



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA
Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali
e delle Produzioni Alimentari



Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in Ambiente Mediterraneo.

Ciclo XXIV

Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi.

Dr. Carlo Cucca

Direttore della Scuola
Referente di Indirizzo
Docente Guida
Correlatore

prof.ssa Alba Pusino
prof. Ignazio Floris
prof. Salvatore Madrau
dott. Claudio Zucca

Anno accademico 2011- 2012

Indice

1. Introduzione e obiettivi

- 1.1. Le funzioni del suolo, risorsa a rischio
- 1.2. Qualità del suolo
- 1.3. Cambiamenti climatici, foreste e suoli
- 1.4. Obiettivi della ricerca

2. Analisi della bibliografia

- 2.1. Qualità del suolo e stoccaggio del carbonio
- 2.2. Qualità dei suoli forestali.
- 2.3. Bioindicatori basati sulla microfauna edafica
- 2.4. Gli humus

3 Aree in studio

- 3.1. Cardedu - “Monte Ferru”
- 3.2. Nuoro - “Pineta Ugolio”
- 3.3. Alghero - “Monte Timidone”
- 3.4. Pula - “Pixinamanna”

4 Materiali e metodi

- 4.1. I siti sperimentali
- 4.2. Descrizione dei profili e campionamento
- 4.3. Analisi chimico-fisiche

- 4.4. Caratterizzazione dell'humus forestale
- 4.5. Qualità biologica del suolo (QBS)
- 4.6. Landscape Function Analysis (LFA)
- 4.7. Analisi statistica
- 4.8. Indice di qualità del suolo

5 Risultati e discussione

- 5.1. Analisi chimico-fisiche
- 5.2. Humus forestale
- 5.3. Qualità biologica del suolo (QBS)
- 5.4. Indici LFA (sito di Pula)
- 5.5. Analisi statistica

6. Conclusioni

7. Ringraziamenti

8. Bibliografia

1.Introduzione e obiettivi.

1.1. Le funzioni del suolo, risorsa a rischio.

Il suolo, per le sue peculiari proprietà chimiche, fisiche e biologiche può essere considerato un componente centrale dell'ecosistema. Si tratta di un sistema eterogeneo, costituito da una fase solida, da una fase liquida e da una fase gassosa. Secondo la definizione dell'*International Standards Organisations* (ISO, 1996) con il termine suolo si definisce “lo strato superiore della crosta terrestre, formato da particelle minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi”.

Il suolo assicura una serie di funzioni chiave non solo dal punto di vista ambientale ed economico, ma anche sociale e culturale, fornendo alla società numerosi beni e servizi. La Commissione Europea, nella recente proposta di Direttiva Quadro sul Suolo (Commissione Europea, 2006) li elenca come segue:

- produzione di biomassa, in particolare provenienti dai settori agricolo e forestale;
- stoccaggio, filtrazione e trasformazione di nutrienti e acqua;
- contenitore di biodiversità, di habitat, specie e geni;
- ambiente fisico e culturale per le persone e per le attività umane;
- fonte di materie prime;
- stoccaggio di carbonio;
- sede del patrimonio geologico ed archeologico.

Considerate le importanti funzioni ambientali, economiche, sociali e culturali svolte dal suolo, la sua gestione deve essere orientata verso un utilizzo razionale trattandosi di una risorsa caratterizzata da velocità di degradazione potenzialmente rapida e processi di formazione e rigenerazione estremamente lenti. La quantità di terreno pro capite, disponibile per la produzione alimentare è limitata e in costante diminuzione, mettendo a rischio la sicurezza alimentare (Lal, 2003). La degradazione spesso causata dall'uomo ne riduce la capacità di svolgere le sue funzioni. Per questo motivo, prevenzione, protezione e gestione sostenibile devono essere alla base delle politiche di uso del suolo (Eswaran, 1994).

Esistono evidenze di minacce crescenti esercitate da varie attività umane che possono degradare il suolo (Commissione Europea, 2006). In particolare, le minacce rilevate sono ravvisabili in:

- erosione idrica ed eolica;
- diminuzione della sostanza organica;
- contaminazione;
- impermeabilizzazione e consumo urbano;
- compattazione;
- diminuzione della biodiversità;
- salinizzazione;
- rischio idrogeologico (inondazioni, frane, etc.).

Tra queste vengono considerate prioritarie la diminuzione di sostanza organica e l'erosione.

Una fase estrema del processo di degradazione è rappresentata dalla desertificazione, nella quale il suolo perde progressivamente e talvolta irreversibilmente la capacità di svolgere le proprie funzioni (Reynolds et al., 2011; Safriel, 2009).

Il documento europeo cui si fa riferimento costituisce un importante passo verso la tutela diretta del suolo. Fino ad oggi il suolo non ha una tutela specifica, ma solo una tutela indiretta derivante da altre norme relative ad altri comparti (acque superficiali e sotterranee, rifiuti). La Commissione Europea mira alla revisione delle vecchie norme esistenti e pone l'accento sulla necessità di predisporre un sistema di monitoraggio e di indicatori per la valutazione del suolo e per la valutazione degli impatti su esso delle differenti politiche e pratiche di intervento e gestione. Infatti il quadro conoscitivo europeo è caratterizzato dalla presenza, a livello locale, di molte informazioni sui suoli ambientalmente rilevanti ma spesso disomogenee tra regione e regione.

Al fine di generare informazioni scientificamente solide sullo stato dell'ambiente, è necessario disporre di indicatori efficaci (OECD, 2003). Nel caso del suolo, che a differenza di altri comparti ambientali costituisce una matrice molto complessa caratterizzata da una forte variabilità spaziale e temporale, è necessario sviluppare sistemi di indicatori multidisciplinari (Accademia Nazionale delle Scienze, 2000). Problematica che è ancora più complessa nel caso dei suoli forestali, per i quali,

tra l'altro, le informazioni disponibili sono tradizionalmente scarse. Poiché il suolo, in particolare in Italia, è stato storicamente considerato soprattutto sotto l'aspetto produttivo.

1.2. *Qualità del suolo.*

Le qualità che il suolo esprime variano nello spazio e nel tempo. Una loro caratterizzazione richiederebbe di identificare prima le funzioni che il suolo svolge in un determinato contesto e successivamente individuare quei parametri¹, o variabili, che meglio consentono la stima della qualità del suolo nell'assolvere a quelle determinate funzioni.

Se è relativamente semplice valutare il suolo come sede di infrastrutture stimando la capacità portante, o in caso di uso agricolo attraverso la stima della produzione potenziale unitaria per una data coltura, o il numero di capi allevabili ad ettaro, difficile diventa stimare la qualità del suolo per le altre funzioni da esso svolte, in particolare quelle ecologiche, sia a piccola scala, sia (soprattutto) a scala più ampia.

Il concetto di qualità del suolo è sempre esistito ma in passato era inteso limitatamente alle attività agricole, in termini di produttività agraria e/o animale. Solo a partire dagli anni '90, in seguito alla sempre maggiore attenzione per l'uso sostenibile delle risorse, la qualità del suolo viene valutata in maniera più olistica e non solo produttivistica.

Secondo Doran e Parkin (1994) per qualità del suolo si intende la capacità dello stesso di interagire con l'ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale.

Il concetto di qualità del suolo esprime dunque lo "stato di salute" in funzione dell'eventuale utilizzo del suolo: entro tale termine sono compresi anche parametri e/o caratteristiche che considerano non solo aspetti chimici e fisici, ma anche biologici e strutturali.

La qualità osservabile in un suolo è frutto sia di una componente semistatica derivante dalle caratteristiche intrinseche del suolo e dal modo in cui hanno agito i fattori di stato (processi a lungo e lunghissimo termine), sia da una componente dinamica collegata prevalentemente al tipo di utilizzo e di gestione (processi a breve e medio termine).

Generalmente l'approccio per la valutazione della qualità di un suolo si basa su parametri di tipo chimico, fisico e microbiologico.

¹ L'OECD (1999) definisce:

- parametro: una proprietà del sistema in studio misurabile in modo diretto;
- indicatore: valore derivante dal parametro e mediante il quale è possibile ottenere informazioni;
- indice: aggregazione di indicatori e relative indicazioni.

Il concetto di qualità del suolo e le proprietà che la definiscono sono discusse in maggiore dettaglio nella prima parte del capitolo 2.

Negli ultimi anni è emerso l'interesse di affiancare alle analisi pedologiche cosiddette "di routine", basate su parametri di tipo chimico, fisico, microbiologico, altre metodiche che tengano conto di aspetti biologici ed ecologici, a diverse scale spaziali.

Questi sono espressione, tra l'altro, delle condizioni edafiche e sono in stretta relazione con gli altri parametri. Ciò consente di ottenere informazioni non solo sugli aspetti produttivi, economici ed agronomici ma anche ecologici, come risultato delle interazioni che avvengono nei e tra i diversi comparti che costituiscono l'ecosistema suolo e la sua biodiversità.

In questa ricerca sono stati considerati tre approcci che operano ad altrettante scale ecologiche, e che considerano, specificamente:

- la qualità del suolo in quanto "habitat" per la microfauna edafica, alla scala microstazionale, con particolare riferimento al metodo QBS (Qualità Biologica del Suolo);
- le proprietà degli humus forestali, alla scala stazionale;
- le funzioni idro-ecologiche svolte dal suolo alla scala del versante, con particolare riferimento al metodo LFA (Landscape Function Analysis).

Questi approcci possono risultare particolarmente efficaci nei contesti ad elevato grado di naturalità quali sono quelli forestali, specialmente se integrati tra loro al fine di valutare gli effetti prodotti nel tempo da parte di eventuali azioni di disturbo o di gestione di tipo antropico.

Anche queste metodologie saranno discusse con maggiore dettaglio nel capitolo 2.

1.3 Cambiamenti climatici, foreste e suoli.

Tra le funzioni importanti attribuite ai suoli, e in particolare ai suoli forestali, vi è quella di carbon sink.

L'incremento nel contenuto in CO₂ nell'atmosfera rappresenta una delle principali cause del cambiamento climatico, che secondo gran parte della comunità scientifica sarebbe in atto a causa dei gas serra prodotti dalle attività umane.

A seguito dell'adozione del "Protocollo di Kyoto", nel dicembre 1997, nel 2000 l'IPCC pubblicò un rapporto speciale sugli effetti legati ai cambiamenti di uso del suolo e delle foreste (Special report on Land Use, Land Use Change and Forestry) in cui si ribadì l'importanza dei sistemi agro-forestali come comparti fondamentali per l'assorbimento della CO₂ atmosferica. Come conseguenza di tale rapporto, nel 2001 a Marrakech, fu raggiunto un accordo relativo alle attività di uso del suolo. Negli accordi di Marrakech sono state identificate quattro attività che possono essere implementate per il mantenimento degli impegni assunti per la riduzione delle emissioni di gas-serra: la gestione delle superfici forestali, la gestione dei suoli agricoli, la gestione dei prati e dei pascoli e la rivegetazione.

Il 16 febbraio 2005 il Protocollo di Kyoto, in seguito alla ratifica della Russia, entra ufficialmente in vigore; di particolare interesse, per il settore agro-forestale, sono gli articoli 3.3 e 3.4: nel primo vi è la possibilità di includere nella contabilizzazione delle quote di carbonio anche quelle fissate mediante afforestazione, riforestazione e deforestazione e nel secondo di contabilizzare quelle relative a rivegetazione, gestione dei suoli agrari e forestali.

In Europa, nord America e alcune regioni dell'Asia quali Giappone e Corea del sud, esistono importanti correnti di opinione favorevoli ad uno stoccaggio ("sink") nel medio periodo della CO₂ mediante la rinaturalizzazione di aree marginali agli usi agricoli con interventi di rimboschimento.

Rimboschimenti che hanno i vantaggi di bloccare la CO₂ nei tessuti vegetali per diversi decenni favorendone il lento rilascio alla morte degli stessi, di incrementarne il contenuto nel suolo forestale ed infine, essendo sempre più ben accetti dall'opinione pubblica, di rappresentare delle situazioni il cui valore sociale ed economico è in continua crescita.

Si evince l'importanza, in questo contesto, delle essenze arboree e forestali, il cui ciclo, solitamente medio-lungo, dilata i tempi di stoccaggio.

Il suolo, che sostiene e ospita gran parte delle specie vegetali e ne riceve i materiali (biomassa, necromassa, lettiera), è il più grande serbatoio continentale di carbonio.

La valutazione della qualità dei suoli forestali non può pertanto prescindere dalle loro proprietà di carbon sink.

Anche a questa proprietà del suolo è dedicato un approfondimento bibliografico nel capitolo 2, a margine della discussione sul concetto di qualità.

1.4 Obiettivi della ricerca.

Gli obiettivi principali della ricerca sono:

- testare e confrontare metodi per la valutazione della qualità dei suoli forestali mediterranei, con particolare riferimento agli approcci basati sulle proprietà biologiche (microfauna edafica, humus forestali) alla scala stazionale ed ecologiche alla scala di versante;
- valutare gli stock di carbonio organico e le proprietà pedologiche salienti dei suoli in alcune aree forestali della Sardegna caratterizzate da diverse condizioni geopedologiche, climatiche, vegetazionali e gestionali;
- sviluppare un “indice olistico” preliminare per la stima della qualità del suolo forestale e per la valutazione degli effetti delle azioni antropiche.

2 *Analisi della bibliografia.*

2.1. *Qualità del suolo e stoccaggio del carbonio.*

La qualità del suolo è stata definita in molti modi. Come accennato nella sezione 1.2, se si adottasse un approccio di tipo funzionale occorrerebbe innanzitutto definire la funzione rispetto alla quale se ne valuta la qualità, e successivamente definire un opportuno set di parametri/indici (fisici, chimici e biologici) in grado di quantificare quegli aspetti.

Campbell et al (1976) indicavano come suoli in cui era diminuita la qualità quelli in cui si era osservato il decremento del contenuto in azoto come conseguenza del cambio di uso da bosco e pascolo a terreno agricolo. Lal e Steward (1990) indicavano invece come terreni degradati quelli che avevano subito un calo della loro qualità intesa come riduzione della produttività.

A partire dai primi anni '90 la definizione di qualità del suolo si consolida (anche in campo forestale) e si va affermando l'utilizzo di indicatori di varia natura (fisici, chimici e biologici), univocamente misurabili, per poter effettuare misure e stime confrontabili e generalizzabili anche in situazioni e luoghi differenti. Larson e Pierce (1991) furono i primi a proporre una serie di parametri fisici e chimici da utilizzare in una relazione matematica. Doran e Parkin (1994) definirono una serie di parametri fisici, chimici e biologici, sensibili alla degradazione per cause antropiche, che sono stati ampiamente accettati ed utilizzati dalla comunità scientifica. A partire da questi parametri il Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti pubblicò la Guida per la valutazione della qualità e salute del suolo (USDA, 2001).

In Australia, dai primi anni '90 la CSIRO (*Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) ha sviluppato la valutazione dello stato del suolo e della vegetazione per terreni prevalentemente adibiti a pascolo. Tongway e Hindley (2004) hanno proposto la metodologia LFA (*Landscape Function Analysis*), basata sul concetto di funzionalità del paesaggio (*Landscape Function*).

Zucca et al (2010) ha valutato la variazione della qualità del suolo in una zona pastorale della Sardegna centro-orientale soggetta a generalizzati cambi di uso del suolo avvalendosi di indicatori raccolti in 4 gruppi principali: fisici (Contenuto di sabbia,

limo, argilla, Profondità del suolo, Densità apparente, Resistenza offerta alla penetrazione), chimici (pH, Contenuto in azoto; C/N, CSC, Contenuto in cationi di scambio, Grado di saturazione in basi), biologici (QBS-ar; Contenuto in carbonio organico), micromorfologici (Microaggregazione e microporosità).

Una delle qualità salienti del suolo è la sua capacità di stoccare carbonio sotto forma di carbonio organico (e inorganico²).

Lal (2003) ha stimato che globalmente la sostanza organica del suolo contiene, ad un metro di profondità, circa 1550 Pg³ di carbonio organico, mentre la vegetazione terrestre ne contiene circa 560 Pg, l'atmosfera 760 Pg. Mentre il carbonio inorganico contenuto nel suolo in forma inorganica ammonterebbe a circa 750 Pg.

Schlesinger e Andrews (2000) ribadiscono l'importanza del sistema suolo nello stoccaggio di carbonio stimandone un contenuto pari a circa 3000 Pg, sommando sia quello contenuto nello strato superficiale sia quello collocato negli strati profondi, mentre la vegetazione ne contenebbe 560 Pg, l'atmosfera 600 Pg, i combustibili fossili 7000 Pg, gli oceani 38000 Pg e le rocce sedimentarie oltre 60000000 Pg.

Attualmente il ruolo svolto dal sistema suolo-vegetazione nello stoccaggio della CO₂ atmosferica tiene viva l'attenzione dell'opinione pubblica, della comunità scientifica e dei decisori politici per questo tanti sono gli studi svolti in quest'ambito.

D'altra parte Smith (2004) afferma che l'aumento di sostanza organica nel suolo è massimo nei primi anni di attività di rimboschimento mentre decresce progressivamente col tempo, per cui in media calcola che solo il 20% dello stoccaggio stimato è in realtà effettivamente realizzato. Anche Marland et al. (2001) ribadiscono il limite della capacità dei suoli nello stoccare carbonio: questo sarebbe dovuto al fatto che la velocità di accumulo è controllata da diversi fattori tra cui clima, vegetazione, temperatura del suolo, umidità, tessitura del suolo, contenuto in minerali, attività antropica, oltre che dall'uso passato.

² Componente molto rilevante, la quale non è però stata affrontata dalla presente ricerca.

³ 1 Pg=10¹⁵ g

Meeting et al. (2001) affermano che a causa della complessità e della difficoltà di comprensione dei processi biogeochimici che avvengono all'interno del ciclo del carbonio, il potenziale di sequestro da parte dei suoli è difficilmente conoscibile.

Secondo Wang et al. 2005 nella stima della capacità del suolo di sequestrare carbonio occorrerebbe stimare anche il carbonio contenuto nella vegetazione e quello contenuto nella lettiera altrimenti si correrebbe il rischio di sottostimare l'effetto complessivo del sistema suolo-soprassuolo nel computo totale del sequestro di CO₂ atmosferica.

Per la stima del contributo della componente vegetazionale si potrebbero utilizzare le relazioni allometriche (West et al. 1999 a e b) espressioni che permettono la stima della biomassa epigea a partire dai dati di altezza e diametro delle piante.

Il sistema suolo-vegetazione può fungere non solamente da “sink” di carbonio, ma in determinate situazioni da “source” di carbonio; si osservano perdite di carbonio dal suolo quando i sistemi naturali vengono convertiti ad usi agricoli o quando il suolo è soggetto a fenomeni di degradazione come erosione, salinizzazione, depauperamento-squilibrio dei nutrienti.

La perdita di carbonio da parte dei terreni agricoli è stata stimata (nei paesi UE-15) in 78 Mt all'anno (Lal et al., 1999), dovuta principalmente al cambiamento di uso del suolo da sistemi più conservativi a sistemi più dissipatori. Smith et al. (2008) indicano, come conseguenza della coltivazione e del cambiamento di uso del suolo, un tasso di perdita di 0,8-2,4 Pg di carbonio all'anno.

2.2. *Qualità dei suoli forestali.*

L'identificazione del concetto di qualità di un suolo forestale non è facile per via delle molteplici funzioni che il suolo è chiamato ad assolvere in contesti forestali, soprattutto in quelli ad elevata valenza ambientale e non solo produttiva.

Burger et al. (1999), considerano come suoli forestali produttivi quelli che:

- promuovono la crescita delle radici;
- sono in grado di trattenere l'acqua e di cederla alle piante;
- trattengono e forniscono minerali alla vegetazione;
- promuovono gli scambi gassosi;
- permettono l'attività biologica al loro interno;
- fungono da deposito di carbonio.

Nel settore forestale la qualità di un suolo si misura solitamente con la capacità di produrre biomassa per unità di superficie e di tempo (Ford, 1983; Carmean, 1975), ma il concetto di qualità di un suolo forestale va ben oltre tali considerazioni e dovrebbe essere inteso come chiave di sostenibilità ambientale. Sarebbe infatti riduttivo, alla luce delle recenti accordi internazionali sul clima e vegetazione, limitare il ruolo svolto dalle foreste a semplici produttrici di biomassa.

Di recente utilizzo è il concetto di Gestione Forestale Sostenibile, che può essere considerata come quella in grado di soddisfare i mutevoli bisogni umani, ma al tempo stesso mirare alla conservazione del suolo, dell'acqua, degli habitat e della valenza estetica dei luoghi (Burger et al. cit.).

Quindi, i suoli forestali non possono essere considerati come un comparto separato dalla foresta e dall'ecosistema che li contiene, ma una parte integrante e comunicante attraverso reazioni di feed-back. La produttività forestale dipende certamente dalla genetica della specie, ma anche dal suolo, dalle condizioni stazionali quali materiale parentale, clima, microclima stazionario, topografia ed in ultimo dalla gestione che su di esso viene fatta: trattamento selvicolturale.

Ci si rende subito conto però che non è semplice stimare alcune funzioni del bosco quali ad esempio biodiversità, qualità ambientale e valore sociale, che molto spesso sono considerate funzioni secondarie.

Si devono prima descrivere un insieme di attributi che il suolo deve possedere per eseguire determinate funzioni e poi tradurre questi attributi in parametri misurabili. Considerate le numerose funzioni economiche, sociali, ambientali, ecologiche che il sistema suolo-vegetazione svolge, è necessario l'utilizzo di differenti parametri per stimare l'efficienza ecosistemica della foresta.

Per la valutazione della qualità del suolo è importante creare un *minimum dataset* di parametri di diversa natura, chimici, fisici, biologici, biochimici, da utilizzare per il confronto tra suoli sottoposti a differente uso/gestione ed eventualmente tradurli poi in un indice di tipo olistico che tenga conto delle interazioni che avvengono all'interno del sistema suolo-vegetazione.

La definizione di un indice di qualità è stata proposta da diversi studi (Doran e Parking, 1994), prevalentemente rivolti al settore agricolo. In campo forestale alcuni parametri utilizzati in ambito agricolo si sono dimostrati poco significativi rispetto ad altri.

La SOM è universalmente considerata un parametro utile nella stima della qualità del suolo, considerate le importanti funzioni che svolge al suo interno sia in campo agricolo, sia forestale. Romig et al. (1996), identificano tre classi di salute del suolo in base al contenuto di sostanza organica.

Aune e Lal (1997) hanno invece dimostrato la poca influenza della SOM nella produttività, $r^2=0,37$, ma hanno notato che ad una soglia di SOM inferiore all'1%, si ha una forte riduzione della produttività.

Il pH influenza molte reazioni chimiche che avvengono nel suolo, per cui andrebbe sempre incluso nel *minimum dataset*, anche perché è un parametro analitico di routine e poco costoso. Interessante in ambito forestale si è dimostrato essere il contenuto in alluminio (Aune et al. 1997).

La conducibilità elettrica è utilizzata per suoli ad uso agricolo, mentre perde di importanza in suoli forestali in cui la concentrazione degli ioni non è normalmente tale da creare squilibri osmotici. Può essere utilizzata in situazioni specifiche quali per esempio nella valutazione dell'effetto della bonifica di siti inquinati o quando vi è il sospetto che la concentrazione salina del suolo sia in grado di condizionare l'accrescimento vegetale (Burger et al., 1994).

Doran e Parking ,(cit.) affermano che per essere ritenuti interessanti, i parametri devono essere sensibili alle differenti gestioni per cui parametri che cambiano poco i loro valori nel breve periodo sono poco utilizzabili. Ne deriva che la tessitura e la potenza del profilo sono poco interessanti in ambito forestale.

Più interessante è sicuramente la densità apparente che riflette, oltre alla tessitura, anche il contenuto in sostanza organica e gli effetti dell'utilizzo del suolo, della compattazione, delle lavorazioni. Essa influenza significativamente i rapporti suolo-acqua-aria.

Interessante è la misura della resistenza del suolo con penetrometro per stimare l'effetto della densità apparente sulla proliferazione radicale (Powers et al., 1988).

La misura della stabilità degli aggregati potrebbe essere utilizzata per stimare il grado di sviluppo della struttura del suolo, fondamentale per lo sviluppo delle radici e dei rapporti suolo-acqua-aria (Kay e Grant, 1996).

Alla formulazione di indici di qualità di tipo statico, sono stati spesso associati modelli che prevedono l'utilizzo di una variabile di risposta considerata ideale a cui si deve arrivare con misurazioni nel sito di interesse.

Zornoza et al., (2008), hanno validato due modelli di regressione (Zornoza, 2002), per la stima della qualità del suolo creati a partire da superfici forestali indisturbate e considerate naturaliformi. Entrambi i modelli si basavano sul principio che lo stato del suolo in un determinato momento, senza fattori esterni di disturbo, tende ad un equilibrio tra le sue proprietà fisiche, chimiche, biologiche e biochimiche. In caso di disturbi esterni, tale equilibrio si modifica e la differenza sarà tanto maggiore rispetto allo stato stazionario tanto maggiori sono i disturbi. I modelli utilizzati differivano tra di loro per la maggior importanza attribuita alle caratteristiche biochimiche nel secondo rispetto al primo. I due modelli tengono conto di questo stato di equilibrio ed utilizzano il contenuto in carbonio come variabile di risposta per la stima della qualità del suolo ed altri parametri come variabili predittive.

La qualità del suolo è stata stimata sulla base dei residui tra il TOC previsto secondo il modello ed il TOC realmente misurato, $SQI = TOC_c - TOC_a$. Tanto maggiori sono i residui, tanto maggiore è la lontananza dalla qualità ideale, tipica dei sistemi naturaliformi. Quando i residui sono pari a 0 si ha la massima qualità.

I parametri utilizzati erano: contenuto in N totale, pH, conducibilità elettrica, P disponibile, stabilità degli aggregati, capacità di ritenzione idrica, carbonio microbico, respirazione basale, attività enzimatica da fosfatasi, ureasi e beta-glucosidasi.

In particolare nello studio furono confrontati suoli ad uso forestale con suoli ad uso agricolo attuale ed ex coltivi. I residui maggiori erano presenti nell'ordine, nei suoli agricoli, negli ex coltivi ed infine nelle foreste nelle quali TOC_c equivale al TOC_a.

In analogia a quanto scritto sopra Chaer et al. (2008) ribadiscono l'importanza dell'equilibrio che si crea in condizioni di assenza prolungata di disturbo, tra il contenuto in sostanza organica (SOM) e le altre proprietà del suolo. Gli Autori citati, utilizzano dunque come variabile risposta il contenuto in SOM e come variabili predittive parametri chimici, fisici, biologici ed enzimatici, alcuni dei quali strettamente legati al contenuto in SOM. In particolare hanno indotto degli stress chimici sui campioni di suolo indisturbato con l'aggiunta di rame o alterando arbitrariamente il pH, e inducendo stress fisici per mezzo di cicli di gelo-disgelo e bagnato-asciutto. I risultati hanno mostrato la variazione dei parametri chimici e biochimici strettamente legati alla SOM. La regressione multipla ha mostrato come l'attività della fosfatasi ed il carbonio della biomassa microbica fossero in grado di rappresentare, da soli, il 97% la varianza della SOM tra i siti indagati.

Sulla base degli studi effettuati, gli Autori hanno creato un modello per prevedere il contenuto in SOM a partire da questi due parametri ed il confronto tra TOC del modello e TOC misurato fornisce informazioni sull'effetto di pratiche di gestione, inquinanti e azioni degradanti nei confronti della qualità del suolo.

Alcuni Autori hanno utilizzato sia altre variabili di risposta come il carbonio della biomassa microbica (Emmerling e Udelhoven, 2002 e Lentzsch et al., 2005), sia altre variabili predittive.

Islam & Weil (2009), calcolano l'indice di deterioramento del suolo considerando come valori ideali dei parametri scelti per la stima della qualità del suolo quelli tipici della foresta naturale. Le differenze tra le medie di ogni singola variabile misurate nel suolo studiato rispetto alla stessa variabile misurata nella foresta naturale, sono state mediate ulteriormente tra di loro per calcolare un indice che dunque riflette le variazioni percentuali delle proprietà del suolo rispetto a quelle della foresta naturale.

Questi Autori hanno confrontato foreste naturali con terre rimboschite con acacia, praterie e terre coltivate in Bangladesh, utilizzando parametri fisici, chimici e microbiologici. Hanno così accertato un deterioramento delle terre coltivate pari al 44% rispetto alla foresta naturale, mentre prati e rimboschimenti ad acacia indicavano un miglioramento della qualità del suolo rispetto alle stesse foreste. In particolare gli autori hanno osservato l'aumento dell'N totale nei rimboschimenti ad acacia e l'aumento degli indicatori biologici, biomassa microbica totale e biomassa microbica attiva, nei pascoli rispetto alla foresta naturale.

