



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



I Suoli dell'Appennino e Sequestro di Carbonio: casi di studio utilizzando R e GIS

Livia Vittori Antisari

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

La Scuola Estiva “**I Suoli dell'Appennino e Sequestro di Carbonio: casi di studio utilizzando R e GIS**” è stata finalizzata allo studio della vocazionalità delle aree castanicole dell'Appennino e del sequestro di C nei suoli castanicoli utilizzando dataset di analisi di suolo di diversi castagneti oggetto di studio all'interno dei *progetti PSR_RER CASTANI-CO* e *Biodiversamente Castagno* e dei suoli del castagneto sperimentale didattico di Granaglione (*PSR_RER Castagni Parlanti*). I dati set sono stati processati per lo stock di carbonio e di elaborazione dati chimico-fisici e biochimici con il software R. I dati territoriali/ambientali sono stati oggetto di esercitazioni pratiche su piattaforma GIS Open Source “QGIS”, finalizzati alla creazione di cartografia pedologica e derivata.

L'utilizzo di questi strumenti deve essere incentivato per la corretta e sostenibile gestione territoriale. Infatti, la conoscenza di questi strumenti di elaborazione dei dati territoriali è fondamentale per la progettazione dello sviluppo sostenibile dei territori fragili come quelli dell'Appennino.

La Scuola Estiva, in collaborazione per l'organizzazione con la Fondazione Alma Mater, è stata erogata online su piattaforma TEAMS, ancora attiva per gli iscritti come momento di dialogo e forum su questioni che riguardano i due software utilizzati e la elaborazione dati. Gli studenti ammessi, dopo selezione dei curricula, sono stati 30. Il numero è stato dettato dalla necessità di seguirli nelle esercitazioni pratiche con i due software. Essendo online è mancata la formazione di campo. La narrazione riportata di seguito, arricchita dai 3 video, vuole essere uno strumento per capire come lo studio territoriale non possa prescindere da sopralluoghi e soprattutto dallo studio dei profili di suolo e dei processi evolutivi e ecofisiologici al suo interno. L'indagine pedologica è alla base della conservazione dei suoli e della progettazione sostenibile dei territori dell'Appennino, per definirne la vocazionalità.

Il contesto: la castanicoltura, i territori e il paesaggio

In Italia la diffusione della “cultura del castagno”, meglio ancora della “civiltà del castagno”, ha inizio con i Greci e ha raggiunto l'apice di diffusione con i Romani, ai quali si deve l'esportazione della civiltà del castagno anche al di fuori della nostra Penisola. La diffusione e l'importanza del castagno continuano a crescere, anche se in maniera meno incisiva rispetto all'età romana, per tutto il Medioevo, nel corso del quale questa specie diventa la protagonista del paesaggio boschivo di molte Regioni italiane. In Emilia-Romagna la diffusione del castagno è dovuta in gran parte all'opera della granduchessa Matilde di Canossa (il cui regno si colloca tra il 1046 e il 1115, Figura 1), che resasi conto delle difficili condizioni in cui viveva la gente che popolava l'Appennino e delle potenzialità del castagno, ne cominciò a regalare ai suoi questuanti, accompagnandole da un compenso per ogni alberello che veniva messo a dimora, secondo un “sesto d'impianto matildico”, cioè dove le piante di castagno, allevate in forma libera, sono disposte ai vertici di triangoli equilateri sfalsati ad una distanza di circa 10 metri (Bounous, 2014; Lolli & Musolesi, 2006; Figura 2).

Nel XV secolo i castagneti in Italia sono diffusi un po' ovunque, in zone collinari e montane a seconda delle condizioni climatiche.



Figura 1. Matilde di Canossa (1046-1115) la *Magna comitissa* delle terre lombarde, emiliane e toscane

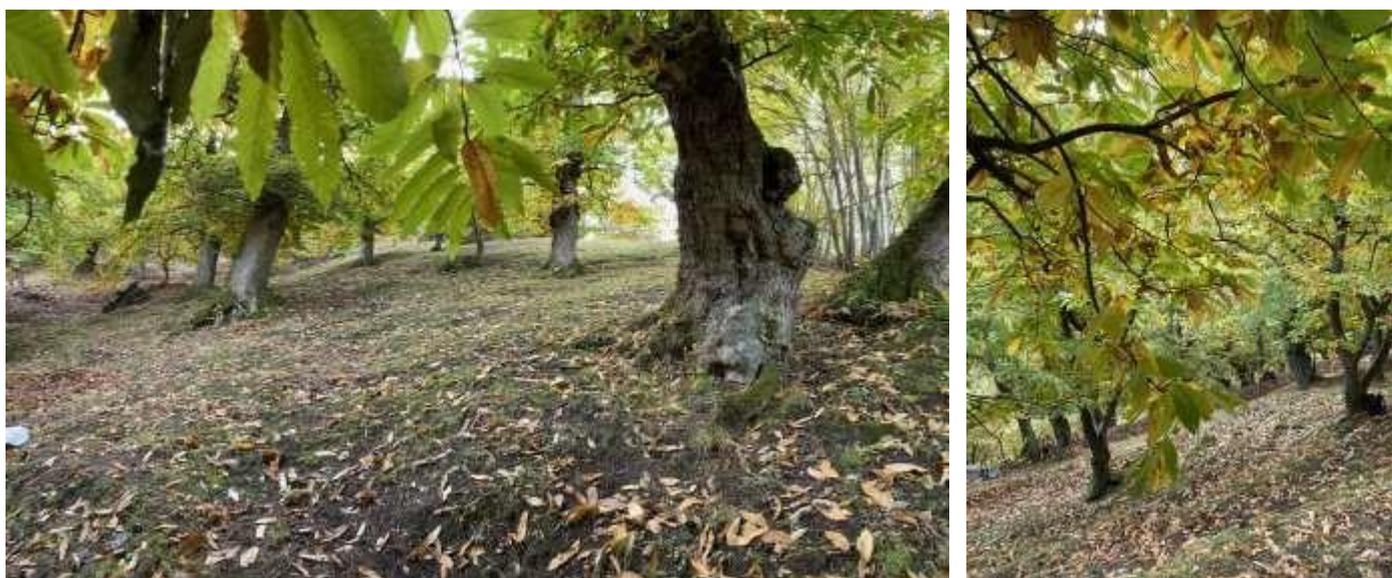


Figura 2. Castagneto di impianto “matildico”

La coltivazione del castagno nel corso dei secoli si è affermata in modo permanente nella vita economica e culturale delle comunità appenniniche modificandone il paesaggio. Le fonti storiche ne raccontano sia le pratiche colturali, le sistemazioni del suolo dalle concimazioni alle norme che ne regolano l'utilizzo alle greggi per la protezione dei polloni e delle piantine innestate, ma anche della coltura di altre specie per rispondere al modello economico basato sull'autosufficienza.

Oggi, la castanicoltura continua a rappresentare un'importante risorsa per l'Appennino sia dal punto di vista produttivo (legno, frutti, filiere alimentari) che della protezione del suolo, in particolare per il sequestro del carbonio, nonché per la salvaguardia del paesaggio rurale e culturale (Pezzi et al., 2017). Inoltre, è da sottolineare che 1000 anni di civiltà del castagno rappresentano un patrimonio culturale a vantaggio della conservazione della natura, promuovendo un gioco virtuoso tra le attività umane e la biodiversità (Pezzi et al., 2020). L'Alta Valle del Reno, da sempre vocata alla castanicoltura, è caratterizzata tuttora ancora da una notevole presenza di castagneti (Figura 3).

Le operazioni relative ai lavori sui suoli, sui castagni e sul raccolto sono rimaste pressoché inalterate nel tempo se si escludono l'utilizzo di strumenti tecnologicamente coerenti alla condizione odierna e, ad esempio, l'affinamento delle tecniche di innesto o di potatura; mentre l'aspetto più innovativo si può rintracciare nella scelta di praticare l'essiccazione separata per le diverse varietà di castagne per valorizzare maggiormente il prodotto (Associazione Nazionale Città del Castagno).

In Emilia Romagna, come nel resto d'Italia, la crisi del settore castanicolo si verifica a partire dalla seconda metà del '900, nell'immediato dopo guerra (Seconda Guerra Mondiale), dovuta principalmente al fenomeno dell'abbandono degli Appennini da parte della gente che li popolava verso la pianura in cerca di migliori condizioni di vita e di lavoro.

Allo spopolamento delle aree montane segue l'abbandono dei castagneti che in alcuni casi vengono ceduti per la produzione di legname o per l'estrazione di acido tannico. Inoltre, tale abbandono ha portato con il tempo alla rinaturalizzazione dei castagneti, cioè all'ingresso nelle aree dedicate alla castanicoltura di specie arboree autoctone/alloctone dando origine a boschi misti non gestiti.

