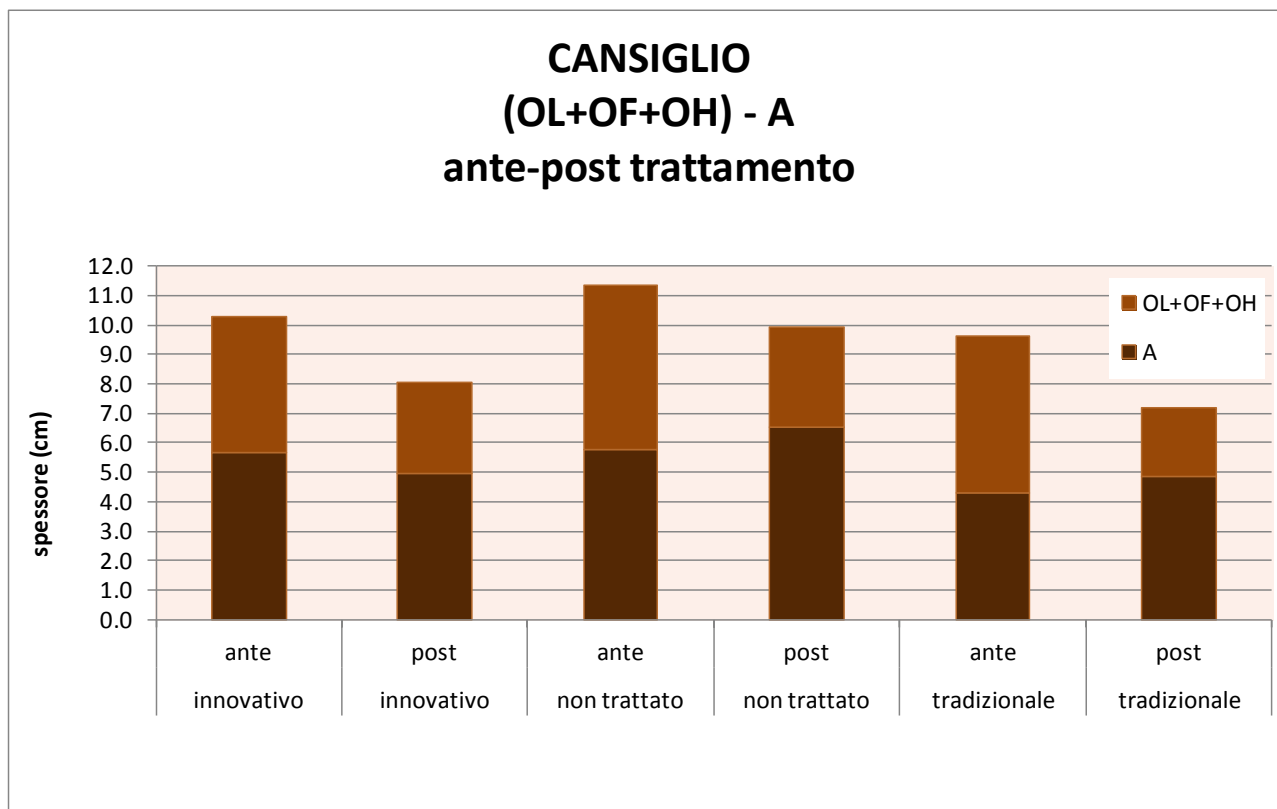


Fig. 4.46- Spessore degli orizzonti (OL+OF+OH) e dell'orizzonte A, ante-post trattamenti, Cansiglio

Come illustrato dal grafico (Fig. 4.47) l'Humus Index, cioè la variabile che sintetizza con un numero la forma di humus e che aumenta da forme più attive biologicamente e quindi con un turnover della materia organica più veloce a forme in cui l'attività biologica e la mineralizzazione subiscono un rallentamento via via maggiore, risulta significativamente diverso rispetto al fattore tempo.

Sebbene il trattamento non sembra influire sulle differenze è da notare la sostanziale equivalenza degli HI tra trattamento innovativo e il non trattato e la diminuzione in quello tradizionale che va da una media di 5, corrispondente a forme EUMACROAMPHI a 3 corrispondente a forme OLIGOMULL. Ricordiamo che al Cansiglio sono presenti forme a cui corrisponde un Humus Index da 2 (MESOMULL) a 5 (EUMACROAMPHI) la cui distribuzione non è omogenea, come si evince anche dal p value significativo per il fattore "trattamento".

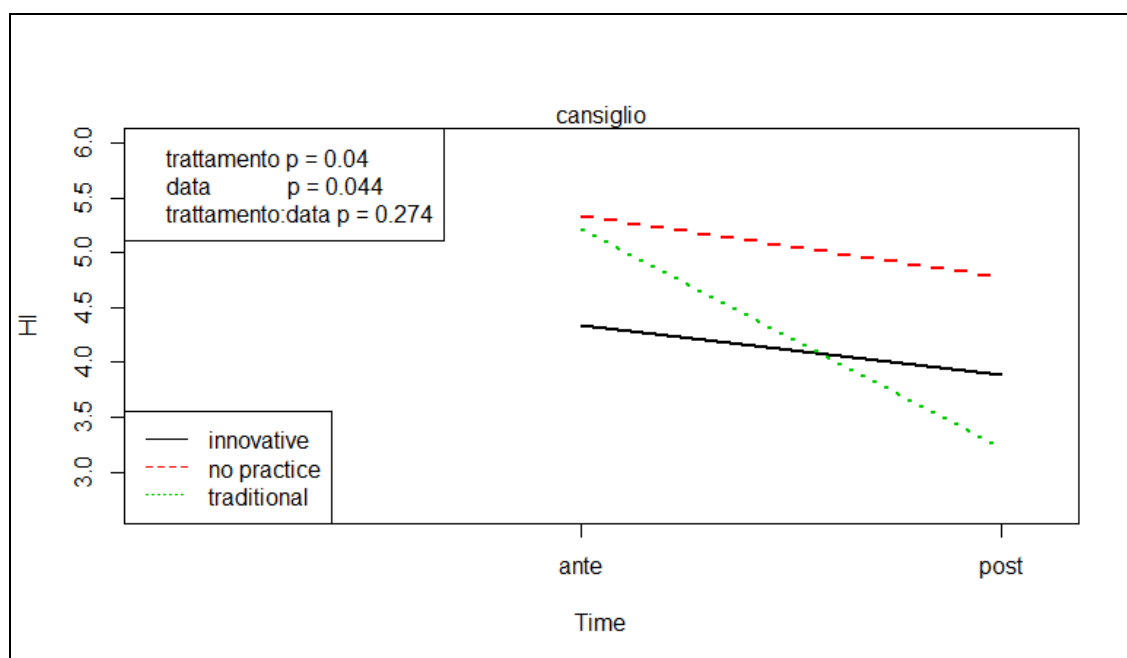


Fig. 4.47- ANOVA PLOT, Humus Index ante-post, Cansiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

Per quanto riguarda le variabili "chimiche", dall'analisi della varianza risulta una differenza significativa della media dei valori della % Azoto totale rispetto al fattore tempo (Fig. 4.48). Dal grafico si evidenzia una diminuzione per tutti i trattamenti che, sebbene non siano distinti in modo significativo, risulta una maggiore differenza nel trattamento tradizionale e in misura minore in quello innovativo, rispetto ai plot non trattati.

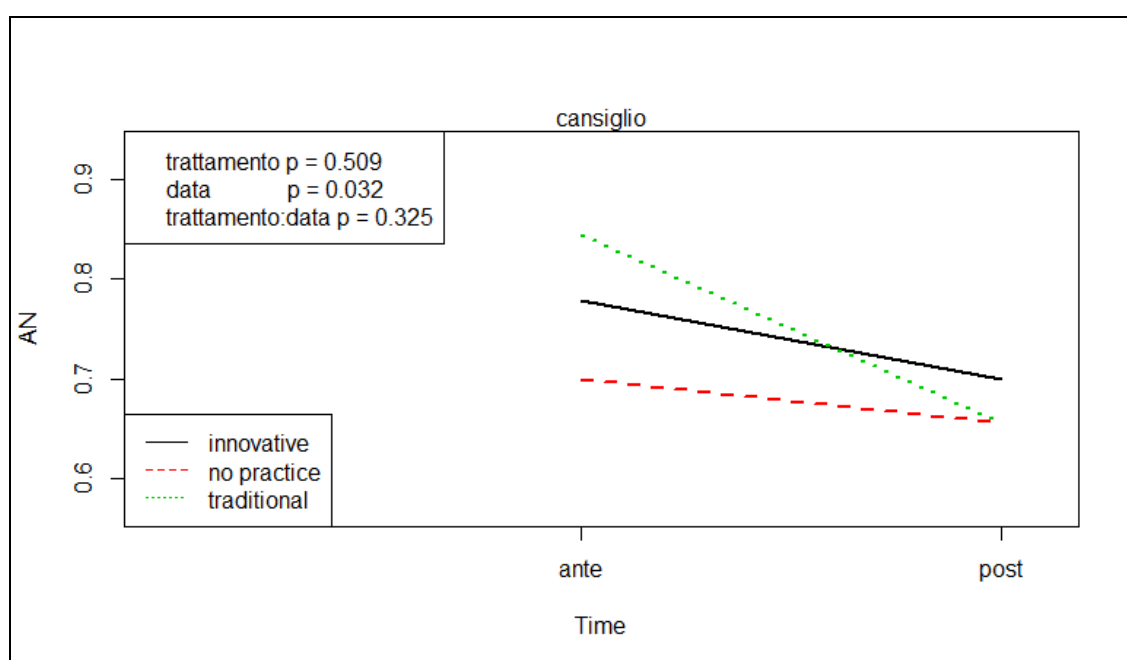


Fig. 4.48- ANOVA PLOT, % Ntot nell'orizzonte A, ante-post, Cansiglio (in legenda i p value dei diversi livelli)

CHIARANO

L'analisi della varianza (Tab. 4.5) sui dati provenienti da Chiarano non mostra effetti significativi dei trattamenti nel tempo sulle variabili utilizzate per lo studio delle forme di humus.

CHIARANO	P value		
Variable	trattamento	tempo	trattamento:tempo
OL cm	0.93	0.775	0.656
OF cm	0.797	1	0.835
OH cm	0.434	0.219	0.599
A cm	0.887	0.034 *	0.882
HUMUS INDEX	0.735	0.747	0.882
OL %Ntot	0.225	0.004 *	0.633
OL %OC	0.374	0.049 *	0.281
A %Ntot	0.231	0.148	0.954
A %OC	0.534	0.285	0.995
OL/(OL+OF+OH)	0.751	0.798	0.849
OF/(OL+OF+OH)	0.908	0.916	0.848
OH/(OL+OF+OH)	0.391	0.191	0.446
OL+OF+OH	0.85	0.755	0.847
(OL+OF+OH)/A	0.467	0.426	0.976
A C/N	0.784	0.966	0.913
OL C/N	0.42	0.08	0.454

Tab. 4.5- Analisi della varianza, Chiarano. Gli asterischi indicano una significatività (p value < 0.05)

Le uniche significatività, come già accennato precedentemente, riguardano il fattore tempo ed in particolare lo spessore dell'orizzonte A (Fig. 4.49) che, a partire da una situazione molto omogenea all'interno del sito di una spessore di $10.6 (\pm 0)$ cm aumenta in modo simile in tutti i plot fino ad uno spessore medio di circa $20.1 (\pm 1)$ cm.

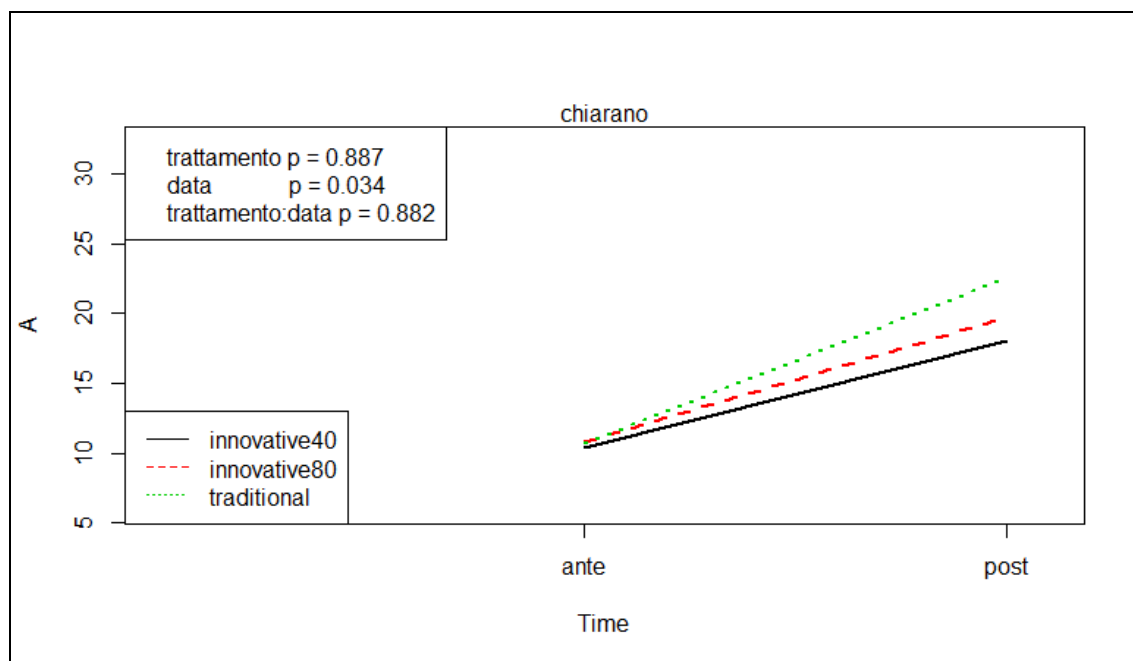


Fig. 4.49 - ANOVA PLOT, spessore dell'orizzonte A, ante-post, Chiarano (in legenda i p value dei

diversi livelli)

Le altre due variabili che subiscono una modifica significativa nell'intervallo temporale riguardano l'orizzonte OL che non si modifica in termini di spessore ma in termini chimici, con una diminuzione del carbonio organico (Fig. 4.50) e dell'azoto totale (Fig. 4.51). Sebbene non significativo l'effetto del trattamento dai grafici è possibile vedere una diminuzione più accentuata del carbonio organico nel trattamento tradizionale e in misura minore in quello innovativo 40 rispetto al trattamento innovativo 80 mentre per quanto riguarda l'azoto totale la diminuzione segue un andamento simile in tutto il sito.