La degradazione era dovuta principalmente alla distruzione dei macroaggregati, alla riduzione della biomassa microbica, alla perdita di SOM a causa di incendi, lavorazioni, deforestazione ed erosione.

Marzaioli et al. (2010) in Campania attraverso un indice costituito da parametri chimici, fisici e biologici, hanno individuato 3 classi di qualità del suolo. I valori più bassi, $SQI < 0,55$, sono caratteristici di colture permanenti, i valori compresi tra 0,55 e 0,70 caratterizzano arbusteti, pascoli, foreste di conifere ed oliveti mentre valori superiori a 0,70 sono tipici di boschi misti.

Anche le caratteristiche della lettiera possono essere utilizzate per la stima indiretta della qualità dei suoli. La decomposizione della lettiera è frutto dell'interazione tra vegetazione, disponibilità di nutrienti e popolazione edafica (Knoepp et al., 2000).

Le forme di humus sono in grado di indicare la velocità con cui i nutrienti sono rimessi in circolazione nell'ecosistema (Ponge et al., 2003). Johansson (1994) indica che a maggiori tassi di decomposizione della lettiera corrisponde maggiore disponibilità di nutrienti e quindi maggiore qualità del suolo.

Ponge et al. (2002), hanno messo in relazione alcuni parametri del suolo forestale con il tipo di humus presente ipotizzando una scala di qualità del suolo decrescente passando da Eumull (1) a Dysmoder (7), con intermedi Mesomull, Oligomull, Dysmull, Hemimoder e Eumoder. L'indice di Ponge era correlato positivamente con l'aumento dello spessore degli orizzonti organici, con l'acidità scambiabile, $H+Al$ e col rapporto acidità scambiabile/CSC, mentre era correlato negativamente con la profondità, col pH in KCl e col colore dell'orizzonte minerale A. Altri parametri come il contenuto in C ed in N dell'orizzonte minerale ed il contenuto in

cationi di scambio, sono risultati essere negativamente correlati all'indice di Ponge anche se ad un basso livello di significatività.

Ponge et al., (2006) sulla base del precedente lavoro del 2002, hanno aggiunto alle variabili pedologiche alcune proprietà legate all'accrescimento forestale, dimostrando come gli humus con alto indice di Ponge caratterizzino formazioni forestali di età avanzata, in relazione con l'acidificazione del suolo e col maggior accumulo di sostanza organica. Il passaggio da mull verso moder è tanto maggiore quanto più la lettiera è povera di nutrienti e ricca in metaboliti secondari, ed è inoltre correlato positivamente, tra l'altro, con l'altezza dominante, col diametro dominante e con l'area basimetrica.

Ponge et al., (2003) e Ponge (2003), mettono in risalto il fatto che l'indice di humus sia in stretta correlazione anche con le comunità vegetali ed animali che vivono nel suolo.

In particolare Ponge (2003) afferma che il consorzio vegetale è in grado di auto organizzarsi, svilupparsi e diversificarsi in funzione delle sue esigenze di crescita. Nelle fasi giovanili del soprassuolo si sviluppano forme di humus tipo mull, nella fase di intensa crescita i moder ed in fase matura e di senescenza ancora una volta i mull. Questa diversificazione è dovuta alla forza trainante della componente edafica del suolo, in particolare degli anellidi.

La elevata biodiversità che caratterizza i mull è dovuta alle maggiori risorse a disposizione per gli organismi. Biodiversità può essere mantenuta solo attraverso un rapido riciclo dei nutrienti in quanto l'elevata competizione per le risorse e per gli spazi crea un altrettanto elevata concorrenza.

Infine, carenze nutrizionali e clima difficile caratterizzano la forma di humus mor in cui è minore la biodiversità edafica e la competizione per le risorse e gli spazi è inferiore rispetto ai mull.

2.3. *Bioindicatori basati sulla microfauna edafica.*

2.2.1. *Biodiversità edafica.*

I suoli sono in grado di ospitare una moltitudine di organismi viventi: un metro quadrato di terreno, in superficie può contenere oltre diecimila specie differenti, mentre la biodiversità epigea, è di alcuni ordini di grandezza inferiori. Bisogna però considerare che la gran parte della biodiversità edafica è sconosciuta.

Alla sostanza organica vivente del suolo appartengono:

- batteri, funghi, attinomiceti, funghi e alghe, comunemente indicati col termine microflora;
- la gran parte degli artropodi, lombrichi, nematodi che vengono comunemente chiamati con l'appellativo di pedofauna;
- le radici delle piante.

Il bioma del suolo è implicato in molti dei processi che contribuiscono al funzionamento del suolo:

- cicli di decomposizione dei nutrienti;
- strutturazione del suolo (porosità, aggregazione) e miscelazione della sostanza organica;
- processi idrologici del suolo perché in grado di condizionare porosità e struttura;
- controllo dei parassiti e degli agenti patogeni;
- *disintossicazione* del terreno attraverso il metabolismo delle sostanze chimiche alloctone;
- nella produzione vegetale.

Per cui gli organismi del suolo svolgono una serie di funzioni e partecipano attivamente ad una serie di processi indispensabili per il mantenimento della fertilità e delle produzioni alimentari e per la salute dell'uomo e dell'ambiente.

Al suolo arrivano i materiali rilasciati sia dalla parte aerea del consorzio vegetale, sia dall'apparato radicale sotto forma di essudati, mucillagini, radici morte: tutto questo materiale è soggetto a demolizione fisico-chimica il cui risultato finale è la restituzione dell'energia al sistema che lo ha generato. Il suolo funge da substrato in cui avvengono tali modifiche: attraverso la *componente biotica* che contiene, le molecole complesse

(glucidi, fenoli, proteine, lipidi) vengono semplificate e traslocate all'interno degli altri comparti dell'ecosistema.

La degradazione delle molecole complesse procede a velocità ed intensità differenti in relazione alla qualità della componente biologica, questa a sua volta condizionata dai fattori propri del suolo e della stazione.

All'interno del suolo, è possibile individuare degli *ingegneri chimici* in cui è possibile includere la microflora ed *ingegneri fisici* in cui vengono inclusi i rappresentanti della fauna edafica e le radici delle essenze vegetali.

Batteri e funghi possono essere considerati come gli "ingegneri chimici" del suolo in quanto sono responsabili dei processi chimici che avvengono nel suolo. Questo gruppo comprende tutti gli organismi che decompongono la sostanza organica attraverso reazioni cataboliche e anaboliche; si tratta degli organismi più piccoli che abitano il suolo e che insieme utilizzano, trasformano e trasferiscono il 90% dell'energia che transita nell'ecosistema.

Gli effetti prodotti dalla fauna del suolo sono divisibili in fisici, chimici e biologici:

I. effetti fisici:

- Macro-rimescolamento: alcuni appartenenti alla fauna del suolo, soprattutto lombrichi, termiti, formiche e alcuni coleotteri possono portare verso la superficie elementi minerali ed in profondità sostanza organica attraverso la loro azione di scavo e rimescolamento;
- Micro-rimescolamento: simile al caso precedente, ma il volume di suolo spostato è inferiore; viene svolta prevalentemente dalle larve di ditteri, coleotteri e lepidotteri, si localizza nei primi centimetri di suolo ed è comunque importante per l'approfondimento della sostanza organica;
- Costruzione di gallerie: le gallerie sono importanti per assicurare al suolo areazione e flusso dell'acqua attraverso l'aumento della porosità e la riduzione della compattazione. L'attività dei lombrichi, soprattutto nei terreni agricoli, si esplica, tra l'altro, nella perforazione della suola di lavorazione favorendo l'infiltrazione dell'acqua e la costruzione di vie preferenziali per l'accrescimento delle radici e per il movimento di microartropodi che non sono abili scavatori;

- Frammentazione della lettiera: è l'azione più comune esercitata dalla fauna del suolo, attraverso l'azione sminuzzatrice vengono rilasciati nel suolo frammenti più piccoli rispetto a quelli che normalmente cadono al suolo. Questi diventano più facilmente degradabili dalla componente microbiologica del suolo in quanto viene aumentata la superficie attaccabile dai microrganismi;
- Formazione degli aggregati: attraverso l'assemblaggio di materia organica e minerale nell'intestino di alcuni rappresentanti della fauna del suolo, si compie un'intima connessione che origina degli aggregati relativamente stabili e duraturi in cui la sostanza organica è protetta.

II. effetti chimici:

- L'azione chimica più diretta è il cambiamento della qualità alimentari dei residui organici attraverso la digestione: svolgono quindi un ruolo importante nella mineralizzazione della sostanza organica e nel rilascio degli elementi minerali; influenzano inoltre la composizione del suolo attraverso la deposizione degli escrementi;

III. effetti biologici:

- In un suolo naturale è presente un equilibrio dinamico e complesso tra i gruppi caratterizzati da diverse abitudini alimentari. La regolazione dell'equilibrio tra erbivori e predatori è fondamentale per mantenere l'entità della popolazione proporzionale alle risorse effettivamente disponibili. La fauna del suolo è anche responsabile di questa regolazione impedendo che alcuni gruppi possano diventare dominanti e dannosi. Indirettamente la stessa fauna è responsabile dell'attivazione della sua componente microbiologica. I microrganismi sono presenti nel suolo in uno stato quiescente e solo nel momento in cui trovano substrato idoneo e temperatura e grado di umidità ideali, interrompono questa fase di quiete e si attivano per il consumo del substrato. La fauna del suolo, movimentando il suolo e i substrati, porta questi ultimi a contatto con i microrganismi e crea le nicchie ecologiche ideali per il loro sviluppo e per la loro attività. Infine la stessa fauna del suolo è responsabile della diffusione di propaguli fungini e dei batteri stessi.

Il tipo di fauna edafica e la sua distribuzione nel suolo dipendono molto dall'influenza dell'uomo, e in particolare dall'uso del suolo. Tra le conseguenze

dell'intensificazione colturale si osserva ad esempio la riduzione della biodiversità animale, non solo in termini numerici, ma anche qualitativi, a causa della distruzione degli habitat, della mancanza di nicchie ecologiche, dell'effetto tossico di alcuni prodotti chimici, della riduzione degli apporti di sostanza organica e degli elementi minerali.

Come mostrato in figura 1.1, ai diversi usi del suolo corrisponde una differente varietà di comunità edafiche.

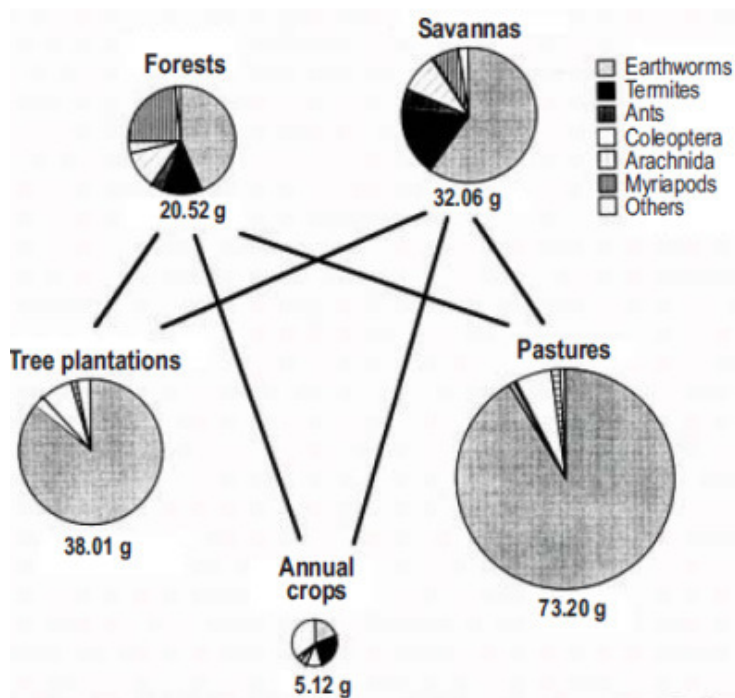


Figura 2.1. *Composizione della macrofauna del suolo in diverse situazioni vegetali. Da Lavelle et al. 1994*

Le caratteristiche della pedofauna cambiano notevolmente sia dal punto di vista quantitativo, sia qualitativo in base all'uso del suolo. La prima differenza si osserva nella distribuzione verticale: in un suolo forestale la fauna del suolo si localizza maggiormente nei primi centimetri, soprattutto nella lettiera, nei pascoli entro i primi 5 cm, mentre nei suoli coltivati si osservano distribuzioni relativamente uniformi nei primi 15 cm. Differenze che pare possano essere correlate alla distribuzione della sostanza organica in questi suoli.

2.2.2. Componenti del bioma edafico.

2.2.2.1. Batteri.

I batteri sono organismi unicellulari procarioti che mostrano estrema variabilità nelle dimensioni variabili da 0,5 a 5 μ , più comunemente intorno a 2 μ . Possono trovarsi isolati ma frequentemente in colonie.

I batteri sono probabilmente il taxon maggiormente rappresentato sulla terra, con circa $4-6 \cdot 10^{30}$ specie, di cui circa il 90% vive nel suolo e nel sottosuolo. La biomassa batterica in una prateria temperata ammonta a 1-2 t/ha, con oltre un milione, da 10^6 a 10^9 di cellule batteriche e diecimila differenti genomi batterici per g di suolo (Florenzano, 1991).

La gran parte dei batteri del suolo sono detritivori e sono responsabili della degradazione della sostanza organica. Alcuni sono patogeni per le piante, molti producono antibiotici, vitamine e fattori di crescita in grado di influenzare lo sviluppo degli altri organismi del suolo. Altri sono capaci di degradare molti inquinanti tossici, xenobiotici, o sono autotrofi come i cianobatteri.

Vivono prevalentemente nei pori e tra gli aggregati del suolo, sono in grado di aderire alle superfici minerali e alle particelle organiche formando densi tappeti di cellule chiamati anche *biofilms* contenenti differenti specie batteriche ed organizzati in strutture complesse. Sono normalmente immobili per cui la dispersione nell'ambiente dipende dal movimento dell'acqua, dalla crescita radicale e dall'attività della fauna del suolo. Seppure alcuni siano in grado di muoversi attivamente, i loro spostamenti sono irrilevanti ed insufficienti per lo spostamento da un habitat ad un altro.

In ultimo si ricorda che alcuni batteri sono in grado di ridurre l'N molecolare in azoto ammoniacale instaurando rapporti simbiotici con le piante (rizobi-leguminose) oppure senza instaurare alcun rapporto simbiotico quali gli Azobacter.

2.2.2.2. Funghi.

I funghi sono un gruppo estremamente eterogeneo di organismi con una vasta gamma di forme, dai microscopici lieviti unicellulari fino a strutture complesse. La maggior parte dei funghi sono invisibili ad occhio nudo, vivono in prevalenza nel suolo,

sulla sostanza organica morta, oppure in simbiosi mutualistica con piante, animali o altri funghi.

Il corpo dei funghi pluricellulari è costituito dall'aggregazione di singoli filamenti detti *ife* a formare una struttura compatta il *micelio*. 80.000 specie di funghi vivono almeno parte del loro ciclo nel suolo, anche se tanti altri sono sconosciuti; la biodiversità fungina è stata stimata da Hawksworth (1991) in 1,5 milioni di specie mentre la biomassa fungina in un suolo in zone temperate può ammontare a 2-5 t/ha Killham (1994).

I funghi sono organismi eterotrofi che necessitano di substrati già formati per ricavare energia, alcuni sono patogeni per le piante, altri costituiscono relazioni vantaggiose con le piante come ad esempio le micorrize.

2.2.2.3. Protozoi.

I protozoi sono organismi unicellulari eucarioti, di dimensioni variabili da 10 a 50 μ , a volte fino a 1 mm, la cui abbondanza nei suoli è seconda solo a quella dei batteri. Non svolgono un ruolo diretto nella degradazione della sostanza organica, ma indiretto, attraverso il controllo delle popolazioni microbiche e fungine, essendo predatori dei rappresentanti di questi taxon. Alcuni sono simbionti all'interno del tubo digerente di alcuni organismi, ad esempio i lombrichi, in cui agiscono da degradatori della cellulosa e stimolanti dell'attività batterica.

2.2.2.4. Pedofauna.

Con il termine pedofauna, fauna edafica e fauna del suolo si intende quel gruppo di organismi animali che svolgono interamente o in parte il loro ciclo vitale all'interno del suolo.

La prima classificazione della pedofauna si basa, secondo Wallwork (1970) sulle dimensioni degli organismi e prevede quattro categorie dimensionali:

- microfauna: la cui taglia del corpo è compresa tra 20 e 200 μ , quali piccoli acari, nematodi, rotiferi, tardigradi e crostacei copepodi;
- mesofauna: la cui taglia del corpo è compresa tra 200 μ e 2 mm tra cui nematodi, rotiferi, tardigradi, pseudoscorpioni, opilionidi, enchitreidi, piccoli isopodi, miriapodi, larve di insetto;

- macrofauna: dimensioni comprese tra 2 e 20 mm ad esempio alcuni lombrichi, gasteropodi, isopodi, miriapodi, alcuni araneidi e la maggior parte degli insetti;
- megafauna: dimensioni del corpo maggiori di 20 mm gran parte dei lombrichi, nonché gasteropodi, miriapodi, insettivori, piccoli roditori, rettili e anfibi).

In base ai rapporti che la fauna intraprende col suolo si possono distinguere:

- geofili inattivi temporanei: sono organismi che vivono nel suolo solo per alcuni periodi della loro vita, per svernare o durante la loro fase di pupa, quando la stabilità climatica e la protezione fornita dall'ambiente ipogeo sono più necessari. A causa della loro relativa inattività, gli appartenenti a questo gruppo hanno un impatto ecologico modesto sulle funzioni ecologiche dell'ambiente ipogeo, anche se possono rientrare nella rete trofica del suolo come prede;
- geofili attivi temporanei: abitano il suolo per buona parte del loro ciclo vitale, attraversando al suo interno uno o più stadi del loro sviluppo ed emergendo dal suolo come adulti. Appartengono a questo gruppo cicale, ditteri, coleotteri e lepidotteri, il cui ciclo di sviluppo comprende la fase di pupa. La relativa inattività della pupa, rende il contributo edafico di questo stadio vitale relativamente basso, mentre le larve hanno una considerevole importanza sia come detritivori sia come predatori;
- geofili periodici: conducono una fase del loro ciclo biologico nel suolo, generalmente quella larvale, ma nel corso della loro vita continuano a mantenere rapporti con esso, entrandovi periodicamente per cacciare, deporre le uova o sfuggire a condizioni climatiche sfavorevoli;
- geobionti: sono organismi estremamente adattati alla vita nel suolo e non sono in grado di abbandonarlo neppure temporaneamente, avendo caratteristiche anatomiche che non consentono loro di sopravvivere negli ambienti epigei. A questo gruppo appartengono molte specie di miriapodi, isopodi, acari, molluschi, oltre alla maggior parte dei collemboli, dipluri e proturi che sono un esempio di organismi edafobi⁴.

⁴ Organismi che svolgono tutto il loro ciclo biologico all'interno del suolo.

Un'ulteriore classificazione considera la nicchia in cui la fauna edafica si insedia; in base a ciò è possibile distinguere quattro gruppi di organismi:

- *euedaphon*: organismi che abitano la fascia minerale del suolo;
- *emiedaphon*: abitano la fascia organica del suolo;
- *epiedaphon*: organismi che vivono sulla superficie;
- *hiperedaphon*: organismi che abitano anche nello strato erbaceo.

2.2.2.5 I principali gruppi di pedofauna.

Nematodi.

Hanno struttura vermiforme, non segmentati, privi di pigmenti, con aspetto traslucido. Sono in grado di muoversi autonomamente però sono fortemente legati alla presenza d'acqua. Vivono solitamente nei primi 5 cm del suolo a livello di apparati radicali delle specie erbacee, nell'acqua interstiziale e pellicolare e nella sostanza organica in decomposizione. Per quanto riguarda le abitudini alimentari, alcuni sono fitofagi, altri carnivori, contribuendo alla regolazione degli equilibri della flora del suolo.

Opilionidi.

Gli Opilionidi comprendono circa un migliaio di specie di piccole e medie dimensioni di cui alcune strettamente legate al suolo. Sono morfologicamente simile ai ragni da cui si distinguono per l'opistosoma segmentato e non pedunculato. Sono caratterizzati dall'estrema lunghezza delle zampe, che però si riduce notevolmente nelle specie che vivono nel suolo. Si nutrono generalmente di artropodi, ma possono ingerire anche materiale vegetale.

Araneidi.

Gli Araneidi, detti comunemente ragni, sono un ordine ricco di specie, circa 20.000 di media o piccola taglia, ad eccezione di alcune forme tropicali di grande mole. Vivono negli ambienti più svariati dai tropici alla regione artica, si possono trovare tra la vegetazione, nel suolo, sotto le pietre, ed alcune specie vivono anche in acqua. Sono normalmente predatori.

Pseudoscorpioni.

Piccoli aracnidi lunghi pochi millimetri il cui aspetto ricorda quello di uno scorpione, privo però di telson, di aculeo e di ghiandole velenifere posteriori; sono per lo più predatori.

Acari.

Sono aracnidi di dimensioni piccole o molto piccole da 0,1 a 10 mm, il corpo è articolato in proterosoma e isterosoma. Le specie descritte sono circa 50.000 ma sono probabilmente solo una piccola parte di quelle esistenti. L'alimentazione è molto varia, ma in genere sono organismi detritivori.

Isopodi.

Gli Isopodi, hanno sette paia di zampe uguali fra loro, con dimensioni del corpo che variano tra 5 e 20 mm. La dieta degli Isopodi comprende una grande varietà di detriti vegetali, pellet fecali e resti di invertebrati: contribuendo in modo significativo alla degradazione della sostanza organica nel terreno.

Diplopodi.

Miriapodi forniti di due sole paia di pezzi boccali, con un tronco articolato in diplosegmenti, provvisti di due paia di zampe ciascuno. La maggior parte delle specie ha lunghezza compresa fra 1 e 5 centimetri, i più piccoli però possono misurare solo 3 mm ed i più grandi fino a 28 centimetri. Sono prevalentemente fitofagi e detritivori.

Pauropodi.

Miriapodi di dimensioni ridotte, 0,5-1,5 cm, con due sole paia di pezzi boccali, antenne ramificate e 9 paia di zampe. Sono privi per lo più di apparato respiratorio e circolatorio. Si nutrono principalmente di detrito vegetale e occasionalmente possono diventare predatori.

Sinfili.

Sono dei piccoli miriapodi con corpo allungato dotato di 12 paia di zampe e tre paia di pezzi boccali. Prediligono suoli umidi, ricchi di sostanza organica e si nutrono di gran parte dei materiali vegetali e dei microrganismi che vivono nel suolo.

Chilopodi.

Sono miriapodi terrestri con tre paia di appendici boccali e tronco allungato, con le appendici del primo metamero trasformate in forcipule. Se ne conoscono circa 2.500

specie con dimensioni che possono variare da 3 fino a 25 centimetri. Sono principalmente predatori anche se qualche gruppo si nutre di detriti vegetali.

Proturi.

I proturi sono degli artropodi generalmente di piccole dimensioni, 0,5-2 mm, depigmentati, delicati, che vivono fra i detriti vegetali o nel terriccio ricco di sostanza organica.

Dipluri.

I dipluri sono esapodi primitivi, dal corpo allungato di piccole dimensioni, 1-5 mm, incolore, appiattito, privi di occhi e dotati di cerci a flagello a pinza. Prediligono i suoli con un regime di umidità alto e stabile, però non hanno forti restrizioni di habitat. Solitamente sono predatori, ma possono nutrirsi anche di detriti e di Funghi.

Collemboli.

I collemboli comprendono circa 2.000 specie, solitamente di piccole dimensioni, largamente diffuse in tutto il globo soprattutto nei luoghi oscuri, umidi e ricchi di materia organica.

I Collemboli, insieme agli Acari costituiscono la maggior parte degli artropodi che abitano il suolo, hanno colonizzato praticamente tutti gli ambienti. La massima abbondanza però la raggiungono nelle foreste mature dove si incontrano densità da 5.000 a 50.000 individui/mq (Wallwork 1970).

I Collemboli presentano tipi di dieta molto varia: vi sono detritivori e fitofagi, ma anche predatori e fungivori, anche se la maggioranza delle specie adatta la dieta in base al tipo di cibo offerto dall'ambiente.

Emitteri.

Gli emitteri o rincoti costituiscono un gruppo di insetti assai rappresentato caratterizzato dalla conformazione dell'apparato boccale pungente succhiante in tutte le fasi della loro vita. Si nutrono prevalentemente di succhi vegetali. In massima parte sono terrestri ma alcune specie sono acquatiche.

Tisanotteri.

Sono insetti succhiatori, generalmente fitofagi di dimensioni piccole o piccolissime, lunghi in media 1 mm, posseggono corpo snello e sono solitamente alati. Sono generalmente fitofagi, ma alcune specie sono predatrici di insetti ed acari. Alcune

specie fitofaghe sono dannose per le produzioni vegetali, comportandosi anche come vettori di virus e batteriosi.

Coleotteri.

I coleotteri sono l'ordine di insetti più numeroso in specie, circa 300.000 con apparato boccale solitamente masticatore, raramente lambente e succhiante o con appendici boccali atrofiche, sono insetti cosmopoliti adatti a tutti gli ambienti. La forma del corpo è generalmente robusta e massiccia e con diverse strutture morfologiche a seconda della famiglia.

Imenotteri.

Costituiscono un ordine molto differenziato, di cui sono note circa 200.000 specie di dimensioni variabili da 1 mm a 6 cm come in alcuni Pompilidi.

Comprendono specie solitamente fitofaghe e predatrici. Alcuni gruppi, formiche, api, vespe presentano spiccata attività sociale.

Tra gli imenotteri vanno citate le formiche, da classificare come *ingeneri fisici del suolo* in quanto attraverso la costruzione dei loro nidi e delle gallerie nel suolo contribuiscono a creare una fitta rete di canali che migliorano la struttura del suolo, l'aerazione, costituiscono vie preferenziali di scorrimento dell'acqua e vie per la percorrenza di animali privi di capacità fossorie.

Ditteri.

I ditteri comprendono circa 70.000 mila specie caratterizzate dall'aver il secondo paio di ali estremamente ridotto e non atto al volo. L'apparato boccale varia a seconda delle specie e del tipo di cibo utilizzato: masticatore, lambente, pungente o succhiatore.

I Ditteri nel suolo sono generalmente presenti solo come larve, mentre l'adulto vive in superficie. Sono soprattutto saprofagi, coprafagi e predatori

2.2.3. Indicatori di qualità biologica del suolo.

La qualità biologica del suolo o, da un punto di vista opposto, il grado di disturbo biologico subito dal suolo a causa di fattori di pressione legati alle attività umane, possono essere valutati e quantificati sulla base di indicatori legati all'attività biologica e a caratteristiche della comunità edafica. Esistono molti indicatori di questo tipo.

Gli organismi comunemente utilizzati come bioindicatori appartengono ad un'ampia gamma di forme viventi: microrganismi (batteri, funghi ed alghe), microinvertebrati (nematodi, acari, collemboli, diplopodi, enchitreidi), macroinvertebrati (isopodi, lumbricidi, termiti, coleotteri, ditteri, formiche e molluschi) e piante.

Conta microbica, stima della biomassa, velocità di mineralizzazione dell'azoto, tasso di decomposizione della sostanza organica, respirazione basale e attività deidrogenasica sono le tecniche comunemente utilizzate per la stima degli stress presenti nel suolo attraverso l'uso di microrganismi (funghi e batteri).

I microinvertebrati più comunemente sono i nematodi utilizzati da Bongers e de Goede, (1995)⁵, per la stima del MI (Maturity Index).

L'Indice di Qualità (IQ) (Jacomini, 2000) è basato sul riconoscimento, a livello di ordine, degli artropodi appartenenti alla meso e macrofauna. In questo metodo vengono determinati due parametri: la numerosità in termini sistematici e la ricchezza in termini numerici di ciascun gruppo sistematico. Tale indice può assumere valori compresi tra 0 e 2. I valori compresi tra 0 e 0,5 indicano situazioni di degrado del suolo, quelli tra 0,5 e 1,5 condizioni intermedie, mentre valori maggiori di 1,5 caratterizzano situazioni prossime alla normalità.

Il rapporto tra acari e collemboli secondo Bachelier, (1986) è un altro indice utilizzato per verificare lo stato di salute del suolo. Solitamente in condizioni di equilibrio gli acari sono più abbondanti rispetto ai collemboli, mentre in condizioni di

⁵ Citati da Jacomini, 2000

degrado il rapporto tende a diminuire. Molto simile a questo indice è anche il rapporto tra acari oribatei/altri acari (Aoki et al., 1977).