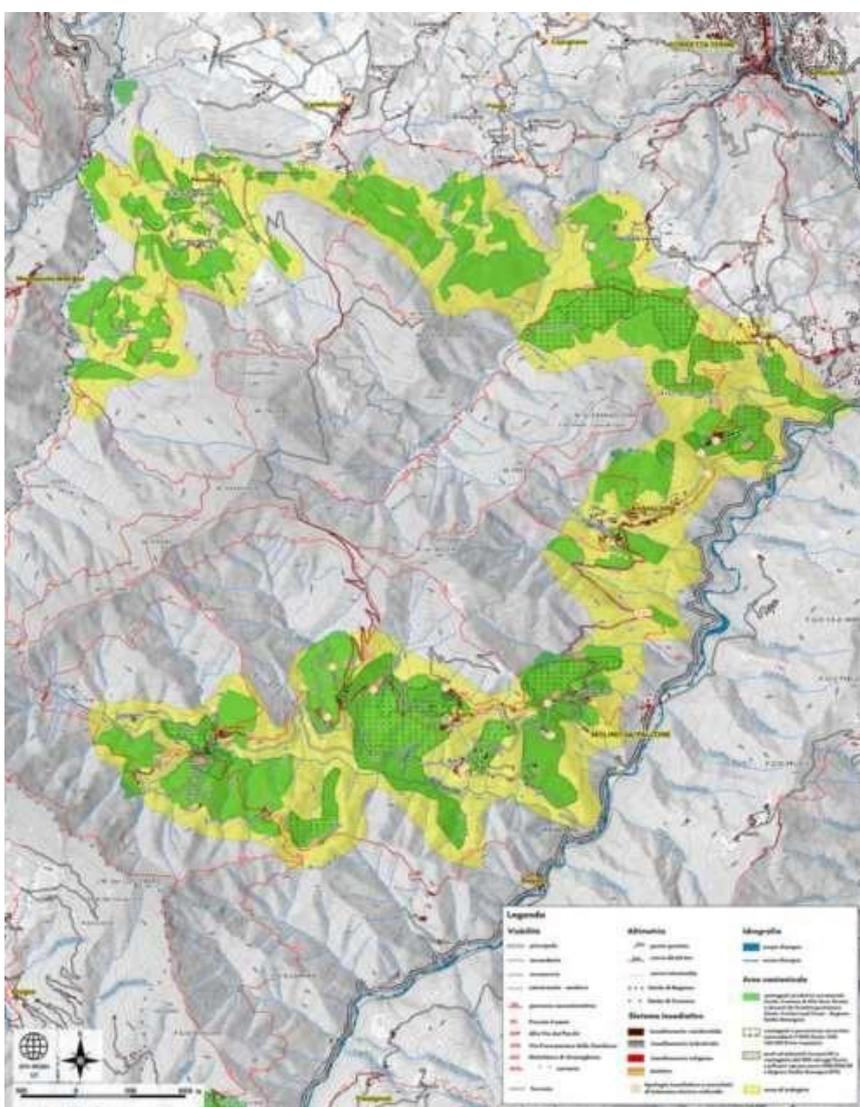


Figura 3.

“Progetto la Corona di Matilde” per la preservazione della castanicoltura e del paesaggio del castagno sui territori dell’Alta Valle del Reno.

Anche la diffusione di alcune malattie (Figura 4), quali il cancro corticale (*Cryphonectria parasitica*) e il mal dell'inchiostro (*Phytophthora cambivora*) favoriscono l'abbandono della castanicoltura. Il mal dell'inchiostro e il cancro corticale sono malattie diventate oramai endemiche sul territorio, alternando momenti di quiescenza ad altri di virulenza. I sintomi del mal dell'inchiostro si evidenziano attraverso un rallentamento della vegetazione e pertanto le piante e le ceppaie colpite presentano una chioma molto più rada rispetto a

quella delle piante sane. Le foglie sono più piccole e spesso ingialliscono. L'accrescimento delle branche è scarso ed esse appaiono raccorciate. La fruttificazione è concentrata alla sommità della chioma ed è costituita da ricci più piccoli del normale. Il cancro corticale, invece, è una malattia necrotica a carico degli organi legnosi e quindi delle branche e dei rami di ogni ordine e sul fusto. Il fungo invade e uccide i tessuti corticali e cambiali fino al legno. Inoltre, le aree necrotiche tendono ad allargarsi longitudinalmente e trasversalmente fino a circondare completamente l'organo colpito che dissecca e muore nella parte distale. Altra avversità complice dell'abbandono dei castagneti è il cinipide del castagno (*Dryocosmus kuriphilus*) che è stato segnalato per la prima volta nel 2008. L'insetto, originario della Cina, vive e si riproduce con facilità sul castagno: non causa la morte delle piante, ma ne rallenta lo sviluppo vegetativo e ne riduce la fruttificazione. Data la sua elevata capacità riproduttiva, si può diffondere in poco tempo su ampie aree, soprattutto laddove non ci sono nemici naturali della specie. In Emilia-Romagna è in atto dal 2009 un progetto di lotta biologica basato sull'introduzione nei castagneti del parassitoide *Torymus sinensis*, antagonista del cinipide, progetto finanziato dalla Regione Emilia-Romagna e dal Ministero delle Politiche agricole e forestali, con la responsabilità scientifica dell'Università di Torino e con il coordinamento del Servizio Fitosanitario della Regione Emilia-Romagna.



Figura 4.
Mal dell'inchiostro
(*Phytophthora cambivora*) e
cancro corticale
(*Cryphonectria parasitica*) su
piantedi castagno

Nonostante le diverse difficoltà che affliggono i territori montani e in particolare i castagneti di tali zone, la tenuta e ripresa della castanicoltura avviene grazie al lavoro e all'interesse dei Consorzi e delle Associazioni dei Castanicoltori, che cercano di fare massa critica affiliando le diverse aziende sul territorio. La ripresa della castanicoltura e della produzione di castagne e marroni è legata anche all'interesse crescente da parte dei consumatori sia alle filiere corte, che provengono da territori sani e sostenibili, sia alle coltivazioni biologiche. Ai classici utilizzi del castagno si stanno sviluppando settori produttivi che necessitano di una attenzione particolare per coniugare innovazione e tradizione quali prodotti artigianali a base di farina di castagne, uso cosmetico e di integratori alimentari per il benessere animale.

I castagneti tradizionali sono un tipo di coltura che si posiziona a metà strada tra un bosco di alto fusto ed un frutteto. Le leggi che si sono susseguite nel tempo hanno considerato le selve castanili come dei boschi, ponendo vincoli precisi simili a quelli che regolamentano le attività selvicolturali. In anni recenti, anche le leggi forestali regionali hanno continuato a considerare il castagneto un tipo forestale. In sostanza, anche se i castagneti tradizionali producono frutti, essi, considerato l'alto livello di biodiversità e l'assenza di pratiche di coltivazione basate sui prodotti chimici industriali, sono diversissimi da tutti gli altri tipi di frutteti e costituiscono uno straordinario esempio di coltivazione sostenibile. Considerato questo, sarebbe auspicabile una politica di salvaguardia dei territori e del paesaggio cui appartengono i castagneti tradizionali, con interventi idonei come ad esempio le potature di recupero dei castagneti abbandonati, che risultando molto costose (poiché le piante lasciate ad uno sviluppo vegetativo naturale hanno raggiunto altezze superiori ai

20/25 metri), richiederebbero adeguati finanziamenti derivanti dei Piani di Sviluppo Rurale e da fondi della Politica Agricola Comunitaria). Il non poter beneficiare dei fondi della Politica Agricola Comunitaria per il recupero dei castagneti tradizionali in stato di abbandono o di quiescenza pone a rischio il lavoro fin qui svolto e ciò potrà vanificare lo sforzo sostenuto nel tempo anche dai Ministeri per valorizzare la filiera produttiva.

Il Castagneto didattico sperimentale di Granaglione (Comune di Alto Reno Terme)

Il Castagneto Didattico Sperimentale, nel comune di Alto Reno Terme fu acquisito nel 2003 dalla Fondazione Cassa di Risparmio in Bologna nell'ambito del Progetto Appennino per la valorizzazione del castagno sia attraverso interventi di sperimentazione sia come luogo di attività didattica e di divulgazione. La progettazione scientifica e sperimentale all'interno del Castagneto è ora gestita dall'Accademia Nazionale di Agricoltura in collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari dell'Università di Bologna e sta diventando un faro per gli studi e le conoscenze sui diversi aspetti che riguardano la castanicoltura.

VIDEO ALFONSA [inserire link](#)

Il Castagneto didattico sperimentale è posizionato nell'Appennino Tosco Emiliano (coordinate: 44°08'22,52"N, 10° 57'08,21" E; Figura 4). L'altitudine è di circa 600 m s.l.m., il clima è freddo temperato, con una temperatura media annuale di 11 ° C, con un minimo in inverno (gennaio, -2,8 °C). Le precipitazioni annuali variano da 900 a 1.300 mm. Il suolo è coperto di neve per circa 45 giorni e lo spessore del manto nevoso raggiunge, in media, i 130 cm.



Figura 5
Contestualizzazione del castagneto
Didattico-Sperimentale di Granaglione in
Comune di Alto Reno Terme
(DEM elaborazione da GIS)

Il suolo si è sviluppato sulla Formazione del Monte Cervarola, membro di Granaglione, costituita da alternanze di depositi torbiditici in facies arenacea e pelitica. La composizione mineralogica della roccia presente in situ è dominata da feldspati, miche e quarzo. La sua composizione elementare, determinata mediante spettrofotometria XRF ed espressa in ossidi, è: SiO₂, 63,5%; TiO₂, 0,7%; Al₂O₃, 16,6%; Fe₂O₃, 4,9%; MnO, 4,6%; CaO, 0,3%; Na₂O, 2,4%; K₂O, 2,5%; P₂O₅, 0,2%. Essa ne riflette la composizione mineralogica ed evidenzia il limitato contenuto in calcio e fosforo.