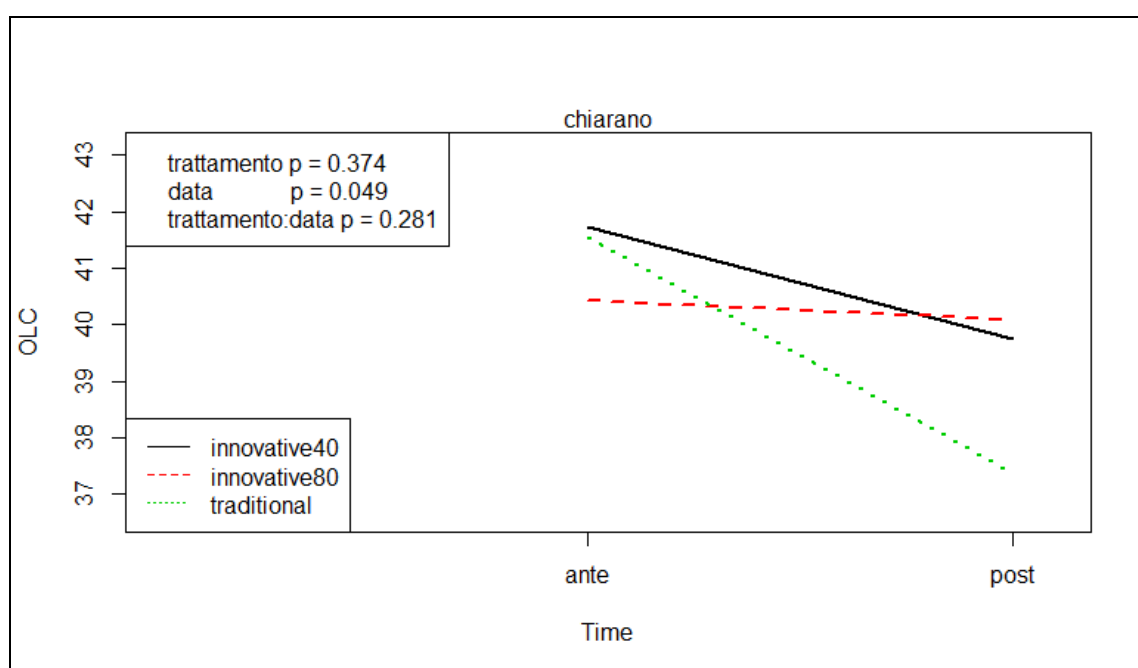


Fig. 4.50 - ANOVA PLOT, % OC nell'orizzonte OL, ante-post, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

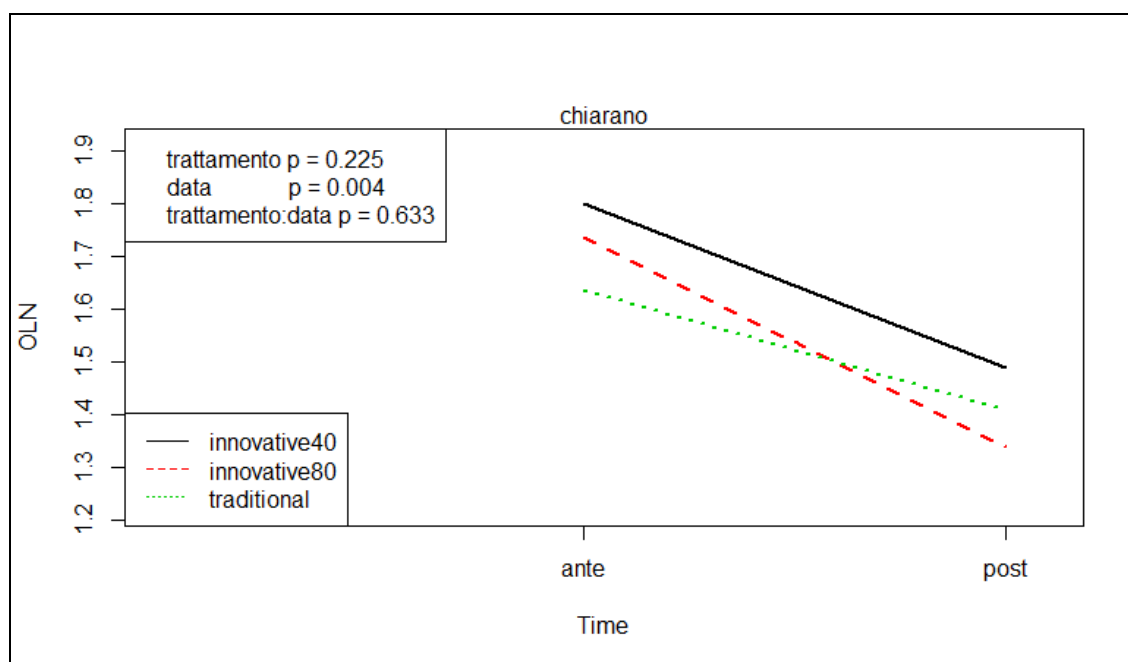


Fig. 4.51- ANOVA PLOT, % Ntot nell'orizzonte OL, ante-post, Chiarano (in legenda i p value dei diversi livelli)

MONGIANA

L'analisi della varianza (Tab. 4.6) effettuata sul data-set del sito di Mongiana ha individuato diverse significatività sia per il fattore di interazione trattamento:tempo, sia per il solo fattore tempo (tab).

MONGIANA variable	P value			
	trattamento	tempo	trattamento:tempo	
OL cm	0.106	0.905	0.042	*
OF cm	0.673	0.038	*	0.734
OH cm	0.437	0.735		0.809
A cm	0.483	0.84		0.464
HUMUS INDEX	0.133	1		0.983
OL %Ntot	0.703	0	*	0.206
OL %OC	0.575	0.85		0.454
A %Ntot	0.112	0.568		0.202
A %OC	0.117	0.155		0.054
OL/OL+OF+OH	0.294	0.293		0.317
OF/OL+OF+OH	0.626	0.014	*	0.067
OH/OL+OF+OH	0.494	0.692		0.72
OL+OF+OH	0.044	0.36		0.359
OL+OF+OH/A	0.692	0.488		0.449
A C/N	0.6	0.189		0.239
OL C/N	0.698	0	*	0.575

Tab. 4.6 - Analisi della varianza, Mongiana. Gli asterischi indicano una significatività (p value < 0.05)

Le differenze di spessore di OL tra post e ante gestione forestale risultano essere influenzate dall'effetto del trattamento (Fig. 4.52). Come illustrato la grafico l'orizzonte nei plot a cui sono stati somministrate le due pratiche selvicolturali innovativa e tradizionale lo spessore di OL diminuisce in media di circa 1 cm, mentre nei plot che non sono stati trattati, a partire dallo stesso valore medio di circa 4 cm lo spessore aumenta fino a circa 6 cm.

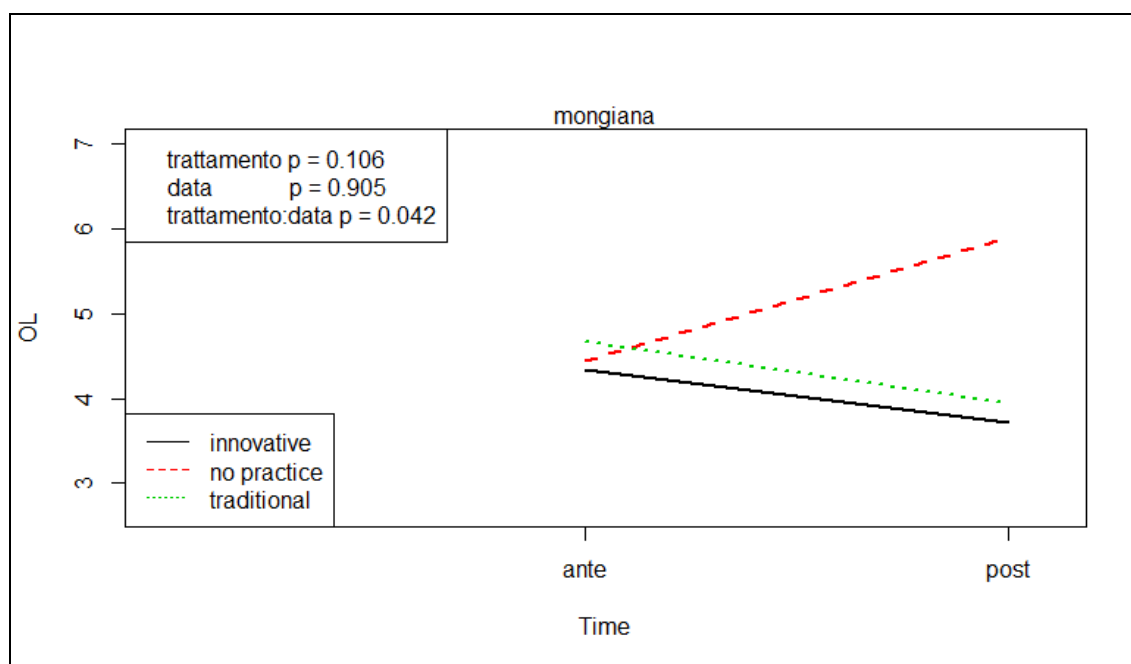


Fig. 4.52- ANOVA PLOT, spessore orizzonte OL, ante-post, Mongiana (in legenda i p value dei diversi livelli)

Dall'analisi risultano significative, rispetto al fattore tempo, le differenze dello spessore di OF (Fig. 4.53) e il loro rapporto con la totalità dello spessore degli orizzonti organici $OF/(OL+OF+OH)$ (Fig. 4.54). Lo spessore di OF (Fig. 4.53) risulta aumentare in tutti i plot andando verso una situazione più omogenea all'interno di tutto il sito attestandosi su un valore medio di circa 2 cm.

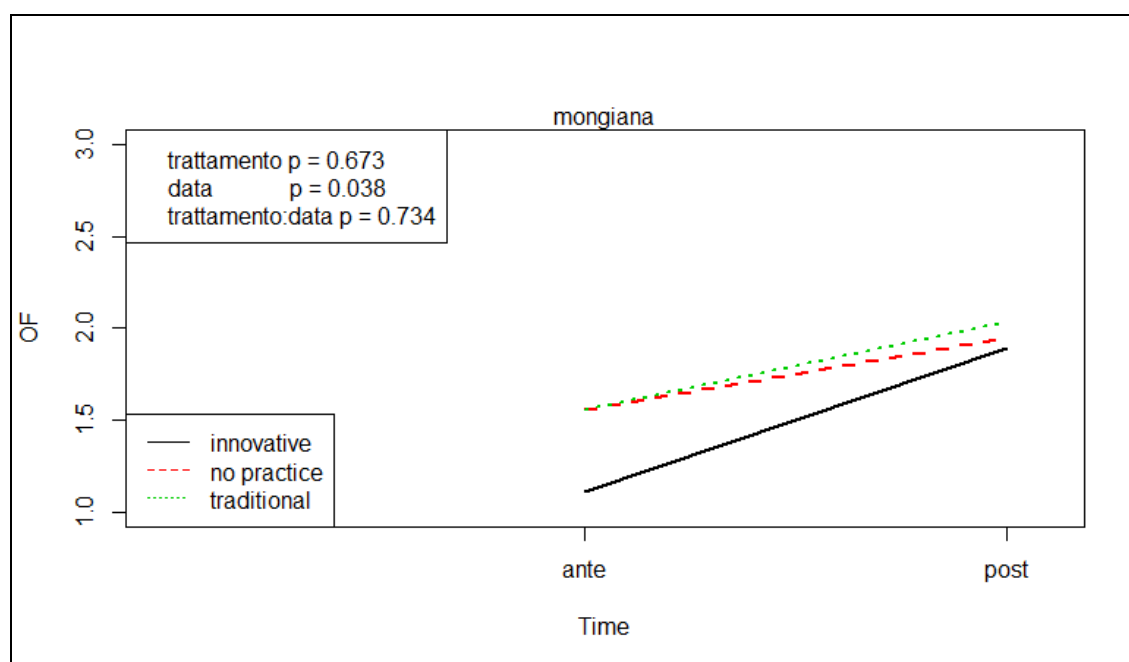


Fig. 4.53 - ANOVA PLOT, spessore orizzonte OF, ante-post, Mongiana (in legenda i p value dei diversi livelli)

Per quanto riguarda la variabile (OF/OL+OF+OH), sebbene risultata significativa soltanto rispetto al tempo, come illustrato dal grafico (Fig. 4.54), risulta aumentare notevolmente nei plot sottoposti ai due trattamenti selvicolturali innovativo e tradizionale, mentre rimane stabile nei non trattati, come si evince dal valore del p value (trattamento:tempo=0.06) vicino alla significatività.