Attraverso il QBS-c (Parisi, 2001;) si stima la qualità biologica del suolo attraverso l'osservazione particolareggiata di 7 caratteristiche del corpo dei collemboli (dimensioni, pigmentazione, sviluppo di fanere, anoftalmia, antenne, zampe e furca). Per ciascuna caratteristica è attribuito un punteggio. Il valore dell'indice QBS-c si ottiene sommando i valori di ogni singola caratteristica morfologica. Si tratta di un metodo che richiede una forte conoscenza della sistematica dei collemboli, rendendolo per lo più adatto agli specialisti.

Simile all'indice QBS-c è l'indice QBS-ar (Parisi,2001; Gardi et al., 2002, Lisa et al.), che si differenzia dal primo per interessare un grande gruppo di microartropodi del suolo.

In questo studio è stato adottato quest'ultimo metodo, la cui base teorica si fonda sull'adattamento dei microartropodi alla vita nel suolo. I microartropodi euedafici hanno sviluppato delle modifiche morfologiche e fisiologiche del proprio corpo: anoftalmia, atterismo, notevole sviluppo di idro e chemio recettori, depigmentazione, miniaturizzazione, riduzione delle appendici ambulacrali, che li rende particolarmente adatti alla vita sotterranea, ma allo stesso tempo altrettanto vulnerabili al mutare delle condizioni originarie. La loro presenza o la loro assenza diventa quindi un'importante testimone dell'eventuale livello di disturbo subito dal suolo quali ad esempio lavorazioni, presenza di xenobiotici, modificazioni nelle proprietà chimico-fisiche. Questo modello permette di apprezzare gli effetti sullo stato del suolo di diversi sistemi di gestione e utilizzazione.

In altri taxa, invece, tutte le specie posseggono un totale adattamento alla vita del suolo, ed essi possono essere considerati un'unica forma biologica. Si fa riferimento, ai fini della valutazione dello stato del suolo, a *fasce di adattamento* che sono indipendenti dalla tassonomia, il cui utilizzo permette di superare i problemi legati alla determinazione delle specie. Ciò consente anche di considerare separatamente gli stadi del ciclo biologico nel quale un organismo è osservato. Così ad esempio alle larve di certi gruppi sistematici, si possono attribuire valori differenti da quelli che sono attribuiti agli adulti.

Il metodo QBS-ar è stato prevalentemente utilizzato in contesti agricoli, al fine di confrontare i diversi usi del suolo, l'impatto delle lavorazioni rispetto alla non lavorazione, l'agricoltura tradizionale nei confronti di quella biologica e, in aree forestali, per confrontare diversi sistemi di utilizzazione. In Parisi et al. (2005) gli obiettivi dello studio erano tre.

Il primo era quello di valutare la biodiversità e la qualità del suolo associata a diversi usi del suolo. A tal fine sono stati confrontati suoli a uso agricolo con prati permanenti, arbusteti e suoli forestali.

Il secondo obiettivo era quello di valutare la risposta di suoli agricoli all'utilizzo di fanghi da depurazione, non solo in termini di biodiversità ma anche in termini di accumulo di metalli pesanti nei lombrichi.

In ultimo è stata confrontata l'agricoltura biologica con quella convenzionale. Nel primo caso che prevedeva il confronto tra diversi usi del suolo, i valori maggiori sono stati riscontrati per suoli a uso forestale, seguiti dagli arbusteti e dai suoli ad uso agricolo, caratterizzati dall'aver valori QBS-ar sempre inferiori a 100 (escluso un ex medicaio in cui i disturbi erano cessati da 8 anni).

Nel secondo caso l'applicazione di fanghi di depurazione, per brevi periodi, non ha causato la diminuzione della biodiversità dei microartropodi.

Il terzo confronto ha indicato chiaramente come l'agricoltura biologica preservi meglio la diversità dei microartropodi rispetto a quella tradizionale, soprattutto nel caso di colture a maggior input di energia esterna quale ad esempio quella del mais.

In Gardi et al. (2002) sono confrontati pascoli permanenti soggetti a diversa gestione. Gli autori hanno osservato che il QBS-ar permette di rilevare nel breve periodo le conseguenze della gestione agronomica, ma è meno sensibile nei confronti della variazione di altri parametri come la riduzione della sostanza organica.

Tabaglio et al. (2008) hanno confrontato terreni coltivati ad orzo sottoposti sia a lavorazione tradizionale, sia alla non lavorazione in presenza e assenza di concimazione azotata. I risultati hanno portato alla conclusione che non vi era differenza significativa nella comunità dei microartropodi tra le due tesi, probabilmente a causa del fatto che l'orzo è di per se una coltura con una minima richiesta di lavorazioni rispetto ad altre colture quale il mais e che quindi le ridotte lavorazioni permettono ugualmente il mantenimento delle condizioni edafiche necessarie alla sopravvivenza dei

microartropodi euedafici. La non lavorazione ha comunque portato migliorie al suolo in termini di aumento del contenuto in sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile e soprattutto nella stabilità strutturale che si riflette in un migliore regime idrico del suolo.

In Menta et al. (2011) viene ribadita la maggiore qualità dei suoli ad uso forestale rispetto a quelli a pascolo e ad uso agricolo. In particolare gli autori analizzano la numerosità specifica caratterizzando le comunità di microartropodi tipiche di ciascun uso del suolo.

Blasi et al. (2012) nella sua analisi dei soprassuoli forestali dell'Italia centrale ha sottolineato come i valori del QBS-ar non sono differenti per soprassuoli a differente gestione selvicolturale, ceduo o fustaia. Inoltre gli stessi valori non subiscono variazioni in funzione della stagione, ma probabilmente in ambiente mediterraneo a maggiore aridità si dovrebbe osservare un declino della numerosità nella stagione arida. L'indice si è dimostrato correlato negativamente con la densità apparente del suolo. Questo risultato fa ritenere che il modello possa essere particolarmente utile al fine del rilevamento del compattamento del suolo in soprassuoli utilizzati a scopo ricreativo e per il passaggio da automezzi.

In Sardegna Zucca et al. (2010) hanno utilizzato il QBS-ar per confrontare superfici adibite a pascolo e superfici a macchia mediterranea ottenendo valori maggiori per queste ultime rispetto alle prime.

2.3. *Gli humus.*

2.3.1. *I processi di umificazione.*

Secondo la definizione riportata nel *Glossary of Soil Science Terms* edito dalla *Soil Science of America* (SSSA, 1997) la sostanza organica del suolo include residui di piante, di animali e di microrganismi a vari stadi di decomposizione e sostanze sintetizzate dalla biomassa vivente del terreno. La frazione organica del terreno è dunque costituita da (riferimento):

- biomasse vegetali, animali e microbiche,
- necromasse integre o in fase più o meno spinta di decomposizione;
- unità molecolari che si liberano in seguito all'alterazione delle biomasse e necromasse;
- molecole umiche che si originano in seguito a reazioni di condensazione e polimerizzazione.

Si è soliti suddividere ulteriormente la sostanza organica in:

- sostanza organica fresca: costituita dai residui animali e vegetali caduti di recente al suolo e ancora ben riconoscibili ad occhio nudo;
- sostanza organica ereditata: non deriva da processi di neosintesi ma è già contenuta nella sostanza organica fresca e in parte deriva dalla sua semplificazione tramite lisi operata dagli organismi del suolo;
- sostanze umiche: è costituita da molecole organiche di neosintesi che si originano nel suolo attraverso reazioni di policondensazione di molecole organiche derivanti dalla decomposizione della sostanza organica fresca: il processo di formazione delle sostanze umiche prende il nome di umificazione.

Le sostanze umiche si formerebbero secondo le tre seguenti fasi (Nannipieri, 1993):

- *idrolisi enzimatica dei polimeri* che compongono il substrato di partenza con formazione di composti semplici o relativamente semplici;
- *trasformazione, prevalentemente ossidativa delle molecole* così ottenute con aumento della loro reattività;

- *polimerizzazione e policondensazione*, in parte spontanea, di tali prodotti che danno origine alle molecole umiche.

Le sostanze umiche sono convenzionalmente suddivise in funzione del loro peso molecolare e della modalità di estrazione in laboratorio, in acidi fulvici, acidi umici e umina, le quali sono contraddistinte dalle caratteristiche schematizzate nella tabella 2.1.

	ACIDI UMICI	ACIDI FULVICI	UMINA
C %	50,5	47,5	62
O (più altri elementi) %	41,0	46,5	30
H %	5,5	4,3	-
N %	3,0	1,7	-
CSC ($\mu\text{eq/g}$)	da 3000 a 5000	da 5000 a 7000	-
peso molecolare (dalton)	900-2000	10^5 - $5 \cdot 10^5$	Da 10^5 a $5 \cdot 10^5$

Tabella 2.1. *Principali caratteristiche degli acidi umici, fulvici ed umina.*

2.3.2. Gli humus forestali.

I residui organici, che vanno a costituire la lettiera, una volta arrivati al suolo, subiscono una serie di processi di trasformazione ravvisabili principalmente in mineralizzazione e umificazione.

La mineralizzazione è legata principalmente a fenomeni biologici e interessa le sostanze ternarie (cellulosa ed emicellulosa, amido, pectine, lignine, tannini) e quaternarie (proteine, acidi nucleici, amminozuccheri, fitina), semplificandone la struttura e liberando elementi solubili e gassosi (riferimento). La mineralizzazione della sostanza organica è favorita in ambienti ben aerati (condizioni di forte ossidazione) con un'intensa attività biologica, e porta alla decomposizione del materiale organico.

L'umificazione è una lenta e complessa serie di reazioni che avvengono per intervento di microrganismi e che portano alla formazione di macromolecole con una struttura molto diversa da quella originale. Le strutture chimiche di neogenesi che si vengono a formare sono incluse in ciò che comunemente viene definito humus.

L'humus si lega alla componente minerale dando luogo ai complessi argillo-umici i quali, sebbene piuttosto stabili, ritornano lentamente alle forme minerali attraverso la mineralizzazione secondaria.

Le caratteristiche morfologiche degli humus dipendono in maniera assai stretta. Dalle loro proprietà fisico-chimiche e biologiche le quali a loro volta sono il risultato delle interazioni tra le variabili ambientali e intervento antropico.

La relazione tra processi pedogenetici, fertilità del suolo e stato evolutivo della copertura vegetale può essere interpretata sulla base delle informazioni ottenibili dallo studio della sostanza organica, soprattutto in ambienti naturali come il bosco.

La differenziazione dei tipi di humus è prevalentemente dettata dalla fauna del suolo: a tale riguardo è possibile distinguere, in base all'azione che svolgono nei confronti dei residui vegetali, due gruppi funzionali fondamentali (Bouchè, 1972):

1. artropodi, enchitreidi e lombrichi epigei, hanno perlopiù funzione di demolizione, frantumazione, sminuzzamento e aumento della superficie specifica dei residui vegetali, operano un rimescolamento limitato, così come è limitato il trasferimento della sostanza organica lungo il profilo, ed è scarso il loro apporto nella formazione di complessi organo-minerali;
2. lombrichi anecici ed endogeni, operano un più intimo mescolamento della sostanza organica con la componente minerale, anche il trasferimento di tali complessi è molto più evidente, soprattutto in senso verticale e fino ad importanti profondità (1 metro); la loro attività si esplica attraverso il passaggio dei residui vegetali e delle particelle minerali all'interno del loro intestino, dove vengono assemblate e successivamente rilasciate sotto forma di coproliti.

In ambienti in cui prevalgono i rappresentanti del primo gruppo la sostanza organica si concentra prevalentemente negli strati superficiali organici ed è ravvisabile in strati più o meno spessi di accumulo di sostanza organica sulla superficie degli orizzonti minerali, in vari stadi di decomposizione. In ambienti in cui ai rappresentanti

del primo gruppo si affiancano anche quelli del secondo, la sostanza organica è distribuita lungo tutto il profilo e gli strati ologranici superiori saranno poco spessi o anche del tutto assenti.

In stazioni fredde e a reazione acida l'attività biologica del suolo è rallentata: quella della microflora è pressoché assente, così come l'attività animale mentre l'attività fungina procede, ma ha un'efficacia nettamente inferiore nella degradazione della sostanza organica. Ciò comporta l'accumulo di un notevole strato di lettiera indecomposta, e un orizzonte A di natura non zoogena, privo di mescolanza tra componenti minerali e organica. Ne deriva il blocco della mineralizzazione della sostanza organica, a cui consegue un lento turnover della stessa ed il lento trasferimento dell'energia agli altri comparti dell'ecosistema.

In stazioni in cui le temperature e il pH non sono fattori condizionanti, il riciclo della sostanza organica è rapido, tanto da non permettere l'accumulo dei residui che cadono al suolo; in tali condizioni il turnover è rapido e l'azione dei lombrichi anecici nell'orizzonte A genera una struttura glomerulare con intima mescolanza della componente minerale con quella organica e formazione di complessi argillo-umici stabili. In condizioni intermedie, si osservano situazioni in cui gli orizzonti organici sono dominati da microartropodi e l'orizzonte A da lombrichi che vi determinano una struttura glomerulare.

Lo studio degli humus forestali e il primo tentativo di classificazione deriva dai contributi di Hartmann (1970), che propone inizialmente una classificazione su base genetica ponendo l'accento sull'azione della pedofauna nel determinare il tipo di humus e successivamente propone una classificazione morfogenetica, considerando sia l'azione della fauna che le caratteristiche morfologiche degli strati ologranici.

Da allora numerose classificazioni sono state presentate in diversi contesti forestali (Klinka et al., 1981; Green et al., 1993 in Canada; AFES, 2008 e Jabol et al., 1995 in Francia; Zanella et al., 2001 in Italia).

A partire dal 2003 è attivo a livello europeo un gruppo di studiosi che si occupa esclusivamente di humus⁶ il cui obiettivo è principalmente quello di armonizzare le classificazioni esistenti al fine di creare un unico sistema di classificazione degli humus

⁶ "Humus Research Group (HRG)" (<http://humusresearchgroup.grenoble.cemagref.fr/>)

forestali, con terminologie e significati univoci, valido in qualsiasi ambiente e condizione.

Tra i diversi sistemi di classificazione internazionali quello adottato nell'ambito del sistema di classificazione dei suoli in uso in Francia (Référentiel Pédologique; AFES, 2008) è adatto anche ad essere applicato negli ambienti mediterranei.

Il sistema di classificazione è di tipo morfogenetico cioè basato sulla presenza di caratteristici orizzonti diagnostici di riferimento (OL, OF, OH, A), la cui formazione e proprietà sono legati all'attività biologica del suolo che a sua volta è funzione delle caratteristiche del suolo e della stazione.

Ciascuna forma di humus corrisponde ad una data sequenza di orizzonti caratteristici lungo il profilo del terreno.

Lo spazio indagato è *l'episolum unifero* vale a dire l'insieme degli orizzonti di un suolo contenenti sostanza organica, la cui organizzazione dipende essenzialmente dall'attività biologica.

Gli orizzonti organici (O) sono orizzonti formati in condizioni aerobiche, composti principalmente da materiali organici in parte ancora distinguibili ad occhio nudo, formati da materiali vegetali e animali più o meno trasformati; tali orizzonti sono anche chiamati *olorganici* ad indicare il loro prevalente contenuto di sostanza organica.

In base al livello di trasformazione degli apporti organici e alla presenza di sostanza organica fine, si possono distinguere tre categorie di orizzonti organici: OL, OF, OH. La suddivisione degli orizzonti in sottorizzonti fornisce ulteriori indicazioni sul modo di trasformazione della sostanza organica: tanto meno intensa è la trasformazione della sostanza organica tanto maggiore risulta la suddivisione in sottorizzonti organici. La sostanza organica fine, la cui quantità nel profilo viene stimata come percentuale in volume è costituita da coproliti più o meno rimaneggiati e da altri residui organici la cui struttura e forma non è più riconoscibile ad occhio nudo.

Riassumendo, la classificazione delle forme di humus si basa su due parametri fondamentali:

- la presenza e le caratteristiche degli orizzonti diagnostici (OL, OF, OH e A);
- la presenza di sostanza organica fine espressa come percentuale in volume.

Negli orizzonti O, sempre localizzati al di sopra degli orizzonti minerali, predomina, come processo pedogenetico, la trasformazione della sostanza organica; i

materiali organici non sono di norma collegati con le particelle minerali e hanno un contenuto di carbonio maggiore di 17-20 g/100g di suolo o più di 30 g di sostanza organica per 100 g di suolo.

Esistono tre tipi fondamentali di orizzonte O: OL, OF, OH.

i - L'*orizzonte OL* (L come lettiera), si trova in superficie e sta sopra l'orizzonte OF oppure direttamente su un orizzonte A: è costituito da residui vegetali la cui forma originaria è ancora chiaramente riconoscibile ad occhio nudo. La sostanza organica fine è generalmente assente o è occasionalmente presente in percentuali minime (5-10%).

In funzione del grado di trasformazione dei residui vegetali l'orizzonte OL è distinguibile in tre sottorizzonti:

1. *OLn* (n come nuovo). I residui vegetali non hanno ancora subito una trasformazione significativa. Le foglie o gli aghi sono ancora intatti, di colore bruno scuro, non sono legate tra loro e sono disposte casualmente. Si tratta di *lettiera fresca* in senso stretto. Su suoli con elevata attività biologica, questo orizzonte può esistere solo in autunno o all'inizio della primavera e poi scomparire;

2. *OLv* (v come vecchio). È posto sotto un *OLn* e poggia su un OF o su un A. Si forma nei casi in cui l'attività biologica non è sufficientemente intensa da consumare la totalità dei residui che annualmente cadono al suolo: la parte non consumata subisce una serie di trasformazioni quali il passaggio di colore delle foglie da bruno a biancastro, perdita di consistenza dei tessuti. Le foglie tendono ad unirsi in pacchetti caratterizzati da una certa coesione. L'azione prevalente è quella fungina ravvisabile nella decolorazione operata dalle muffe bianche; inoltre la frequente presenza di foglie scheletrizzate testimonia l'attività degli Enchitreidi;

3. *OLt* (t come transizione). Osservabile in suoli ad intensa attività della pedofauna, in particolare da anellidi. È posto sotto un *OLn*, oppure direttamente sulla superficie del suolo, mentre inferiormente poggia sull'orizzonte A. È ciò che rimane della lettiera fresca in seguito all'azione sminuzzatrice degli anellidi. Si presenta come un *OLn* frammentato, i residui fogliari sono estremamente frammentati ma poco o nulla modificati, è spesso discontinuo con abbondanti *coproliti* di lombrichi anecici e la sostanza organica fine è pressoché assente.

ii- L'orizzonte *OF* (F come *frammentazione*) è situato sotto l'orizzonte *OL* e poggia sull'orizzonte *OH* oppure su un orizzonte *A*. Si forma soprattutto per opera di artropodi quando l'attività dei vermi anecici è ridotta o nulla. Attraverso l'azione sminuzzatrice della fauna, i residui vegetali, soprattutto di origine fogliare, appaiono più o meno frammentati ma ancora riconoscibili ad occhio nudo, in combinazione con porzioni variabili di sostanza organica fine (oltre il 10% e meno del 70% in volume). L'*OF* è dunque costituito da frammenti vegetali frammentati ad escrementi della pedofauna. Questi ultimi sono presenti come piccoli ammassi di materiale organico scuro di varia forma e di dimensioni variabili da qualche decina di micron a 1-3 mm, più o meno rimaneggiati. Il grado di frammentazione non è coinvolto nella distinzione tra orizzonte *OF* e orizzonte *OL*, ma si deve prestare attenzione alla presenza e alla quantità di sostanza organica fine e all'aspetto alterato dei residui vegetali (decolorati, rammolliti e incollati tra loro). In base al grado di frammentazione e alla presenza di sostanza organica fine, è possibile distinguere due sottorizzonti:

1. *OFr* (r come *residui*). Orizzonte con i residui fogliari ancora riconoscibili, più o meno frammentati, con una bassa percentuale di sostanza organica fine (meno del 30% in volume). Vi è la distruzione del tessuto fogliare, ma si osservano ancora dei pacchetti di detriti fogliari più o meno riuniti a blocchi (*struttura a tappeto*);

2. *OFm* (m come *misto*). Orizzonti con quantitativi quasi equivalenti di detriti fogliari frammentati e sostanza organica fine (30-70% in volume). La frammentazione dei residui vegetali è molto intensa. I pacchetti di detriti fogliari si vedono solo raramente; abbondano i residui legnosi.

In alcuni casi, una grande quantità di ife, vive o morte, può avvolgere i residui vegetali tra loro, dando all'orizzonte una struttura fibrosa chiamata *micogena* (notazione: *c*). Queste ife possono essere molto abbondanti in volume e rendono difficile la distinzione tra *OFrc* e *OFmc*.

Sono inoltre osservabili due ulteriori tipi di orizzonte *OF*, distinguibili secondo la loro origine, il cui riconoscimento entra in gioco nella separazione delle forme di humus di tipo *mor* dalle altre.

3. *OFzo* (orizzonte zoogeno), caratteristico di forme di humus di tipo di *moder* e *amphimus*. La sostanza organica fine corrisponde a coproliti più o meno trasformati dalla fauna. Questi ammassi hanno una forma variabile (sferoidale, ovoidale, ecc.) da

poche decine di micron a 1 mm o 2 mm di diametro e sono costituiti prevalentemente da materiali vegetali o fungini, microframmentati e agglomerati. Questo orizzonte è sede di intensa attività animale, ma senza vermi anecici. Gli assemblaggi sono generalmente lassi e la compattezza è debole.

4- *OFnoz* (noz = non zoogeno, o meglio, a struttura *non zoogena*). Orizzonte caratteristico delle forme di humus di tipo *mor*, senza attività animale significativa e attività dei funghi saprofitici variabile, in cui la frammentazione è prevalentemente meccanica (azione di gelo/disgelo, inumidimento/essiccazione, ecc.). I coproliti visibili sono molto scarsi o assenti e, in generale, la materia organica fine è scarsa; la struttura è pastosa, abbastanza compatta, le radici e le ife abbondanti, vive o morte, avvolgono i residui vegetali.

iii- L'*orizzonte OH* (H come *humus*) è posto sotto l'orizzonte OF e corrisponde ad uno stadio avanzato di trasformazione della sostanza organica; più del 70% in volume è costituito da sostanza organica fine. Talvolta può contenere piccole quantità di minerali provenienti dall'orizzonte organo-minerale o minerale sottostante a causa dell'azione di rimescolamento operata dalla pedofauna. All'osservazione si presenta omogeneo, di colore da bruno rossastro fino a nero. La struttura è spesso granulare per la presenza di coproliti rimaneggiati, altre volte i residui sono microframmentati e polverizzati e conferiscono alla struttura un carattere fibroso o addirittura particellare.

Secondo la quantità di sostanza organica fine è possibile distinguere due sottorizzonti:

1. *OHr* (r come *residui*). Contiene tra il 70 e il 90% di sostanza organica fine miscelata con residui fogliari molto frammentati, ma riconoscibili (questi ultimi rappresentano il 10-30% in volume); poggia su OHf o su un orizzonte A.

2. *OHf* (f come *fine*). Contiene meno del 10% di residui vegetali riconoscibili (sostanza organica fine >90%). Quando presente è posto al di sotto di un orizzonte OHr o poggia direttamente sull'orizzonte A.

In analogia all'OF è possibile ritrovare anche due tipi di orizzonti OH diversi per origine, la cui diagnosi consente di individuare le forme di humus di tipo *mor*:

1. *OHzo*. (zo=*zoogeno*). Orizzonte OH i cui componenti sono costituiti per lo più dalla trasformazione e l'accumulo di coproliti della fauna (artropodi, vermi epigei,

enchitreidi). Si tratta di residui più o meno trasformati che conferiscono una struttura caratteristica granulare (ammassi ologranulari millimetrici) e generalmente molto sciolti.

2. *OHnoz.* (*noz = non zoogeno*, o a struttura non zoogena). orizzonte OH senza alcuna attività animale identificabile ad occhio nudo, spesso invaso da una abbondante rete miceliare (spesso funghi micorrizici) e/o radici, vive o morte, che avvolge la materia organica fine.

IV - Gli *orizzonti A* contengono una miscela di sostanza organica e particelle minerali, e sono normalmente situati alla base degli orizzonti organici. L'incorporazione di sostanza organica e materia minerale è di norma di origine biologica attraverso il rimescolamento che avviene a partire dal materiale organico presente negli orizzonti O. Nella maggior parte dei casi, il contenuto di carbonio organico è compreso tra 0,5 e 17-20 g/100 g di suolo.

A seconda della loro origine, e quindi in base alla loro struttura e mescolanza tra materiale organico e materiale minerale, vi sono diversi tipi di orizzonti A (*biomacrostrutturato, biomesostrutturato, non glomerulare*).

L'orizzonte A *biomacrostrutturato* si caratterizza per la struttura grumosa (o granulare), di origine biologica, con gli aggregati che rappresentano oltre il 25% del volume dell'orizzonte, oltre la metà di questi aggregati sono più grandi di 3 mm, ma spesso più di 5 mm (macroaggregati).

Questo orizzonte si ritrova in ambienti in cui le caratteristiche fisico-chimiche e pedoclimatiche permettono l'attività dei lombrichi anecici ed endogeni, che operano il rimescolamento di tutta la massa umica con le particelle minerali. Questa struttura è molto ben sviluppata nella maggior parte degli ambienti biologicamente attivi, mentre può essere meno evidente quando le condizioni stazionali non sono ottimali o se la tessitura è sabbiosa (aggregati fragili e/o poco sviluppati che occupano parzialmente il volume dell'orizzonte). I vermi o le tracce della loro attività sono più o meno abbondanti a seconda delle condizioni, degli ambienti e della stagione. La mescolanza tra materia organica e materia minerale (complessi argillo-umici) è forte, di origine biogenica; in

grado minore è presente umina di insolubilizzazione⁷ mentre l'umina microbica⁸ è abbondante.

L'orizzonte A *biemesostrutturato* si caratterizza per la struttura grumosa (o granulare), di origine biologica. Gli aggregati rappresentano oltre il 25% del volume dell'orizzonte e oltre la metà di tali aggregati hanno una dimensione compresa tra 1 e 3 mm. I vermi anecici responsabili della biomacrostrutturazione non sembrano coinvolti nel processo di formazione della biemesostruttura che sarebbe piuttosto il risultato di *bioturbazione* da parte di vermi del suolo di più piccole dimensioni o epigei. Gli orizzonti biemesostrutturati possono essere osservati in condizioni ambientali e edafiche meno favorevoli rispetto a quelle degli orizzonti biomacrostrutturati.