Il Castagneto didattico sperimentale dell'Alta Valle del Reno gioca un ruolo molto importante (Magnani e Vianello, 2019) nella realtà castanicola dell'Appennino. In primis legato agli studi di diversità genetica di *Castanea sativa* (Mill.), che si sta attualizzando analizzando i genotipi presenti in tre campi di raccolta (campi catalogo) esaminati, tra cui quello preservato nel Castagneto didattico sperimentale dell'Alta Valle del Reno. I risultati mettono in evidenza come un genotipo principale (denominato "Marroni") sia stato identificato nei

tre campi di raccolta esaminati; questa varietà corrisponde a cultivar di castagno a frutto dolce che si è propagata e ampiamente diffusa nella regione Emilia-Romagna. Altri genotipi sono rappresentati da diverse varietà di castagne italiane. I risultati di questo studio saranno utilizzati per definire e condividere le linee guida per la caratterizzazione e la certificazione varietale delle varietà di castagno nella regione Emilia-Romagna (Dondini e Alessandri, 2019; Alessandri et al., 2020). Altri progetti hanno riguardato lo studio e la caratterizzazione di molecole bioattive (Chiocchio et al., 2020) dalle foglie e dalle cupole spinose per identificarne un uso farmaceutico oppure cosmetico.

In Tabella 1 viene riportato l'elenco delle diverse varietà di castagno da frutto innestate nel 2008 nel castagneto da frutto, dopo taglio raso.

Nome varietà	Frutto	Origine	Marze	Numero ceppaie innestate
BOVALGHE	Castagna	Granaglione (BO)	Sig. Biffoni	11
CASTIONE	Castagna	Trentino	Dr. Maresi (ISMA)	10
CENTA S. NICOLO'	Castagna	Trentino	Dr. Maresi (ISMA)	9
CEPPA	Castagna	Granaglione (BO)	Sig. Biffoni	9
DRENA	Castagna	Trentino	Dr. Maresi (ISMA)	10
LISANESE	Castagna	Granaglione (BO)	Sig. Biffoni	10
CASTEL DEL RIO	Marrone	Castel del Rio (BO)	Sig. Cavicchi C.	11
ZOCCA	Marrone	Zocca (MO)	Dr. Antonaroli	9
PASTANESE	Castagna	Granaglione (BO)	Sig. Biffoni	10
PASTINESE	Castagna	Emilia-Romagna	Dr. Antonaroli	10
PELOSA	Castagna	Appennino Parmense	Sig. Biffoni	10
RONCEGNO	Castagna	Trentino	Maresi (ISMA)	9
SBORGA'	Castagna	Montese (MO)	Dr. Antonaroli	10
SVIZZERA	Castagna	Guiglia (MO)	Dr. Antonaroli	10

Tabella 1
Collezione Castagno da frutto. Località Borgo Capanne-Marano di Granaglione (Comune di Alto Reno Terme).

Le varietà "Ceppa" e "Pastinese" compaiono tra i 13 tipi di Castagna a rischio di estinzione riportati nel catalogo della Regione Emilia-Romagna per la conservazione della agrobiodiversità vegetale.

Il castagneto Didattico Sperimentale si estende su nove ettari di superficie e la Figura 6 mette in evidenza le diverse aree tematiche, che insistono nel castagneto.

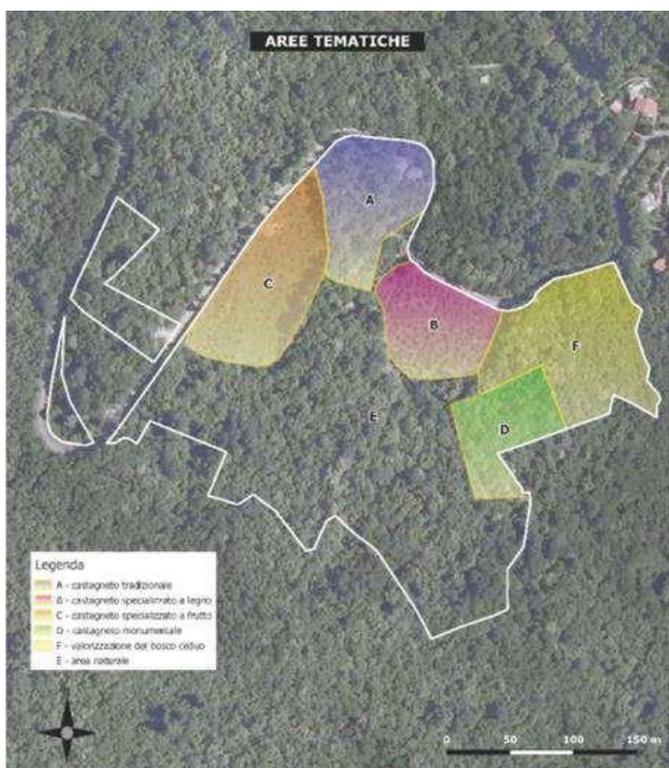


Figura 6.
Aree tematiche all'interno del castagneto didattico-sperimentale

L'area A (in blu in Figura 6) è il castagneto tradizionale. Nel 2004 su quest'area sono stati eseguiti tagli e potature con tecniche di *tree-climbing* per eliminare le parti secche e per bilanciare la chioma, al fine di mantenere le tradizionali forme di impianto di inizio secolo. Quest'area del parco oggi ha finalità produttive e anche un valore di testimonianza storica della castanicoltura tradizionale.

L'area B (in rosa in Figura 6) è il castagneto specializzato da legno. In quest'area le piante sono state innestate con varietà adatte alla produzione di legname pregiato (si tratta di varietà non soggette al fenomeno della cipollatura, che causa il distacco delle cerchie annuali del legno). Su quest'area, dove sorgeva un castagneto abbandonato, è stato effettuato un taglio raso nell'inverno 2003/2004 con successivo innesto dei ricacci con varietà da legno (Cardaccio, Mozza, Perticaccio, Politora, Mondistollo).

L'area C (in arancio in Figura 6) è il castagneto specializzato da frutto. Anche quest'area, come quella dell'impianto da legno, è stata soggetta a taglio raso delle piante esistenti nell'inverno 2004/2005 e successivo innesto dei ricacci nella primavera del 2006. Le piante sono state innestate con 12 diverse varietà di castagne (*Bovalghe, Castione, Centa S. Nicolò, Ceppa, Drena, Lisanese, Pastanese, Pastinese, Pelosa, Roncegno, Sborgà, Svizzera*) e 2 varietà di marroni (*Castel del Rio, Zocca*). Le varietà Ceppa e Pastinese sono incluse tra quelle a rischio di estinzione ripotate nel catalogo della Regione Emilia-Romagna per la conservazione della agro-biodiversità vegetale. Quest'area, oltre a rappresentare un moderno impianto di castanicoltura da frutto, ha anche l'obiettivo di diventare un centro di biodiversità, dove sono conservati i genotipi delle principali cultivar di castagno da frutto.

L'area D (in verde in Figura 6) è il castagneto monumentale di impianto matildico. In quest'area è stata fatta un'operazione di ripulitura, conservazione e recupero degli esemplari di castagno secolari. L'impianto è quello tipico del castagneto matildico, con un sesto di 10 m × 10 m. Ad oggi gli alberi presenti in quest'area possiedono dimensioni monumentali e un portamento colonnare. Gli interventi eseguiti su quest'area hanno una funzione prettamente conservativa e le funzioni prevalenti sono quelle estetico-ricreativa e storico-culturale.

L'area F (in giallo in Figura 6) è un bosco ceduo di castagno, che ha lo scopo di prendere in considerazione diverse forme di trattamento.

L'area E (Figura 6), infine, è una selva castanile abbandonata, lasciata da anni alla sua evoluzione naturale. Nel tempo, all'interno del castagneto abbandonato, sono entrate specie spontanee del luogo, come ciliegio, pioppo, betulla, quercia e qualche conifera. La finalità di quest'area, per ora, è la conservazione della biodiversità vegetale.

In questo contesto di salvaguardia della castanicoltura si sono sviluppati diversi progetti per la valorizzazione e la conservazione dei territori castanicoli sia nel Castagneto didattico sperimentale sia con il finanziamento di progetti mirati, che sono per esempio all'interno del Programma di Sviluppo Rurale (PSR) 2014-2020, ha concepito la focus area 5E specificatamente dedicata a PROMUOVERE LA CONSERVAZIONE E IL SEQUESTRO DI CARBONIO NEL SETTORE AGRICOLO E FORESTALE, declinando il compito di sviluppare iniziative a scala regionale a gruppi operativi (GO) formati da enti di ricerca e aziende agricole. In tale quadro, nasce il Gruppo Operativo del partenariato europeo all'interno della Focus Area 5E – Progetto CASTANI-CO

(<https://www.pedologia.net/it/CASTANI-CO/cms/Pagina.action?pageAction=&page=InfoSuolo.41&localeSite=it>)

e Focus Area 4B – Progetto BIODIVERSAMENTE CASTAGNO (<https://www.pedologia.net/it/BIODIVERSAMENTE-CASTAGNO/cms/Pagina.action?pageAction=&page=InfoSuolo.47&localeSite=it>), con lo scopo di preservare, ripristinare e

valorizzare gli ecosistemi connessi all'agricoltura e alla silvicoltura attraverso la salvaguardia, il ripristino ed il miglioramento del paesaggio d'Europa e della biodiversità nelle zone protette da vincoli naturali e specifici, Natura 2000 e nelle zone agricole con valore naturalistico. I primi risultati ottenuti sulla vulnerabilità dei suoli (Vittori Antisari et al., 2019), in funzione delle caratteristiche della sostanza organica sono stati presentati il 18 febbraio 2019 nel convegno "Innovazione e valorizzazione della castanicoltura emiliano-romagnola", organizzato dall'Accademia Nazionale di Agricoltura e dalla Regione Emilia Romagna.

Il Sequestro di carbonio dei suoli

Per "sequestro di carbonio" nel suolo si intende il processo di trasferimento del carbonio dall'atmosfera, in

cui è presente in forma di CO₂, al suolo attraverso residui vegetali (fotosintesi) e altri materiali organici, che vengono trattenuti e stoccati come parte del carbonio organico, caratterizzato da un lungo tempo di residenza medio nel suolo (MRT, Mean Residence Time), in modo tale da non venire riemesso in atmosfera (Lal, 2018).