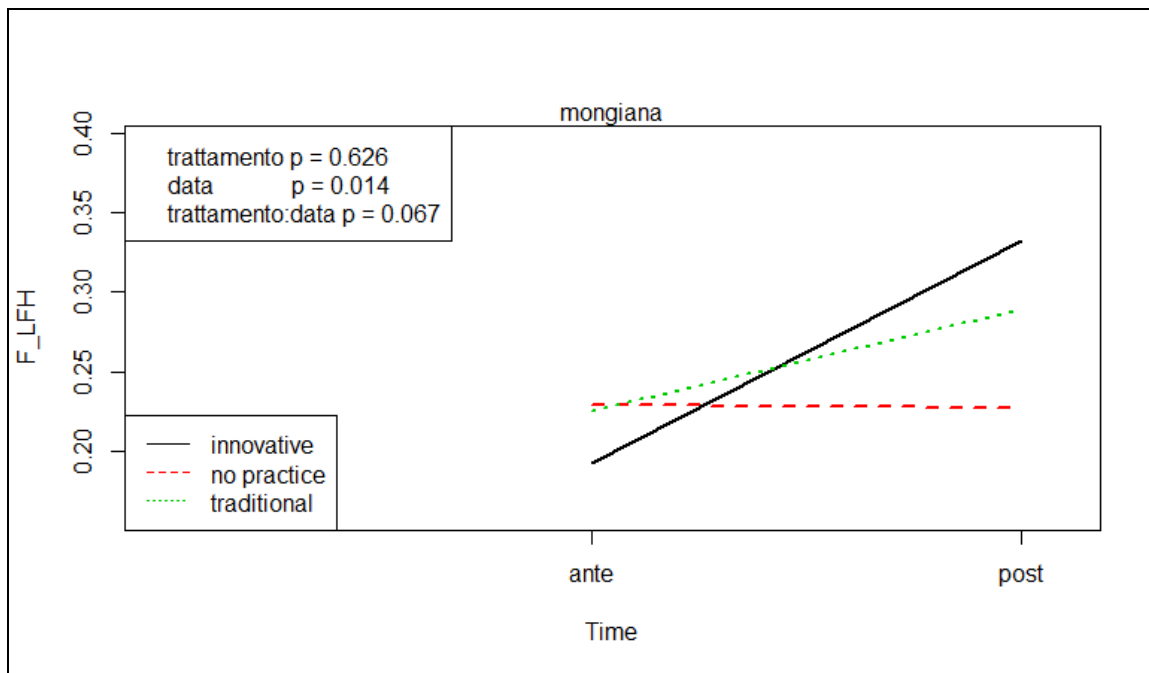


Fig. 4.54 - ANOVA PLOT, rapporto OF/(OL+OF+OH) ante-post, Mongiana (in legenda i p value dei diversi livelli)

Altre due variabili risultano significativamente differenti nell'intervallo temporale sono la percentuale di Azoto totale e il rapporto C/N nell'orizzonte OL. I valori medi della percentuale di % Ntot (Fig. 4.55) a sono molto omogenei all'interno del sito sia nel rilievo effettuato ante, in cui è presente circa l'1.90% in peso di Azoto e nel post, in cui la percentuale diminuisce all'1.50%. Questa modificazione dei valori di Azoto totale, non riscontrata nel Carbonio organico che, come precedentemente illustrato rimane pressoché costante nel tempo, comporta un aumento del rapporto C/N notevole che da circa 22 nelle misure ante si attesta sul valore medio di 27 nel post (Fig. 4.56, Fig. 4.57).

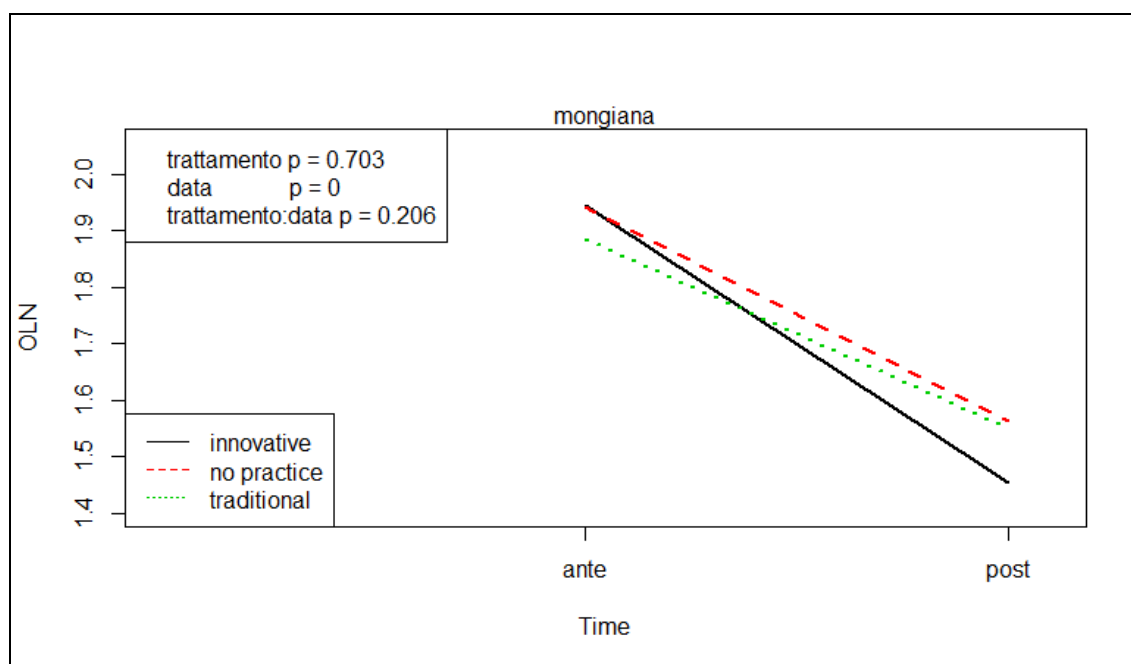


Fig. 4.55- ANOVA PLOT, % Ntot orizzonte OL, ante-post, Mongiana (in legenda i p value dei diversi livelli)

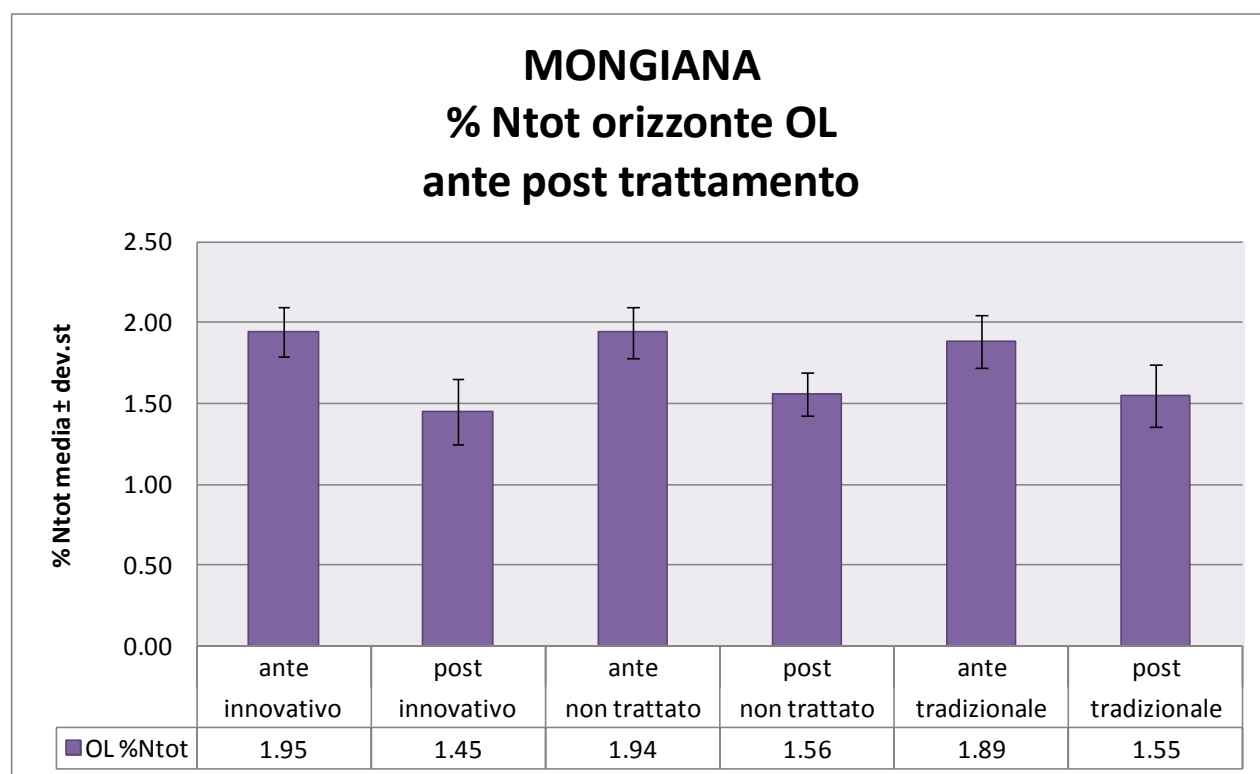


Fig. 4.56 - Confronto % Ntot ante-post nei diversi trattamenti, Mongiana

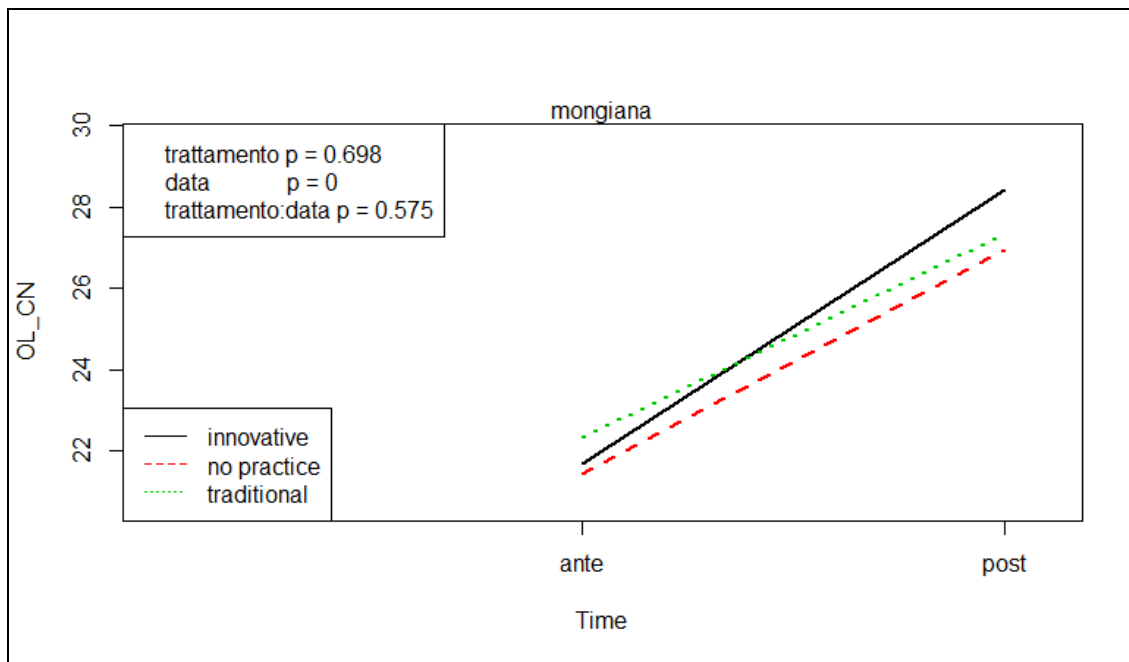


Fig. 4.57- ANOVA PLOT, rapporto C/N nell'orizzonte OL, ante-post, Mongiana (in legenda i p value dei diversi livelli)

Analisi spaziale della varianza

Come spiegato in dettaglio nella sezione dei metodi, con la nested ANOVA si può stimare la variabilità per le misurazioni di suolo alle diverse scale spaziali considerate. La varianza per le misure di suolo può essere scomposta in più componenti ognuna relativa ad una determinata scala spaziale (Tab. 4.7). Il rapporto tra la varianza relativa ad una scala e la varianza totale (PEV) è indicativo dell'importanza di quella scala nella variabilità totale.

Fattore	Proportion of explained variance	Scala spaziale
carota (residuo)	PEV_r	1m – 10m
subplot	PEV_C	10m – 100m
plot	PEV_B	100m – 1000m
trattamento	PEV_A	(100m – 1000m)

Tab. 4.7 - Componenti dell'analisi spaziale della varianza

Ricordiamo che, nel presente lavoro, il fattore trattamento ha la stessa scala spaziale del fattore plot, ma il suo effetto sulla variabilità totale è determinato da quanto si differenziano i singoli trattamenti a prescindere dalla scala spaziale.