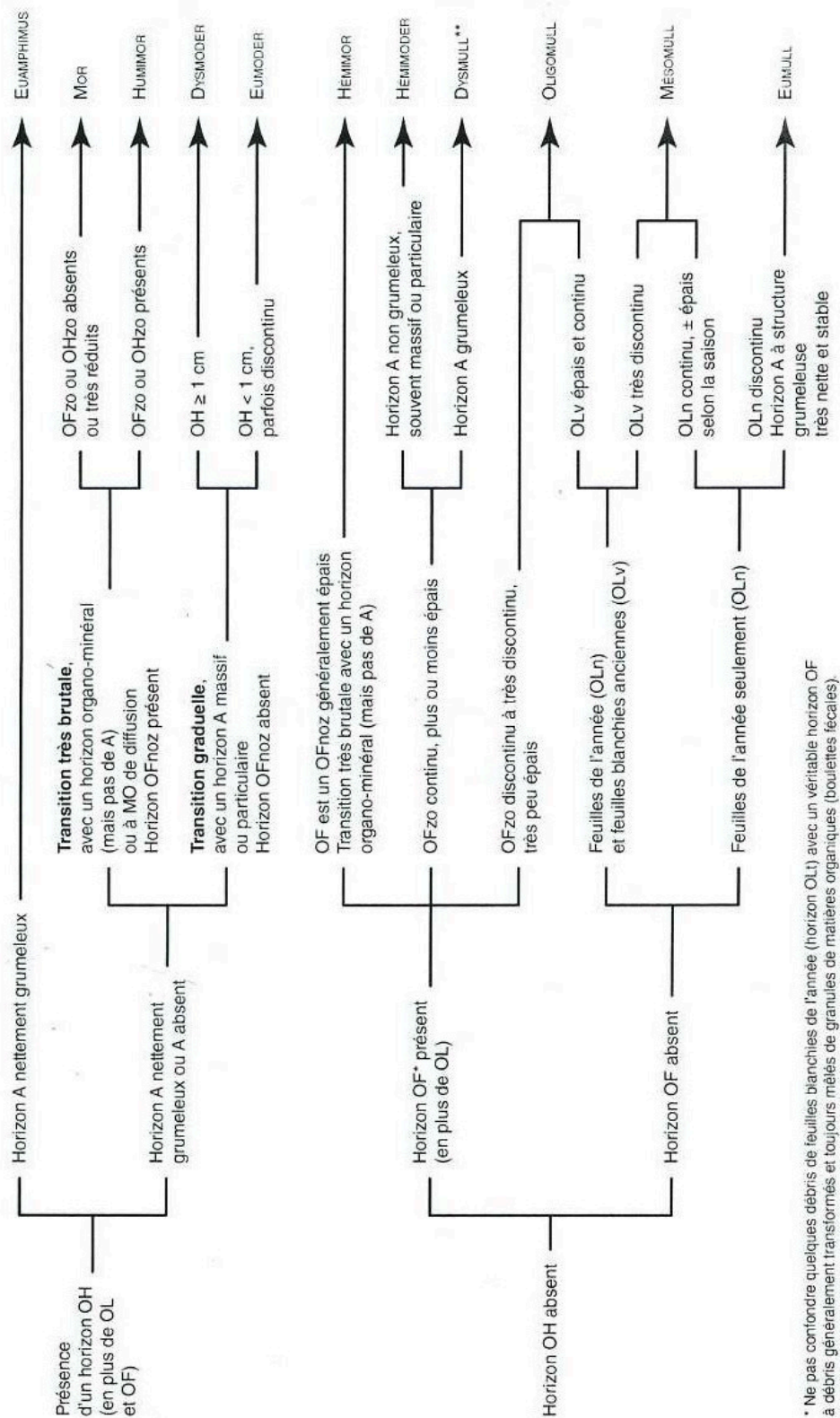
Gli orizzonti A *non glomerulari* hanno struttura massiccia, o particolata, o anche *microglomerulare*, principalmente di origine fisico-chimica, non mostrano macro o mesostruttura di origine biologica per più del 25% del loro volume e inoltre non mostrano tracce di attività di vermi anecici e di lombrichi. Può apparire a volte una struttura poliedrica subangolare, ma gli aggregati, mai di origine biologica, non sono netti e sono fragili. L'incorporazione del materiale organico è dovuta principalmente all'azione della mesofauna (Artropodi, Enchitreidi). Nel caso di tessitura nettamente sabbiosa, la sostanza organica è presente principalmente sotto forma di granuli di materia organica fine (coproliti più o meno trasformati, a volte arricchiti di materiale minerali e micro-detriti), inferiori ad 1 mm e giustapposti con particelle minerali (orizzonte di giustapposizione vero e proprio). I materiali organici sono costituiti principalmente da umina ereditata⁹. Non sono presenti umine di insolubilizzazione e i complessi argillo-umici sono rari o assenti.

Dall'osservazione dell'orizzonte A ed in base alla presenza e caratteristiche dei differenti sottorizzonti O, con l'aiuto della chiave di determinazione rappresentata in figura 2.2 è possibile determinare il tipo di humus forestale.

⁷ umina di insolubilizzazione: umina che deriva dalla policondensazione di gruppi chimici reattivi (chinoni e radicali) attraverso reazioni non enzimatiche.

⁸ umina microbica: umina originatasi attraverso processi di sintesi batterica.

⁹ Umina ereditata: umina costituita da composti organici difficilmente degradabili che vengono incorporati nei complessi umo-argillosi senza grandi trasformazioni molecolari.



* Ne pas confondre quelques débris de feuilles blanchies de l'année (horizon OLt) avec un véritable horizon OF à débris généralement transformés et toujours mêlés de granules de matières organiques (boulettes fécales).
 ** Si l'horizon A est à structure grumeleuse très nette et stable : dysmull actif.

Figura 2.2. Chiave di determinazione delle principali forme di humus.

2.3.3. Forme di humus forestali in clima temperato.

Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

Sempre secondo il sistema di classificazione AFES (2008), dai caratteri secondari degli orizzonti O e A, in particolare dalla valutazione in campo dello spessore e della discontinuità, è possibile una denominazione più precisa della forma di humus. Infine un ulteriore passo permette di attribuire delle specificità chimico-fisiche o funzionali mediante l'aggiunta di qualificazioni.

MULL: si caratterizzano per le seguenti possibili sequenze di orizzonti di riferimento (OL)/A¹⁰ o OL/A o, nelle forme di transizione, OL o OF/A. Sono inoltre contraddistinti da un A biomacrostrutturato o in alcuni casi biomesostrutturato e per la discontinuità netta tra gli orizzonti O e A. Il funzionamento biologico è dovuto all'intensa attività dei lombrichi anecici ed endogeni che porta ad una rapida e profonda incorporazione della materia organica negli orizzonti minerali e alla sua complessazione con le argille. All'azione animale si accompagna un'intensa attività fungina.

EUMULL (eu: buono, bello): corrisponde ai mull tipici, caratterizzati da rapida e totale scomparsa della sostanza organica fresca. Ne deriva l'assenza, tra gli orizzonti O, degli orizzonti OF e OH. OL è presente solo come OL_n, (di spessore variabile, a volte sporadico o addirittura assente nella tarda primavera), o al massimo come OL_t. La sequenza di riferimento è quindi: (OL_n)/A o OL/A, possibilmente con OL_t tra OL_n e A. L'attività dei lombrichi è molto intensa, l'incorporazione della sostanza organica è importante. Ne deriva un orizzonte A biomacrostrutturato, ricco di gallerie scavate dagli anellidi.

MESOMULL (meso: medio): mull a tasso di scomparsa della sostanza organica fresca inferiore rispetto all'eumull. Ne deriva la presenza costante dell'orizzonte OL in tutte le stagioni. L'OL_n è continuo mentre l'OL_v è discontinuo o molto discontinuo, sottile e a volte assente a fine estate. L'attività dei lombrichi anecici è rallentata, specie in ambienti meno favorevoli, l'orizzonte A è poco spesso e a struttura meno stabile rispetto all'eumull. La sequenza degli orizzonti di riferimento è: OL_n o (OL_v)/A.

¹⁰ Le parentesi stanno ad indicare la discontinuità dell'orizzonte in questione.

OLIGOMULL (oligo: poco): mull a lenta scomparsa della sostanza organica, per funzionamento biologico rallentato. L'orizzonte OL è continuo, quello OL_v è molto ben sviluppato e corrisponde a strati di foglie di diversi anni in cui si nota facilmente la comparsa dell'attività fungina, mentre quella dei vermi anecici è relativamente bassa. Di conseguenza anche l'incorporazione della materia organica con la componente minerale del suolo è meno importante e visibile rispetto ai due casi precedentemente descritti. L'orizzonte A è sottile e poco umifero, poco biomacrostrutturato e con struttura relativamente fragile. La sequenza degli orizzonti di riferimento è: OL_n o OL_v o (OFr)/A.

DYSMULL (dys: difficoltà, cattivo): mull a funzionamento non tipico, con scomparsa molto lenta della sostanza organica. Il funzionamento biologico è ancora quello tipico dei mull e quindi si caratterizza per avere un orizzonte A biomacrostrutturato o biemesostrutturato ma la presenza dell'orizzonte OF indica che il funzionamento biologico degli orizzonti ologranici è intermedio tra quello dei moder e quello degli amfimum. La sequenza di riferimento è: OL_n o OL_v o OF/A.

MODER: la sequenza degli orizzonti di riferimento è: OL/OFzo/OHzo/A o, in alcune forme OL/OFzo/A. Gli orizzonti OF e OH sono orizzonti zoogeni (OFzo e OHzo) in cui la sostanza organica fine deriva dalla deposizione e dalla trasformazione dei coproliti della fauna. L'orizzonte OH può essere sporadico o essere di parecchi centimetri di spessore. La struttura è granulare e l'aggregazione debole. Il grado di frammentazione dell'orizzonte OF è variabile (OFr o OFm). L'orizzonte A non è grumoso ma a struttura massiva, a volte microglomerulare. La transizione tra O e A è graduale, superiore a 2-3 mm, probabilmente dovuta ai movimenti della fauna in senso verticale, in quanto anche se essa non assume o assume poco le particelle minerali, le può trasportare sul tegumento e può depositare le deiezioni nell'orizzonte A. Quindi quest'ultimo può essere definito "coprogeno" in quanto ricco di coproliti della mesofauna (ditteri, enchitreidi, artropodi in genere), poco trasformati e affiancati alle particelle minerali che rimangono nude. La distruzione della lettiera è dovuta principalmente all'azione di ditteri, enchitreidi, isopodi, millepiedi, lombrichi epigei e molluschi, per cui la trasformazione e soprattutto l'integrazione col materiale minerale

sono molto basse mentre l'attività fungina è notevole. Il rallentamento dell'attività di demolizione e incorporazione della materia organica è dovuto all'assenza dei vermi anecici, a causa delle condizioni ecologiche sfavorevoli per la loro attività. Si tratta solitamente di suoli a pH H₂O molto acido (<5), a tessitura sabbiosa, con residui vegetali ad alto rapporto C/N e lettiera poco appetita, o stazioni caratterizzate da basse temperature (montagna), scarse precipitazioni o stati di asfissia (hydromoder).

HEMIMODER: forma di transizione tra mull e moder con orizzonte OH assente o sporadico. Morfologicamente non si tratta di un mull a causa della presenza dell'orizzonte A non glomerulare, ma ha la stessa funzionalità biologica. La sequenza di riferimento è: OL/OFzo/A.

MODER o EUMODER: la sequenza degli orizzonti di riferimento è: OL/OFzo/OHzo/A. L'attività biologica è intensa ma è da escludere quella dei vermi anecici, l'orizzonte OFzo è sempre presente, ma sottile (spessore < 1 cm) e discontinuo.

DYSMODER: rispetto al moder tipico, in questa forma di humus l'orizzonte OHzo è continuo e spesso, in relazione all'attività quasi esclusiva degli enchitreidi, i cui escrementi non vengono consumati dagli altri gruppi animali, per cui si accumulano in piccoli ammassi originando l'OHzo spesso e compatto.

MOR: l'orizzonte OFnoz ne rappresenta l'orizzonte diagnostico essenziale: esso riflette la lenta trasformazione della lettiera. La sequenza degli orizzonti di riferimento è la seguente: OL/OFnoz o OL/OFnoz/OHnoz, alla cui base si trova un orizzonte A poco umifero. I limiti tra i differenti orizzonti O sono molto gradualmente e progressivi a causa della lenta trasformazione della sostanza organica, per cui i residui vegetali sono perlopiù riconoscibili ad occhio nudo. Il funzionamento biologico corrisponde alla mancanza di attività animale e all'inefficienza dell'attività fungina, con conseguente scarsa o totale assenza di trasferimento del materiale organico verso gli orizzonti minerali: tali trasferimenti sono pressoché esclusivamente passivi e mediati dall'azione dell'acqua. La sostanza organica fine deriva dall'azione dei funghi e da trasformazioni fisiche. Tuttavia è possibile osservare una bassa attività animale ad opera degli

enchitreidi, che si manifesta con una progressiva frammentazione dei detriti e con l'accumulo di coproliti: ciò determina un lento e graduale accumulo di materia organica nel corso del tempo. I mor si rinvengono in ambienti con condizioni ecologiche fortemente limitanti l'attività biologica in generale e animale in particolare: acidità del solum elevata ($\text{pH H}_2\text{O} < 4,2$), presenza di residui vegetali difficilmente biodegradabili o a secrezione tossica (conifere, ericaceae), rapporto C/N elevato, clima freddo di zone subalpine e boreali, situazioni di prolungato ristagno idrico.

MOR TIPICO: corrisponde alla descrizione fatta precedentemente.

HEMIMOR: sono caratterizzati, oltre che dagli orizzonti OFnoz o OHnoz, dagli orizzonti OFzo e OHzo a struttura chiaramente zoogena: essi testimoniano la presenza, anche se scarsa, di attività animale. Ciò si traduce in una lenta trasformazione dei detriti organici e nella formazione di ammassi di coproliti di piccole dimensioni, i quali stanno poi alla base della formazione della sostanza organica fine. Tale forma di humus può quindi essere considerata una forma intermedia tra i dysmoder e i mor, e può essere considerata forma di involuzione dei primi, o di evoluzione dei secondi.

AMPHIMUS O AMPHIMULL: la sequenza degli orizzonti di riferimento è la seguente: OL/OFzo/OHzo/A. Quest'ultimo è biomacrostrutturato o biemesostrutturato. La genesi di questa forma di humus può essere definita come doppia, nel senso che i vermi ipogei e gli artropodi sono responsabili della formazione degli orizzonti OF e OH a struttura chiaramente zoogena, mentre i vermi endogeni, soprattutto gli anecici, sono responsabili della macro e mesostrutturazione dell'orizzonte A. Si tratta di forme di humus particolarmente frequenti in ambiente mediterraneo, sotto l'influenza del clima mediterraneo, prevalentemente su suoli drenanti e a forte insolazione, su substrato calcareo. Accanto agli amphimus o amphimull considerati tipici, e dunque in equilibrio con le condizioni ambientali, vi sono forme in evoluzione verso mull e moder.

2.3.4. *Humus forestali, sostanza organica, carbon stock.*

Studi analoghi a quello presentato in questo lavoro sono stati svolti in Veneto (Garlato et. al, 2009), in Emilia-Romagna sia su suoli di pianura che di montagna (Regione Emilia Romagna, 2010 a,b), in Piemonte (Petrella e Piazzi, 2005), in Trentino Tonolli e Salvaglini, (2007), in Lombardia (Solaro e Brenna, 2005).

Nel lavoro di Garlato et al.(2009) il contenuto in carbonio organico dei suoli viene messo in relazione al tipo di humus: è stato stimato uno stock medio di carbonio organico di 15,4 t/ha per i mull, 52,3 t/ha per gli amphimull, 68 t/ha per i moder. E' stato però osservato che nei suoli delle forme mull il 78% del carbonio è stoccato nell'orizzonte minerale, 49% negli amphimull, e 52% nei moder: questo sta ad indicare che i suoli con forme di humus mull contengono un maggior contenuto di carbonio organico "stabile" sotto forma di macroaggregazioni di natura organo-minerale nell'orizzonte A. Indipendentemente dal tipo di humus, nei suoli del Veneto sono stoccati, nei primi 30 cm di suolo minerale, 64,3 t/ha di carbonio organico, mentre considerando anche gli orizzonti organici tale valore sale a 77,6 t/ha.

Nell'Appennino Emiliano-Romagnolo (Regione Emilia Romagna, 2010 a,b) viene stimato un contenuto in carbonio organico (a 30 centimetri di profondità) pari a 49 t/ha per i suoli compresi tra le quote 100-600 metri (basso Appennino) in cui l'uso del suolo è prevalentemente agricolo, 73 t/ha per quelli inclusi nel medio Appennino in cui l'uso è sia agricolo che forestale e 108 t/ha per quelli dell'alto Appennino (tra 900 e 2.200 metri) in cui dominano i soprassuoli forestali ed i pascoli naturali.

In Piemonte Petrella e Piazzi (2005) stimano un contenuto medio di carbonio organico (a 30 centimetri di profondità) nei suoli delle zone di pianura di 48 t/ha, 42 t/ha per i suoli delle zone di collina e 91 t/ha per quelli di montagna per un contenuto medio globale di 69 t/ha

Per le foreste Trentine (Tonolli e Salvaglini, 2007) viene stimato (a 30 cm di profondità) un contenuto di carbonio organico pari a 92,4 t/ha includendo l'humus e di 76 t/ha escludendolo.

In Lombardia nei primi 30 cm di suolo, (Solaro e Brenna, 2005), stimano un contenuto di 87,1 t/ha per i suoli alpini, 63,9 t/ha per i suoli dell'Appennino, ed un contenuto medio generale pari a 68,8 t/ha. Tra gli studi sugli humus forestali in ambiente mediterraneo di particolare interesse è il lavoro di Andreetta et al. (2010) in cui i tipi di humus sono messi in relazione con lo stock di carbonio e con il tipo di

aggregazione dell'orizzonte organo-minerale. In questo lavoro viene ribadita l'importanza della relazione esistente tra forma di humus e tipo di aggregazione dell'orizzonte A. Si sottolinea ad esempio che le aggregazioni di dimensioni maggiori di 5 mm sono importanti per la stabilizzazione della sostanza organica in quanto vi si creano associazioni organo-minerali altamente stabili, ove la macrostruttura indica associazioni chimico-fisiche che favoriscono l'accumulo di un maggiore stock di carbonio, associazioni che non si formano nell'orizzonte ologranico in cui il carbonio presente è meno protetto dalla mineralizzazione.

3. Le Aree in studio.

La ricerca è stata condotta su quattro diverse aree, ubicate all'interno di altrettanti cantieri forestali dell'Ente Foreste della Sardegna (EFS), dislocate in contesti ambientali molto diversi tra loro, ma confrontabili dal punto di vista delle tipologie forestali e della gestione:

- Cardedu - "Monte Ferru";
- Nuoro - "Pineta Ugolio";
- Alghero - "Monte Timidone";
- Pula - "Pixinamanna".

La tabella 3.1 mette a confronto alcune variabili ambientali che possono sommariamente caratterizzare i contesti considerati.

Area	Coordinate geografiche WGS84	P media annua (mm)	T media annua (°C)	Substrato prevalente	Quota media (m s.l.m.)
Cardedu - "Monte Ferru"	39,72° N 9,62° E	614	16,8	Rioliti e riolaciti	389
Nuoro - "Pineta Ugolio"	40,32° N 9,31° E	687	14,4	Granodioriti tonalitiche	636
Alghero - "Monte Timidone"	40,61° N 8,17° E	627,5	15,6	Depositi carbonatici	21
Pula - "Pixinamanna"	38,99° N 8,91° E	487	17,5	leucograniiti	335

Tabella 3.1. *Confronto tra alcune variabili ambientali relative alle quattro aree in studio.*

Le aree in studio sono schematicamente presentate sotto. Per ciascuna area i siti di campionamento prescelti sono posizionati nella figura che riporta la demarcazione dell'area su base topografica e su ortofoto aerea. Lo schema di campionamento seguito sarà spiegato nel capitolo 4.

Le informazioni di seguito riportate sono state estrapolate dai seguenti documenti:

- Carta Geologica alla scala 1:50000 (ISPRA)
- Carta dell'Uso del Suolo della Regione Autonoma della Sardegna (RAS, 2007).
- Database pedologico georeferenziato e la Carta dei Suoli della Sardegna alla scala 1:250000 (Madrau et al., 2006)
- Dati meteorologici delle stazioni A.R.P.A.S. di Jerzu, Nuoro, Olmedo, Villa San Pietro.
- Ortofoto alla scala 1.10.000 (RAS, 2006).

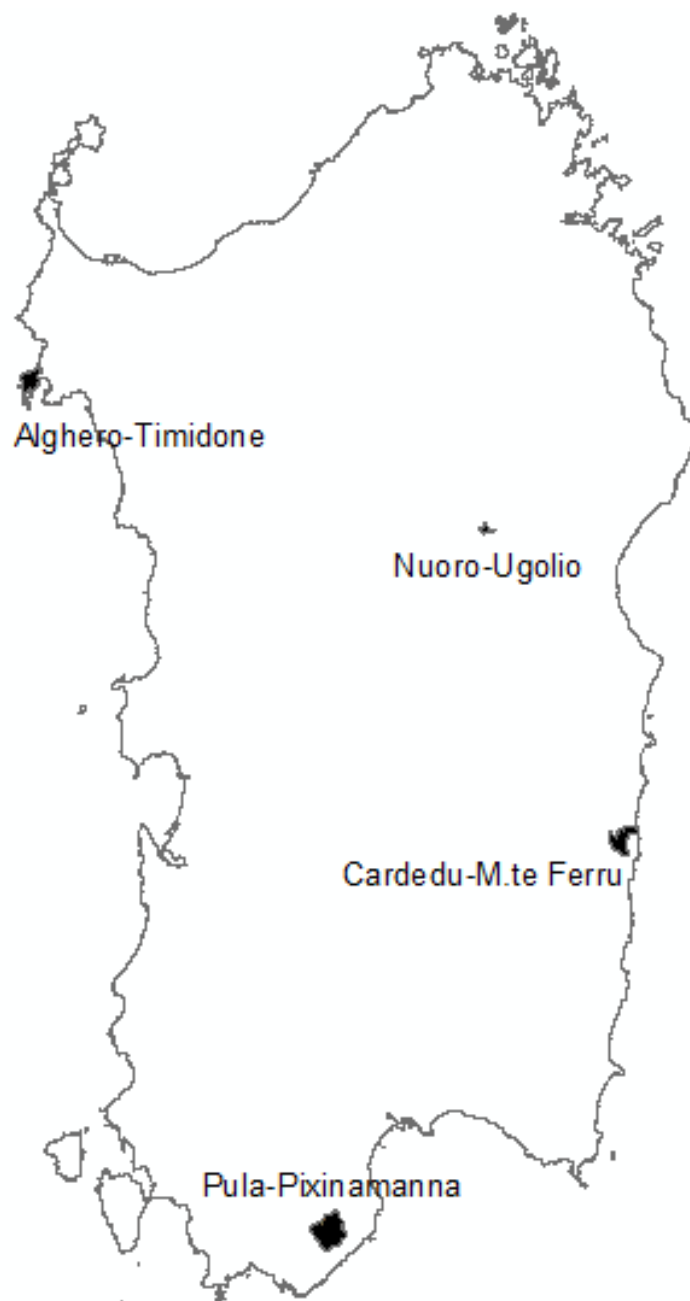


Figura 3.1. *Ubicazione geografica delle quattro aree in studio.*

3.1. Cardedu -“Monte Ferru”.

3.1.1. Il contesto ambientale e territoriale.

L’area di studio è compresa all’interno del Cantiere Forestale di “Monte Ferru” situato sulla costa centro-orientale della Sardegna, il cui territorio ricade nella giurisdizione dei comuni di Cardedu, Osini e Tertenia. Il settore centro-settentrionale del cantiere, ricade nel comune di Cardedu ed ha una superficie di 1178 ha, il settore più occidentale ricade nel comune di Osini con un’estensione di 307 ha, quello centro-meridionale con un’estensione di 468 ha, ricade nel comune di Tertenia, per un’estensione totale di circa 1953 ha. La parte meridionale del Cantiere Forestale è compresa nel Sito di Interesse Comunitario “ITB020015 Area del “Monte Ferru di Tertenia”.

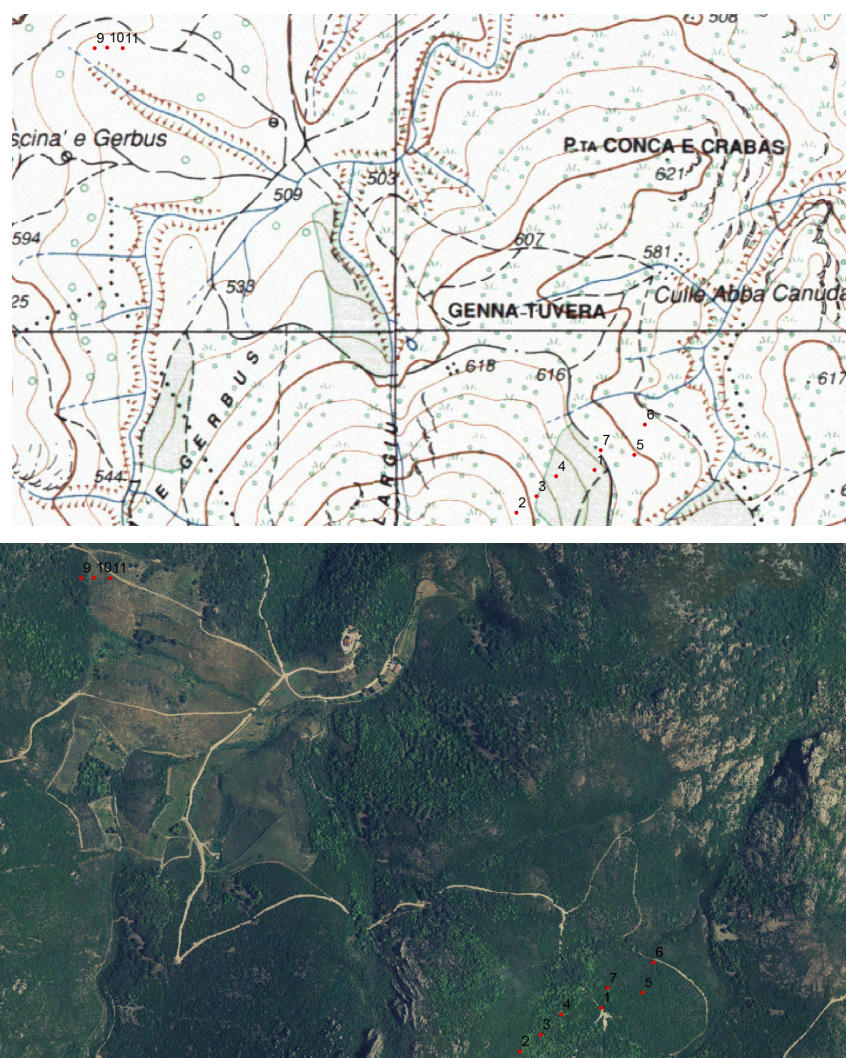


Figura 3.2 a e b. Ubicazione dei punti-profilo nel sito Monte Ferru.

Il sito di studio è compreso nel foglio 541 sezione I Jerzu della cartografia nazionale IGMI al 25000, e interessa i Fogli 541040, 541080 della carta tecnica regionale in scala 1:10000.

Il territorio del “Monte Ferru”, presenta un’orografia accidentata e quote più elevate rispetto al territorio circostante: la quota minima è di 0 mslm in prossimità della foce di “Bau de Lisperddas”, mentre la quota massima è quella di “P.ta Monte Ferru”, a 875 mslm, con una quota media di 389 mslm e pendenza media del 45%.

3.1.2. *Clima.*

Per la definizione delle caratteristiche climatiche dell’area di studio è stata utilizzata la stazione termopluviometrica ARPAS “Jerzu”, posta a 611 mslm. I dati delle precipitazioni e delle temperature fanno riferimento al periodo 2000-2010.

La piovosità media annua è pari a 614 mm. In figura 3.3 sono riportate le precipitazioni medie annue nel decennio considerato.

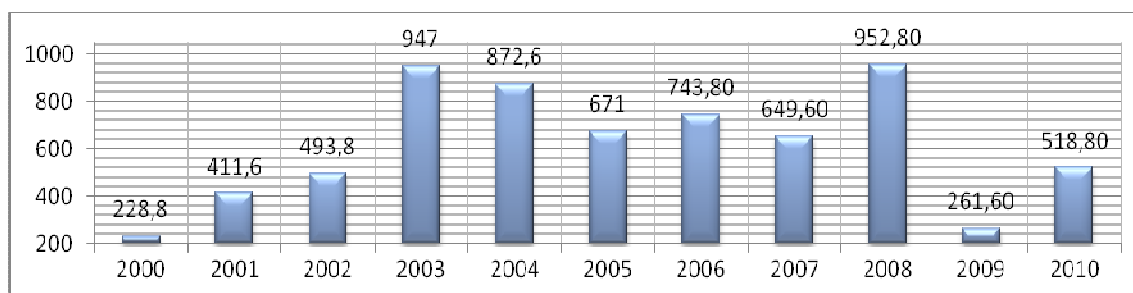


Figura 3.3. *Precipitazioni medie annue nel decennio 2000-2010.*

La temperatura media minima relativa al periodo 2000-2010 è pari a 11,0 °C, la massima è pari a 22,7 °C e la media a 16,8 °C.

Le temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010 sono rappresentate in figura 3.4.

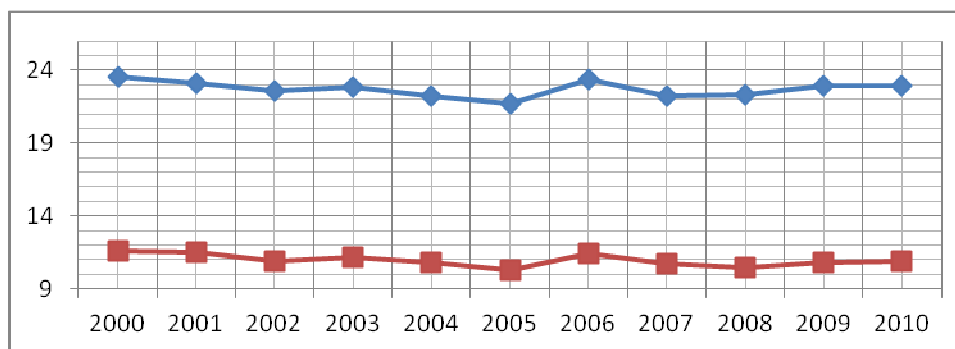


Figura 3.4. *Temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010.*

La figura 3.5 riporta temperature e precipitazioni medie mensili per il decennio considerato.