Già da questa definizione si comprende l'importanza di questo processo: il ciclo del carbonio coinvolge le diverse sfere terrestri (biosfera, atmosfera, idrosfera), nelle quali il carbonio si trova immagazzinato in diverse forme, e queste interagiscono attivamente tra loro. Per questo, più carbonio viene immagazzinato in forma organica all'interno dei suoli in maniera stabile, meno sarà presente in atmosfera sotto forma di CO₂. Il sequestro di carbonio nei suoli può, quindi, assumere un ruolo chiave nella mitigazione dei cambiamenti climatici (FAO, 2015).

Lal (2018) evidenzia come il suolo rappresenti la più grande riserva di carbonio del pianeta, dopo gli oceani. Si stima che il carbonio organico presente nei suoli, a livello mondiale, sia pari a 1462-1548 Pg di C (Picogrammi, esattamente 10⁻¹² grammi! valore medio 1505 Pg) in 1 m di spessore, pari a circa 2,68 volte il carbonio stoccato nella biomassa vegetale (560 Pg) e 1,71 volte il carbonio presente in atmosfera (867 Pg). A questa quantità vanno aggiunti altri 1672 Pg di carbonio immagazzinati nei suoli ghiacciati e nel permafrost (*Cryosols*) (Lal, 2018; Figura 7). In questi calcoli non viene computato il C stoccato come inorganico, che forma principalmente carbonati.

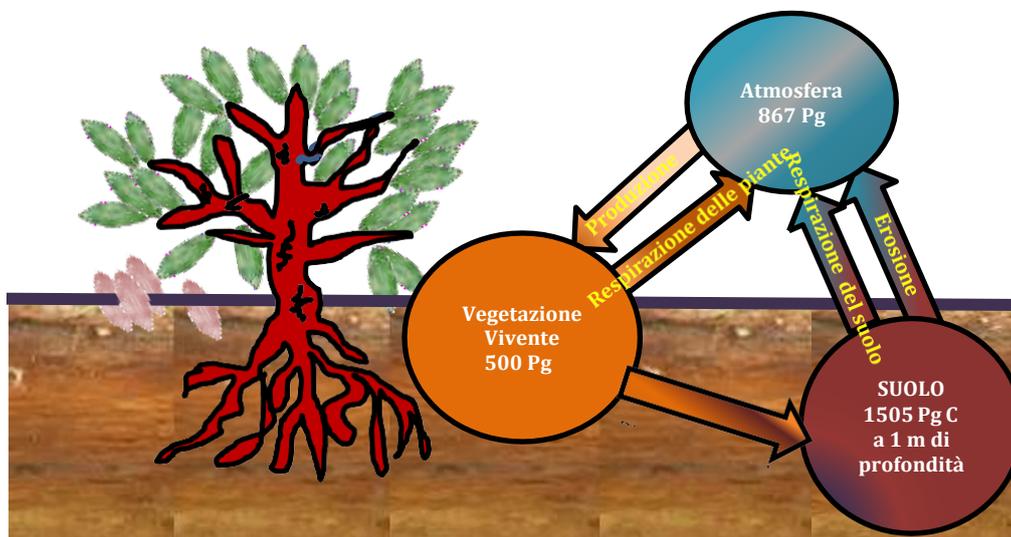


Figura 7. Ciclo del C nei diversi compartimenti ambientali (modificato da Lal, 2018)

La Figura 7 mette in evidenza come il suolo possa essere un efficiente mitigatore dei cambiamenti climatici, ma che dall'altra parte se gestito in maniera non sostenibile possa accelerare le emissioni di Gas serra (GHGs) in atmosfera, la perdita di sostanza organica e di biodiversità, se non la totale perdita del suolo stesso alimentando il dissesto idrogeologico con l'erosione e la desertificazione. La perdita cumulata di carbonio causata da cambiamenti di uso del suolo, dal 1750 al 2015, è stata stimata pari a 190 ± 65 Pg C, mentre quella risultante dalla combustione dei combustibili fossili è pari a 410 ± 20 Pg di C (Lal, 2018).

Inoltre, i processi erosivi, accentuatisi con il cambiamento climatico in atto, contribuiscono alla perdita di carbonio organico dai suoli attraverso l'asportazione della parte più superficiale e leggera del suolo e il trasporto dei sedimenti, insieme ai quali viene trasportata una notevole quantità di carbonio (Lal, 2018). Si stima che l'emissione di carbonio causata dall'erosione idrica sia pari a 1,1 Pg C/anno a livello globale (Lal, 2018). L'erosione eolica nelle zone aride ha effetti analoghi sulle dinamiche del carbonio (Lal, 2018).

Circa il 55% del carbonio organico totale stoccato in 1 m di suolo solitamente si trova nei primi 30 cm di spessore (questo valore sale al 62% considerando 1,5 m di spessore, al 67% per 2 m e al 77% se si considerano 3 m di spessore) (Lal, 2018). Non è corretto però limitare gli studi solo i primi 30 cm (*epipedon*) perché molti processi chimico-fisici, biologici e biochimici responsabili del sequestro comprendono e sono attivi anche nell'*endopedon* (la parte più profonda del suolo)

Si capisce, quindi, l'importanza della conservazione di questa riserva, considerando che anche piccole riduzioni dello stock di carbonio del suolo possono comportare importanti emissioni di CO₂ in atmosfera: 1 Pg di C immagazzinato nel suolo corrisponde a 0,47 ppm di CO₂ atmosferica (Lal, 2018).

Valutazioni accurate dell'uso del suolo e l'adozione di corrette tecniche di gestione sono molto importanti al fine di proteggere ed incrementare lo stock di carbonio organico nel suolo, mitigare il cambiamento climatico e migliorare la qualità dell'ambiente. Una gestione conservativa del suolo e l'adozione di buone pratiche, che creino un bilancio positivo dello stock di C, possono portare ad un tasso di sequestro (Mg C ha⁻¹ anno⁻¹) di 0.25-1 per i terreni coltivati, 0.1-0.175 per i pascoli, 0.5-1.0 per le colture permanenti e i prati urbani, 0.2-0.5 per il ripristino di suoli propensi ad erosione idrica e 0.05-0.2 per quelli soggetti a degradazione fisica (Lal, 2018). Il potenziale tecnico globale di sequestro di carbonio è stato stimato pari a 1,45-3,44 Pg C/anno (media 2,45 Pg) (Lal, 2018).

Il sequestro di carbonio nei suoli non contribuisce solamente a mitigare il cambiamento climatico, ma migliora anche la qualità del suolo stesso, grazie agli effetti sulle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Ad esempio, il carbonio organico riduce la densità apparente del suolo, ne incrementa la porosità, ne aumenta l'aggregazione e la stabilità degli aggregati, nonché la capacità di trattenere acqua disponibile per le piante. Questo si traduce in una maggiore capacità del suolo di difendersi dall'erosione e dal ruscellamento (Lal, 2018), ma anche produrre habitat fondamentali (le porosità) per la colonizzazione delle comunità microbiche.

La distribuzione del C organico sequestrato in diversi habitat terrestri può essere molto diversa (Figura 8). Infatti è possibile valutare come la riserva maggiore di C organico sia all'interno delle torbiere (peatland), che possono rilevarsi importanti aree di perdita di C organico e di forti emissioni di GHGs. Dato il peso di tali ambienti sullo stock di C organico a livello globale, lo studio e la protezione di tali suoli, anche nelle aree montane del nostro Appennino, devono essere auspicati e perseguiti. Anche le aree umide contengono importanti stock di C organico e anche questi habitat possono essere interessati dai cambiamenti climatici e rilevarsi fonti importanti di emissione di GHGs. Un altro importante serbatoio di carbonio organico sono brughiere temperate che, in Italia, caratterizzano le aree al di sopra del limite del bosco delle regioni Appenniniche, ma ugualmente i boschi delle aree temperate sono un grande serbatoio di C organico. Quindi, dato il significativo ruolo dei suoli nel sequestro di C organico, il loro studio per evidenziare i processi di resilienza diventa auspicabile per la conservazione e per il mitigamento del cambiamento climatico.

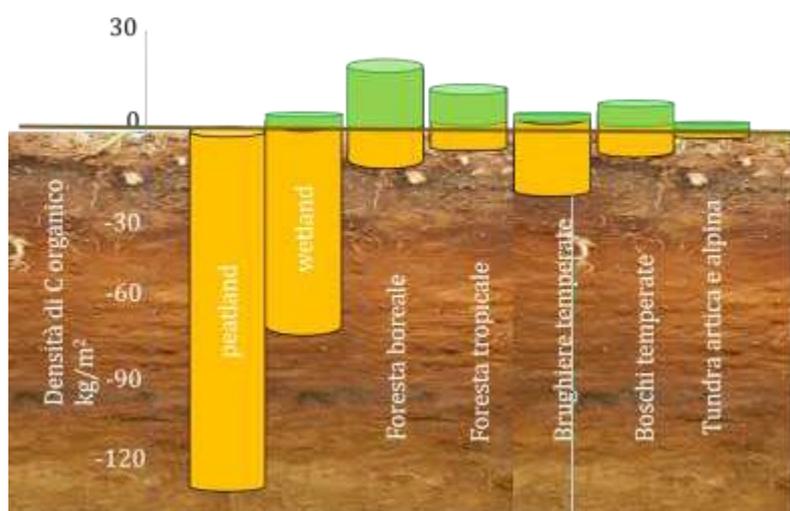


Figura 8.