Ogni variabile misurata ha una sua variabilità che può essere scomposta nelle 4 componenti illustrate in tabella (per definizione, la somma delle 4 PEV dà sempre 1). Nelle prossime figure verranno considerate le variabili bulk density (BD), stock di C ed N, le percentuali in massa di C ed N e il rapporto C/N (CN), tutte riferite ai primi 30cm di suolo per i siti Cansiglio (Fig. 4.58), Chiarano (Fig. 4.59) e Mongiana (Fig. 4.60).

La variabilità maggiore al Cansiglio è quella tra carote di un subplot (scala 1m – 10m). Questo è dovuto sia all'omogeneità di tutta l'area di studio nella fase ante, sia ad un'alta variabilità nelle variabili considerate già a scala (Figura 4.58, sinistra). Passando dalla fase ante alla fase post, la variabilità a scala di plot assume, in generale, un peso lievemente maggiore, molto probabilmente in conseguenza dei trattamenti che sono proprio a scala di plot (Figura 4.58, destra). Tuttavia, la componente della variabilità legata al trattamento rimane relativamente molto bassa, indicando che le misure di suolo non riescono a differenziare tra i diversi trattamenti. Come già visto dai risultati

della split plot (o repeated measures) ANOVA, nelle misure di suolo esiste, talvolta, una differenza generale tra ante e post ma nessuna differenza dovuta ai trattamenti nel tempo. Per Chiarano e Mongiana valgono considerazioni simili (Figure 4.59 e 4.60) (anche se a Mongiana la gestione sembra agire più a scala di subplot che di plot).

Da notare ancora che, sia al Cansiglio che a Chiarano, le variabili bulk density e percentuale di N, passando dalla fase ante alla fase post, subiscono un aumento di variabilità a scala di plot. La stessa cosa è visibile con la repeated measures ANOVA (anche se con maggiore evidenza nei primi 10 cm di suolo). Questo risultato suggerisce che bulk density e percentuale di N sono più sensibili delle altre variabili all'effetto della gestione, almeno in questi due siti. Nella fase ante inoltre, mentre al Cansiglio la parte preponderante della variabilità è alla scala 1m – 10m, a Chiarano e, soprattutto, a Mongiana la maggiore variabilità si trova a scala 10m – 100m indicando una maggiore disomogeneità per questi due siti.

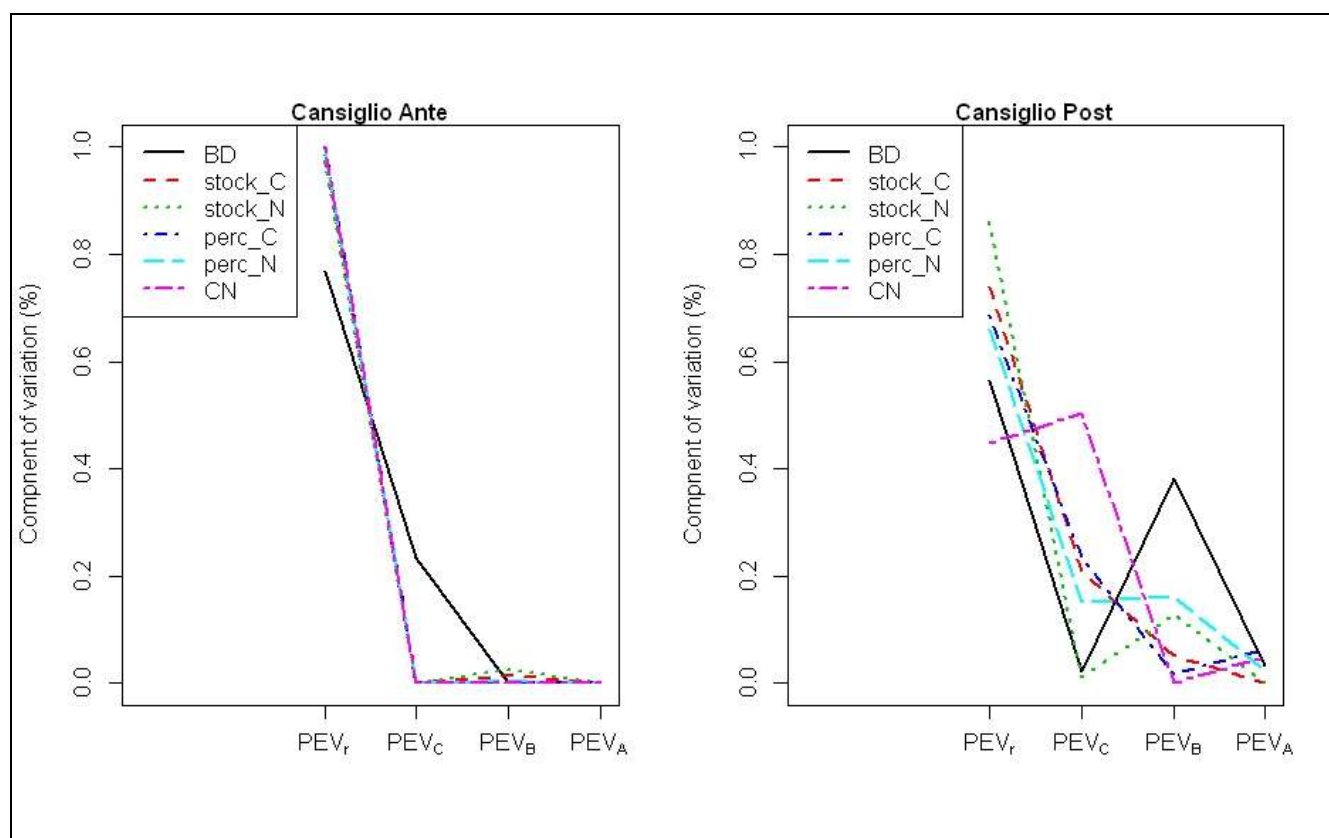


Fig. 4.58 - Analisi spaziale della varianza ante e post trattamenti, Cansiglio (spiegazione delle componenti nel testo)

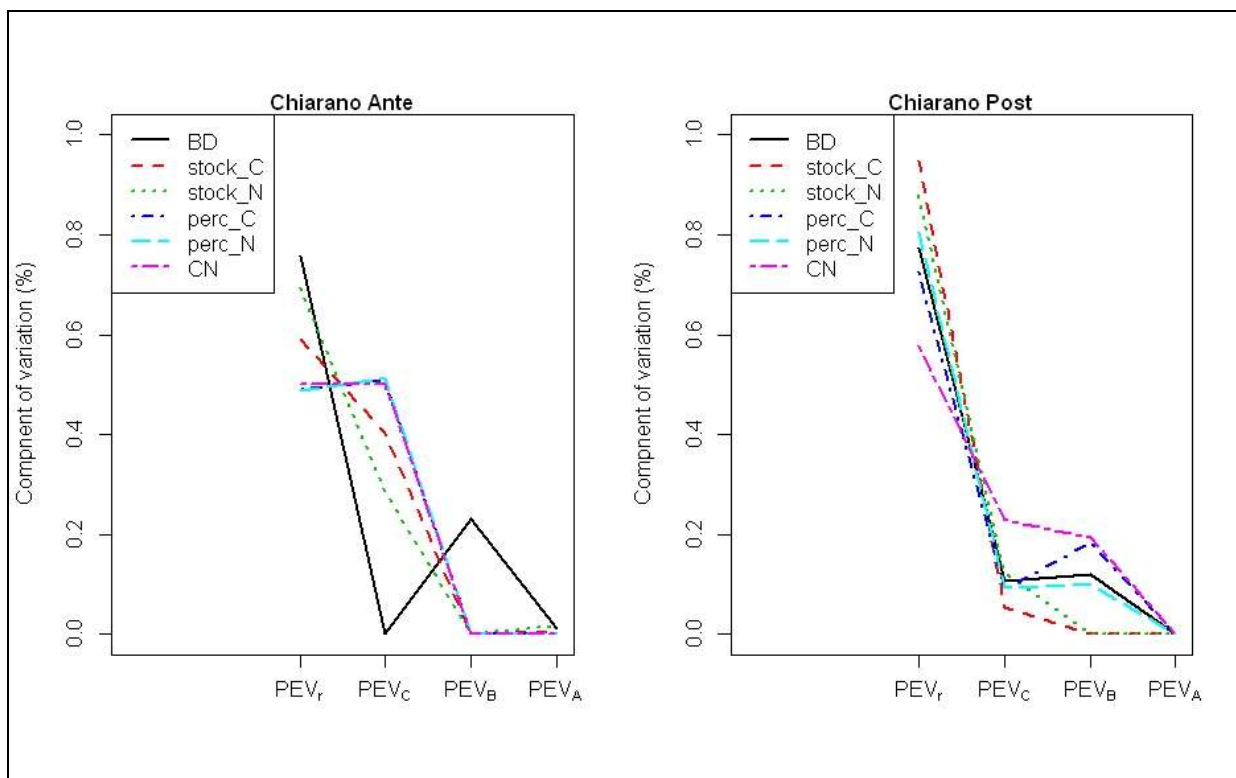


Fig. 4.59- Analisi spaziale della varianza ante e post trattamenti, Chiarano (spiegazione delle componenti nel testo)

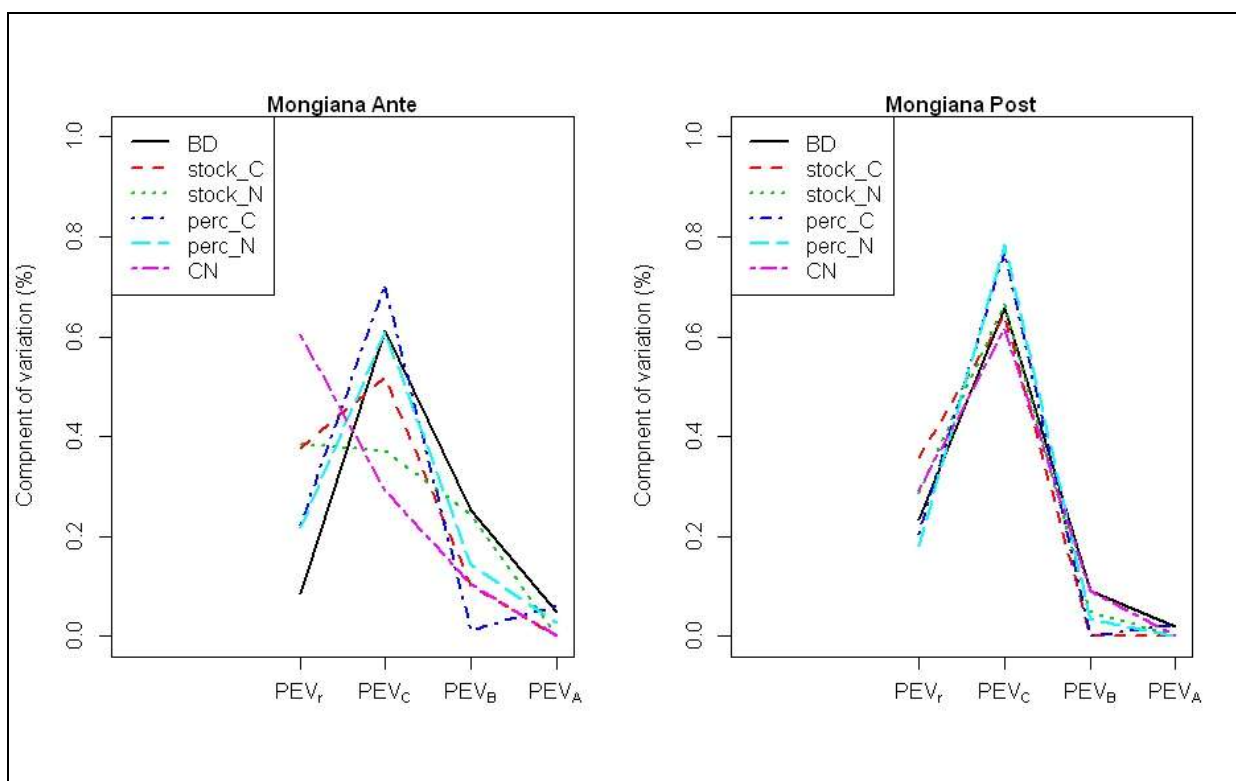


Fig. 4.60 - Analisi spaziale della varianza ante e post trattamenti, Mongiana (spiegazione delle componenti nel testo)

5. Discussione

L'ipotesi scientifica alla base di questo lavoro di ricerca è stata quella di verificare se diversi trattamenti selvicolturali possono avere degli effetti sulla decomposizione e sul sequestro della sostanza organica nel suolo in tre faggete montane poste lungo un transetto Nord-Sud della penisola italiana. Una premessa doverosa da fare è che uno studio sull'effetto della gestione forestale presuppone che ogni trattamento venga effettuato su un'area di estensione adeguata (plot di 3 ha circa) e che i diversi trattamenti siano applicati a plot simili per struttura forestale per evitare possibili effetti di confusione. Questo, per motivi pratici legati alla messa in pratica e ai costi dei trattamenti, può determinare un limite nel numero di repliche (plot) a disposizione. La particolare natura e scala di questo studio ha consentito l'uso di tre repliche per ogni trattamento, ponendo un limite nella ricerca di significatività statistiche. D'altro canto va pure detto che le variabili su cui si è testato l'effetto della gestione sono molte (circa 20), e testando molte variabili sugli stessi fattori si può incorrere nell'errore di rifiutare ingiustamente l'ipotesi nulla. In questi casi, esistono dei metodi per aggiustare le significatività minime che non sono stati esplicitamente applicati (Gotelli & Ellison, 2004); in questa discussione, si è però ritenuto di considerare solamente i risultati le cui significatività sono chiare e interpretabili a livello ecologico. Un fattore che complica l'analisi dell'effetto dei trattamenti è l'alta variabilità delle grandezze considerate già a scala di pochi metri, caratteristica intrinseca del suolo (Valtera et al., 2013; Garten et al., 2007). Questa variabilità, trovata nella fase pre-trattamento, sostanzialmente si mantiene anche dopo il trattamento e può nascondere una eventuale risposta delle variabili legate al suolo.