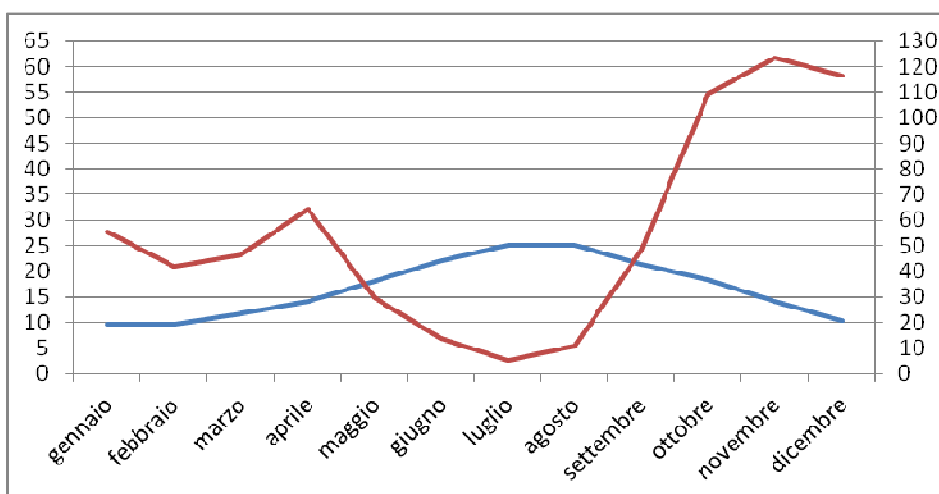


Figura 3.5. *Temperature e precipitazioni medie mensili per il decennio 2000-2010.*

Dal punto di vista della classificazione del clima, la stazione di Jerzu ricadrebbe, secondo Arrigoni (1968):

- nella sottozona calda del lauretum del Pavari;
- nell'orizzonte mediterraneo subumido di Emberger;
- nel secondo mesotermico, umido, con ampio deficit idrico estivo, oceanico insulare di Thornthwaite.

Dal punto di vista fitoclimatico, sempre l'Arrigoni individua per l'area di studio, l'orizzonte delle boscaglie e delle macchie litoranee per la fascia più prossima alla costa e l'orizzonte delle foreste miste sempreverdi termoxerofile per la fascia immediatamente più interna.

3.1.3. Geologia.

L'osservazione della Carta Geologica d'Italia, indica per l'area in studio i litotipi principali riportati nella tabella 2 (oltre ad altri di estensione minima e non riportati).

UNITA'	SUP. (ha)
Porfidi quarziferi. Lave in colata ed ammassi subvulcanici di composizione da riolitica a dacitica, a grana da minuta a media, a struttura porfirica frequente, talvolta con evidenti strutture di flusso, rari livelli di breccie vulcaniche e tufi.	944
Facies Monte Arista (Subunità intrusiva di Quirra - unità intrusiva di Lanusei). Leucograniti biotitici, da bianchi a rosati fino a rossastri, equigranulari, a grana grossa; tessitura isotropa, localmente orientata.	854
Andesiti. Lave andesitiche in colate, talora brecciate, breccie e subordinati filoni o piccoli ammassi subvulcanici, a struttura porfirica-glomeroporfirica per fenocristalli di Pl, Hbl, Px, Bt.	58
Rioliti. Piroclastiti saldate, lave e cineriti talora silicizzate, di composizione riolitica.	39
Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati. Facies Punta Genna Stulas (Subunità intrusiva di Ilbono - unità intrusiva di Lanusei).	37
Granodioriti anfibolico-biotitiche, passanti a tonaliti anfibolico-biotitiche, grigiastre, a grana media, equigranulari, a tendenza porfirica; tessitura orientata.	12
Depositi alluvionali. Ghiaie da grossolane a medie.	7
Depositi alluvionali terrazzati. Ghiaie con subordinate sabbie.	3
Facies Baccu Longu (Subunità intrusiva di Ilbono - unità intrusiva di Lanusei). Tonaliti anfiboliche, talora biotitico-anfiboliche, grigio scure, a grana medio-fine, equigranulari, talora porfiriche, a tessitura isotropa.	3

Tabella 3.2. *Litotipi e relativa estensione presenti nel sito Monte Ferru.*

3.1.4. Copertura vegetale.

Dall'osservazione della carta dell'uso del suolo 2007, nell'area si individuano le seguenti classi di copertura (oltre ad una ridotta superficie con coperture artificiali e ad altre coperture che interessano una superficie minima e non sono state riportate):

CODICE CORINE	DESCRIZIONE	SUP. (ha)
3111	Boschi di latifoglie	1327
3231	Macchia mediterranea	271
333	Aree a vegetazione rada	191
3232	Gariga	90
3232	Aree a ricolonizzazione artificiale	52
321	Aree a pascolo naturale e praterie	24

Tabella 3.3. *Classi di copertura e relativa estensione presenti nel sito Monte Ferru.*

3.1.5. Gestione forestale.

Il cantiere nasce nel 1991 attraverso un contratto tra l'Azienda Foreste Demaniali della Regione Sardegna (ora Ente Foreste) e il comune di Cardedu, con l'intento di mantenere i sistemi naturali di alto valore storico-naturalistico-culturale esistenti, la ricostituzione dei boschi degradati, il rimboschimento delle aree denudate, l'impianto di specie da legno a rapido accrescimento in aree favorevoli e con tecniche adeguate alla conservazione e difesa del suolo, le utilizzazioni boschive e la promozione di attività ad esse legate, il miglioramento dei pascoli e della loro utilizzazione, la sistemazione di frane e torrenti, l'apertura di strade e piste, costruzione di fabbricati.

I primi anni di attività sono stati dedicati all'apertura di piste di servizio e dei sentieri alla sistemazione della chiudenda con rete metallica e pali in ferro lungo i confini, alla ricostituzione dei soprassuoli degradati, alla costruzione e coltivazione del vivaio, alla lavorazione del terreno a gradoni con kamo e successivo rimboschimento e al miglioramento pascolo. Gli anni successivi sono stati invece dedicati prevalentemente alla ricostituzione boschiva, alla ricostituzione di macchia e macchia-foresta e alla manutenzione di strade e sentieri, e viali parafuoco.

In particolare i rimboschimenti sono stati preceduti dalla lavorazione del terreno con mezzo meccanico tipo Kamo dotato di braccio meccanico e come organo lavorante una

benna o un ripper monodente; la lavorazione è stata eseguita attraverso l'apertura di gradoni di circa un metro di larghezza e 80 cm di profondità lungo le curve di livello; nei tratti a maggiore rocciosità sono stati realizzate porzioni di gradone o buche sparse. Il postime utilizzato è stato prodotto all'interno del vivaio annesso al cantiere o in altri vivai dell'Ente Foreste: si sono utilizzate specie autoctone e pini mediterranei in ragione di circa 1000 piante/Ha.

I rimboschimenti sono così riassumibili:

- 1991: 5 Ha in località "Narboni de Maxias";
- 1993: 6 Ha in località "Serra su Scovargiu";
- 1994: altri 10 Ha in località "Serra su Scovargiu", "Punta Conca e Cabras" e "Genna Tuvara";
- 1996: 12 Ha in località "Colutura Maxias", "Piscina e Cerbus" e nei pressi di "P.ta sa Cerasa".

3.1.6. Suoli.

Dall'osservazione della "Carta Ecopedologica della Sardegna" all'interno del cantiere si distinguono tre unità eco pedologiche:

UNITA'	SOIL REGION	SUOLI DOMINANTI (WRB, 2007)	SUP. (ha)
18UE193	59.8	Eutric Cambisols, Epileptic Cambisols, Dystric Cambisols, Eutric Leptosols,	1135
20UE219	59.2	Leptic Cambisols, Eutric Cambisols, Dystric cambisols, Lithic Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Leptosols	818
20UE218	67.8	Leptic Cambisols, Eutric Cambisols, Dystric cambisols, Lithic Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Leptosols, Haplic Luvisols,	5

Tabella 3.4. *Unità ecopedologiche e relative estensioni presenti nel sito Monte Ferru.*

3.2. Nuoro - "Pineta Ugolio".

3.2.1. Il contesto ambientale e territoriale.

L'area di studio è compresa all'interno del Cantiere Forestale "Ortobene" gestito dall'EFS, il cui territorio ricade interamente nella giurisdizione del comune di Nuoro.

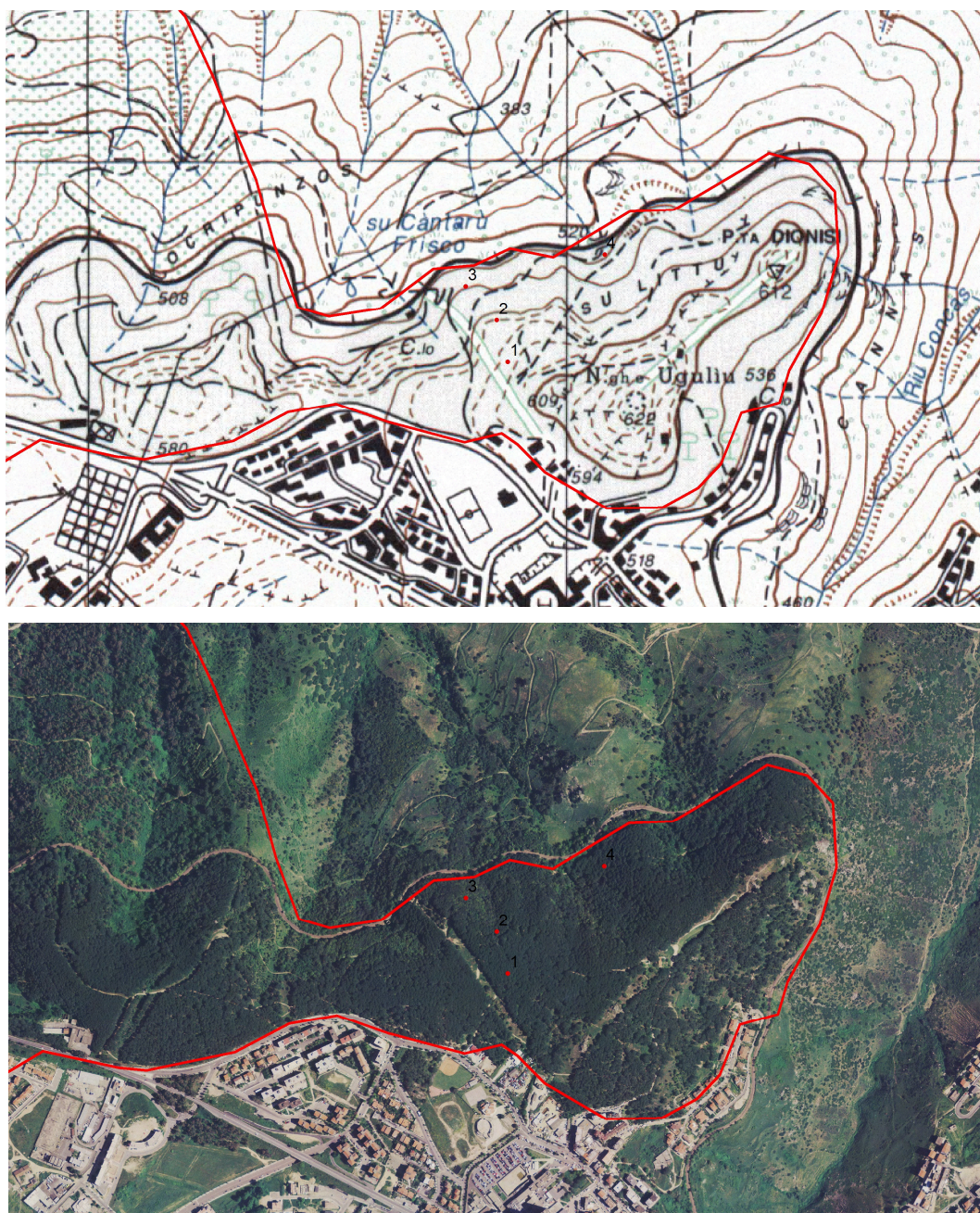


Figura 3.6. Localizzazione dei punti-profilo nel sito Ugalio.

Il cantiere "Ortobene" si estende per circa 1747 ettari, l'area di studio ricade nel suo settore più occidentale, quello più prossimo all'abitato di Nuoro che comunemente

viene indicato come “Pineta di Ugolio”, richiamando col nome la prevalente copertura arborea presente nell’area. Si tratta di una porzione di territorio di circa 328 ettari che dall’abitato di Nuoro si protrae prevalentemente in direzione nord-ovest verso la zona industriale della città e la SP 389 direzione Orune, che costituisce parte del confine settentrionale dell’area di studio.

Il sito di studio è compreso nel Foglio 499 Sezione I “Nuoro ovest” della cartografia nazionale IGMI al 25000, ed interessa il Foglio 499080 della carta tecnica regionale in scala 1:10000.

Nel territorio della “Pineta di Ugolio” la quota minima è di 276 mslm nell’alveo del “Rio de Lucula”, nel confine meridionale dell’area di studio mentre la quota massima è quella di “N.ghe Ugolio” a 636 mslm.

3.2.2. *Clima.*

Per la definizione delle caratteristiche climatiche dell’area di studio si è utilizzata la stazione termopluviometrica dell’ ARPAS “Nuoro”, i dati delle temperature e delle precipitazioni fanno riferimento al periodo 2000-2010.

La piovosità media annua è pari a 687 mm; in figura 3.7 sono rappresentate le precipitazioni medie annue nel decennio considerato.

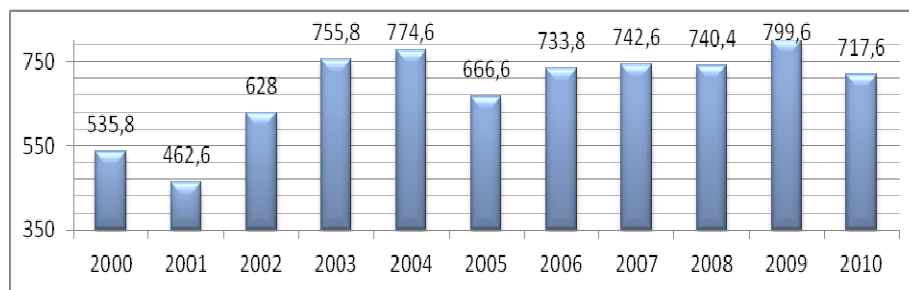


Figura 3.7. *Precipitazioni medie annue nel decennio 2000-2010.*

La temperatura media minima relativa al periodo 2000-2010 è pari a 8,8 °C, la massima è pari a 19,9 °C e la media a 14,4 °C.

Le temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010 sono rappresentate in figura 3.8.

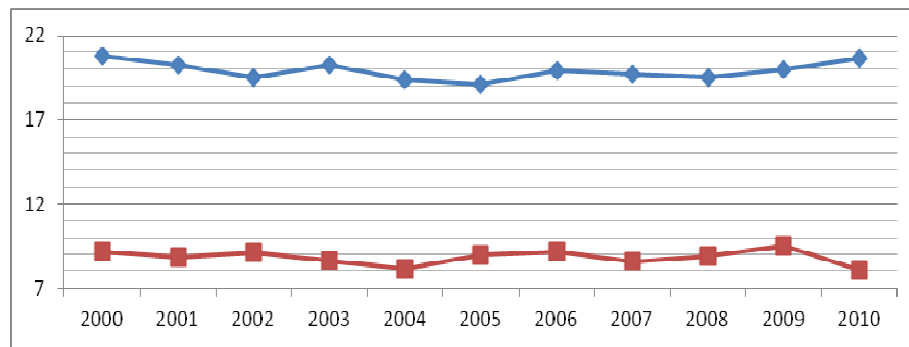


Figura 3.8. Temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010.

Nella figura 3.9 sono rappresentate le temperature e le precipitazioni medie mensili per il decennio considerato.

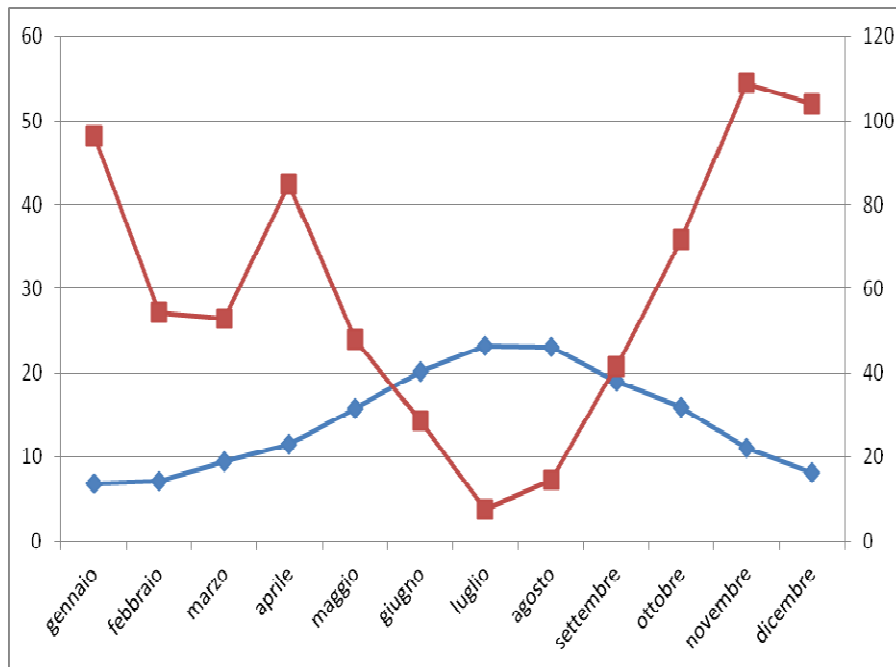


Figura 3.9. Temperature e precipitazioni medie mensili per il decennio 2000-2010.

Dal punto di vista della classificazione del clima, la stazione di Nuoro ricadrebbe, secondo Arrigoni (1968):

- nella sottozona media del lauretum del Pavari;
- nell'orizzonte mediterraneo subumido di Emberger;

- nel secondo mesotermico, umido-subumido, con ampio deficit idrico estivo, oceanico insulare di Thornthwaite.

Dal punto di vista fitoclimatico, sempre l'Arrigoni individua per l'area di studio, l'orizzonte mesofilo della foresta di *Quercus ilex*.

3.2.3. Geologia.

L'osservazione della Carta Geologica d'Italia, indica per l'area in studio i seguenti litotipi:

UNITA'	SUP. (ha)
Facies Ponte S'Archimissa (Subunità intrusiva di Punta Biriai - unità intrusiva di monte San Basilio). Monzograniti a due miche e cordierite, a grana medio-fine, inequigranulari, porfirici per K-feldspati biancastri di taglia centimetrica e subordinato quarziti globulari.	147
Subunità intrusiva di Ottana (unità intrusiva di Nuoro). Tonaliti e granodioriti tonalitiche, anfibolico-biotitiche, grigio-scure, a grana media, moderatamente equigranulari; tessitura moderatamente orientata, talora foliata.	125
Facies Caparedda (Subunità intrusiva di Su Redentore - unità intrusiva di Monte Ortobene). Monzograniti biotitici, raramente anfibolici, a grana medio-grossa, inequigranulari per K-feldspato bianco-rosati di taglia 4-8 cm; tessitura orientata.	54

Tabella 3.5. *Litotipi e relativa estensione presenti nel sito Ugolio.*

3.2.4. Copertura vegetale.

Dall'osservazione della carta dell'uso del suolo 2007, nell'area si individuano le seguenti classi di copertura (oltre ad una ridotta superficie con coperture artificiali e ad altre coperture che interessano una superficie minima e non sono state riportate):

CODICE CORINE	Descrizione	SUP. (ha)
3121	Boschi a prevalenza di pini mediterranei (pino domestico, pino marittimo) e cipressete	158
3231	Macchia alta	68
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	29
3111	Boschi a prevalenza di leccio e/o sughera	23
3121	Boschi a prevalenza di querce caducifoglie (cerro e/o roverella e/o farnetto e/o rovere e/o farnia)	15
31122	Sugherete	13
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	10
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	4
321	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea/ aree a pascolo naturale e praterie	2
3232	Macchia bassa e garighe	1

Tabella 3.6. *Classi di copertura e relativa estensione presenti nel sito Ugolio.*

3.2.5. Gestione forestale.

I terreni dell'area di studio appartengono in parte ai privati, in parte al Comune di Nuoro, ma attualmente sono gestiti dall'EFS di Nuoro, mentre prima la gestione era affidata all'IRF (Ispettorato Ripartimentale delle Foreste) che li acquisì nell'ambito delle sistemazioni idraulico-forestali del Cedrino.

Dalle notizie storiche e dalla foto interpretazione di immagini storiche, intorno agli anni '50 i terreni erano costituiti da pascolo degradato con erosione accentuata.

Nel 1952 l'intera zona venne rimboschita coi finanziamenti della "Cassa per il Mezzogiorno": fu effettuato il gradonamento delle pendici e la successiva semina con *Pinus pinea* e la piantagione di cipressi ed eucalitti.

Altri interventi furono effettuati dopo il 1971 con i finanziamenti pervenuti col "Piano di Rinascita": furono utilizzati per ripristinare il bosco nei tratti percorsi da incendio nell'anno 1971.

Nel 1979, nel 1982 e 1984 altri incendi contribuirono al rallentamento dell'evoluzione del bosco verso soprassuoli più maturi mentre dove il fuoco non è intervenuto il bosco si è evoluto verso formazioni vegetali complesse originando una pineta che oggi è da

considerarsi adulta in cui il leccio e le altre specie autoctone si inseriscono avviando il processo di rinaturalizzazione su ampie superfici.

La protezione esercitata dalla vegetazione di cui ha potuto godere il suolo e l'assenza del pascolamento hanno favorito la formazione di sole formazioni a bosco o a macchia evoluta: quasi tutta l'area è stata sottoposta a lavorazioni e rimboschimenti/semina con specie per lo più alloctone, solo alcuni tratti, lungo le pendici di "P.ta Dionisi" esposti a nord, non sono stati oggetto di interventi e sono caratterizzate dalla presenza di leccio, sughera e roverella.

La pineta ha un'età prevalente di 61 anni anche se vi sono state, nel corso degli anni, dei risarcimenti in corrispondenza soprattutto delle aree percorse dagli incendi. La variabilità dovuta ad esposizione, morfologia e fertilità determina l'ingresso di specie autoctone nella pineta, che risulta a tratti abbondante e a tratti quasi assente.

3.2.6 Suoli.

Dall'osservazione della "Carta Ecopedologica della Sardegna" l'area di studio è caratterizzata dalla seguente unità:

UNIT A'	SOIL REGION	SUOLI DOMINANTI (WRB, 1998)	SU P. (ha)
20UE 219	59.2	Leptic Cambisols, Eutric Cambisols, Dystric cambisols, Lithic Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Leptosols, Eutric Fluvisols, Haplic Umbrisols, Haplic Luvisols.	320

Tabella 3.7. *Unità ecopedologiche e relative estensioni presenti nel sito Ugolio.*

3.3. Alghero - “Monte Timidone”.

3.3.1. Il contesto ambientale e territoriale

L’area di studio è compresa all’interno della Foresta Demaniale di “Porto Conte” situata sulla costa nord-occidentale della Sardegna, il cui territorio ricade nella giurisdizione dei comuni di Alghero e Sassari.



Figura 3.10. Localizzazione dei punti-profilo nel sito Monte Timidone.

La Foresta Demaniale è divisa in quattro comparti separati: Baratz, in agro di Sassari, Punta Giglio, Capo Caccia e Monte Doglia in agro di Alghero, per un'estensione globale di 3116 ettari.

In particolare il sito di studio ha un'estensione di 1576 ettari, è inclusa nel comparto "Capo Caccia" ed interessa il versante occidentale del Monte Timidone.

Il sito di studio è compreso nei fogli 458 sezione II "S. Maria la Palma" e sezione III "Isola Piana" della cartografia nazionale IGMI al 25000, ed interessa i Fogli 458140, 458150 della carta tecnica regionale in scala 1:10000.

L'intera Foresta è Sito di Interesse Comunitario (L.R. 31/89), l'area più centrale, conosciuta come "Arca", è un'Oasi permanente di protezione faunistica (L.R. 23/98) e la fascia costiera rientra nell'Area Marina Protetta di Capo Caccia e Punta Giglio (Legge 979/82).

Il territorio oggetto di studio, presenta quota minima di 2 mslm in prossimità del rifugio forestale, mentre la quota massima è quella di "Monte Timidone" a 361 mslm.

3.3.2. *Clima.*

Per la definizione delle caratteristiche climatiche dell'area di studio si è utilizzata la stazione termopluviometrica dell' ARPAS "Olmedo", i dati delle temperature e delle precipitazioni fanno riferimento al periodo 2000-2010.

La piovosità media annua è pari a 627,5 mm; in figura 3.11 le precipitazioni medie annue nel decennio considerato.

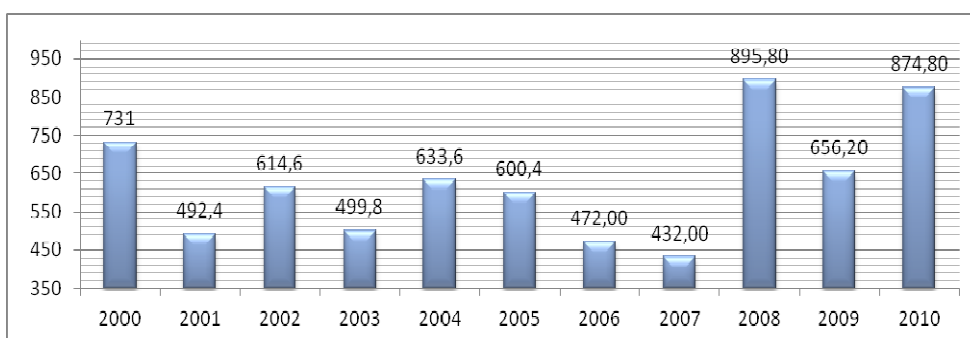


Figura 3.11. *Precipitazioni medie annue nel decennio 2000-2010.*

La temperatura media minima relativa al periodo 2000-2010 è pari a 9,6 °C, la massima è pari a 21,7 °C e la media a 15,6 °C.

Le temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010 sono rappresentate in figura 3.12.

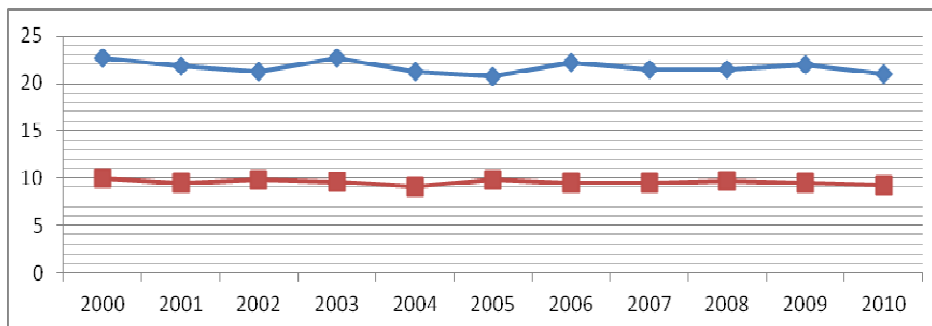


Figura 3.12. Temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010.

Nella figura 3.13 sono rappresentate le temperature e le precipitazioni medie mensili per il decennio considerato.

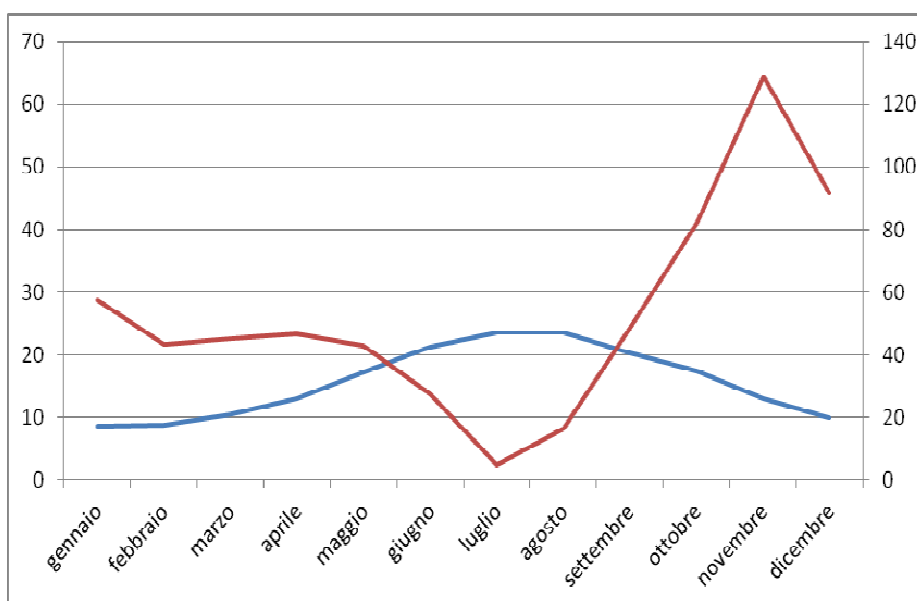


Figura 3.13. Temperature e precipitazioni medie mensili per il decennio 2000-2010.