Distribuzione del C organico nella vegetazione e nel suolo di diversi habitat (modificato da Montanarella, 2015)

Ruolo e ciclo della sostanza organica del suolo

I processi chimico-fisici, biologici e biochimici sono mediati dalla parte vivente del suolo e in particolare dalle comunità microbiche (esempio: batteri, funghi, attinomiceti) che permettono al suolo di svolgere le funzioni ecologiche che sono legate ai servizi ecosistemici che il suolo svolge.

Gli habitat colonizzati in prevalenza dalle comunità microbiche sono gli aggregati del suolo, principalmente

quelli ricchi di sostanza organica (orizzonti organici O e organo minerali A), come schematizzato in Figura 9.

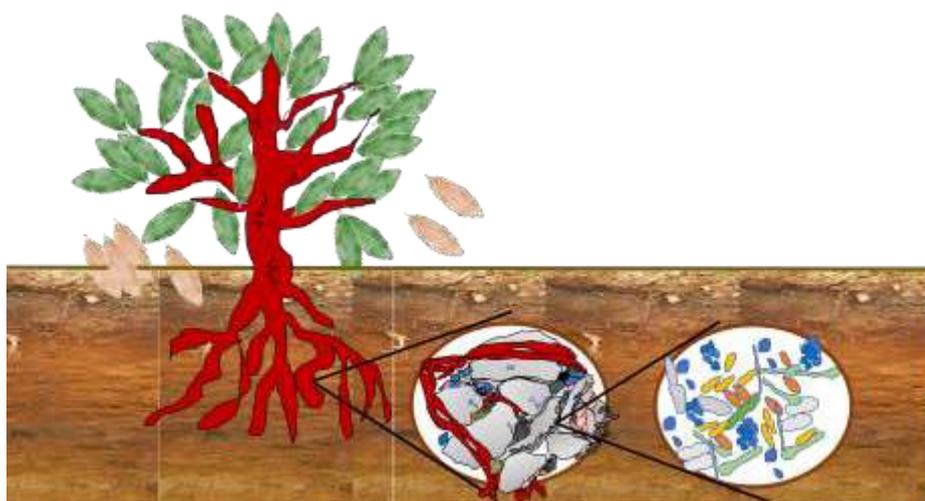


Figura 9.

Ingrandimento di un aggregato del suolo, composto da materiale inorganico, organico e comunità microbiche. La porosità del suolo è un habitat privilegiato per la colonizzazione delle comunità microbiche

La sostanza organica svolge un ruolo chiave nella fertilità naturale dei suoli e nella loro resilienza e può essere classificata in sostanza organica vivente e non vivente (Figura 10).

In particolare il “pool” della sostanza organica vivente comprende la così detta *pedofauna*, che comprende macro, meso e microfauna, quindi tutti gli organismi che vivono totalmente nel suolo, oppure svolgono solamente una parte del loro ciclo vitale al suo interno. Diversi Taxa sono rappresentati in un suolo comune: considerando diversi livelli gerarchici, i più frequenti si possono individuare sia nella classe dei Mammiferi sia nei phyla degli Artropodi, degli Anellidi, dei Nematodi, dei Molluschi, dei Platelminti e dei Rotiferi (riguardo a questi ultimi, il loro ruolo nel suolo non è stato ancora ben definito). Un posto a parte meritano i Protozoi, che costituiscono addirittura un regno, separato da piante ed animali. La biomassa microbica del suolo costituisce la “vita invisibile” del suolo che è alla base di numerosi processi e attività quali la trasformazione della sostanza organica, la sua mineralizzazione e l’interazione con i cicli biogeochimici (C, N, P e S), la stabilità di struttura. Il suolo nasconde un numero straordinario di forme di vita, un’intricata rete di interazioni che coinvolge un’enorme quantità di biomassa vivente, oltre 3000 Kg/ha in un suolo agricolo, ben oltre in suoli forestali o montani.



Figura 10. Classificazione della sostanza organica del suolo

Tra la sostanza organica non vivente si devono annoverare le *sostanze non umiche*, che derivano dalla decomposizione del materiale organico che raggiunge il suolo, si possono evidenziare classi biochimiche ben conosciute quali proteine, lipidi, zuccheri, cere, e altre molecole complesse. La sostanza organica è composta anche dalle così dette *sostanze umiche*, che derivano da processi di resintesi, polimerizzazione e condensazione, principalmente operati dalla biomassa microbica, cui possono essere affiancati processi abiotici. Le sostanze umiche sono polimeri ad alto peso molecolare che possono essere separate dal suolo e studiate per riconoscerne per esempio il ruolo nella stabilizzazione degli aggregati del suolo, nella nutrizione della pianta, nella resilienza alla mineralizzazione della sostanza organica e quindi al degrado del suolo. Il ruolo della pedofauna e della biomassa microbica nel processo di umificazione e mineralizzazione sono schematizzati nella Figura 11.

Nell'ecosistema suolo sono presenti i produttori (le piante) e i consumatori (animali). I produttori attraverso la fotosintesi clorofilliana e il biocycling degli elementi dal suolo alla pianta e il suo ritorno al suolo sono alla base della catena alimentare degli organismi del suolo. Sia i produttori che i consumatori possono rilasciare nell'ambiente "scarti" sottoforma di rifiuti (foglie, rametti,....), e/o feci, e/o carcasse morte.

Questi materiali sono utilizzati dagli organismi del suolo, i decompositori, che degradano i materiali che giungono al suolo, mettendo in atto una catena trofica. Come accennato gli organismi che si possono trovare nel suolo sono tra i più svariati e per semplicità vengono definiti decompositori propriamente detti e i detritivori. I decompositori principalmente vengono classificati all'interno della microflora, mentre i secondi sono identificati con la pedofauna.

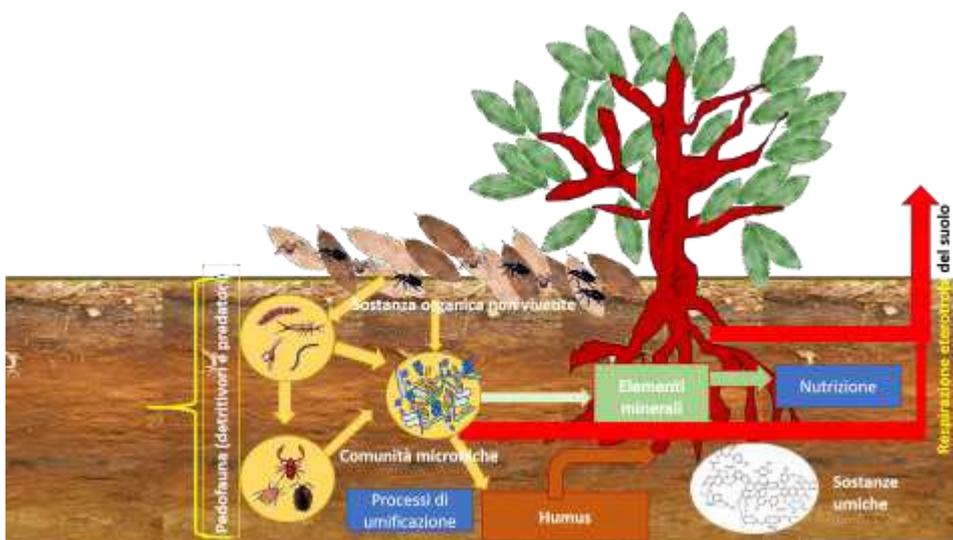


Figura 11.
Processi di umificazione, mineralizzazione e di respirazione che avvengono nel suolo

All'interno del termine microflora (detta anche biomassa microbica) sono identificati gli organismi che richiedono metodi colturali (metodi in piastra) e molecolari (DNA) per la loro identificazione e caratterizzazione. In questo gruppo si trovano quindi i batteri, i funghi e le alghe che svolgono le funzioni biochimiche fondamentali per il funzionamento dell'ecosistema suolo. La sostanza organica che giunge al suolo è composta da composti più o meno complessi (chiamate sostanze non umiche) e la decomposizione è operata, prima dalla pedofauna e successivamente da batteri e funghi. <https://www.youtube.com/watch?v=Mxp1nnrUG0Q>

Una volta che la sostanza organica è stata digerita, essa servirà per la crescita delle popolazioni microbiche e quindi verrà inglobata e immobilizzata all'interno dei tessuti microbici, oppure può essere completamente mineralizzata con la formazione di prodotti inorganici quali ioni ammonio, fosfati, calcio, potassio, magnesio e anidride carbonica, che viene scambiata con l'atmosfera. Nel processo di umificazione, che si auspica avvenga sempre nei suoli per la conservazione del C organico, si assiste alla formazione di composti di nuova

formazione, che derivano dal metabolismo microbico, che verranno polimerizzati per formare composti resistenti alla degradazione e che si possano accumulare nel suolo per formare una frazione della sostanza organica umificata.

VIDEO ALFONSA inserire link

Il suolo del Castagneto didattico sperimentale

Il suolo oggi. In Figura 12 si riporta la descrizione di un profilo rappresentativo di suolo scavato nel 2018 all'interno del campo catalogo da frutto del castagneto didattico sperimentale. La descrizione del profilo evidenzia la ridotta evoluzione del suolo in esame classificandolo di conseguenza come Regosol (Loamic Hyperhumic) (IUSS, 2014). Tale classificazione è simile per gran parte dei suoli su cui insistono i castagneti in quanto essi sono generalmente poco evoluti e sono compresi tra Regosol e Cambisol, nelle aree dove è possibile un maggiore approfondimento della sostanza organica e una maggiore alterazione in situ delle arenarie.