Cansiglio

Nella faggeta posta più a Nord, sull'altopiano del Cansiglio, la gestione selvicolturale ha previsto due trattamenti veri e propri con operazioni di taglio ed esbosco. Il terzo trattamento è stato una posticipazione del trattamento (un "non trattamento"), quindi non c'è stato prelievo di biomassa, ma non può essere considerato direttamente un "controllo" poiché si sono svolte comunque le operazioni preliminari inventariali e i campionamenti inerenti al progetto ManForC.BD, tra cui quelli del presente studio.

I risultati ottenuti mostrano che i trattamenti hanno avuto un effetto solo sugli strati più superficiali del suolo, modificando significativamente i rapporti tra gli spessori organici OL, OF e OH e tra questi e l'orizzonte organo-minerale A. Il cambiamento maggiore risulta essere a carico dell'orizzonte OF, cioè l'orizzonte organico costituito da frammenti ancora riconoscibili di materiale vegetale misti a sostanza organica fine. I due trattamenti "veri e propri" infatti hanno portato ad una

diminuzione significativa dell'orizzonte OF che è risultata invece di lieve entità nel "non trattato".

L'effetto dei trattamenti è evidente anche quando si guarda il rapporto di questo spessore con l'episolum umifero (OL+OF+OH) nella sua totalità: nel "non trattato" questo rapporto rimane costante, mentre diminuisce decisamente nei plot interessati dalla gestione. In particolare il cambiamento maggiore avviene nel trattamento tradizionale, dove si riscontra una diminuzione dell'episolum umifero risultata significativa soprattutto in relazione allo spessore dell'orizzonte organo-minerale A che rimane costante.

La formazione dell'orizzonte OF deriva soprattutto dall'attività "sminuzzatrice" di artropodi, larve di ditteri e di diplopodi, collemboli, acari e anellidi, soprattutto enchytreidi e vermi epigei quando l'attività dei lombrichi anecici è ridotta o nulla (Sagot, et al. 1999; Zanella et al., 2001; Le Bayon et al., 2014). Questo orizzonte caratterizza, con la sua presenza continua, le forme di MULL meno attive come i DYSMULL e le forme AMPHI, preponderanti nella campagna di rilievi antecedente i trattamenti. Per le condizioni climatiche, litologiche e pedologiche del sito queste forme rappresentano quelle in cui il processo di trasformazione della lettiera è più lento e che hanno quindi una capacità maggiore nel sequestrare il carbonio all'interno del comparto suolo (Zanella et al., 2001; Bonifacio et al., 2011; De Nicola et al., 2014). L'effetto del trattamento sull'episolum umifero ed in particolare sulla diminuzione dell'incidenza percentuale ("peso") che l'orizzonte OF ha all'interno di questo, ha comportato una presenza minore di queste forme e un aumento delle forme di MULL più "attivi" come gli OLIGOMULL e i MESOMULL in cui l'attività prevalente è invece quella dei lombrichi anecici con veloce degradazione della lettiera e mineralizzazione dei componenti organici. Questo cambiamento viene rilevato anche dall'Humus Index che diminuisce significativamente in tutto il sito ed in particolare nel trattamento tradizionale. Mentre il passaggio da forme di mull diagnosticamente e funzionalmente vicine come dysmull e oligomull, oligomull e mesomull può essere dovuto a diverse condizioni stagionali più o meno ottimali per l'attività dei lombrichi anecici (Zanella et al., 2001), la "regressione" da forme amphi a forme mull attive può essere spiegata ecologicamente da un cambiamento delle condizioni microclimatiche e di diverso apporto quantitativo di lettiera legato dalla gestione forestale. Una riduzione della copertura arborea può apportare cambiamenti nella quantità di energia solare e di acqua che giunge al suolo e quindi rendere le condizioni del suolo più favorevoli all'attività dei lombrichi anecici inibendo quella della meso e macrofauna responsabile della formazione dell'orizzonte OF. Un minor apporto di lettiera, o una sua diversa distribuzione dovuta alle lavorazioni forestali, può essere inoltre responsabile della diminuzione significativa dello spessore dell'episolum umifero nella sua totalità. In questo sito, caratterizzato dai termini meno attivi delle forme mull e dagli amphi sottili, in cui la

mineralizzazione subisce un rallentamento soprattutto a causa delle basse temperature invernali, l'apertura della chiome immette energia nell'ecosistema suolo e sposta le forme verso quelle più attive.

Chiarano

Nel sito di Chiarano sono stati effettuati tre diversi trattamenti di cui due innovativi e uno tradizionale, quindi in tutti i plot c'è stata un'effettiva gestione che ha comportato, oltre all'asportazione della biomassa anche le operazioni di esbosco. La morfologia molto acclive dell'area non permette un esbosco con mezzi meccanici quindi i tronchi tagliati vengono accatastati in piccoli gruppi e caricati su muli.

Tutti i cambiamenti risultati significativi sia nello studio del suolo sia in quello dell'humus rilevano un forte effetto di disturbo del suolo che può essere imputabile al passaggio degli animali usati per l'esbosco in questo sito. Il disturbo, come risulta dalle analisi del suolo, ha interessato tutto il profilo portando sia ad un mescolamento degli orizzonti A e B presenti prima delle operazioni, sia ad un compattamento. Il rimescolamento ha comportato un aumento significativo della bulk density su tutto il profilo dovuto al compattamento e ad un'omogeneizzazione dei valori lungo il profilo, quindi una minor differenziazione tra gli strati superficiali e quelli profondi, dovuta al rimescolamento. Gli effetti delle lavorazioni sono visibili anche nello studio delle forme di humus ed in particolare nell'aumento di spessore dell'orizzonte A che, a partire da uno spessore di circa 10 cm arriva ad uno spessore medio di circa 20 cm. La diminuzione significativa della percentuale di Carbonio organico e di Azoto totale registrata indipendentemente sia nei primi 10 cm di suolo che nell'orizzonte organo-minerale delle forme di humus, è anch'essa verosimilmente ascrivibile al mescolamento con gli orizzonti più profondi meno ricchi in sostanza organica. In modo quasi complementare l'analisi statistica evidenzia inoltre un aumento significativo dello stock di Carbonio e Azoto negli strati più profondi, che somma i due effetti del compattamento e dell'arricchimento in sostanza organica negli orizzonti più profondi.

Mongiana

Nel sito di Mongiana i trattamenti selvicolturali non hanno modificato significativamente le variabili prese in considerazione per lo studio del suolo, tranne per un aumento di molto esiguo della bulk density degli strati profondi non dovuto all'effetto del trattamento ma presente in tutti il sito, che potrebbe indicare un compattamento del suolo dovuto al calpestio, ma che non ha comportato cambiamenti nello stock di carbonio e azoto. Da segnalare che, in questo sito, le operazioni di esbosco sono state effettuate con trattori forestali.

I trattamenti hanno invece influito sull'orizzonte OL, che diminuisce di circa 1 cm nei plot trattati e aumenta invece di circa 2 cm in quelli non trattati. Questo fenomeno può essere spiegato da un mancato apporto di lettiera al suolo dovuto all'asportazione di biomassa arborea. L'aumento dello spessore nei plot non trattati rientra nella normale fenologia stagionale che vede nei primi di dicembre, in cui sono stati effettuati i campionamenti post, un maggiore accumulo di lettiera al suolo rispetto a fine settembre data dei campionamenti ante. A luce di questa considerazione, la diminuzione dello spessore registrata nei plot trattamento, diventa ancora più evidente. Ad una diminuzione dell'orizzonte OL si affianca un aumento, leggermente più accentuato nei plot trattati, dell'orizzonte OF e una differenza significativa del rapporto di quest'ultimo con la totalità degli orizzonti organici. Mentre nel non trattato il valore rimane costante, nei due trattamenti aumenta notevolmente. Tutti questi cambiamenti degli orizzonti organici, a differenza del Cansiglio in cui determinano anche un cambiamento delle forme di humus e quindi delle dinamiche di decomposizione della sostanza organica, a Mongiana non comportano un diverso "funzionamento" ecologico dell'episolum umifero. Questo potrebbe essere dovuto alla presenza predominante degli HEMIMODER, le forme più attive tra i moder, caratteristici di ambienti poco favorevoli alla vita di lombrichi anecici ed endogei, ma che vedono comunque la presenza di meso e macro fauna attiva nella degradazione della lettiera. Un passaggio da una forma moder ad una amphi di "transizione" o addirittura verso forme mull, ritenuta possibile per cambiamenti dovuti alla gestione forestale (Ponge, 2003), in questo caso risulterebbe difficile considerando le caratteristiche del suolo del sito, con forte acidità dovuta alla roccia madre silicatica e con tessitura determinata da una buona componente sabbiosa. Questa condizione potrebbe essere del resto un effetto della gestione di lunga data, con diradamenti periodici e in sostanza un bosco monoplano, che può tendere a mantenere l'ecosistema in una fase di dinamica "pioniera", in cui gli "stadi maturi" degli humus sono costituiti da dysmoder o addirittura mor, con un pool di carbonio ben stabile perché "racchiuso" nelle complesse molecole umiche.

Conclusioni

In generale l'effetto dei trattamenti sui primi 30 cm di suolo è molto lieve. L'effetto più visibile legato alla gestione, è stato riscontrato nel sito di Chiarano dove si è manifestata una maggior componente di "disturbo" della gestione. Si parla, comunque, di un effetto della gestione in cui, in genere, non è possibile distinguere tra i diversi trattamenti. Le variabili principali a cui il presente lavoro guardava, gli stock di carbonio organico e azoto totale, non hanno subito modifiche significative in nessuno dei tre siti considerati. A parte per il sito di Chiarano, in cui il forte disturbo è riuscito a modificare gli orizzonti pedogenetici fino ai 30 cm di profondità, il suolo come sistema complesso sembra mantenere il suo carattere conservativo rispetto ai perturbamenti apportati dalla gestione. Probabilmente sia i tagli innovativi (diradamenti dall'alto per favorire alcune candidate accoppiati o meno a diradamenti dal basso) sia quelli tradizionali (diradamenti dal basso e di moderata entità) non sono apprezzabili dal sistema *solum*, almeno non nel tempo intercorso (circa un anno) tra il taglio ed il successivo campionamento. Questo è anche una conferma che, come da ipotesi progettuale, gli interventi di gestione siano stati comunque improntati secondo criteri complessivi di "sostenibilità"

Sicuramente più visibile, e in parte atteso, è invece l'effetto dei trattamenti sugli orizzonti dell'*episolum* umifero, che sono chiaramente strettamente legati all'apporto di lettiera al suolo e ai cambiamenti microclimatici derivati dall'apertura della *canopy*.

L'orizzonte OF in particolare è quello su cui l'effetto della gestione è maggiormente visibile: a Cansiglio e Mongiana l'OF nei plot trattati reagisce in maniera opposta, quindi la gestione influenza sì la decomposizione della sostanza organica, ma la risposta dell'*episolum* umifero è diversa in dipendenza di fattori ecologici quali clima, substrato roccioso e tipo di suolo (Ponge et al., 2011). Questa risposta complessa è difficilmente spiegabile da variabili "quantitative" che invece lo studio qualitativo delle forme di humus ha permesso di interpretare come cambiamenti significativi a livello ecologico come il cambiamento della velocità e delle caratteristiche biologiche del processo di decomposizione apportato dalla gestione forestale. L'approccio quali-quantitativo può essere quindi utile per aumentare la conoscenza di quella parte dell'ecosistema forestale definita come "un crocevia spazio-temporale tra il mondo degli organismi vivi e quello dei costituenti minerali" (Zanella et al., 2001) e per mettere a punto delle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici efficaci a livello di ecosistema forestale che non siano basate solo sulla stima dello stock di carbonio.

Sviluppi futuri

La dimensione del progetto LIFE+ ManFor C.BD, sia per quanto riguarda i dati raccolti su tutte le componenti del ciclo del carbonio che sulla biodiversità forestale, permetterà approfondimenti su diversi aspetti, al fine di poter interpretare al meglio e nel medio-lungo termine i risultati di questo lavoro di ricerca e di riuscire ad indagare le differenze tra le diverse opzioni di gestione. Studi della decomposizione tramite “buste di lettiera” (*Litter bag*), raccolta della lettiera prodotta annualmente, respirazione del suolo, sono solo alcuni dei campionamenti i cui risultati potranno essere confrontati per approfondire la dinamica della decomposizione della lettiera. Interessante sarà anche mettere in relazione le forme di humus con la vegetazione erbacea campionata anch'essa ante e post trattamento. Infine verrà approfondita, attraverso l'indice di qualità biologica del suolo, il QBS-ar, la relazione tra i dati di suolo ed humus con la dinamica della comunità di artropodi edafici nei mesi successivi al taglio, un indicatore molto utile del disturbo del suolo. Su questo indice, i campionamenti nel sito di Chiarano sono stati effettuati durante il periodo del dottorato di ricerca e si sta procedendo all'analisi dei campioni e dati raccolti.