Dal punto di vista della classificazione del clima, la stazione di ricadrebbe, secondo Arrigoni (1968):

- nella sottozona calda del Lauretum del Pavari;

- nell'orizzonte inferiore del bioclimate mediterraneo semiarido di Emberger;
- nel secondo mesotermico, al limite tra l'umido-subumido con ampio deficit idrico, di tipo oceanico insulare, con ampio deficit idrico estivo di Thornthwaite.

Dal punto di vista fitoclimatico, sempre l'Arrigoni individua per l'area di studio, il climax delle boscaglie e delle macchie termo xerofile litoranee.

3.3.3 Geologia.

L'osservazione della Carta Geologica d'Italia, Foglio, indica per l'area in studio i seguenti litotipi:

UNITA'	SUP. (ha)
Formazione di Monte Nurra. Dolomie e calcari dolomitici, calcari bioclastici, calcari selciferi, calcari marnosi e marne, con intercalazioni di arenarie quarzose alla base calcari e dolomie scure di ambiente lacustre a carofite.	717
Litofacies nel subsistema di Portoscuso (sistema di Portovesme). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali.	287
Formazione della mandrachina. Calcari micritici (mudstone a clypeina jurassica).	250
Marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi; argille varicolori gessifere.	87
Formazione di mal repos. Depositi carbonatici di piattaforma, calcari, calcari dolomitici, calcari oolitici e bioclastici.	73
Formazione di Monte Uccari. Calcari micritici e bioclastici grigio biancastri ben stratificati; dolomie grigiastre e lenti di calcare oolitico con ciottoli a carofite.	44
"Formazione di cala d'inferno". Marne e calcari marnosi paralic verdastri micritici.	35
Formazione di Campanedda. Calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce.	20
Depositi di versante. Detriti con clasti angolosi, talora parzialmente cementati.	2

Tabella 3.8. *Litotipi e relativa estensione presenti nel sito Monte Timidone.*

3.3.4 Copertura vegetale

Dall'osservazione della carta dell'uso del suolo 2007, è possibile individuare i seguenti usi del suolo:

CODICE CORINE	Descrizione	SUP. (ha)
3121	Boschi di conifere	528
3242	Aree a ricolonizzazione artificiale	247
3231	Macchia mediterranea	197
3232	Gariga	171
333	Aree con vegetazione rada >5%< 40%	110
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	97
2121	Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	64
3111	Boschi di latifoglie	28
244	Aree agroforestali	4

Tabella 3.9. *Classi di copertura e relativa estensione presenti nel sito Monte Timidone.*

3.3.5 gestione forestale.

L'area oggetto di studio è stata oggetto di intensi rimboschimenti con conifere a partire dalla fine degli anni '60 che hanno radicalmente modificato un ambiente caratterizzato da formazioni a macchia mediterranea più o meno degradata a causa di incendi ripetuti e pascolo eccessivo, in un ambiente caratterizzato dalla monotematicità delle conifere. Da allora e fino agli anni '90 l'area è stata gestita dai Servizi ripartimentali per le Foreste la cui finalità principale era quella di permettere l'affermazione degli impianti realizzati. Nel 1999 la gestione dell'area era stata affidata all'Azienda Foreste Demaniali (ora Ente Foreste della Sardegna) che avviò la progressiva rinaturalizzazione dei popolamenti di origine artificiale. Per cui dalla fine degli anni '90 gli interventi selvicolturali furono inizialmente configurabili come dei diradamenti più o meno intensi, per poi essere sostituiti da veri e propri tagli di rinaturalizzazione che continuano all'attualità.

3.3.6 Suoli.

Dall'osservazione della "Carta Ecopedologica della Sardegna" all'interno del cantiere si distinguono tre unità eco pedologiche:

UNITA'	SOIL REGION	SUOLI DOMINANTI (WRB, 1998)	SUP. (ha)
15UE156	71.2	Chromic Luvisols, Luvic Calcisols, Petric Calcisols, Eutric Leptosols.	1191
3UE25	70.2	Haplic Luvisols, Gleyc Luvisols, Haplic Acrisols, Haplic Calcisols, Petric Calcisols, Haplic Nitisols, Haplic Gleysols, Haplic Cambisols	303
15UE155	71.2	Lithic Leptosols, Chromic Luvisols.	71

Tabella 3.10. *Unità ecopedologiche e relative estensioni presenti nel sito Monte Timidone.*

3.4. Pula - “Pixinamanna”.

3.4.1 il contesto ambientale e territoriale.

L’area di studio è in parte compresa all’interno della Foresta Demaniale di “Pixinamanna” situata sulla costa meridionale della Sardegna, il cui territorio ricade nella giurisdizione dei comuni di Pula, Sarroch e Villa San Pietro. L’area studiata è inclusa nel solo comune di Pula ed ha un’estensione di circa 3791 ettari.

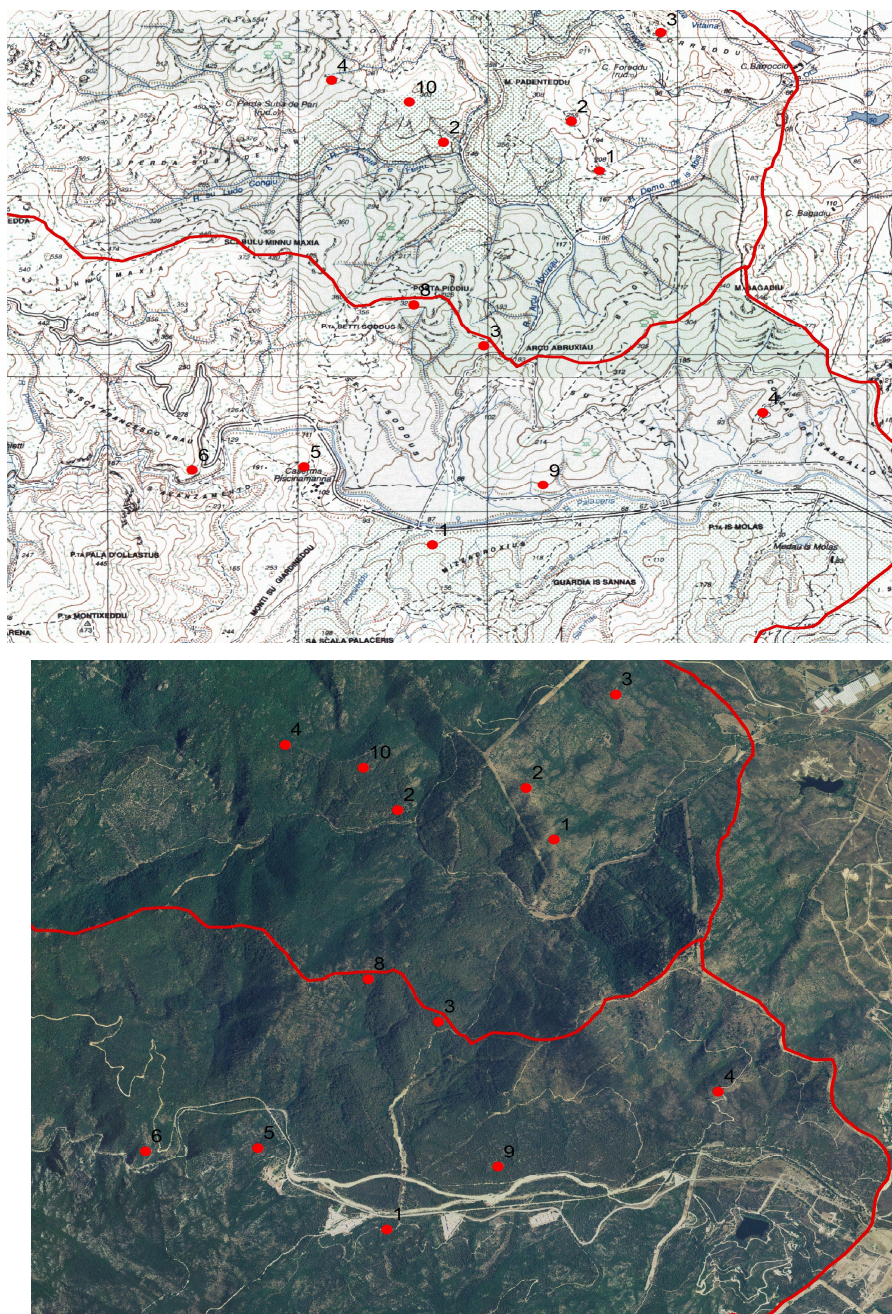


Figura 3.14. Ubicazione dei punti-profilo nel sito Pixinamanna.

L'area oggetto di studio ricade interamente nel comune di Pula e per 3127 ha è compresa all'interno del cantiere succitato, mentre la restante superficie appartiene a proprietari privati (664 ettari) per un'estensione globale di 3791 ettari.

Il sito di studio è compreso nei fogli 565 sezione II Villa san Pietro e 573 sezione I Domus de Maria della cartografia nazionale IGMI al 25000, ed interessa i Fogli 565150, 565160, 573030 e 573040 della carta tecnica regionale in scala 1:10000.

La quota minima dell'area di studio è di 38 mslm in prossimità di "Medau Is Molas", mentre la quota massima è quella di "P.ta S Cresia" a 846 mslm, con una quota media di 335 mslm.

3.4.2. *Clima.*

Per la definizione delle caratteristiche climatiche dell'area di studio si è utilizzata la stazione termopluviometrica dell' ARPAS "Villa San Pietro". I dati delle temperature e delle precipitazioni fanno riferimento al periodo 2000-2010.

La piovosità media annua è pari a 487 mm; in figura 3.15 le precipitazioni medie annue nel decennio considerato.

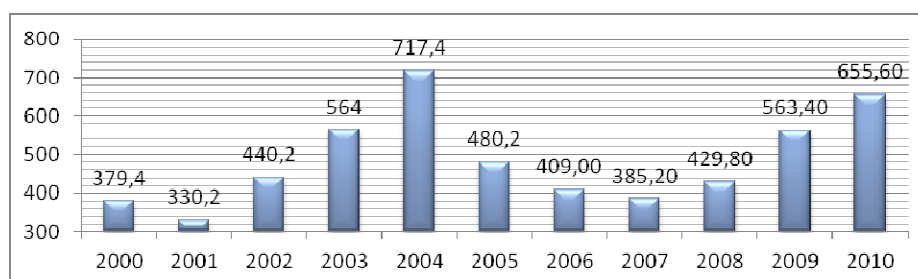


Figura 3.15. *Precipitazioni medie annue nel decennio 2000-2010.*

La temperatura media minima relativa al periodo 2000-2010 è pari a 12,1 °C, la massima è pari a 22,9 °C e la media a 17,5 °C.

Le temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010 sono rappresentate in figura 3.16.

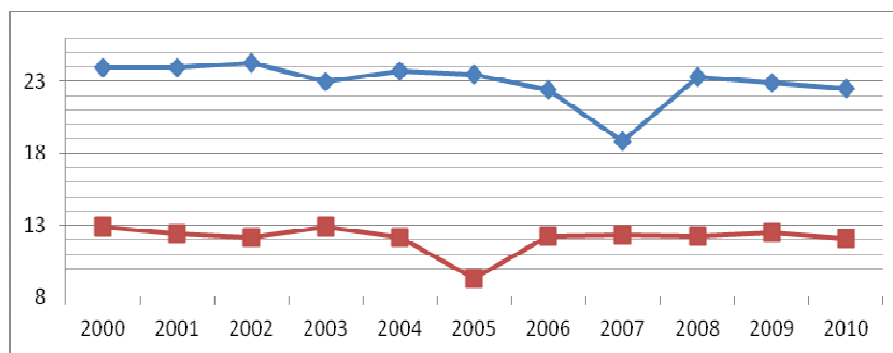


Figura 3.16. *Temperature minime e massime medie annuali relative al periodo 2000-2010*

Nella figura 3.17 sono rappresentate le temperature e precipitazioni medie mensili per il decennio considerato.

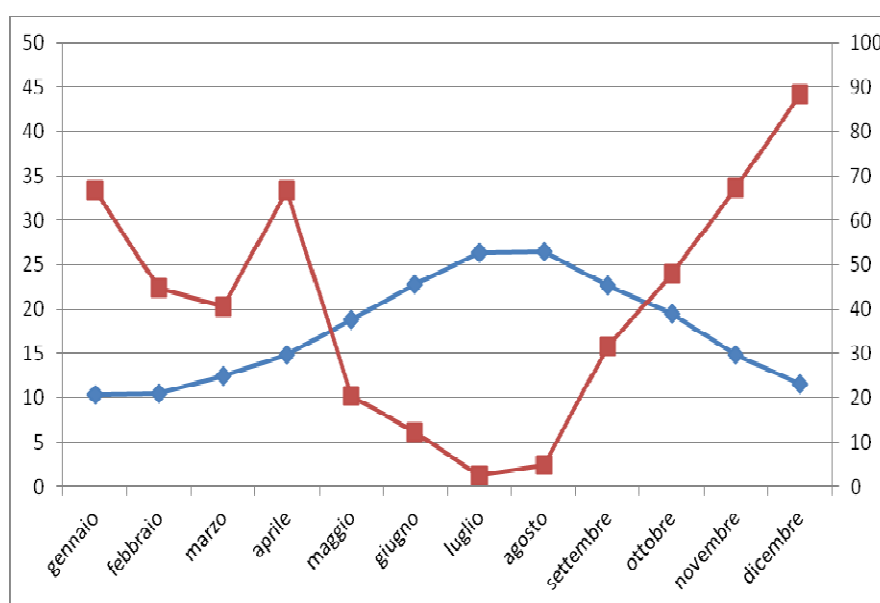


Figura 3.17. *Temperature e precipitazioni medie mensili per il decennio 2000-2010.*

Dal punto di vista della classificazione del clima, la stazione di Villa San Pietro ricadrebbe, secondo Arrigoni (1968):

- nella sottozona calda del lauretum del Pavari;
- nell'orizzonte mediterraneo semiarido di Emberger;

Dal punto di vista fitoclimatico, sempre l'Arrigoni individua per l'area di studio, l'orizzonte delle boscaglie e delle macchie litoranee per la fascia più prossima alla costa e l'orizzonte delle foreste miste sempreverdi termoxerofile per la fascia immediatamente più interna.

3.4.3. Geologia.

L'osservazione della Carta Geologica d'Italia, indica per l'area in studio i seguenti litotipi:

UNITA'	SUP. (ha)
UNITÀ INTRUSIVA DI VILLACIDRO (complesso granitoide del sulcis-arburese)	1836
Facies Monte Lattias: Leucosienograniti biotitici a grana grossa, bianco-rosati, da equigranulari a moderatamente inequigranulari, a tessitura isotropa. Litofacies di bordo da porfiriche a microgranulari con abbondanti differenziati aplo-pegmatitici.	1714
UNITÀ INTRUSIVA DI VILLACIDRO, Facies Punta Sa Cresia. Microsienograniti biotitico-muscovitici, rosate, prevalentemente equigranulari, a tessitura isotropa, in ammassi ed apofisi; abbondanti differenziati aplopegmatitici.	111
SINTEMA DI PORTOVESME, Litofacies nel Subsistema di Portoscuso. Ghiaie alluvionali terrazzate da medie a grossolane, con subordinate sabbie.	68
Depositi alluvionali terrazzati, ghiaie con subordinate sabbie).	12
Litofacies nella FORMAZIONE DI MASON PORCUS. Metacalcari nodulari e subordinati metacalcari massivi fossiliferi (conodonti, tentaculiti, cefalopodi, crinoidi, coralli, frammenti di trilobiti).	10
Depositi alluvionali.	10
Porfidi granitici, di colore prevalentemente rosato e rossastro, a struttura da afirica a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi.	9
FORMAZIONE DI CABITZA. Alternanza ritmica di lamine centimetriche. metasiltitiche e metargillitiche di colore rosso-violaceo e verde di origine tidale, lamine metasiltitiche gradate grigio-verdi e metarenarie quarzoso-feldspatiche grigie con laminazioni.	6
FORMAZIONE DI GONNESA, Membro del Calcare ceroide. Calcari grigi massivi, talora nerastri, spesso dolomitizzati.	5
FORMAZIONE DI CAMPO PISANO. Alternanze di metacalcari, metacalcari marnosi rosati, metasiltiti grigie e metacalcari grigio-rosati a struttura nodulare, talora silicizzati, ricchi in frammenti di fossili.	4
FORMAZIONE DI GENNA MUXERRU. Metapeliti e metasiltiti nere carboniose con intercalazioni di liditi e metarenarie nere, con graptoliti.	2
Filoni idrotermali a prevalente quarzo, spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Zn, Cu, Fe, etc).	2

Tabella 3.11. *Litotipi e relativa estensione presenti nel sito Pixinamanna.*

3.4.4. Copertura vegetale.

Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

Dall'osservazione della carta dell'uso del suolo 2007, è possibile individuare i seguenti usi del suolo:

CODICE CORINE	Descrizione	SUP (ha)
3231	Macchia mediterranea	1290
311	Boschi di latifoglie	1273
312	Boschi di conifere	640
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	256
3242	Aree a ricolonizzazione artificiale	142
3232	Gariga	107
333	Aree con vegetazione rada	65
3241	Aree a ricolonizzazione naturale	5
2112	Prati artificiali	2

Tabella 3.12. *Classi di copertura e relativa estensione presenti nel sito Pixinamanna.*

3.4.5. Gestione forestale.

L'area di studio è stata scelta per via delle intense azioni di lotta al dissesto idrogeologico e difesa del suolo messe in atto a partire dagli anni '50. La copertura vegetale era esigua e rada e caratterizzata dalla presenza di *Cistus* spp. e *Pistacia lentiscus*: il suolo non era in grado di sostenere un consorzio vegetale complesso.

In seguito allo stato di degrado in cui riversavano i soprassuoli erano state effettuate delle azioni mirate alla mitigazione dei fenomeni depauperanti, attraverso la realizzazione di interventi di rimboschimento atti, da un lato ad aumentare la protezione del suolo dai fenomeni erosivi e dall'altro a diminuire il rischio di esondazioni. Le specie introdotte furono soprattutto il *Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Quercus suber*.

Nei successivi trent'anni furono avviati i trattamenti selvicolturali atti a ridurre il numero di conifere e facilitare il reinserimento naturale di latifoglie autoctone.

3.4.6. Suoli.

Dall'osservazione della carta ecopedologica della Sardegna, è possibile rilevare per l'area di studio le seguenti unità eco pedologiche:

UNITA'	SOIL REGION	SUOLI DOMINANTI (WRB, 1998)	SUP. (ha)
20UE219	59.2	Leptic Cambisols, Eutric Cambisols, Dystric Cambisols, Lithic Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Leptosols, Haplic Umbrisols.	3419
1UE8	64.4 E 64.4a	Eutric Fluvisols, Vertic Fluvisols, Vertic Cambisols	223
3UE25	70.2	Haplic Luvisols, Gley Luvisols, Haplic Acrisols, Petric Calcisols, Haplic Cambisols	66
15UE156	71.2	Chromic Luvisols, Luvic Calcisols, Petric Calcisols, Eutric Leptosols	63
20UE218	67.8	Leptic Cambisols, Eutric Cambisols, Dystric Cambisols, Lithic Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Leptosols, Haplic Umbrisols, Haplic Luvisols, Haplic Arenosols.	14
20UE218	67.8	Leptic Cambisols, Eutric Cambisols, Dystric Cambisols, Lithic Leptosols, Dystric Leptosols, Eutric Leptosols, Haplic Umbrisols, Haplic Luvisols, Haplic Arenosols	7

Tabella 3.13. Unità ecopedologiche e relative estensioni presenti nel sito Pixinamanna.

4. Materiali e metodi.

4.1. I siti sperimentali.

Complessivamente nel presente lavoro sono stati aperti, descritti e campionati per orizzonti 30 profili pedologici di cui 10 a Monte Ferru, 4 a Ugolio, 6 a Monte Timidone e 10 a Pixinamanna.

L'obiettivo sperimentale in base al quale sono stati ubicati i siti di campionamento è stato la selezione, la caratterizzazione ed il confronto di siti rappresentativi di specifiche unità vegetazionali e gestionali di interesse, collocati però in contesti ambientali diversi.

Tra le unità considerate si è assegnata priorità agli impianti di conifere, con o senza interventi di diradamento successivi, e alle formazioni naturali a macchia mediterranea a diversi gradi di evoluzione e/o degradazione. In alcuni casi sono stati scelti ulteriori siti di confronto (aree a pascolo o agricole, aree percorse da incendio e nuovamente rimboschite) al fine di meglio valutare la risposta degli indicatori selezionati.

A Timidone e a Monte Ferru le osservazioni sono state effettuate prevalentemente secondo catene topografiche, con alcuni siti integrativi, fuori catena, nel caso di Monte Ferru. D'altra parte le catene topografiche considerate attraversano dall'alto in basso diverse unità vegetazionali e gestionali di interesse. A Ugolio e Pixinamanna non è stato possibile individuare situazioni topografiche privilegiate come nel caso delle altre due aree.

Il quadro risultante è il seguente (Tabella 4.1):

	Monte Ferru	Ugolio	Timidone	Pixinamanna	Total e
MACCHIA	4		2	2	8
LECCETA	3	1	1		5
PINETA		1	3	2	6
PINETA DIRADATA		2		2	4
AREE A FORTE PRESSIONE ANTROPICA	2 (1 incolto, 1 vigneto)			2 (pascoli arbustati)	4
AREE IN EVOLUZIONE POST INCENDIO	1			2	3

Tabella 4.1. *Distribuzione delle unità gestionali nelle aree di studio*

Le classi sono definite come segue (tabella 4.2):

UNITA' GESTIONALE	DEFINIZIONE
MACCHIA	Aree ad evoluzione naturale dominate da specie della macchia mediterranea, soggette in diversa misura a disturbi antropici in tempi remoti (pascolo eccessivo, incendi, tagli abnormi).
LECCETA	Ceduo a dominanza di leccio.
PINETA	Aree soggette a rimboschimento con conifere del genere <i>Pinus</i> spp.
PINETA DIRADATA	Aree soggette a rimboschimento con conifere del genere <i>Pinus</i> spp e successivamente sottoposte a cure colturali al fine di ridurre la componente resinosa e favorire il naturale reinsediamento delle latifoglie autoctone.
AREE A FORTE PRESSIONE ANTROPICA	Aree attualmente soggette a disturbi antropici di varia natura (pascolo eccessivo, lavorazioni, tagli).
AREE IN EVOLUZIONE POST INCENDIO	Aree percorse da incendio in tempi recenti.

Tabella 4.2. *Definizione delle unità vegetazionali e gestionali.*

Con riferimento alla quota, considerando fasce altimetriche di 150 metri di ampiezza, emerge il quadro presentato in Tabella 4.3.

I profili sono stati aperti e campionati a quote comprese tra gli 85 mslm del profilo “Monte Timidone 12” fino ai 700 mslm del profilo “Monte Ferru 2”. Suddividendo tutti i profili in intervalli di quota di 150 m, 5 profili sono inclusi nella prima classe (0-150 mslm), 6 nella seconda (150-300 mslm), 4 nella classe 300-450, 7 nella classe 450-600 e 7 nella classe > 600.

	Monte Ferru	Ugolio	Timidone	Pixinamanna	Totale
0 – 150 m slm			3	2	5
150-300 m slm			1	6	7
300-450 m slm			2	2	4
450-600 m slm	5	2			7
> 600 m slm	5	2			7

Tabella 4.3. *Distribuzione dei punti di campionamento per intervalli di quota di 150 metri.*

Nel sito Monte Ferru, Ugolio e Pixinamanna, i profili sono stati aperti personalmente dallo scrivente, mentre nel caso di Timidone, i profili erano stati descritti in una precedente tesi di laurea (Guelpa, 2011), ma la loro descrizione è stata qui arricchita di nuove osservazioni e analisi di tipo specialistico (frazionamento delle componenti organiche, QBS, densità apparente, classificazione degli humus forestali) così da disporre di informazioni confrontabili per tutti i siti.

Infine, si sottolinea che l'area di studio di Pula-Pixinamanna corrisponde all'area sperimentale individuata dal progetto PRACTICE, un progetto finanziato dal programma europeo per la ricerca FP7 e di cui è partner il Nucleo di Ricerca sulla Desertificazione dell'Università di Sassari. Le attività dello scrivente si sono svolte in sinergia con quelle condotte dallo staff di progetto. In questo caso, in coerenza con l'approccio generale seguito dal progetto Practice, il rilevamento è stato condotto lungo i transetti lineari (1 per ciascun sito di campionamento) tracciati per l'applicazione del metodo LFA. In corrispondenza di ciascun transetto il gruppo di progetto ha descritto e campionato per analisi chimico-fisiche numerosi *minipit* rappresentativi delle diverse sotto-unità ecologiche (*patch* e *inter-patch*). Ai fini della presente ricerca, tra i numerosi *minipit* realizzati sono stati selezionati alcuni punti di campionamento in corrispondenza dei quali sono stati prelevati campioni di suolo per analisi chimico-fisiche e per il calcolo dell'indice QBS. Presso gli stessi *minipit* sono stati anche studiati gli humus.

4.1.1. Cardedu - “Monte Ferru”.

Nel cantiere di “Monte Ferru” sono stati selezionati 10 siti di campionamento posti su substrati geologici differenti e con differente storia/gestione selvicolturale.

Il primo blocco di profili si localizza nel versante orientale di “P.ta Ingannadori”: si tratta di 7 profili posti lungo una catena¹¹ (Milne, 1935):

- profili 2, 3 e 4 sono stati aperti sotto una copertura arborea configurabile come ceduo di leccio maturo/invecchiato;
- profili 1, 5, 6 e 7 stanno sotto una copertura arbustiva configurabile come macchia alta;

Il secondo blocco di profili è costituito da tre siti appaiati, confrontabili dal punto di visto geopedologico, ma caratterizzati da diversa gestione:

- il profilo 9 è stato aperto in corrispondenza di una macchia degradata, sovente soggetta a pascolo bovino;
- il profilo 10 è stato individuato su un pascolo/incolto;
- il profilo 11 è stato aperto in corrispondenza di un vigneto.

4.1.2. Nuoro - “Pineta Ugolio”.

La scelta dei siti di analisi è stata finalizzata ad indagare il differente grado di rinaturalizzazione presente nell’area:

- il profilo 1 è stato aperto sotto una copertura vegetale costituita da *Pinus pinea* in formazione pura originata dal rimboschimento del 1951, senza successivi interventi selvicolturali, con sporadica rinnovazione gamica di leccio;
- il profilo 2 è caratterizzato da una copertura vegetale simile alla precedente per origine, costituita dunque da *Pinus pinea*, ma in cui il grado di rinaturalizzazione è maggiore rispetto alla situazione precedente, con presenza di leccio e roverella;

¹¹ Per catena si intende un insieme regolare di suoli che, pur non potendo essere inseriti in un sistema naturale di classificazione a causa di differenza anche di tipo morfologico, sono comunque correlati tra di loro per la presenza di determinate condizioni tipografiche, tanto da poter essere osservate ogniqualvolta queste si presentano.

- il profilo 3 è sotto ceduo di leccio con scarsa presenza di specie del sottobosco;
- il profilo 4 è stato aperto sotto una copertura derivante dagli interventi del 1951, soggetti a successivi interventi selvicolturali miranti a promuovere l'affermazione di specie autoctone (leccio in particolare) e di specie del sottobosco.

4.1.3. Alghero - “Monte Timidone”.

I profili sono stati “aperti” nel versante occidentale di Monte Timidone: si tratta di 6 profili disposti in una catena pedologica caratterizzata da differente copertura vegetale:

- il profilo 1 si configura come un arbusteto caratterizzato da macchia bassa e discontinua con altezza massima della vegetazione di 120 cm;
- il profilo 2 è posto sotto una macchia alta, tendente alla macchia foresta;
- il profilo 3 corrisponde a un bosco di leccio di limitata estensione all'interno di un più vasto rimboschimento a *Pinus halepensis*; sono presenti individui di corbezzolo e leccio arborescenti con numerosi polloni per ceppaia;
- il profilo 4 è posto sotto rimboschimento a *Pinus halepensis* con sottobosco rado a palma nana, lentisco, corbezzolo e leccio;
- il profilo 5 è posto sotto rimboschimento a *Pinus halepensis* con individui diffusi di arbusti della macchia;
- il profilo 6 corrisponde a un rimboschimento a *Pinus* spp.