Localizzazione: WGS84-UTM 32T 656543 mE – 4889321 mN

Dati di stazione

Quota: 587 m s.l.m.

Versante: Inclinazione 25° ed esposizione 310°N Fisiografia e morfologia:

versante mediamente acclive Erosione: idrica diffusa moderata

Pietrosità: comune (20%) con diametro medio di 10 cm Forma del paesaggio: collina a gradiente medio

Uso del suolo: castagneto da frutto in allevamento

Substrato pedologico/litologia: detriti di falda della Formazione delle arenarie del Monte Cervarola, membro di Granaglione



Descrizione del profilo

Oi (2 – 0 cm) Lettieria discontinua con apparti fogliari di castagno e di erica, limite inferiore abrupto-lineare.

Oe (0-2 cm) colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2) secco e grigio molto scuro (10YR 3/1) umido, struttura granulare fine a debole grado di aggregazione, limite inferiore abrupto-lineare, ife fungine e moderato feltro radicale.

A1 (2-7 cm) colore bruno grigiastro (10YR 5/2) secco e bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2) umido; tessitura franco sabbiosa con scheletro poco e piccolo sub arrotondato e angolare; struttura poliedrica subangolare, fine, moderatamente aggregata; non adesivo non plastico; radici comuni fini con andamento sub orizzontale; limite inferiore chiaro, ondulato.

A2 (7-12 cm) colore grigio brunastro chiaro (10YR 6/2) secco e bruno giallastro scuro (10YR 3/4) umido; tessitura franca con scheletro comune (6%) piccolo e medio, sub arrotondato; struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente aggregata, non adesivo, debolmente plastico; radici comuni, fini con andamento sub orizzontale; limite inferiore chiaro, ondulato.

AC (12-20 cm) Colore bruno pallido (10YR 6/3) secco e bruno giallastro scuro (10YR 4/4) umido; tessitura franca con scheletro comune (6%) medio, sub angolare; struttura poliedrica subangolare, media, moderatamente aggregata, non adesivo, debolmente plastico; radici legnose poche con andamento orizzontale; limite inferiore chiaro, ondulato.

C (20+ cm) Colore bruno giallastro chiaro (10YR 6/4) a secco ed a umido; scheletro frequente (16%) piccolo e medio, angolare, derivante da arenaria in alterazione. Limite inferiore sconosciuto

Classificazione

Typic Udorthent (USDA, 2015)

Hyperdystric Protic Endoleptic Regosol

(Loamic, Hyperhumic)

Figura 12. Descrizione del suolo del castagneto a frutto

Come è visibile dai dati di caratterizzazione fisico-chimica (Tabella 2), il suolo presenta condizioni di acidità con valori di pH compresi tra 4.5 e 4.9. La tessitura varia da franco sabbiosa a franca, dall'orizzonte A più superficiale all'orizzonte AC più profondo, con contenuti di sabbia che diminuiscono da 556 a 393 g kg⁻¹ e di argilla che aumentano da 40 a 121 g kg⁻¹, rispettivamente.

orizzonte	pH	sabbia	limo	argilla	TOC	Tabella 2. Valori di pH, distribuzione delle particelle e contenuto di carbonio organico totale (TOC) del profilo rappresentativo del suolo del campo collezione di Granaglione
		g kg ⁻¹			g kg ⁻¹	
Oe	4.7				180	
A1	4.5	556	404	40	110	
A2	4.8	424	469	107	70	
AC	4.9	393	486	121	54	

Il contenuto di carbonio organico totale diminuisce con la profondità, passando da 180 g kg⁻¹ nell'orizzonte organico emialterato (Oe) a 54 g kg⁻¹ nell'orizzonte AC (Tabella 3).

Tabella 3. Valori di capacità di scambio cationico (CSC), basi di scambio (Ca_{scamb}, Mg_{scamb}, K_{scamb} e Na_{scamb}) e di saturazione basica (SB) del profilo rappresentativo del suolo del campo collezione di Granaglione

orizzonte	CSC	Ca _{scamb}	Mg _{scamb}	K _{scamb}	Na _{scamb}	SB
		cmol ₊ kg ⁻¹				%
Oe	14.8	7.04	3.75	0.98	0.90	85.4
A1	8.2	1.28	0.67	0.55	0.55	37.4
A2	4.6	0.21	0.09	0.35	0.35	21.8
AC	4.2	0.54	0.07	0.32	0.31	29.4

Come evidenziato dai dati riportati in Tabella 3, il complesso di scambio è dominato dal calcio solo nell'orizzonte organico (Oe) dove si raggiungono percentuali di saturazione basica (SB) pari a 85.4%, mentre sia negli orizzonti organo-minerali che minerali le percentuali di SB evidenziano una forte desaturazione (SB sempre inferiore a 35%). Ciò dimostra la scarsa fertilità della fase minerale del suolo. Di conseguenza, in tali condizioni la sostanza organica del suolo assume un valore chiave per il processo di "biocycling" degli elementi nutritivi. Nello specifico, gli elementi nutritivi presenti all'interno della sostanza organica (composta dai residui vegetali a diversi stadi di degradazione) ritornano ad essere disponibili per le piante attraverso la degradazione del materiale organico attuato dai microorganismi del suolo.

Accumulo di sostanza organica, dal 2005 ad oggi

La Figura 13a mette in evidenza l'operazione del taglio raso che è stata effettuata nell'aprile 2005 per sanificare il materiale e poter eseguire gli innesti. Come visibile, dopo un mese dal taglio il suolo si presenta con forte erosione superficiale. Tale erosione la si osserva anche dall'assenza dell'orizzonte organico e dalla presenza di un orizzonte organo-minerale A molto sottile.

Nel 2007, dopo due anni dal taglio, il suolo ha iniziato a mostrare un imbrunimento superficiale di pochi cm, dovuto a un incipiente accumulo di sostanza organica (Figura 13b).

Nel 2017, il suolo presenta con un orizzonte organo-minerale A di alcuni cm e un evidente presenza di radici (Figura 13c).

Dal punto di vista morfologico è evidente quindi come, nell'arco temporale 2005-2017, lo sviluppo della vegetazione abbia migliorato il suolo apportando sostanza organica.

Questa tendenza è dimostrata dall'aumento dello stock di carbonio nei suoli. La Figura 14 presenta il valore dello stock di C calcolato per gli strati 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Si può notare il forte incremento di C che si

registra a 12 anni di distanza dal taglio raso che ha interessato la zona del castagneto. Considerando 0-20 cm di suolo, lo stock di C dal 2005 al 2017 è pressoché raddoppiato, con un incremento annuale medio di circa 8%. In particolare si può notare come il C aumenta sia nei primi 0-5 cm, dovuto all'apporto superficiale di sostanza organica, sia in profondità (10-20 cm) grazie principalmente all'azione delle radici.



Figura 13.
Il soprassuolo ed il suolo nel 2005 (a), nel 2005 (b) e nel 2017 (c)

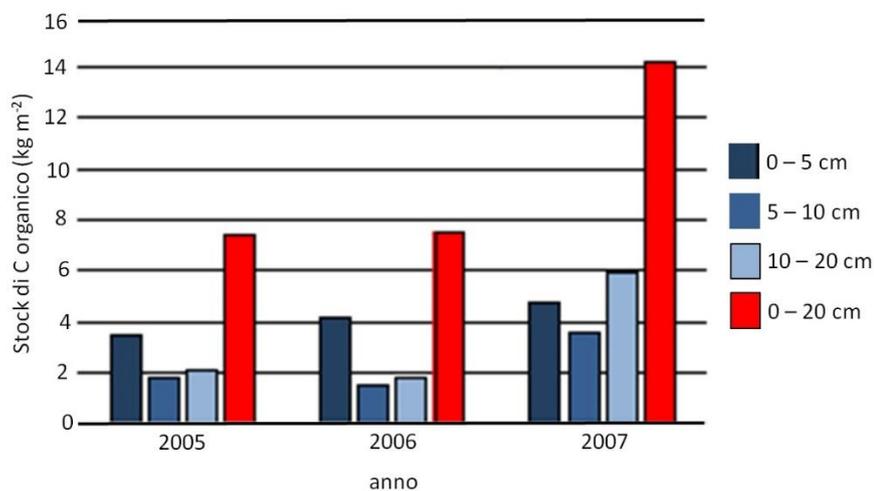


Figura 14. Stock di C calcolatonei primi 20 cm

Sui suoli del castagneto sono state effettuate anche indagini di resilienza del suolo dopo il taglio raso. In particolare, alla crescita del carbonio organico è associato l'incremento sia delle frazioni umiche della sostanza organica (SO) sia del carbonio che compone la biomassa microbica (Cmic). Quest'ultima oltre a mantenersi elevata nel corso della stagione estiva presenta un miglioramento del quoziente di respirazione nel periodo autunnale; ciò a suggerire l'arricchimento del suolo di composti organici utilizzabili come substrati nutritivi per la popolazione microbica del suolo (Vittori Antisari et al., 2013)). Sono stati valutati i pool stabili di C che si sono formati dal 2004 al 2019 nel castagneto (De Feudis et al., 2020). Nel 2019 in quattro diverse aree del Castagneto didattico sperimentale: a) Castagneto Matildico, Castagneto tradizionale, Castagneto da frutto, castagneto da legno e bosco misto rinaturalizzato (De Feudis et al., 2020a), si sono studiate le capacità di sequestro di C del suolo e di funzionalità ecologica legata alla biomassa microbica.