6. Bibliografia

AFES (1995). Référentiel Pédologique 1995. INRA, Paris.

AFES (2009). Référentiel Pédologique 2008. Quae, Paris.

Ampe, C., & Langohr, R. (2003). Morphological characterisation of humus forms in recent coastal dune ecosystems in Belgium and northern France. *CATENA*, 54(3), 363–383. doi:10.1016/S0341-8162(03)00128-0

Ampe, C., & Langohr, R. (2003). Morphological characterisation of humus forms in recent coastal dune ecosystems in Belgium and northern France. *CATENA*, 54(3), 363–383. doi:10.1016/S0341-8162(03)00128-0

Andreetta, A., Ciampalini, R., Moretti, P., Vingiani, S., Poggio, G., Matteucci, G., Carnicelli, S. (2010). Forest humus forms as potential indicators of soil carbon storage in Mediterranean environments. *Biology and Fertility of Soils*, 47(1), 31–40. doi:10.1007/s00374-010-0499-z

Baratella, V., Renzaglia, M., & Trinchera, A. (2015). Chemical characterization of soil organic profiles for assessing the European morphogenetic reference base of humus forms in Mediterranean environments. *Rendiconti Lincei*, 1–12. doi:10.1007/s12210-014-0376-z

Batjes, N. H., and J. A. Dijkshoorn. "Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region." *Geoderma* 89.3 (1999): 273-286.

Bens, O., Buczko, U., Sieber, S., & Hüttel, R. F. (2006). Spatial variability of O layer thickness and humus forms under different pine beech–forest transformation stages in NE Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(1), 5–15. doi:10.1002/jpln.200521734

Bernier, N. (1996). Altitudinal changes in humus form dynamics in a spruce forest at the montane level. *Plant and Soil*, 178(1), 1–28. doi:10.1007/BF00011159

Blume, H.-P., & Müller-Thomsen, U. (2007). A field experiment on the influence of the postulated global climatic change on coastal marshland soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170(1), 145–156. doi:10.1002/jpln.200521892

Bonifacio, E., Falsone, G., & Petrillo, M. (2011). Humus forms, organic matter stocks and carbon fractions in forest soils of northwestern Italy. *Biol Fertil Soils*, 47, 555–566. doi:10.1007/s00374-011-0568-y

Brethes A, Brun JJ, Jabiol B, Ponge JF, Toutain F (1992). Typologie des formes d’humus. In: Association Francaise pour l’Etude du Sol. Référentiel Pédologique, I.N.R.A., pp. 177-192.

- Broll, G., Brauckmann, H.-J., Overesch, M., Junge, B., Erber, C., Milbert, G., ... Nachtergaele, F. (2006). Topsoil characterization—recommendations for revision and expansion of the FAO-Draft (1998) with emphasis on humus forms and biological features. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(3), 453–461. doi:10.1002/jpln.200521961
- Buma, B., & Wessman, C. A. (2013). Forest resilience, climate change, and opportunities for adaptation: A specific case of a general problem. *Forest Ecology and Management*, 306, 216–225. doi:10.1016/j.foreco.2013.06.044
- Caner, L., Zeller, B., Dambrine, E., Ponge, J.-F., Chauvat, M., & Llanque, C. (2004). Origin of the nitrogen assimilated by soil fauna living in decomposing beech litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(11), 1861–1872. doi:10.1016/j.soilbio.2004.05.007
- Carta d'Italia IGM 1:50000 F 378 Scanno.
- Carta dei Suoli Regione Calabria 1:250000, Mongiana ARSSA
- Carta d'Italia IGM 1:50000 F064 Aviano
- Carta Geologica d'Italia F378 (Scanno)
- Carta Geologica d'Italia 1:100000 F023 Belluno
- Casella, George.(2008) Statistical design. *Springer Science & Business Media*.
- Cassagne, N., Bal-Serin, M.-C., Gers, C., & Gauquelin, T. (2004). Changes in humus properties and collembolan communities following the replanting of beech forests with spruce. *Pedobiologia*, 48(3), 267–276. doi:10.1016/j.pedobi.2004.01.004
- Chauvat, M., Ponge, J. F., & Wolters, V. (2007). Humus structure during a spruce forest rotation: quantitative changes and relationship to soil biota. *European Journal of Soil Science*, 58(3), 625–631. doi:10.1111/j.1365-2389.2006.00847.x
- Chemistry of Soil Organic Matter. (1987). Developments in Soil Science (Vol. 17). *Elsevier*. doi:10.1016/S0166-2481(08)70087-4
- Christophel, D., Höllerl, S., Prietzel, J., & Steffens, M. (2015). Long-term development of soil organic carbon and nitrogen stocks after shelterwood- and clear-cutting in a mountain forest in the Bavarian Limestone Alps. *European Journal of Forest Research*, 134(4), 623–640. doi:10.1007/s10342-015-0877-z
- Ciancio O, Nocentini S (1996). Systemic silviculture: scientific and technical consequences. *L'Italia Forestale e Montana* 51 (2): 112-130.

Contoli L, Lombardi G, Spada F (1980). Tutela del patrimonio ambientale. In: Piano per un Parco Naturale nel territorio di Allumiere e Tolfa. Commissione Conservazione Natura e sue Risorse, CNR, Facoltà di Scienze, Università di Roma La Sapienza, Roma.

D. Hölscher, E. Schade, C. Leuschner (2001) Effects of coppicing in temperate deciduous forests on ecosystem nutrient pools and soil fertility *Basic Appl. Ecol.*, 2 (2001), pp. 155–164

D'Annunzio, R., Zeller, B., Nicolas, M., Dhôte, J.-F., & Saint-André, L. (2008). Decomposition of European beech (*Fagus sylvatica*) litter: Combining quality theory and ¹⁵N labelling experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2), 322–333. doi:10.1016/j.soilbio.2007.08.011

De Nicola, C., Testi, A., Crosti, R., & Fanelli, G. (2015). Can the flora-based humus functionality index (RxN) predict humus forms in Mediterranean plant communities? A case study in Castelporziano State Natural Reserve. *Rendiconti Lincei*, 1–10. doi:10.1007/s12210-014-0375-0

De Nicola, C., Zanella, A., Testi, A., Fanelli, G., & Pignatti, S. (2014). Humus forms in a Mediterranean area (Castelporziano Reserve, Rome, Italy): classification, functioning and organic carbon storage. *Geoderma*, 235-236, 90–99. doi:10.1016/j.geoderma.2014.06.033

De Nicola, Cristina Maria Pilar. Tesi di Dottorato - Studio della complessità dell'ecosistema a *Fagus* nell'Appennino centrale attraverso ecoindicatori basati su specie, suolo, humus, microclima. Dall'uniformità alla complessità. Diss. Università degli Studi di Napoli Federico II, 2008.

Deschaseaux, A., & Ponge, J.-F. (2001). Changes in the composition of humus profiles near the trunk base of an oak tree (*Quercus petraea* (Mattus.) Liebl.). *European Journal of Soil Biology*, 37(1), 9–16. doi:10.1016/S1164-5563(01)01064-0

Dokouchaev V.V. (1883). Le chernozem russe. These Univ. St-Peterburg.

Dorodnikov, M., Kuzyakov, Y., Fangmeier, A., & Wiesenberger, G. L. B. (2011). C and N in soil organic matter density fractions under elevated atmospheric CO₂: Turnover vs. stabilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(3), 579–589. doi:10.1016/j.soilbio.2010.11.026

Duchaufour P (1983). Pédologie.1. Pédogenèse et classification. II edizione, Masson, Paris.

Duchaufour P, Bartoli C (1965). Précis de pédologie. Masson & Cie, Paris.

Ellison, Gotelli NJAM, and N. J. Gotelli. (2004). "A primer of ecological statistics." *Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA*

Fedotov, G. N., & Lysak, L. V. (2014). The possible role of microorganisms in humus formation in soils. *Doklady Biological Sciences: Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, Biological Sciences Sections / Translated from Russian*, 455(1), 87–90.

doi:10.1134/S001249661402001X

Feoli E, Lagonegro M (1982). Syntaxonomical analysis of beech woods in the Apennines (Italy) using the program package IAHOPA. *Plant Ecology* 50 (3): 129-190.

Ferasin A.R., (1958) Il complesso di scogliera cretacico del Veneto centro-orientale. *Mem. Ist. Geol. Min. Univ. PADOVA*, 21: 1-54

Florenzano G (1991). Fondamenti di microbiologia del terreno. IV ristampa. Reda, Roma.

Garten, C. T., Kang, S., Brice, D. J., Schadt, C. W., & Zhou, J. (2007). Variability in soil properties at different spatial scales (1m–1km) in a deciduous forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(10), 2621–2627. doi:10.1016/j.soilbio.2007.04.033

Giordano A (1999). Pedologia. UTET, Torino.

Gobat, J.M., Aragno, M. & Matthey, W. (2010). Le Sol Vivant. Bases de Pédologie. Biologie des Sols. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, Lausanne.

Green RN, Klinka K, Trowbridge RL (1993). Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science Monograph* 29: 1-49.

Green, R. N., Trowbridge, R. L. & Klinka, K. (1993). Towards a taxonomic classification of humus forms. *Forest Science Monographs*, 29:1-49

Hartmann, F. (1970). Diagnosi degli Humus Forestali su Basi Biomorfologiche. CEDAM, Padova.

Helal, A. a., Murad, G. a., & Helal, a. a. (2011). Characterization of different humic materials by various analytical techniques. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(1), 51–54. doi:10.1016/j.arabjc.2010.06.018

Hofmann A (1991). Il faggio e le faggete in Italia. *Collana Verde 81, Corpo Forestale dello Stato*, Roma.

Jabiol B, Brethes A, Brun JJ, Ponge JF, Toutain F (1995). Une classification morphologique et fonctionnelle des formes d’humus. Propositions du référentiel pédologique. *Revue Forestière Française* XLVI 2: 152-166.

Jabiol, B., Zanella, A., Ponge, J. F., Sartori, G., Englisch, M., van Delft, B., ... Le Bayon, R. C. (2013). A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO). *Geoderma*, 192(1), 286–294. doi:10.1016/j.geoderma.2012.08.002

Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Byrne, K. A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137(3-4),

253–268. doi:10.1016/j.geoderma.2006.09.003

Jobbagy, E. G., & Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2), 423–436.

Judas, M. (1992). Gut content analysis of earthworms (Lumbricidae) in a beechwood. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1413–1417. doi:10.1016/0038-0717(92)90126-I

Kubiëna, W.L. (1953). The Soils of Europe. Thomas Murby, London.

Kumada, S., Kawanishi, T., Hayashi, Y., Ogomori, K., Kobayashi, Y., Takahashi, N., Yamada, K. (2008). Litter carbon dynamics analysis in forests in an arid ecosystem with a model incorporating the physical removal of litter. *Ecological Modelling*, 215(1-3), 190–199. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.02.022

Landgraf, D., Leinweber, P., & Makeschin, F. (2006). Cold and hot water-extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 76–82. doi:10.1002/jpln.200521711

Le Bayon, Claire, et al. (2014) "Sols, formes d'humus et communautés lombriciennes: indicateurs du succès de la revitalisation des zones alluviales?." *Congrès de la société suisse de pédologie*. No. EPFL-TALK-206298.

Magaldi D, Ferrari GA (1984). Conoscere il suolo. Introduzione alla pedologia. ETAS Libri.

Mäkipää, R., Häkkinen, M., Muukkonen, P., & Peltoniemi, M. (2008). The costs of monitoring changes in forest soil carbon stocks. *Boreal Environment Research*, 13, 120–130.

Mantovani F., M. Panizza, E. Semenza, S. Piacente (1976), L'Alpago (Prealpi Bellunesi). Geologia, geomorfologia e nivoplumiometria *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 95 pp. 1589–1656

MIRAAF (1994). Metodi Ufficiali di analisi chimica del suolo. Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali, ISMEA, Roma.

Müller, P.E. (1879). Studier over skovjord, som bidrag til skovdyrkningens teori: om bögemuld og bögemor paa sand og ler. *Tidsskrift for Skovbrug*, 3, 1-124

Muukkonen, P., Laiho, R., Minkkinen, K., & Vasander, H. (2006). Relationship between biomass and percentage cover in understorey vegetation of boreal coniferous forests. *Silva Fennica*, 40(2), 231–245.

Patzel, N., & Ponge, J.-F. (2001). The heterogeneity of humus components in a virgin beech forest. *European Journal of Soil Biology*, 37(2), 117–124. doi:10.1016/S1164-5563(01)01076-7

Penman, Jim, et al. (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. *Institute for Global Environmental Strategies*,.

Ponge JF, Chevalier R, Loussot P (2002). Humus Index: An Integrated Tool for the Assessment of Forest Floor and Topsoil Properties. *Soil Sci Soc Am J* 66: 1996-2001.