4.1.4. Pula - “Pixinamanna”.

La selezione dei punti di analisi ha risposto all'esigenza di differenziare la storia/gestione selvicolturale messa in atto nella zona.

Si è partiti dalla situazione di generalizzato degrado precedente gli interventi (verificata sulle foto aeree disponibili e relative al 1954). Attraverso successiva foto interpretazione di foto aeree storiche, ma più recenti (1977, 2000, 2006), il progetto Practice ha ricostruito la storia selvicolturale e gestionale dell'area di studio, distinguendo in questo modo aree in cui:

- i fattori di pressione non sono stati rimossi ma non vi è alcuna gestione (si tratta di siti destinati a pascolo e posti fuori dal perimetro della Foresta Demaniale Pixinamanna);
- i fattori di disturbo sono stati eliminati ma non vi è stato nessun intervento gestionale attuale e remoto (restauro spontaneo o self-restoration);

- sono stati eseguiti rimboschimenti uniformi su vaste superfici con *Pinus* spp. e *Quercus suber*, ma non sono stati seguiti da interventi selvicolturali;
- sono stati eseguiti rimboschimenti uniformi su vaste superfici con *Pinus* spp. e *Quercus suber*, seguiti da interventi selvicolturali atti ad eliminare le conifere e favorire la rinaturalizzazione;
- sono stati eseguiti recenti impianti di *Quercus suber* e *Pinus* Spp. in zone colpite da incendi boschivi (1999) e precedentemente ricoperte da pino domestico risalente alle sistemazioni degli anni 50-60.

Ciascuna di queste aree è stata oggetto di studio mediante transetti LFA (4 repliche per ciascun tipo di gestione). Dieci tra questi transetti (due per tipo) sono stati selezionati per gli approfondimenti oggetto della presente tesi.

4.2. Descrizione dei profili e campionamento.

Tutti i profili sono stati descritti secondo FAO (2006) e Schoeneberger et al. (2002) con adattamenti introdotti dai ricercatori del Dipartimento di Agraria in considerazione delle specifiche condizioni ambientali dell'Isola. Tutti gli orizzonti, inclusi quelli organici, sono stati campionati, sempre secondo le direttive FAO.

Il rilevamento è stato completato da documentazione fotografica e dalla caratterizzazione speditiva della stazione. Sono state descritte le caratteristiche vegetazionali e gestionali tramite foto interpretazione di foto storiche e mediante intervista ai gestori e/o utilizzatori delle aree di studio e dei cantieri forestali.

Sui campioni prelevati sono state effettuate le analisi di laboratorio descritte nel paragrafo 4.3. Analisi specialistiche (caratterizzazione lettiera, QBS, analisi microbiologiche, frazionamento SO) non comprese nei rilevamenti pedologici "di routine" sono state svolte, come meglio specificato nelle sezioni seguenti, in specifici punti di campionamento secondo finalità sperimentali specifiche.

4.3. Analisi chimico-fisiche.

Tutti i campioni di suolo prelevati in campo sono stati analizzati presso il laboratorio di Pedologia dell'Università degli Studi di Sassari con sede a Nuoro, seguendo le metodiche ufficiali proposte dal MiPAF (1997 e 2000), con scostamenti descritti caso per caso.

In ciascun orizzonte sono stati prelevati due tipi di campione: campione indisturbato mediante cilindretto metallico per la determinazione della densità apparente e campione tal quale (bulk) per le analisi di laboratorio. Mentre è stato sempre possibile prelevare il campione tal quale, ci sono state difficoltà con l'uso del cilindro a causa dell'eccessiva presenza di scheletro nell'orizzonte, che in alcuni casi ha impedito il prelievo.

Sui campioni di Pula i dati ottenuti dalle analisi chimiche e fisiche sono stati elaborati sui primi 10 cm di suolo e mediati rispetto ai transetti LFA a cui i campioni si riferiscono.

Come spiegato nel capitolo 4.6 i campioni di suolo e le osservazioni sulla vegetazione e sul suolo secondo il protocollo LFA si riferiscono alle differenti patch/interpatch intercettate dai transetti delle quali sono considerati rappresentativi. Per questo motivo i valori dei campioni sono stati elaborati calcolando medie pesate il cui peso era dato dalla lunghezza delle rispettive porzioni di transetto occupate dalle stesse patch/interpatch. Complessivamente sono stati prelevati 27 cilindri per la densità apparente di cui 13 da Monte Ferru (6 orizzonti A, 3 orizzonti B, 4 orizzonti O), 9 da Ugolio (4 orizzonti A, 4 orizzonti B e un O), 6 da Pixinamanna (5 orizzonti A ed un BC), 5 da Timidone (3 orizzonti A, 2 orizzonti BC).

I campioni tal quali sono stati fatti essiccare a temperatura ambiente in appositi contenitori asciutti e puliti. In seguito all'essiccamento, parte del campione è stato setacciato con vaglio a maglie di 2 mm per la separazione dello scheletro dalla terra fine: su quest'ultima sono state svolte le seguenti analisi:

- Scheletro (SCH) e tessitura (SMG, SG, SM, SF, LIM, ARG);
- pH in acqua (pH);
- sostanza organica (SOM) e carbonio organico (TOC);
- N totale (N);

- fosforo assimilabile (P);
- carbonati totali (Carb);
- capacità di scambio cationico (CSC) e grado di saturazione basica (GSB);
- basi di scambio (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++});
- frazioni della sostanza organica e frazioni umiche (TEC, NH, HA, FA).

Densità apparente (d.a.).

La densità apparente è stata stimata, per ogni orizzonte compreso nei primi 30 cm di profondità, mediante il metodo del carotaggio (MiPAF 1997, metodo 1.3.1) che prevede il prelievo di campioni di suolo attraverso cilindri metallici di volume noto (cilindro di 5 cm di diametro, 5 cm di altezza) inseriti verticalmente nel suolo, essiccati in stufa e pesati con correzione in base al contenuto in scheletro. Per orizzonti in cui non è stata possibile la misura diretta a causa dell'eccessivo scheletro, è stata utilizzata la *pedofunzione di Hollis* (1989) che permette, mediante regressione statistica, di stimare la d.a. utilizzando i valori di sostanza organica, sabbia ed argilla contenuti in ciascun campione.

Scheletro (SCH) e tessitura (SMG, SG, SM, SF, LIM, ARG).

Con il termine scheletro si intende tutto il materiale minerale facente parte del suolo con dimensioni > 2 mm, mentre la tessitura rappresenta la distribuzione in classi diametriche delle particelle di suolo aventi dimensioni < 2 mm (terra fine).

Per la determinazione dello scheletro e delle frazioni sabbiose, dal campione tal quale, previa omogeneizzazione a mano sono stati prelevati circa 300 grammi di campione e posti su un contenitore pulito ed asciutto. Al campione è stata aggiunta acqua deionizzata e sale da cucina. Dopo circa 15 minuti il contenuto è stato fatto passare attraverso una pila di setacci così composta:

- 1° setaccio con maglie a 2 mm in modo da separare lo scheletro (SCH) dalla terra fine;
- 2° setaccio con maglie a 1 mm in modo da ottenere la sabbia molto grossa (SMG);
- 3° setaccio con maglie a 0,5 mm in modo da ottenere la sabbia grossa (SG);
- 4° setaccio con maglie a 0,2 mm in modo da ottenere la sabbia media (SM).

Il passaggio del materiale da un setaccio all'altro è stato favorito da un getto d'acqua e dall'eventuale azione disgregatrice esercitata dalla mano dell'operatore.¹²

Il materiale rimasto al di sopra di ciascun setaccio è stato raccolto e posto all'interno di piccoli contenitori e fatto asciugare in stufa a 106° per qualche tempo. Dopo il passaggio in stufa, il materiale minerale è stato pesato e la pesata registrata per le determinazioni successive.

Le frazioni più fini sono state determinate mediante il "metodo della pipetta di Robinson" (metodo II.5). Dieci grammi del campione setacciato a 2 mm vengono posti all'interno di un becher da 500 ml dove vengono aggiunti 50-60 ml di H₂O₂ al 6% al fine di eliminare la sostanza organica presente al suo interno: si aggiunge delicatamente, facendola scorrere lungo le pareti la dose di H₂O₂, si copre il becher con un vetro da orologio e si lascia agire, a freddo, per una notte. Il giorno successivo il becher viene posto su piastra riscaldante e si procede all'eliminazione dell'acqua ossigenata. Se il terreno contiene molta sostanza organica, in seguito al raffreddamento, si aggiungono ulteriori 30 ml di H₂O₂ che verrà consumata facendola evaporare, riscaldando ancora una volta il becher: si procede così fino a quando non si osserva più la produzione di "schiuma" o fino a che il campione non "frigge" più ad aggiunte successive di H₂O₂. A questo punto il campione viene trasferito in un tubo da centrifuga da 500 ml e centrifugato al fine di eliminare il liquido limpido sovrastante (9000 giri per 15'). In seguito, sempre all'interno del tubo da centrifuga, si esegue la dispersione con l'aggiunta di 10 ml di NaOH 1 N¹³ e si porta il tutto a 100 ml con l'aggiunta di acqua deionizzata. Completata la dispersione, la sospensione viene fatta passare attraverso un setaccio con maglie da 0,2 mm adagiato su di un imbuto di vetro, sorretto da un'asta: la frazione di terra fine con dimensione > 2 mm rimarrà sul setaccio, mentre le parti più fini lo attraverseranno e saranno raccolte in un becher alto da 250 ml, su cui sono state segnate le altezze di 10, 5 e 2,5 cm. Il liquido all'interno del becher viene portato all'altezza di 10 cm ed agitato con un bacchetta di vetro; a questo punto, cronometro alla mano, viene preso il tempo di sedimentazione della sabbia, considerando la legge di Stokes e si annota la temperatura ambientale; quindi si trasferisce il surnatante nel

¹²Rispetto alla metodica ufficiale si è proceduto in tal modo in quanto il laboratorio non era dotato di agitatore meccanico.

¹³ Si è usata la soda in luogo dell'esametafosfato.

sedimentatore. Si ripete il passaggio del becher fino a quando la sospensione del surnatante risulta limpida, in modo tale da essere certi che la gran parte del limo (LIM) e dell'argilla (ARG) sono stati trasferiti nel sedimentatore. La sabbia fine rimasta all'interno del becher da 250 ml viene raccolta in un pesafiltro (preventivamente essiccato e pesato) in vetro che verrà posto in stufa a 106° C. Per differenza tra peso (4 cifre decimali) del pesafiltro pieno e peso del pesafiltro vuoto si ottiene il peso della sabbia fine contenuta in 10 g di suolo e con le adeguate proporzioni si riporta questo valore a 1000 g di terra fine.

Per la determinazione della frazione "limo+argilla", si porta a volume il sedimentatore (circa 600 ml), si chiude, si agita per qualche minuto, in modo da rendere la sospensione il più possibile omogenea e da essa si prelevano nell'arco di pochi minuti dall'interruzione dell'agitazione, 10 ml che vengono posti in un pesafiltro di vetro e quindi in stufa.

A questo punto occorre far sedimentare il limo all'interno del sedimentatore in modo da prelevare l'argilla e per differenza tra "limo+argilla" e "argilla", ottenere il limo. Ci si basa, anche in questo caso, sulla legge di Stokes, considerando un'altezza di prelievo di 20 cm e, a seconda della temperatura ambientale, si stabilisce il tempo d'attesa, come riportato in apposite tabelle standard.

pH in H₂O (pH)

La determinazione del pH è stata fatta attraverso misurazione potenziometrica immergendo l'elettrodo del pHmetro (modello Hanna Instrument HI 9321 Microprocessor) in una sospensione suolo-acqua 1:2,5. Dieci grammi del campione di suolo setacciato a 2 mm sono stati posti all'interno di un becher da 100 ml con l'aggiunta di 25 ml di acqua deionizzata; la sospensione è stata posta in agitazione per 2 ore e lasciata depositare per una notte, il giorno successivo è stata fatta la misura.

Sostanza organica (SOM) e carbonio organico (TOC)

La determinazione del contenuto in sostanza organica e in carbonio organico è stata eseguita attraverso il metodo di ossidazione per via umida "Walkley e Black" utilizzando campioni di suolo setacciato a 2 mm e passati in mortaio. Una quantità variabile di campione di suolo, (variabile in base al presunto contenuto di sostanza

organica 0,10-0,50 g di campione), è stato posto in una beuta da 500 ml cui sono stati aggiunti 10 ml di $K_2Cr_2O_7$ e 20 ml di H_2SO_4 concentrato. L'ossidazione della sostanza organica contenuta nel campione avviene ad opera del potassio bicromato in presenza di acido solforico concentrato, che determinando l'innalzamento della temperatura aumenta la velocità della reazione. Dopo un tempo di attesa di 30', la reazione di ossidazione è stata bloccata con l'aggiunta di 200 ml di acqua deionizzata e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito è stata determinata per titolazione volumetrica con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato $FeSO_4 \times 7 H_2O$, usando come indicatore acido fenilantranilico ¹⁴e osservando il viraggio dal colore iniziale rosso-bruno al verde smeraldo. A partire dal contenuto in sostanza organica è stato stimato indirettamente il contenuto in carbonio organico dividendo la concentrazione della sostanza organica risultante dalle analisi per un fattore di conversione pari a 1,724 (fattore di Van Bemmelen), il quale si basa sull'assunto che il carbonio rappresenti mediamente il 58% della composizione elementare della sostanza organica del suolo.

Azoto totale (N).

Il metodo (metodo XIV.3 del manuale MiPAF succitato) prevede la trasformazione dell'N organico in N ammoniacale in seguito all'attacco con acido solforico concentrato; l'N ammoniacale viene poi fissato su acido borico in seguito alla distillazione. A tal fine sono stati pesati da 2 a 5 g di campione vagliato a 2 mm i quali sono stati posti all'interno di tubi da mineralizzazione a cui sono stati aggiunti 7 ml di H_2SO_4 concentrato, 5 ml di H_2O_2 al 30% e una punta di spatolina di K_2SO_4 . La mineralizzazione procede per circa 40' e termina quando il campione di suolo è di colore bianco-giallastro. Il tubo si lascia raffreddare fino a 50-60 °C, dopodiché viene posto all'interno dello strumento Kjeldahl (modello Velp Scientifica UDK 140) per la distillazione: la durata della stessa è di 2 minuti e nella beuta da 250 ml, in automatico dallo stesso macchinario vengono aggiunti 50 ml di H_2O deionizzata, 25 ml di H_3BO_3 al 4% e 50 ml di NaOH al 32%. La soluzione di acido borico in cui è fissato l'N ammoniacale è titolata con HCl 0,2 N, utilizzando l'indicatore "Tasciro's" osservando il passaggio dal colore iniziale verde a rosso-mattone, viola.

¹⁴ Rispetto alla metodica ufficiale si è usato questo indicatore e non l'indicatore ox-red come previsto; l'uso dell'acido fenilantranilico ha permesso anche l'eliminazione dell'acido fosforico dalla metodologia.

Fosforo assimilabile (P).

Applicando il metodo MiPAF XV.3, a 2 g del campione vagliato a 2 mm sono stati aggiunti 0,5 g di carbone attivo e 40 ml di bicarbonato di sodio 0.5 M con pH 8: Il tutto è stato messo in agitazione per 30'. In seguito all'agitazione, il campione è stato centrifugato (3500-4000 giri) per 10' dopodiché 20 ml di surnatante è stato prelevato e filtrato in una nuova provetta. Sono state preparate delle ampolle col tappo in cui sono stati trasferiti 10 ml di campione e 1 ml di acido solforico per neutralizzare il bicarbonato. A questo punto è stata fatta la lettura allo spettrofotometro. Contemporaneamente si è preparata la prova in bianco, seguendo lo stesso procedimento ma escludendo il campione di suolo.

Carbonati totali (Carb).

Il metodo analitico (metodo MiPAF V.1) si basa sulla misura della quantità di CO₂ che si libera dalla decomposizione dei carbonati in seguito all'aggiunta di un acido forte al campione di suolo. Per la determinazione è stato utilizzato un calcimetro volumetrico in vetro borosilicato, modello "Dietrich-Fruhling", utilizzando acido cloridrico (HCl 1%). Il calcimetro è stato riempito con una soluzione di acqua deionizzata. L'analisi è stata eseguita utilizzando quantità di suolo variabili, comprese tra 1 e 0,5 g setacciato a 2 mm. La quantità di campione, esattamente pesata in bilancia analitica, è stata inserita in un contenitore insieme a una provetta contenete 10 ml della soluzione diluita di HCl. Tale contenitore è collegato al calcimetro mediante apposito tappo di chiusura. L'apparecchiatura è stata tarata eguagliando la pressione interna a quella esterna. Successivamente, inclinando il contenitore, l'acido è stato messo a contatto con il campione di suolo. Tale condizione determina lo sviluppo di CO₂ che fa abbassare il livello dell'acqua nel tubo graduato. Il completo sviluppo della CO₂ richiede indicativamente 1-3 minuti. Atteso tale tempo, eguagliata nuovamente la pressione interna a quella esterna, si è atteso qualche minuto fino alla stabilizzazione dei menischi di livello. Infine la CO₂ è stata misurata volumetricamente mediante lettura del livello.

Capacità di scambio cationico (CSC) e grado di saturazione basica (GSB).

Il principio di questo metodo (metodo XIII.2) si basa sulla saturazione del campione di suolo con bario in seguito a ripetuti trattamenti con una soluzione di bario cloruro a pH 8,2.

In un tubo da centrifuga con tappo da 50 ml vengono trasferiti 2 g campione di suolo vagliato a 2 mm (1 g per suoli argillosi) e si rileva il peso del tubo da centrifuga più quello del campione. A questo punto si aggiungono 25 ml di $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, si agita e si lascia riposare per una notte. L'indomani si centrifuga il tubo per circa 2' a 3000 giri, la soluzione limpida che si ottiene va filtrata e raccolta in un matraccio da 250 ml. Questo trattamento va ripetuto per altre 2 volte filtrando le soluzioni limpide sullo stesso matraccio. A questo punto il campione va lavato con 30 ml di H_2O deionizzata, centrifugato, e il liquido raccolto sempre nello stesso matraccio, che in seguito va portato a volume sempre con acqua distillata. Questa soluzione verrà utilizzata per la determinazione delle basi di scambio (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}). Il tubo da centrifuga col campione va nuovamente pesato, successivamente vanno aggiunti 25 ml della soluzione di magnesio solfato ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), si mette in agitatore per 30' e quindi si centrifuga. Dieci ml della soluzione limpida che si ottiene vanno posti in una beuta da 250 ml a cui vengono aggiunti 100 ml di H_2O deionizzata, 10 ml di soluzione tampone a pH 10 e una punta di spatola dell'indicatore si prepara inoltre un bianco a cui, rispetto all'elenco precedente, non sono presenti i 10 ml di soluzione limpida ma 10 ml della soluzione di solfato di magnesio.

Alla fine si titola con la soluzione di EDTA osservando il viraggio da rosa iniziale ad azzurro finale.

Frazionamento delle componenti organiche (TOC, TEC, FA, HA, NH).

E' stato seguito il metodo proposto da Ciavatta et al. (1990). A 10 g di suolo vagliato a 2 mm posti in un tubo da centrifuga da 500 ml, vengono aggiunti 50 ml di NaOH 0,1 M e 50 ml di $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1 M. Il tubo viene poi posto in agitazione per 2 ore a circa 160 oscillazioni al minuto e a temperatura ambiente. Al termine dell'agitazione viene centrifugato a 9000 giri per 30'. A questo punto il surnatante viene filtrato con pompa del vuoto e sistema millipore in modo da separare l'umina, che rimane all'interno del tubo, e il TEC (carbonio totale estratto) che invece viene raccolto nella

beuta del vuoto e trasferito successivamente in un contenitore di plastica asciutto e pulito. Venticinque ml del TEC vengono trasferiti in un tubo da centrifuga “falcon” da 50 ml e acidificati con poche gocce di H₂SO₄ al 50% fino a pH < 2 in modo da determinare la precipitazione degli acidi umici (HA). In seguito all’acidificazione il tubo va posto in centrifuga e per 20 minuti a 5000 giri: come conseguenza della centrifugazione sul fondo del tubo si osserveranno gli acidi umici, mentre il surnatante conterrà gli acidi fulvici (FA) e la componente non umificata (NH). Il surnatante viene fatto passare nella colonna di PVP che trattiene gli acidi fulvici mentre la componente non umificata attraversa la colonna e viene raccolta in un matraccio da 50 ml (matraccio che viene portato a volume con H₂SO₄ 0,002 M). In seguito al passaggio della componente non umificata, gli acidi fulvici vengono mobilizzati attraverso l’aggiunta nella stessa colonna di NaOH 0,5 M e raccolti in un matraccio da 25 ml. Gli acidi umici rimasti nel tubo, vengono mobilizzati con l’aggiunta di 25 ml di NaOH 0,5 M.

A questo punto si sono ottenute le 4 frazioni (TEC, NH, HA, FA) su cui viene fatta la determinazione del contenuto in carbonio organico col metodo “Walkey-Black” precedentemente descritto. I risultati saranno infine utilizzati anche per la determinazione dei seguenti parametri di umificazione:

- indice di umificazione: $HI = NH / (HA + HF)$;
- grado di umificazione: $DH = [100 \times (HA + HF) / TEC]$;
- tasso di umificazione: $RH = [100 \times (HA + HF) / TOC]$;
- livello totale di umificazione: $UH = \{100 \times [(HA+HF)+(TOC-TEC)] / TOC\}$.

4.4. Caratterizzazione dell'humus forestale.

L'humus è stato oggetto di studio specifico attraverso la descrizione e la caratterizzazione in campo, dove presente, secondo il metodo proposto dalla classificazione francese (R. P. AFES, 2008).

Tale classificazione parte dalla constatazione che la stratificazione degli orizzonti organici è tanto maggiore quanto maggiori sono i fattori che limitano l'azione della fauna e della flora del suolo deputata alla degradazione prima fisica e poi chimica della sostanza organica che cade al suolo: essa si accumula negli strati più superficiali del suolo come materia più o meno indecomposta.

In condizioni stazionali limitanti (stazioni fredde e a reazione acida), la degradazione della sostanza organica è ridotta o quasi assente e svolta prevalentemente ad opera dei funghi, meno efficienti rispetto alla fauna del suolo e ai batteri. Per questo si osservano un accumulo dei residui che cadono al suolo e una netta e precisa stratificazione degli orizzonti organici. In superficie si osserva un orizzonte costituito da lettiera (OL) caduta al suolo recentemente, o al massimo nella stagione precedente, ma comunque ancora riconoscibile ad occhio nudo nelle sue componenti. Sotto tale orizzonte se ne osserva uno (detto di frammentazione OF) in cui aumenta il grado di frammentazione, la quale può avvenire prevalentemente ad opera della fauna del suolo e dei funghi.

Infine, al di sotto dell'orizzonte OF si trova l'orizzonte OH (umico) che si caratterizza per un avanzato grado di umificazione (la componente umificata è superiore al 70% in volume), per i residui organici non più riconoscibili, per i colori scuri e per la presenza di coproliti animali.

In condizioni stazionali migliori, in cui l'azione di disgregazione e demolizione fisico-chimica della fauna e della componente microbica del suolo procede regolarmente, la scomparsa dei residui organici è più rapida. Quindi si osserva una minore stratificazione degli orizzonti organici, un più rapido turnover e la più intima mescolanza tra la componente organica e quella minerale nell'orizzonte minerale A, mescolanza prodotta prevalentemente dai lombrichi anecici.

L'applicazione della classificazione in campo ha richiesto le seguenti osservazioni:

- presenza/assenza degli orizzonti ologranici,
- misura dello spessore degli orizzonti ologranici,
- grado di frammentazione degli orizzonti ologranici,
- presenza e abbondanza di sostanza organica umificata,
- struttura dell'orizzonte minerale A.

Complessivamente sono state osservate e descritte 26 lettiere forestali di cui 7 nel sito Monte Ferru, 4 a Ugolio, 10 a Pixinamanna e 5 a Timidone.

Delle 26 lettiere descritte, 7 stanno sotto macchia mediterranea, 3 nelle aree ad evoluzione post-incendio, 2 in aree a forte pressione antropica, 5 in corrispondenza di pinete pure, 4 in pinete diradate e 5 sotto lecceta.

Inoltre, a completamento dello studio svolto sugli orizzonti organici, nei siti dove questi ultimi erano presenti e di potenza sufficiente, sono stati prelevati dei campioni indisturbati mediante cilindretto metallico per la stima della densità apparente (secondo il metodo spiegato in dettaglio più avanti), oltre ad un campione tal quale su cui, in laboratorio, è stato eseguito il frazionamento nelle componenti organiche, il contenuto in carbonio organico ed il contenuto in azoto secondo le metodologie descritte nel paragrafo 4.4.

4.5. Qualità biologica del suolo (QBS).

4.5.1. Il metodo QBS-ar.

La stima della qualità biologica dei suoli è stata effettuata secondo il metodo QBS-ar (Parisi, 2001; Gardi et al., 2002). Nel metodo QBS-ar a diversi gruppi di microartropodi è attribuito un diverso punteggio, che può variare da un minimo di 1, attribuito alle forme poco o nulla adattate alla vita edafica, ad un massimo di 20 per le forme con massimo adattamento. Questo valore è chiamato *indice ecomorfologico* (EMI) e può variare all'interno delle unità sistematiche. Il calcolo del QBS-ar avviene sommando gli EMI dei gruppi sistematici (figura 4.1).

Group	Score
Protura	20
Diplura	20
Collembola	1-20
Microcoryphia	10
Zygentomata	10
Dermaptera	1
Orthoptera	1-20
Embioptera	10
Blattaria	5
Psocoptera	1
Hemiptera	1-10
Thysanoptera	1
Coleoptera	1-20
Hymenoptera	1-5
Diptera (larvae)	10
Other holometabolous insects (larvae)	10
(adults)	1
Acari	20
Araneae	1-5
Opiliones	10
Palpigradi	20
Pseudoscorpiones	20
Isopoda	10
Chilopoda	10-20
Diplopoda	10-20
Paupoda	20
Symphyla	20

Figura 4.1 .Punteggi EMI per ciascun gruppo tassonomico.

Il metodo è articolato nelle seguenti fasi:

1. *Campionamento*: deve essere raccolto un campione di suolo costituito da un cubo di 10 cm di lato prelevato nel primo strato di suolo, indipendentemente dall'orientazione del profilo. La prova va ripetuta per tre repliche, in modo da prelevare 3 cubi di suolo per ciascuna stazione (omogenea per copertura vegetale, pendenza, origine geologica, quota, esposizione e caratteristiche del suolo. Questo serve per far fronte alla naturale anisotropia nella distribuzione dei microartropodi nel suolo. Alcuni accorgimenti consistono nell'asportazione della lettiera se abbondante,

nell'evitare di campionare in periodi particolarmente asciutti o subito dopo un evento piovoso.

2. *Estrazione dei microartropodi*: i campioni di suolo vanno portati in laboratorio protetti da fonti di calore e posti in estrazione entro 48 ore dal campionamento. Per l'estrazione è utilizzato un *Berlese-Tullgren* con setaccio a maglie da 2 mm. Il campione di suolo è adagiato delicatamente sul setaccio e questo sopra l'imbuto. Sotto l'imbuto è posto un piccolo becker contenente il liquido conservante (alcool etilico). La durata dell'estrazione è proporzionata al grado di umidità del campione, di norma a partire dal settimo giorno il liquido conservante va sostituito per verificare, ogni 24 ore, se vi siano ulteriori cadute.

3. *Smistamento dei campioni raccolti*: gli animali estratti vanno separati dal detrito di suolo che potrebbe cadere dal vaglio. Per fare ciò è necessario filtrare la *selettura* (liquido conservante e campione con detrito) utilizzando un filtro a maglia molto fitta. Il materiale filtrato va poi travasato in una piccola beuta. Nella beuta si aggiunge abbondante soluzione soprassatura di sale (normalmente NaCl), e si lascia depositare per una decina di minuti. Gli organismi verranno in superficie, e in uno o più passaggi sarà possibile filtrarli lasciando il deposito di suolo sul fondo della beuta. Al termine di ogni filtrazione il materiale che rimane sul filtro (microartropodi) andrà asportato con un leggero getto d'acqua corrente o preferibilmente con alcool etilico, quest'ultimo consigliabile nel caso in cui l'identificazione non avvenga immediatamente dopo lo smistamento, in modo che possa ulteriormente fungere da liquido conservante.