Relazione suolo-pianta: il Progetto Tree Talker ©

Dal 2019 Il Castagneto didattico sperimentale è sede del Progetto "Nuove tecniche di monitoraggio del bilancio del carbonio e dello stato di salute del castagneto da legno e da frutto - CASTAGNI PARLANTI" (<http://www.castagniparlanti.it>), finanziato nell'ambito del Progetto PSR, Focus area 5E, che ha lo scopo di valutare l'impronta ecologica del recupero del castagneto all'attualità di coltura da frutto all'interno di una matrice forestale, in termini di fissazione e sequestro del carbonio nel sistema suolo-pianta, di uso dell'acqua e di copertura del suolo, traendone indicazioni concrete per una gestione forestale efficace e sostenibile per la produzione congiunta di legno e di frutto (Figura 15).

Figura 15. Descrizione dei suoli delle aree interessate al recupero del castagneto, eseguendo diversi tagli alle piante.





CV (16-17 cm) Colore bruno con foglie, rametti, capsule sparse al centro. Limbo inferiore alquanto fresco.
 DV (15-17 cm) Colore bruno molto scuro (100% 2/3) anello e grigio molto scuro (100% 5/6) secco. Radici fini comuni. Limbo inferiore alquanto fresco.
 A (12-14 cm) Colore grigio molto scuro (100% 3/4) anello e anello scuro (100% 5/6) secco. Struttura polidrica fine con fibrose grado di aggregazione. Poco plastico, non adesivo. Radici fini comuni. Limbo inferiore alquanto fresco.
 AB (8-20 cm) Colore bruno giallastro scuro (100% 4/5) anello e anello giallastro scuro (100% 4/5) secco. Scheletro comune medio (100% 4/5) cm. Struttura polidrica alquanto media con moderato grado di aggregazione. Poco plastico, non adesivo. Radici medio-grasse comuni. Limbo inferiore chiaro ondulato.
 B (20-23 cm) Colore bruno giallastro (100% 5/6) anello e anello molto fresco (100% 7/8) secco. Scheletro comune medio (100% 4/5) cm. Scheletro scuro, piccolo poco evidente. Struttura polidrica alquanto media con moderato grado di aggregazione. Radici comuni medio che si accrescono sul lato inferiore. Plastico, non adesivo. Limbo inferiore alquanto fresco. Limbo inferiore chiaro ondulato.
 BC (30-40 cm) Colore bruno giallastro scuro (100% 4/5) anello e anello giallastro scuro (100% 4/5) secco. Scheletro scuro di piccole dimensioni alquanto. Scheletro comune comuni poco evidente. Struttura polidrica alquanto media con moderato grado di aggregazione. Poco plastico, non adesivo. Radici fini e medie comuni. Limbo inferiore scuro.
 C (40-50 cm) Colore bruno giallastro (100% 5/6) anello e anello molto fresco (100% 8/9) secco. Scheletro abbondante di piccole e medie dimensioni. Scheletro angolare medio e fibrose grado di aggregazione ben visibile e consistente. Radici medio-grasse comuni.



CD (20-23 cm) Colore bruno con foglie, rametti, capsule sparse al centro. Limbo inferiore alquanto fresco.
 CE (20-23 cm) Colore bruno (100% 2/3) anello e grigio molto scuro (100% 5/6) secco. Radici fini abbondanti. Limbo inferiore alquanto fresco.
 E (15-18 cm) Colore bruno scuro (100% 2/3) anello e anello grigio molto scuro (100% 3/4) secco. Scheletro comune medio (100% 4/5) cm. Struttura polidrica alquanto media con moderato grado di aggregazione. Poco plastico, non adesivo. Radici medio-grasse comuni. Limbo inferiore chiaro ondulato.
 F (12-14 cm) Colore bruno giallastro scuro (100% 4/5) anello e anello chiaro (100% 3/4) secco. Scheletro comune medio (100% 4/5) cm. Scheletro scuro piccolo poco evidente. Struttura polidrica alquanto media con moderato grado di aggregazione. Radici comuni medio che si accrescono sul lato inferiore. Poco plastico, non adesivo. Radici medio-grasse comuni. Limbo inferiore chiaro ondulato.
 G (14-16 cm) Colore bruno giallastro (100% 3/4) anello e anello molto scuro (100% 7/8) secco. Scheletro scuro di piccole dimensioni alquanto. Scheletro piccolo comune poco evidente. Struttura polidrica alquanto media con moderato grado di aggregazione. Poco plastico, non adesivo. Radici medio-grasse comuni. Limbo inferiore ondulato.

Nelle piante di castagno sono stati collocati i sensori “TREE TALKER ©” per le misurazioni in continuo delle funzioni dell’albero (traspirazione, umidità del tronco, accrescimento del tronco, intensità della luce filtrata dall’albero, temperatura e umidità dell’aria circostante) e nel suolo sotto le piante viene monitorata la respirazione eterotrofia del suolo (Figura 16)



Figura 16. I sensori TREE TALKER © su un albero di castagno e camera di respirazione del suolo e strumento per la determinazione della CO₂ nello spazio di testa.

Uno sguardo all’accumulo di carbonio organico nei suoli di castagneti

Nel contesto di accumulo di carbonio in forma organica nel suolo, i castagneti rappresentano un importante ecosistema capace di svolgere tale funzione (Figura 17). Nello specifico, la permanenza e il recupero di

castagneti promuovono lo stoccaggio delle forme più stabili del carbonio organico (De Feudis et al., 2020). Questo risulta essere fondamentale sia dal punto di vista di miglioramento delle funzioni ecosistemiche del suolo ma anche dal punto di vista di lotta all'attuale accelerato riscaldamento globale. Infatti, tali frazioni stabili della sostanza organica del suolo sono caratterizzate da un tempo di permanenza nel suolo di centinaia di anni. La grande capacità dei castagneti nell'accumulare sostanza organica nel suolo è ulteriormente convalidata dal tipo di suolo su cui essi insistono. Infatti, i castagneti sono ubicati in suoli in cui le particelle sabbiose sono le preponderanti e che hanno una scarsa capacità di legarsi ai composti organici e quindi di stabilizzarli. Inoltre, i suoli sabbiosi sono ambienti ossidanti e che quindi promuovono la mineralizzazione della sostanza organica. Tuttavia, affinché i suoli dei castagneti possano incrementare il proprio tasso di accumulo di carbonio organico, è necessaria in particolare evitando di asportare i residui vegetali e trattando gli stessi mediante trinciatura e redistribuzione in loco. Si è infatti potuto osservare che la conservazione dei residui vegetali (lettiera) favorisce l'accumulo di sostanza organica negli orizzonti pedogenetici più profondi (De Feudis et al., 2020) e migliora l'attività dei microrganismi del suolo, i quali, a loro volta, promuovono non solo il ciclo degli elementi nutritivi ma anche la trasformazione della sostanza organica in forme stabili.



Figura 17. Minipit di suoli di castagno

Lo studio del profilo del suolo

Il suolo è definito come lo strato superiore della crosta terrestre, formato da particelle minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi.

Il suolo in quanto interfaccia tra atmosfera, litosfera ed idrosfera, svolge molte funzioni vitali: produzione di cibo e altre biomasse, stoccaggio, filtrazione e trasformazione di molte sostanze tra cui acqua, carbonio, azoto.

Il suolo è in realtà un mezzo estremamente complesso, variabile e vivente.

Il suolo si forma regolato da processi estremamente lenti.

*Il suolo può essere considerato essenzialmente come **una risorsa non rinnovabile***

Queste premesse mettono in evidenza la necessità di conoscere i suoli studiandoli nei diversi habitat per la loro salvaguardia e conservazione. Queste conoscenze sono alla base per la costruzione di una cartografia dedicata alla valutazione della vulnerabilità dei territori.

Lo studio del profilo di suolo avviene aprendo una trincea che metta in evidenza la sezione verticale del

suolo, che viene chiamata *profilo*, fino al raggiungimento della roccia madre (Figura 18).

Figura 18. Profilo di suolo di castagno



All'interno del profilo di suolo si evidenziano gli orizzonti morfologici.

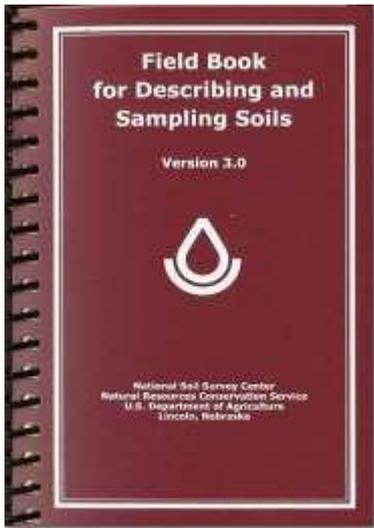
La morfologia di un suolo è caratterizzata da strati ad andamento prevalentemente orizzontale, detti *orizzonti*, che nella parte superiore sono costituiti quasi esclusivamente da sostanza organica, per lo più di origine vegetale, a diversi stadi di decomposizione e che vengono indicati con la lettera **O**.

Al di sotto degli orizzonti organici si hanno orizzonti organo-minerali o minerali, indicati con la lettera **A, E, B e C** in base alle loro caratteristiche morfologiche, mineralogiche, chimiche, fisiche e biologiche. Gli orizzonti **O** hanno spessore variabile a seconda delle associazioni vegetali che costituiscono il bosco e delle condizioni climatiche e stagionali che nel loro insieme contribuiscono al modellamento dell'ecosistema dettato dalla geomorfologia e dalla idrologia di superficie. Da un punto di vista tassonomico gli orizzonti organici vengono distinti in **lettiera (Orizzonte fibric: OL o Oi)**, ovvero lo strato costituito dai depositi più recenti pressoché indecomposti posizionato alla superficie del suolo; **orizzonte di fermentazione (Orizzonte emic: OF o Oe)**, al di sotto della lettiera, che ha avuto modo di soggiacere ai

processi di frantumazione, trasformazione e decomposizione biologica a carico dei suoi costituenti, al punto da rendere relativamente difficoltosa l'identificazione del materiale di origine. Infine, si può riscontrare **l'orizzonte di umificazione (Orizzonte sapric: OH o Oa)**, per gran parte costituito da sostanza organica umificata, prodotta dalla profonda trasformazione microbica della sostanza organica primaria (costituita da classi biochimiche quali carboidrati, proteine, glucidi, lipidi, cere, lignine, ...), in biomolecole colloidali chimicamente complesse che nel loro insieme costituiscono le sostanze umiche.