Ponge, J.-F. (2003). Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(7), 935–945. doi:10.1016/S0038-0717(03)00149-4

Ponge, J.-F. (2013). Plant–soil feedbacks mediated by humus forms: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 1048–1060. doi:10.1016/j.soilbio.2012.07.019

Ponge, J.-F., Jabiol, B., & Gégout, J.-C. (2011). Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies at large scale in temperate forests. *Geoderma*, 162(1-2), 187–195. doi:10.1016/j.geoderma.2011.02.003

Ponge, J.-F., Sartori, G., Garlato, A., Ungaro, F., Zanella, A., Jabiol, B., & Obber, S. (2014). The impact of parent material, climate, soil type and vegetation on Venetian forest humus forms: A direct gradient approach. *Geoderma*, 226-227, 290–299. doi:10.1016/j.geoderma.2014.02.022

Prietz, Jörg, and Sven Bachmann. "Changes in soil organic C and N stocks after forest transformation from Norway spruce and Scots pine into Douglas fir, Douglas fir/spruce, or European beech stands at different sites in Southern Germany." *Forest ecology and management* 269 (2012): 134-148.

PROVINCIA DI TREVISO, A. R. P. A. V. "Carta dei suoli della provincia di Treviso." *LAC, Firenze* (2008).

Quinn, Gerry P., and Michael J. Keough (2002). Experimental design and data analysis for biologists. *Cambridge University Press*.

Reichstein, M., & Beer, C. (2008). Soil respiration across scales: The importance of a model–data integration framework for data interpretation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(3), 344–354. doi:10.1002/jpln.200700075

S.S.S.A (Soil Science Society of America) (1996). Method of soil analysis:part 3. Book Series 5. Sparks D.L. (ed) Madison, Wisconsin.

Sagot, Clotilde, et al. (1999) "Earthworm distribution and humus forms in the development of a semi-natural alpine spruce forest." *European Journal of Soil Biology* 35.4: 163-169.

Samonil, P., Kral, K., Douda, J., & Sebkova, B. (2008). Variability in forest floor at different spatial scales in a natural forest in the Carpathians: effect of windthrows and mesorelief. *Canadian Journal*

of Forest Research, 2596–2606. doi:10.1139/X08-100

Sanesi G (1977). Guida alla descrizione del suolo. C.N.R., pubbl. 11, Firenze.

Sanesi G, Cecchini G (1999). I suoli delle faggete: caratteristiche ed aspetti funzionali. In: (Scarascia Mugnozza G ed) "Ecologia strutturale e funzionale di faggete italiane". Edagricole, pp. 71-79.

Sartori, G., Garlato, A., Obber, S., Ungaro, F., Vinci, I., (1995) FORME DI HUMUS FORESTALI IN VENETO. Suoli-ARPAV, O. R., & Veneto

Schimel, David S. "Terrestrial ecosystems and the carbon cycle." *Global change biology* 1.1 77-91.

Schulze E.-D.(ed.) (2003) Carbon and nitrogen cycling in European forest ecosystems. *Ecological studies*, volume 142 Springer.

Schulze, E. D., & Freibauer, A. (2005). Carbon unlocked from soils. *Nature*, 437(September), 11–12.

Schulze, Ernst-Detlef, Christian Wirth, and Martin Heimann. "Managing forests after Kyoto." *Science(Washington)* 289.5487 (2000): 2058-2059.

Seeber, J., & Seeber, G. U. H. (2005). Effects of land-use changes on humus forms on alpine pastureland (Central Alps, Tyrol). *Geoderma*, 124(3-4), 215–222. doi:10.1016/j.geoderma.2004.05.002

Selman A.Waksman. (1925). What is humus? *Report*, 11(8), 463–468. Retrieved from <http://www.cabdirect.org/abstracts/19411900425.html>

Shanin, V. N., Komarov, A. S., Mikhailov, A. V., & Bykhovets, S. S. (2011). Modelling carbon and nitrogen dynamics in forest ecosystems of Central Russia under different climate change scenarios and forest management regimes. *Ecological Modelling*, 222(14), 2262–2275. doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.11.009

Shulze E-D, Kelliher FM, Korner Ch, Lloyd J., Leung R (1994) Relationships between plant nitrogen nutrition, carbon assimilation rate, and maximum stomatal and ecosystem surface conductance for evaporation. A global ecological scaling exercise. *Annual Revue of Ecological System* 25:629-660

Soil Survey Staff - Soil taxonomy (1999): a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys (2nd ed.) United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, Washington, DC

SPLIT PLOT DESIGN, University of Texas

<https://www.ma.utexas.edu/users/mks/384Esp08/splitplot.pdf>

Tefs, C., & Gleixner, G. (2012). Importance of root derived carbon for soil organic matter storage in a temperate old-growth beech forest – Evidence from C, N and ^{14}C content. *Forest Ecology and Management*, 263, 131–137. doi:10.1016/j.foreco.2011.09.010

Toutain F (1981). Les humus forestiers, structures et modes de fonctionnement. *Revue Forestière Française* 23 (6): 449-477.

Toutain F (1987). Les humus forestiers: biodynamique et modes de fonctionnement. Informations Sciences Naturelles, 15, C.R.D.P., Rennes.

Toutain, F. (1981). Les humus forestiers: structures et modes de fonctionnement. *Revue Forestière Française*, 33

Trap, J., Bureau, F., Brethes, A., Jabiol, B., Ponge, J.-F., Chauvat, M., Aubert, M. (2011). Does moder development along a pure beech (*Fagus sylvatica* L.) chronosequence result from changes in litter production or in decomposition rates? *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7), 1490–1497. doi:10.1016/j.soilbio.2011.03.025

Trap, J., Laval, K., Akpa-Vinceslas, M., Gangneux, C., Bureau, F., Decaëns, T., & Aubert, M. (2011). Humus macro-morphology and soil microbial community changes along a 130-yr-old *Fagus sylvatica* chronosequence. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7), 1553–1562. doi:10.1016/j.soilbio.2011.04.005

Valtera, M., Šamonil, P., & Boublík, K. (2013). Soil variability in naturally disturbed Norway spruce forests in the Carpathians: Bridging spatial scales. *Forest Ecology and Management*, 310, 134–146. doi:10.1016/j.foreco.2013.08.004

Vos W, Stortelder A (1992). Vanishing Tuscan landscapes. Landscape ecology of a Submediterranean - Montane area (Solano Basin, Tuscany, Italy). Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, NL.

Wäldchen, J., Schulze, E.-D., Schöning, I., Schrumpf, M., & Sierra, C. (2013). The influence of changes in forest management over the past 200years on present soil organic carbon stocks. *Forest Ecology and Management*, 289, 243–254. doi:10.1016/j.foreco.2012.10.014

Yurova, A. Y., & Lankreijer, H. (2007). Carbon storage in the organic layers of boreal forest soils under various moisture conditions: A model study for Northern Sweden sites. *Ecological Modelling*, 204(3-4), 475–484. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.02.003

Zanella A, Tomasi A, De Siena C, Frizzera L, Jabiol B, Nicolini G (2001). Humus Forestali.

Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione - applicazione alle faggete. Edizioni Centro di Ecologia Alpina, Trento.

Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J. F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Englisch, M. (2011). A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma*, 164(3-4), 138–145. doi:10.1016/j.geoderma.2011.05.016

Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J. F., Sartori, G., De Waal, R., Van Delft, B., Englisch, M. (2011). A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma*, 164(3-4), 138–145. doi:10.1016/j.geoderma.2011.05.016

Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J. F., Sartori, G., Waal, R. De, Delft, B. Van, Langohr, R. (2011). EUROPEAN HUMUS FORMS REFERENCE BASE. *Report*, 1–56.

Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J. F., Sartori, G., Waal, R. De, Delft, B. Van, ... Van Delft, B. (2011). A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma*, 164(3-4), 138–145. doi:10.1016/j.geoderma.2011.05.016

Zanella, Augusto, et al. (2011) "European humus forms reference base."

Zhang, C. F., Meng, F.-R., Bhatti, J. S., Trofymow, J. A., & Arp, P. . (2008). Modeling forest leaf-litter decomposition and N mineralization in litterbags, placed across Canada: A 5-model comparison. *Ecological Modelling*, 219(3-4), 342–360. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.07.014

7. Appendice

A.Data set suolo

sito	plot	trattamento	tempo	bulk density (Mg/ha)	stock OC (Mg C/ha)	stock Ntot (Mg N/ha)	%C	%N	C/N
cansiglio	1	innovativo	ante	0.58	86.98	6.33	5.07	0.37	13.73
cansiglio	4	innovativo	ante	0.62	52.04	4.05	2.94	0.23	12.84
cansiglio	7	innovativo	ante	0.61	59.41	4.75	3.33	0.27	12.50
cansiglio	3	non trattato	ante	0.56	60.21	4.79	3.67	0.29	12.58
cansiglio	5	non trattato	ante	0.60	103.66	5.83	5.94	0.33	17.78
cansiglio	8	non trattato	ante	0.60	54.45	4.25	3.13	0.24	12.81
cansiglio	2	traditional	ante	0.61	59.67	4.67	3.47	0.27	12.76
cansiglio	6	traditional	ante	0.61	60.19	4.30	3.46	0.25	14.00
cansiglio	9	traditional	ante	0.59	65.19	4.98	3.90	0.30	13.08
cansiglio	1	innovativo	post	0.57	58.26	4.69	3.51	0.28	12.42
cansiglio	4	innovativo	post	0.63	62.53	4.62	3.41	0.25	13.52
cansiglio	7	innovativo	post	0.79	62.63	4.89	2.68	0.21	12.80
cansiglio	3	non trattato	post	0.25	37.13	2.54	4.94	0.34	14.61
cansiglio	5	non trattato	post	0.56	101.12	5.22	6.29	0.32	19.35
cansiglio	8	non trattato	post	0.66	56.86	4.47	2.98	0.23	12.71
cansiglio	2	traditional	post	0.57	59.75	4.47	3.74	0.28	13.37
cansiglio	6	traditional	post	0.72	70.71	5.33	3.48	0.26	13.27
cansiglio	9	traditional	post	0.66	57.47	4.58	3.09	0.25	12.55
chiarano	4	innovativo40	ante	0.45	83.69	6.62	6.48	0.51	12.64
chiarano	5	innovativo40	ante	0.38	83.61	5.99	7.60	0.54	13.97
chiarano	8	innovativo40	ante	0.55	89.75	7.07	5.68	0.45	12.69
chiarano	2	innovativo80	ante	0.60	100.89	7.57	5.78	0.43	13.33
chiarano	6	innovativo80	ante	0.52	87.74	7.06	5.96	0.48	12.42
chiarano	9	innovativo80	ante	0.52	85.86	6.94	5.70	0.46	12.37
chiarano	1	traditional	ante	0.39	84.52	6.30	7.46	0.56	13.42
chiarano	3	traditional	ante	0.58	86.17	7.23	5.25	0.44	11.92
chiarano	7	traditional	ante	0.51	84.41	6.61	5.74	0.45	12.77
chiarano	4	innovativo40	post	0.65	91.17	7.50	4.89	0.40	12.16
chiarano	5	innovativo40	post	0.64	114.71	8.62	6.34	0.48	13.30
chiarano	8	innovativo40	post	0.63	95.43	7.60	5.25	0.42	12.55
chiarano	2	innovativo80	post	0.71	85.67	7.16	4.12	0.34	11.97
chiarano	6	innovativo80	post	0.60	115.75	8.21	7.02	0.50	14.09
chiarano	9	innovativo80	post	0.61	104.30	8.26	5.88	0.47	12.62
chiarano	1	traditional	post	0.56	94.65	7.74	5.95	0.49	12.23
chiarano	3	traditional	post	0.70	89.44	7.84	4.37	0.38	11.41
chiarano	7	traditional	post	0.55	104.86	8.04	6.50	0.50	13.04
mongiana	1	innovativo	ante	0.62	91.90	5.88	5.23	0.33	15.62
mongiana	2	innovativo	ante	0.69	98.58	5.70	5.06	0.29	17.30
mongiana	5	innovativo	ante	0.57	108.77	6.90	6.85	0.43	15.75
mongiana	3	non trattato	ante	0.63	98.12	6.18	5.53	0.35	15.87

mongiana	7	non trattato	ante	0.63	80.90	4.74	4.63	0.27	17.09
mongiana	9	non trattato	ante	0.75	87.32	5.10	4.41	0.26	17.12
mongiana	4	traditional	ante	0.55	86.99	5.34	5.66	0.35	16.29
mongiana	6	traditional	ante	0.56	92.01	5.18	5.88	0.33	17.78
mongiana	8	traditional	ante	0.64	112.27	6.93	6.56	0.40	16.20
mongiana	1	innovativo	post	0.59	86.68	5.44	5.16	0.32	15.94
mongiana	2	innovativo	post	0.69	95.59	5.58	4.99	0.29	17.14
mongiana	5	innovativo	post	0.56	97.25	5.83	6.22	0.37	16.67
mongiana	3	non trattato	post	0.59	94.03	5.83	5.71	0.35	16.12
mongiana	7	non trattato	post	0.61	78.85	4.53	4.70	0.27	17.41
mongiana	9	non trattato	post	0.71	102.69	6.20	5.34	0.32	16.57
mongiana	4	traditional	post	0.55	92.22	5.39	6.00	0.35	17.11
mongiana	6	traditional	post	0.59	89.52	5.13	5.49	0.31	17.43
mongiana	8	traditional	post	0.56	104.31	6.64	6.86	0.44	15.70