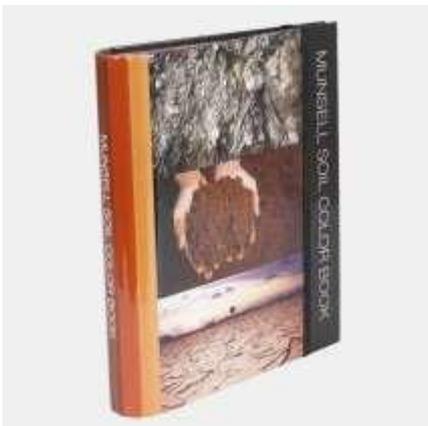
Al di sotto degli orizzonti organici si ha lo sviluppo di **orizzonti organo-minerali (orizzonti A)** nei quali la componente umificata si lega intimamente alla parte minerale, a sua volta derivante dall'alterazione della roccia madre, formando aggregati che nel loro insieme danno origine alla struttura del suolo.

Nel caso in cui prevalgano processi di allontanamento di argilla, sostanza organica, ferro e alluminio, si possono formare **orizzonti eluviali (orizzonti E)**. Scendendo lungo il profilo del suolo, numerosi altri processi di tipo fisico, chimico e biologico possono prendere campo nel tempo, tutti regolati dai fattori della pedogenesi. Il verificarsi di questi processi è evidenziato dalla presenza di caratteri morfologici particolari negli **orizzonti B (orizzonti minerali)** quali, ad esempio, processi di alterazione della componente minerale in situ (formazione di un orizzonte Bw), o di accumulo di materiali differenti (carbonati, argille, sostanza organica, ossidi) provenienti dagli orizzonti superficiali a seguito di differenti processi, con la formazione rispettivamente di orizzonti Bk, Bt, Bh e Bs. Al di sotto degli orizzonti A e/o B risiedono gli orizzonti C e Cr, poco influenzati dai processi pedogenetici e che derivano direttamente dall'alterazione e disgregazione della roccia madre (R).



Lo studio del profilo segue indicazioni internazionali di descrizione delle caratteristiche morfologiche dei diversi orizzonti

<https://bookstore.gpo.gov/products/field-book-describing-and-sampling-soils-version-30>



e del colore con le Tavole Munsell
(<https://www.pantone.com/eu/it/munsell-soil-color-charts>)

VIDEO ALFONSA: inserire link

I software utilizzati

Il software open-source R

R è un software disponibile con licenza gratuita che fornisce un **linguaggio di programmazione** finalizzato allo svolgimento di analisi statistiche. Il fatto che sia un linguaggio e non abbia delle interfacce grafiche particolarmente sviluppate lo rende spesso ostico nella fase iniziale del suo utilizzo.

Tuttavia, quando si inizia a prendere confidenza con questo ambiente di programmazione i vantaggi portati dal suo utilizzo ripagano rapidamente la fatica iniziale. Tra questi possiamo menzionare:

- presenza di pacchetti aggiuntivi liberi e solitamente ben documentati che contengono già le funzioni necessarie per svolgere le più disparate analisi dei dati. Il fatto che tutti possano accedere a tale linguaggio e sia possibile diffondere i propri pacchetti agli utilizzatori facilita molto la diffusione di metodi statistici particolari e, spesso, complessi.
- L'organizzazione del lavoro mediante script, invece che usare una sequenza di comandi *grafici*, permette di ripetere quante volte si vuole le istruzioni desiderate, *standardizzando* le procedure.
- Il fatto che sia disponibile a tutti permette lo sviluppo di una ricerca trasparente e riproducibile, oltre che essere ben accolto anche da enti, organizzazioni ed aziende.

Ulteriori passi avanti verso una maggiore usabilità dello strumento sono stati compiuti con la creazione dell'universo **RStudio**, che oltre a fornire un'interfaccia più collaborativa ad R permette anche di interfacciarsi a diversi linguaggi (python, C++, . . .) e diffondere le proprie creazioni attraverso la creazione di documenti e report (R Markdown) o applicazioni multimediali (R Shiny).

Il software open source QGIS

Il software open source QGIS, noto fino al 2013 come Quantum GIS permette di visualizzare, organizzare, analizzare e rappresentare dati spaziali ed è il software GIS open source più diffuso al mondo. QGIS è mantenuto da una comunità di sviluppatori che pubblicano una nuova versione ogni 4 mws e una Long Time release (LTR) ogni anno ed è tradotto

in 48 lingue. I linguaggi di programmazione sono python, C++, completamente compatibile con il software R. QGIS è un software GIS (Geographic Information System) che permette di analizzare ed editare dati spaziali e di generare cartografia, supportando sia dati vettoriali che raster. QGIS integra al suo interno gli algoritmi di processing di altri progetti open sources come GRASS GIS e SAGA GIS, ed R stesso. Processing integra gli algoritmi di altri software e li rende disponibili nell'interfaccia di QGIS. Alcuni di questi software sono: SAGA GIS, TauDem, GRASS (con QGIS 2.14 le funzionalità di GRASS 7 sono completamente supportate), R.

La conoscenza di questi strumenti di elaborazione dati territoriali è fondamentale per lo sviluppo sostenibile dei territori fragili come quelli dell'Appennino

Bibliografia

Alessandri S., Krznar M., Ajolfi D., Ramos Cabrer AM, Pereira-Lorenzo S., Doadini L., 2020. Genetic Diversity of *Castanea sativa* Mill. Accessions from the Tuscan-Emilian Apennines and Emilia Romagna Region (Italy). *Agronomy*, 10, 1319; doi:10.3390/agronomy10091319

Bounous G., (Curatore), 2014. Il Castagno. Edagricole

Chiocchio I., Prata C., Mandrone M., Ricciardiello F., Marrazzo P., Tomasi P., Angeloni C., Fiorentini D., Malaguti M., Poli F., Hrelia S., 2020. Leaves and Spiny Burs of *Castanea Sativa* from an Experimental Chestnut Grove: Metabolomic Analysis and Anti-Neuroinflammatory Activity. *Metabolites*, 10, 408

De Feudis M., Falsone G., Vianello G., Vittori Antisari L., 2020a. Stable organic carbon pool rises in soil under chestnut (*Castanea sativa* Mill.) forest for timber production after 15 years since grafting onto satin-cut stumps. *EQA 40* (2020): 1-10.

De Feudis M, Falsone G., Vianello G., Vittori Antisari L., 2020. the conversion of abandoned chestnut forests to managed ones does not affect the soil chemical properties and improves the soil microbial biomass activity. *Forest* 11, 786.

De Feudis M. Falsone G., Vittori Antisari L., 2021. Mid-term (30 years) changes of soil properties under chestnut stands due to organic residues management: An integrated study. *Catena in press*

Dondini L., Alessandri, S., 2019. Impronta genetica del castagno. *Annali CXXXIX Accademia Nazionale di Agricoltura*.

al, R. (2018). Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, 24, 3285-3301. Retrieved March, 02, 2020, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14054>

Lolli G., Musolesi M., 2006. Il castagneto da frutto. Manuale pratico di innesto, potatura e conduzione.

Magnani F., Vianello G., 2019. Il Castagneto didattico sperimentale di Granaglione: sito di biodiversità e ricerca. *Annali CXXXIX Accademia Nazionale di Agricoltura*.

Montanarella L., 2015. Soil Organic Carbon. The European Commission's science and knowledge service Joint Research Centre.

Pezzi G., Lucchi E., Maresi G., Ferretti F., Viaggi D., Frascaroli F., 2017. Abandonment or survival? Understanding the future of *Castanea sativa* stands in function of local attitude (Northern Apennine, Italy). *Land Use Policy* 61, pp. 564-574.

Pezzi G., Gambini, S., Buldrini, F., Ferretti F., Muzzi E., Maresi, G., Nascimbene, J., 2020. Contrasting patterns of tree features, lichen, and plant diversity in managed and abandoned old-growth chestnut orchards of the northern Apennines (Italy). *Forest Ecology and Management* 470-471, 118-207,

Vittori Antisari L. Falsone G., Carbone S., Vianello G., 2013. Short-term effects of forest recovery on soil carbon and nutrient availability in an experimental chestnut stand. *Biology and Fertility of Soils*, 49 165-173.

Vittori Antisari L., Forti C., Falsone G., 2019. Suolo, sostanza organica e biodiversità. *Annali CXXXIX Accademia Nazionale di Agricoltura*.

La Scuola Estiva "I Suoli dell'Appennino e Sequestro di Carbonio: casi di studio utilizzando

R e GIS” è stata organizzata all’interno del Progetto AL.FO.N.S.A., finanziato dalla Regione Emilia Romagna.

Il tutor della Scuola Estiva è il Dr Mauro De Feudis (DISTAL).

La Scuola Estiva è stata organizzata con il patrocinio della Società Italiana della Scienza del Suolo (SISS), la Società Italiana di Pedologia (SIPe) e l’Ente di gestione per i Parchi e la Biodiversità Emilia Centrale