B.Data set humus

CANSIGLIO							
Forme di Humus rilevate ante trattamenti (Giugno 2012)							
SUBPLOT	TRATTAMENTO	OL cm	OF cm	OH cm	A cm	FORMA DI HUMUS	ORIZZONTI DIAGNOSTICI
1.1	innovativo	1.5	1		6	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
1.2	innovativo	2	1	1	4	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
1.3	innovativo	2.5	3	0.5	4	leptoamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
4.1	innovativo	2	1		8	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
4.2	innovativo	2	1		7	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
4.3	innovativo	2	3		7	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.1	innovativo	5	3		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.2	innovativo	2	3		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.3	innovativo	2	3		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
3.1	non trattato	2	2	3	7	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
3.2	non trattato	3	1	2	7	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
3.3	non trattato	3	2	3	7	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
5.1	non trattato	2	1		9	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
5.2	non trattato	3	3	2	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
5.3	non trattato	2.5	1	2	6	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
8.1	non trattato	3	1		7	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.2	non trattato	2	1		2	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.3	non trattato	3	2	1	2	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
2.1	tradizionale	2	2	3	6	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
2.2	tradizionale	2	1		6	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
2.3	tradizionale	3	2	2	6	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
6.1	tradizionale	2	2		3	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
6.2	tradizionale	2.5			4	oligomull	OLn, OLv // A ma
6.3	tradizionale	3	2	1.5	2	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
9.1	tradizionale	3	1	2	3	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
9.2	tradizionale	1.5	1	3	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
9.3	tradizionale	2.5	3	1	4	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma

CANSIGLIO							
Forme di Humus rilevate post trattamento (Settembre 2014)							
SUBPLOT	TRATTAMENTO	OL cm	OF cm	OH cm	A cm	FORMA DI HUMUS	ORIZZONTI DIAGNOSTICI
1.1	innovativo	2			6	oligomull	OLn,OLv // A ma
1.2	innovativo	2			4	oligomull	OLn,OLv // A ma
1.3	innovativo	2	1		4	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
4.1	innovativo	2			7	oligomull	OLn,OLv // A ma
4.2	innovativo	5			6	oligomull	OLn,OLv // A ma
4.3	innovativo	2	1		6	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.1	innovativo	2	1	1	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
7.2	innovativo	2	1	1.5	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
7.3	innovativo	2			2	oligomull	OLn,OLv // A ma
3.1	non trattato	1.5	1	1	6	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
3.2	non trattato	2	1	0.5	7	leptoamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
3.3	non trattato	2	1.5		10	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
5.1	non trattato	2			7	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
5.2	non trattato	1.5	0.5	2	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
5.3	non trattato	1.5	1.5	1	7	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
8.1	non trattato	1.5	1.5		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.2	non trattato	2	1		7	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.3	non trattato	2	1	1	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
2.1	tradizionale	2	1.5		12	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
2.2	tradizionale	2			5	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
2.3	tradizionale	1.5			5	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
6.1	tradizionale	2			4	oligomull	OLn,OLv // A ma
6.2	tradizionale	2	1	1	5	eumacroamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
6.3	tradizionale	2			5	oligomull	OLn,OLv // A ma
9.1	tradizionale	2			3	oligomull	OLn,OLv // A ma
9.2	tradizionale	2			3	oligomull	OLn,OLv // A ma
9.3	tradizionale	2			2	oligomull	OLn,OLv // A ma

CHIARANO							
Forme di Humus rilevate ante trattamento (Agosto 2011 [plot 1-4] - Giugno 2013 [plot5-9])							
SUBPLOT	TRATTAMENTO	OL cm	OF cm	OH cm	A cm	FORMA DI HUMUS	ORIZZONTI DIAGNOSTICI
4.1	innovativo40	2	1	0.5	11	leptoamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
4.2	innovativo40	1.5	2		10	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
4.3	innovativo40	3			12	oligomull	OLn, OLv // A ma
5.1	innovativo40	1.5	1		9	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
5.2	innovativo40	1.5			5	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
5.3	innovativo40	3			13	oligomull	OLn, OLv // A ma
8.1	innovativo40	2	2	2	9	eumacroamphy	OLn, OLv, OF, OH // A ma
8.2	innovativo40	2			9	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
8.3	innovativo40	2.5			15	oligomull	OLn, OLv // A ma
2.1	innovativo80	3	3		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
2.2	innovativo80	1			10	eumull	OLn // A ma
2.3	innovativo80	3	1		3	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
6.1	innovativo80	3	1	2	21	eumacroamphy	OLn, OLv, OF, OH // A ma
6.2	innovativo80	4	1		8	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
6.3	innovativo80	5	1		23	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
9.1	innovativo80	2			10	oligomull	OLn, OLv // A ma
9.2	innovativo80	3			7	oligomull	OLn, OLv // A ma
9.3	innovativo80	1			10	eumull	OLn // A ma
1.1	tradizionale	7	1		20	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
1.2	tradizionale	4	2		6	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
1.3	tradizionale	6	3		21	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
3.1	tradizionale	1			15	eumull	OLn // A ma
3.2	tradizionale	2			6	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
3.3	tradizionale	1			7	eumull	OLn // A ma
7.1	tradizionale	2	1		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.2	tradizionale	1.5			8	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
7.3	tradizionale	1.5	1.5		8	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma

CHIARANO							
Forme di Humus rilevate post trattamento (Luglio 2013 [plot 1-4] - Ottobre 2014 [plot5-9])							
SUBPLOT	TRATTAMENTO	OL cm	OF cm	OH cm	A cm	FORMA DI HUMUS	ORIZZONTI DIAGNOSTICI
4.1	innovativo40	1.5			17	eumull	OLn // A ma
4.2	innovativo40	1.5			32	eumull	OLn // A ma
4.3	innovativo40	3	2		12	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
5.1	innovativo40	2			6	oligomull	OLn, OLv// A ma
5.2	innovativo40	3			24	oligomull	OLn, OLv// A ma
5.3	innovativo40	2	1		20	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.1	innovativo40	4.5	2		10	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.2	innovativo40	3	1.5		10	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
8.3	innovativo40	3			31	oligomull	OLn, OLv// A ma
2.1	innovativo80	2			38	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
2.2	innovativo80	2			34	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
2.3	innovativo80	3	1		25	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
6.1	innovativo80	1			17	eumull	OLn // A ma
6.2	innovativo80	3			9	oligomull	OLn, OLv// A ma
6.3	innovativo80	5	1		35	dysmull	OLn, OLv, OF// A ma
9.1	innovativo80	2	2		3	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
9.2	innovativo80	2	3		10	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
9.3	innovativo80	2	3	0.5	7	leptoamphi	OLn, OLv, OF, OH // A ma
1.1	tradizionale	2			25	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
1.2	tradizionale	2			35	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
1.3	tradizionale	3			33	oligomull	OLn, OLv// A ma
3.1	tradizionale	2			15	mesomull	OLn,(OLv) // A ma
3.2	tradizionale	2.5			35	oligomull	OLn, OLv// A ma
3.3	tradizionale	3			36	oligomull	OLn, OLv// A ma
7.1	tradizionale	2	2		5	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.2	tradizionale	2	1		9	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma
7.3	tradizionale	2	2		10	dysmull	OLn, OLv, OF // A ma

MONGIANA							
Forme di Humus rilevate ante trattamento (settembre 2012))							
SUBPLOT	TRATTAMENTO	OL cm	OF cm	OH cm	A cm	FORMA DI HUMUS	ORIZZONTI DIAGNOSTICI
1.1	innovativo	6	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
1.2	innovativo	2	1	3	1	hemimor	OLn, OLv, (OF), OH // A mi
1.3	innovativo	4	2		1	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
2.1	innovativo	3	1		1	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
2.2	innovativo	4	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
2.3	innovativo	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
5.1	innovativo	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
5.2	innovativo	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
5.3	innovativo	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
3.1	non trattato	5	1		3	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
3.2	non trattato	5	2	0.7	4	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
3.3	non trattato	5	2		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
7.1	non trattato	3	1	5	5	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
7.2	non trattato	3	1		10	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
7.3	non trattato	5	2	0.8	4	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
9.1	non trattato	3	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
9.2	non trattato	6	1	0.4	4	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
9.3	non trattato	5	3	0.4	6	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
4.1	tradizionale	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
4.2	tradizionale	5	2	2	10	humimor	OLn, OLv, OF, OH // AE
4.3	tradizionale	3	1	2	4	humimor	OLn, OLv, OF, OH // AE
6.1	tradizionale	4	3		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
6.2	tradizionale	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
6.3	tradizionale	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
8.1	tradizionale	7	1		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
8.2	tradizionale	5	1		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
8.3	tradizionale	3	3	2.5	4	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi

MONGIANA							
Forme di Humus rilevate post trattamento (dicembre 2014)							
SUBPLOT	TRATTAMENTO	OL cm	OF cm	OH cm	A cm	FORMA DI HUMUS	ORIZZONTI DIAGNOSTICI
1.1	innovativo	5	2		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
1.2	innovativo	3	1.5		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
1.3	innovativo	5	2		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
2.1	innovativo	2	2	0.7	2	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
2.2	innovativo	2	2		2	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
2.3	innovativo	4	2	0.5	2	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
5.1	innovativo	4	2		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
5.2	innovativo	4	2		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
5.3	innovativo	4.5	1.5		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
3.1	non trattato	6	1		5	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
3.2	non trattato	5	2	0.3	3	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
3.3	non trattato	4	1.5	0.5	4	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
7.1	non trattato	5	1		2	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
7.2	non trattato	7	1	3	15	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
7.3	non trattato	5	2	1	1	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
9.1	non trattato	7	2		1	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
9.2	non trattato	5	3		3	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
9.3	non trattato	9	4		1	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
4.1	tradizionale	6	2		6	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
4.2	tradizionale	2	1		15	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
4.3	tradizionale	2	0.3	2.5	3.5	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
6.1	tradizionale	3.5	3	1	3	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
6.2	tradizionale	4	2	1	4	dysmoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi
6.3	tradizionale	5	2	3	1	humimor	OLn, OLv, OF, OH // AE
8.1	tradizionale	3.5	2		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
8.2	tradizionale	5	5		4	hemimoder	OLn, OLv, OF, (OH) ~ A mi
8.3	tradizionale	4.5	1	0.5	7	eumoder	OLn, OLv, OF, OH ~ A mi

% di azoto totale negli orizzonti dell'episolum umifero

sito	trattamento	data	A	OH	OF	OL
cansiglio	innovativo	ante	0.78	1.60	1.61	1.82
cansiglio	non trattato	ante	0.70	1.53	1.67	2.03
cansiglio	tradizionale	ante	0.84	1.48	1.86	2.07
cansiglio	innovativo	post	0.70	1.45	1.65	1.86
cansiglio	non trattato	post	0.66	1.40	1.69	1.84
cansiglio	tradizionale	post	0.66	1.40	1.65	2.07
chiarano	innovativo40	ante	0.73	1.21	1.67	1.80
chiarano	innovativo80	ante	0.81	1.05	1.49	1.74
chiarano	tradizionale	ante	0.84		1.58	1.63
chiarano	innovativo40	post	0.64		1.30	1.49
chiarano	innovativo80	post	0.74	1.29	1.48	1.34
chiarano	tradizionale	post	0.72		1.14	1.41
mongiana	innovativo	ante	0.78	1.40	1.69	1.95
mongiana	non trattato	ante	0.73	1.34	1.58	1.94
mongiana	tradizionale	ante	0.58	1.33	1.72	1.89
mongiana	innovativo	post	0.75	1.08	1.63	1.45
mongiana	non trattato	post	0.64	1.09	1.63	1.56
mongiana	tradizionale	post	0.64	1.22	1.50	1.55

% di carbonio organico negli orizzonti dell'episolum umifero

sito	trattamento	data	A	OH	OF	OL
cansiglio	innovativo	ante	10.83	22.55	30.80	43.81
cansiglio	non trattato	ante	9.20	22.90	34.41	42.63
cansiglio	tradizionale	ante	11.26	22.53	36.03	43.51
cansiglio	innovativo	post	9.84	28.30	35.55	42.78
cansiglio	non trattato	post	9.24	25.46	35.93	42.33
cansiglio	tradizionale	post	9.69	22.30	35.10	42.98
chiarano	innovativo40	ante	11.32	21.70	30.32	41.72
chiarano	innovativo80	ante	12.29	20.16	28.63	40.44
chiarano	tradizionale	ante	12.36		30.62	41.55
chiarano	innovativo40	post	9.77		27.25	39.75
chiarano	innovativo80	post	11.03	20.63	30.70	40.08
chiarano	tradizionale	post	10.85		22.55	37.37
mongiana	innovativo	ante	11.98	22.05	28.91	42.10
mongiana	non trattato	ante	11.81	21.48	27.70	41.61
mongiana	tradizionale	ante	9.85	22.23	29.43	42.02
mongiana	innovativo	post	11.97	19.00	27.47	41.24
mongiana	non trattato	post	9.66	17.09	29.03	42.07
mongiana	tradizionale	post	10.26	20.89	26.38	42.16