4. *Determinazione delle forme biologiche*: i microartropodi estratti vanno classificati secondo le macro unità tassonomiche presenti in Tabella 1, tramite osservazione allo stereomicroscopio a basso ingrandimento (20-40 ingrandimenti sono sufficienti). Quindi, a seconda del loro adattamento alla vita nel suolo verrà attribuito un punteggio. L'*indice ecomorfologico EMI* varia da 1 per le forme poco adatte alla vita al suolo e 20 per le forme propriamente adatte alla vita nel suolo (forme euedafiche), con punteggi intermedi per le forme che presentano adattamento intermedio (tabella 1). Delle tre repliche sarà preso in considerazione il valore maggiore ottenuto all'interno di ciascun gruppo tassonomico, per eliminare eventuali distorsioni nella comunità dovute a condizioni microstazionali non chiaramente evidenti.

5. *Calcolo dell'Indice QBS-ar*: dal confronto degli EMI di ogni gruppo ecofisiologico e di ogni replica, si determina il QBS massimale, il cui valore, sommato aritmeticamente per tutti i gruppi ecofisiologici, permette di individuare, per ogni sito, la classe di qualità biologica del suolo (D'Avino, 2002).

Come mostrato in figura 4.2 il punteggio del QBS-ar massimale si converte in classe di qualità biologica del suolo crescente da 0 a 6. Le prime due classi si caratterizzano per l'assenza di microartropodi eudafici; con punteggio EMI pari a 20, possono però essere presenti gli acari. Le classi successive si caratterizzano per la presenza di almeno due gruppi eudafici e per la presenza/assenza dei proturi. Nel caso siano assenti sia gli eudafici sia i collemboli onychiuridae (collemboli di profondità senza furca) e il punteggio QBS-ar è ≤ 50 , si attribuisce la classe 2, mentre se gli onychiuridae sono presenti ed il punteggio QBS-ar ≥ 50 , si attribuisce la classe 3. Nel caso in cui i proturi siano presenti, la differenza tra classi è attribuita solo dal punteggio QBS-ar: classe 4 per punteggi inferiori a 100, classe 5 per punteggi compresi tra 100 e 200 e classe 6 per punteggi ≥ 200 .

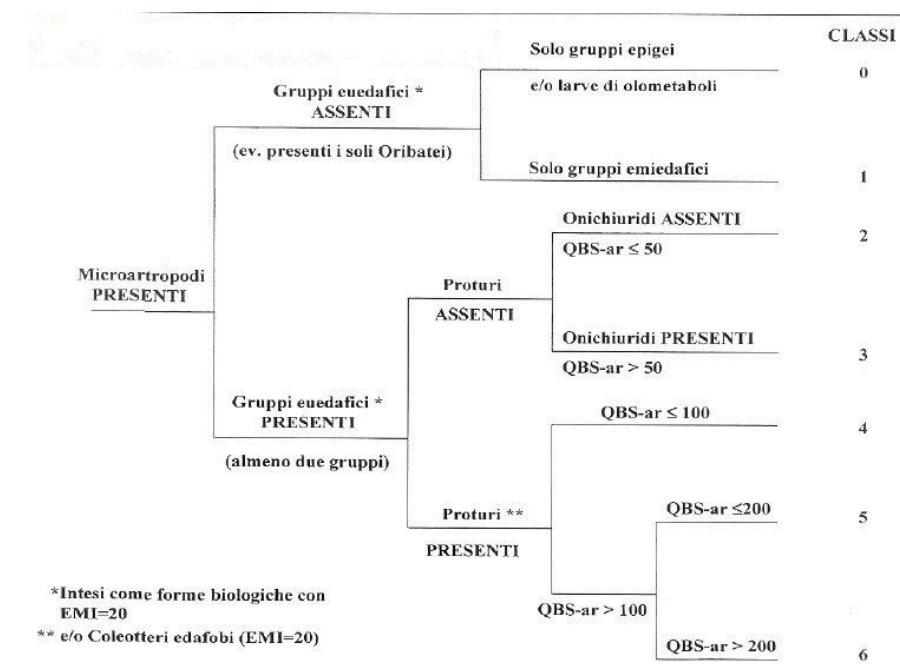


Figura 4.2. *Trasformazione dei valori QBS-ar in classi di qualità del suolo (da Parisi, 2001).*

4.5.2. L'applicazione del metodo.

In ciascuna area di studio, in un numero selezionato di siti, si è proceduto al prelievo di tre volumi approssimativamente cubici di suolo, di 10 cm di lato, posti ai vertici di un ipotetico triangolo di 10 m di lato, all'interno di aree ritenute omogenee per quanto riguarda copertura vegetale e caratteristiche stazionali.

Il prelievo è stato effettuato esplorando i primi 10 cm di suolo ed escludendo eventuale lettiera e specie erbacee presenti sulla superficie del suolo.

I campioni prelevati sono stati posti in estrattori di tipo Berlese-Tullgren, predisposti in un laboratorio di estrazione appositamente allestito dallo scrivente presso i locali della sede dell'Università di Sassari "Sa Terra Mala" a Nuoro, con 3 linee di estrazione costituite ciascuna da 6 estrattori. Il circuito elettrico necessario è ospitato all'interno di un tubo da un cm di diametro; lungo il tubo, ogni 30 cm circa è inserito un portalampana in cui è alloggiata la lampadina ad incandescenza da 60 W.

Il tubo elettrico è sorretto mediante aste da laboratorio dotate di morsetti, con cui è stato possibile regolarne l'altezza in modo tale che la distanza tra setaccio e lampadina fosse sempre di 25-30 cm.

L'estrattore è costituito da un imbuto in plastica da 25 cm di diametro, sorretto da un treppiede da laboratorio. Al di sopra dell'imbuto è stato posto un setaccio di uguale diametro con maglie da 2 mm.

Il conteggio dei microartropodi è stato fatto versando su di un vetrino da orologio piccoli volumi del liquido conservante contenente i microartropodi. Con l'ausilio del microscopio binoculare a 20-40 ingrandimenti si è effettuato il conteggio degli individui appartenenti a ciascun gruppo.

Nel corso della ricerca sono stati indagati 29 siti sperimentali nell'arco di 4 stagioni differenti.

In primavera 2010 e autunno 2010 sono stati indagati 9 siti a Monte Ferru, (3 leccete, 3 macchie, e 2 aree a pressione antropica ed un'area ad evoluzione post-incendio).

In primavera 2011 sono stati analizzati 4 siti a Ugolio (una lecceta, 2 pinete diradate ed una pineta pura) 4 a Pixinamanna (un'area a forte pressione antropica, una

macchia, una pineta pura ed una diradata) e 6 a Timidone (2 macchie, una lecceta e 3 pinete).

In primavera 2012 6 siti a Pixinamanna (un'area a forte pressione antropica, una macchia mediterranea, una pineta pura, una diradata e 2 aree ad evoluzione post-incendio).

In totale circa 120 campioni sono stati raccolti e analizzati.

	Monte Ferru 2010 e 2011	Ugolio 2011	Timidone 2012	Pixinamanna 2011 e 2012	Tot.
MACCHIA	3		2	2	7
LECCETA	3	1	1		5
PINETA		1	3	2	6
PINETA DIRADATA		2		2	4
AREE A FORTE PRESSIONE ANTROPICA	2 (1 incolto, 1 vigneto)			2 (pascoli arbustati)	4
AREE IN EVOLUZION E POST INCENDIO	1			2	3

Ta. 4.4. *Riepilogo siti, unità vegetazionali, e anno di prelievo relativo ai campionamenti effettuati col metodo QBS-ar.*

I campioni prelevati dal sito Piximanna nella stagione 2012 sono stati soggetti allo studio particolareggiato dei gruppi ecofisiologici presenti. L'analisi è stata svolta attraverso il conteggio di tutti gli individui presenti ed ha permesso la stima della ricchezza in specie e la determinazione di due indici ecologici:

- l'indice di diversità di Shannon-Wiener (H');
- indice di equiripartizione (evenness E').

Il primo (Shannon, 1948) è un'indice di biodiversità all'interno di una biocenosi, gli ipotetici valori vanno da 0 nel caso di una sola specie presente fino ad un valore massimo rappresentato dal logaritmo naturale del numero di specie presenti. L'indice si calcola con la seguente formula:

$$H = -\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \quad p_i = n_i/N$$

dove:

- s: numero di specie nella cenosi;
- p_i : rapporto tra il numero di individui della specie i-esima ed il numero totale di individui.

L'evenness o indice di equiripartizione può assumere valori compresi tra 0 e 1 e si avvicina all'unità nel caso di specie ugualmente rappresentate; si calcola con la seguente formula:

$$E = H/H_{\max}$$

4.6. *Landscape Function Analysis (LFA).*

Per il sito di Pula i dati relativi agli indicatori chimici, fisici, biologici, sono stati confrontati con le informazioni ecologiche derivanti dall'applicazione del metodo LFA.

I valori degli indici LFA (NC e RI; spiegati di seguito) ottenuti dal progetto Practice in corrispondenza dei dieci siti di campionamento selezionati per la presente ricerca sono stati acquisiti ed elaborati.

La Landscape Function Analysis (LFA) nasce in Australia come metodo di monitoraggio dei livelli di funzionalità nei sistemi pastorali estensivi (Tongway e Hindley, 2004). Il metodo analizza l'ecosistema in ragione dei processi che implicano il trasporto, l'utilizzo e la trasformazione delle risorse. Tali processi si esplicano in relazione al tipo di pattern osservabile lungo la direzione principale di scorrimento superficiale (run off) frammentata in una sequenza dinamica di superfici percolanti e superfici di accumulo (patch/inter-patch). La riduzione in dimensioni, numero ed efficacia funzionale delle patch fertili potrebbe indicare una riduzione della capacità di controllare le perdite di risorse da parte del sistema.

A tale riguardo la prima fase dell'analisi (*Characterising Landscape Organisation*) mira ad identificare i principali tipi di patch/inter-patch ritenuti funzionali nei processi di trasporto e accumulo lungo transetti lineari lunghi indicativamente 50 metri e orientati secondo la linea di massima pendenza.

Dopo aver effettuato le misurazioni previste è possibile elaborare i seguenti indici:

- landscape Organisation Index (LOI) – Proporzione della lunghezza totale delle patch rispetto alla lunghezza del transetto;
- patch Area Index (PAI) - Proporzione della superficie totale delle patch rispetto ad un'area massima considerata pari alla lunghezza del transetto per 10 metri;
- average Inter-patch Length (AIL) - Lunghezza media dell'inter-patch;

La fase successiva (*Soil Surface Assessment*) consiste nello studio delle caratteristiche della superficie del suolo.

In ciascuna delle patch e inter-patch presenti in ogni transetto si individuano aree di controllo di ampiezza fissa (quadrati di 50 x 50 cm) entro le quali sono analizzati e misurati i seguenti indicatori semi-quantitativi:

- piante perenni: percentuale della copertura offerta da alberi, arbusti ed erbacee perenni.
- lettiera: copertura percentuale, origine e grado di incorporazione della lettiera rispetto allo strato minerale;
- biocrust cover: percentuale di superficie con presenza di muschi e licheni;
- microtopografia: presenza di micro-depressioni e loro profondità;
- compattazione: resistenza alla penetrazione nel suolo testata con un corpo esterno di caratteristiche note;
- slake test: tendenza alla disaggregazione delle particelle di suolo superficiale immerse in acqua;
- tessitura: distribuzione delle particelle del suolo in classi granulometriche semplificate.

Dai dati rilevati è possibile determinare due indici riferiti a ciascun transetto:

- infiltration/Run off (RI). Evidenzia la capacità di ritenzione idrica del suolo. Valori crescenti indicano una maggior disponibilità d'acqua direttamente utilizzabile dalle piante.
- nutrient Cycling (NC). Riflette l'entità dei processi di accumulo e decomposizione della sostanza organica nel suolo. Valori crescenti indicano suoli più efficienti in termini di assorbimento e disponibilità di elementi nutritivi.

Lungo gli stessi transetti sono stati determinati due indici ecologici relativi alle piante vascolari, la richness e l'indice di Simpson (1949).

La prima esprime la ricchezza in termini di numero di specie per cui è maggiore nelle situazioni di elevata ricchezza specifica, mentre il secondo è un indice che varia da 0 a 1 ed esprime la probabilità che due individui scelti a caso dalla popolazione appartengano a specie differenti: maggiore è il valore maggiore è la biodiversità della popolazione indagata. La richness si determina col semplice conteggio delle specie presenti, il secondo lo si ottiene dalla seguente formula:

$$D = \sum p_i^2$$

dove p_i^2 è la proporzione della categoria i -esima nella comunità.

4.7. Analisi statistica.

Per ciascuna variabile rilevata sono stati calcolati i valori medi e le deviazioni standard raggruppati per sito e per unità gestionale. In considerazione dell'esiguo numero di campioni appartenenti a ciascun gruppo, e tenendo conto dell'eterogeneità ambientale dei siti, non è stata eseguita la significatività della differenza tra le medie non è stata testata statisticamente.

I dati relativi al sito Pixinamanna sono stati elaborati separatamente rispetto ai dati degli altri siti in studio. Questo perché i dati delle variabili pedologiche si riferiscono in questo caso ai primi 10 cm di suolo, indipendentemente dall'orizzonte considerato. Inoltre nello stesso sito erano disponibili parametri, sia per il suolo che per la vegetazione, che non erano disponibili per gli altri siti.

Su entrambi i dataset così definiti sono state svolte due analisi:

- analisi di correlazione, eseguita considerando tutte le proprietà fisico-chimiche del suolo, l'indice QBS, gli indici LFA ove disponibili
- analisi delle componenti principali (PCA).

Quest'ultima è stata utilizzata per selezionare le variabili che consentono di meglio discriminare tra le diverse classi vegetazionali considerate, e definire in questo modo un "minimum dataset", secondo l'approccio seguito da Marzaioli et al. (2011).

A tale fine, ragionando sulle correlazioni esistenti tra le variabili, si è proceduto a ripetere la PCA eliminando una o più variabili per volta, fino ad identificare il data set che offriva il migliore raggruppamento dei dati. Quest'ultimo inteso come il raggruppamento, nel piano fattoriale, dei casi appartenenti alla stessa classe.

Il minimum dataset così definito è stato utilizzato per la creazione dell'indice di qualità del suolo, come descritto nella sezione successiva.

Le elaborazioni sono state eseguite mediante il software STATISTICA.

4.8. *Indice di qualità del suolo.*

Ci si è proposti di definire un indice “olistico” per la valutazione della qualità dei suoli studiati, in grado di consentire l’integrazione delle informazioni disponibili, di natura sia pedologica che ecologica. Un indice in grado di tenere conto di molteplici variabili, a partire dai dati analitici di laboratorio, per arrivare a quelli derivabili dall’analisi della comunità edafica, degli humus e della vegetazione.

Una volta effettuata la selezione delle variabili mediante la PCA e l’analisi delle correlazioni statistiche, si è proceduto alla normalizzazione dei dati secondo l’approccio *more is better e less is better* previsto dal metodo *linear scoring* (Liebig, 2001).

Nel primo caso (meno ce n’è meglio è; utilizzato per variabili “sfavorevoli”, quali lo scheletro) il valore minimo è stato diviso per il valore della variabile assunto in ogni campione e al valore minimo è stato associato il punteggio massimo.

Nel secondo caso (più ce n’è meglio è; utilizzato per variabili “favorevoli”, quali il carbonio organico) il valore assunto dalla variabile viene diviso per il valore osservato che di conseguenza assume il punteggio massimo.

Possono presentarsi dei casi in cui per determinate variabili l’effetto è positivo fino ad una certa soglia, mentre superata tale soglia può diventare negativo, per cui occorre prestare attenzione a tali casi. È il caso della reazione del suolo che è da considerare positiva per valori crescenti fino a pH 7 mentre superata tale soglia è da considerare negativamente correlato con la qualità del suolo.

Una volta normalizzati i dati è stato calcolando l’indice di qualità secondo la formula:

$$SQ \text{ index} = (\sum Si)/n$$

in cui Si è la sommatoria di ciascun valore normalizzato mentre n è il numero delle variabili normalizzate.

5. Risultati.

Di seguito sono riportati, suddivisi in sottocapitoli distinti, i risultati ottenuti mediante l'analisi chimico-fisiche, il metodo del QBS-ar, osservazione in campo degli humus forestali e la Landscape Function Analysis.

5.1 Analisi chimico-fisiche.

I dati presentati sono relativi alle analisi svolte su 20 campioni di suolo provenienti da orizzonti minerali A studiati nei siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone (tabella 5.1). Riguardo al sito Pixinamanna, come spiegato nel capitolo 4.2, i valori riportati nella medesima tabella sono mediati sui primi 10 cm di suolo e lungo i transetti ai quali appartengono. Comprendono dunque l'orizzonte minerale A e quando presente, anche l'orizzonte organico O.

Nella tabella 5.1 non sono riportati i valori relativi ai carbonati in quanto questi ultimi erano sempre assenti nei siti Monte Ferru, Ugolio e Pixinamanna e presenti solo in alcuni profili nel sito Timidone, in cui però erano sempre inferiori all'1%.

Per il sito Pixinamanna il protocollo di analisi del progetto PRACTICE non prevedeva il frazionamento della sostanza organica nelle sue componenti fondamentali, motivo per cui i valori non sono presenti in tabella.

I valori di densità apparente presentati in tabella sono quelli stimati con la pedofunzione di Hollis (1989), in quanto i campioni prelevati per la determinazione analitica, secondo il metodo presentato nel capitolo relativo ai materiali e metodi, non erano disponibili in tutti i punti di campionamento. Si è preferito riportare i valori ottenuti mediante pedofunzione ed utilizzare questi nella stima dello stock di carbonio organico, in modo da avere dei dati uniformi in tutti i siti.

Dove gli orizzonti ologranici erano presenti e campionabili sono stati soggetti ad alcune specifiche analisi chimiche (contenuto in carbonio organico, contenuto in azoto, frazionamento della sostanza organica) che si è ritenuto appropriato presentare nel capitolo 5.2 relativo agli humus forestali.

SITO	CLASSE	ID	CODICE	QUO	ESP	PEN	SPES	SCH	SAB	LIM	ARG	CT	d.a.	pH	CSC	Ca	Na	K	Mg	GSB
				mslm		%	cm	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg		g/cm ³		meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	%
CARDEDÙ	Ma	1	MaMF1	625	NE	33	15	448	607	339	54	FS	1,393	6,6	14,4	7,17	1,69	0,32	1,49	74
	Ma	2	MaMF2	587	NE	31	15	453	475	446	79	F	1,134	6,2	28,4	13,41	1,30	1,12	2,52	65
	Ma	3	MaMF3	573	NE	31	10	470	551	384	65	FS	1,149	6,1	32,2	15,59	1,90	0,58	2,67	64
	Ma	4	MaMF4	601	NE	29	6	725	681	179	140	FS	1,169	6,7	31,9	15,59	1,30	0,74	2,52	63
	Le	5	LeMF1	700	NE	50	20	629	610	199	191	FS	1,240	5,9	26,0	10,29	1,47	0,74	2,47	58
	Le	6	LeMF2	680	NE	50	12	584	688	179	133	FS	1,262	6,9	18,0	11,85	1,79	0,70	2,16	92
	Le	7	LeMF3	635	NE	36	10	444	616	277	107	FS	1,275	6,4	21,8	9,04	1,69	0,98	2,26	64
	Pi	8	PiMF1	548	S	18	16	487	627	311	62	FS	1,173	6,3	30,2	10,92	0,82	1,76	2,88	54
	Pa	9	PaMF1	550	S	18	10	404	444	476	80	F	1,226	6,0	22,4	7,80	0,98	0,64	1,75	50
	Pa	10	PaMF2	550	S	20	20	187	652	282	66	FS	1,556	6,3	15,1	4,68	0,92	0,64	1,65	52
NUORO	Le	11	LeU1	560	N	60	10	300	619	222	159	FS	1,201	5,6	20,5	6,23	0,97	0,12	3,08	58
	P	12	PUI	600	SW	35	15	300	746	193	61	F	1,340	5,9	18,6	4,36	1,84	0,44	2,05	47
	Pd	13	PdU1	621	NW	50	15	510	602	164	234	F	1,216	5,9	25,9	3,58	1,35	0,03	1,02	23
	Pd	14	PdU2	535	WN	50	10	300	754	116	130	FS	1,309	5,4	15,4	1,87	1,41	0,12	1,28	30
	Ma	15	MaT1	340	W	20	8	76	478	173	349	FSA	0,944	7,0	24,4	19,96	0,27	1,28	2,83	100
	Ma	16	MaT2	352	NW	30	8	263	350	462	188	F	0,794	7,4	38,2	29,32	0,43	1,89	6,43	100
	Le	17	LeT1	115	W	31	10	9	194	227	579	A	1,024	7,7	21,7	12,79	0,65	2,33	5,92	100
	P	18	PT1	225	W	27	12	14	204	331	465	A	0,931	7,8	18,2	8,42	1,41	1,89	6,43	100
	P	19	PT2	130	NW	16	8	18	424	256	320	FA	1,036	7,7	18,7	15,13	0,22	0,51	2,83	100
	P	20	PT3	85	NW	9	25	142	450	330	220	A	1,125	7,7	24,1	6,39	0,11	0,32	17,2	100
PULA	Ma	21	MaP1	363	SE	-	10	307	745	175	80	FS	1,086	6,4	18,3	17,73	0,37	0,35	2,72	99
	Ma	22	MaP2	301	SE	55	10	401	764	161	75	SF	1,308	6,8	9,3	6,61	0,28	0,33	1,62	95
	P	23	PP1	281	SE	44	10	486	887	84	29	S	1,083	6,2	8,8	6,70	0,14	0,27	1,61	99
	P	24	PP2	229	SW	56	10	540	756	173	71	FS	1,167	6,5	6,5	3,84	0,11	0,33	0,75	77
	Pd	25	PdP1	118	SW	40	10	539	825	125	50	SF	1,342	6,1	14,3	7,76	0,37	0,45	2,36	76
	Pd	26	PdP2	-	SE	-	10	308	735	207	58	FS	1,194	6,8	7,8	3,73	0,15	0,29	1,33	70
	Pi	27	PiP1	214	SE	52	10	286	804	150	46	SF	1,344	6,6	13,9	4,29	0,13	0,33	0,75	40
	Pi	28	PiP2	210	SE	37	10	373	804	137	59	SF	1,370	6,5	9,1	2,38	0,08	0,20	0,50	35
	Pa	29	PaP1	195	SE	42	10	225	840	117	43	SF	1,236	6,2	6,9	4,67	0,24	0,44	1,06	93
	Pa	30	PaP2	139	SE	45	10	306	820	127	53	SF	1,181	6,5	9,1	4,69	0,21	0,40	1,61	76

SITO	CLASSE	ID	CODICE	TOC	N	C/N	P	TEC	HA	FA	NH	HI	HD	HR	HU	STOCK C
				g/Kg	g/Kg		mg/Kg	%	%	%	%	%	%	%	%	t/ha
CARDEDU	Ma	1	MaMF1	17	0,7	24	6	0,52	0,24	0,17	0,10	0,2	80	24	94	42
	Ma	7	MaMF2	43	1,5	29	14	1,44	0,77	0,28	0,21	0,2	73	24	91	70
	Ma	6	MaMF3	42	1,8	23	14	1,7	1,11	0,25	0,27	0,2	81	33	92	64
	Ma	5	MaMF4	37	1,6	23	24	1,51	0,82	0,36	0,28	0,2	79	32	91	70
	Le	2	LeMF1	27	1,3	24	11	1,13	0,52	0,39	0,21	0,2	79	33	91	46
	Le	3	LeMF2	26	1,1	24	18	0,81	0,35	0,14	0,17	0,4	60	19	87	44
	Le	4	LeMF3	25	1,2	21	12	0,91	0,33	0,31	0,21	0,3	71	26	90	45
	Pi	8	PiMF1	39	2,4	16	35	1,9	1,07	0,17	0,28	0,2	65	32	83	17
	Pa	9	PaMF1	30	2,0	15	87	1,58	0,93	0,25	0,28	0,2	74	39	87	16
	Pa	10	PaMF2	9	0,7	13	24	0,54	0,24	0,14	0,14	0,4	70	42	82	10
NUORO	Le	11	LeU1	32	4,1	8	13	1,48	0,69	0,38	0,38	0,4	73	34	88	31
	P	12	PU1	21	2,6	8	4	1,59	0,74	0,59	0,24	0,2	84	63	88	26
	Pd	13	PdU1	29	3,9	7	6	2,01	1,09	0,45	0,35	0,2	77	53	84	30
	Pd	14	PdU2	22	2,3	10	20	1,26	0,56	0,52	0,14	0,1	86	49	92	29
	Ma	15	MaT1	77	2,2	35	nra1	2,49	1,48	0,63	0,34	0,2	85	27	95	91
	Ma	16	MaT2	141	4,3	33	nra1	4,08	2,04	0,40	0,41	0,2	60	17	88	89
ALGHERO	Le	17	LeT1	49	3,3	15	nra1	3,66	2,83	0,31	0,17	0,1	86	64	89	67
	P	18	PT1	72	2,7	27	nra1	2,20	1,54	0,24	0,13	0,1	81	25	94	58
	P	19	PT2	54	1,9	28	nra1	1,59	1,21	0,21	0,14	0,1	89	26	97	68
	P	20	PT3	40	1,8	22	nra1	1,52	1,00	0,26	0,24	0,2	83	31	94	39
	Ma	21	MaP1	37	1,9	19	5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	17
	Ma	22	MaP2	28	1,3	15	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	22
	P	23	PP1	30	0,7	44	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	17
	P	24	PP2	27	1,1	25	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	15
	Pd	25	PdP1	12	0,6	21	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	8
	Pd	26	PdP2	24	0,8	30	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	20
PULIA	Pi	27	PiP1	12	0,6	21	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	Pi	28	PiP2	11	0,6	19	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	Pa	29	PaP1	18	0,9	21	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	17
	Pa	30	PaP2	24	1,2	19	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	19

¹nra=non rilevabile analiticamente.

Tabella 5.1. *Dati stazionali e analitici relativi ai siti Monte Ferru, Timidone, Ugolio e Pixinamanna.*

I suoli maggiormente rappresentati appartengono ai domini dei franco sabbiosi (in particolare nei siti Monte Ferru ed Ugolio) o sabbioso-franchi e sabbiosi (specialmente nel sito Pixinamanna). Solo nel sito Timidone i suoli hanno carattere spiccatamente argilloso.

Nel medesimo sito sono presenti i suoli a minore contenuto in scheletro (fino a meno del 1% in LeT1 che è anche il più argilloso tra tutti) e a maggior ricchezza in componenti fini, limo e argilla, il che conferisce questi suoli una minore densità apparente (mediamente intorno a 1,00) rispetto agli altri suoli più sabbiosi.

I valori più bassi di pH si riscontrano nel sito Ugolio (sempre compreso tra 5,4 e 5,9), mentre i più alti nel sito Timidone (valori compresi tra 7,0 e 7,7).

I contenuti maggiori in carbonio organico e di riflesso in sostanza organica, si ritrovano nel sito Timidone, con valori medi di TOC sempre superiori a 4%, rispetto agli altri siti in cui i valori sono inferiori a tale soglia. Il maggior contenuto in carbonio organico si riflette anche nel maggior stock di carbonio (compreso tra 39 e 91 t/ha nei primi 10 cm) e nella presenza di spessi orizzonti organici, come descritto nella sezione 5.2 riguardante gli humus forestali. La presenza di abbondante argilla favorisce lo sviluppo di aggregati stabili con la sostanza organica proteggendola dalla mineralizzazione. Ciò è testimoniato dai bassi valori dell'indice di umificazione HI (per Timidone varia da 0,1 a 0,2) che invece per gli altri siti arriva a 0,4 (come nel caso di LeMF2, PaMF2 e LeU1), indicando la prevalenza dei processi di mineralizzazione rispetto a quelli dell'umificazione.

Anche gli alti valori del livello totale di umificazione (HU) che assume valori compresi tra 86 e 97% a Timidone e valori più bassi nei siti Monte Ferru (82-94%) e Ugolio (88-92%) confermano la tendenza all'umificazione maggiore nel primo sito rispetto ai secondi.

La prevalenza dei processi di umificazione rispetto a quelli di mineralizzazione del sito Timidone è confermata anche dagli alti valori di C/N (da 15 a 35) rispetto ai siti Monte Ferru (da 13 a 29) e Ugolio (da 7 a 10), siti in cui sono minori i valori del livello totale di umificazione.

Il DH è un parametro proporzionale all'umificazione per cui rispecchia le informazioni già date dall' HI e dall'HU: è maggiore nel sito Timidone (valori compresi tra 60 e 89%) rispetto ai siti Monte Ferru (65-81%) e Ugolio (73-86%).

Analogamente, Sidari et al. (2005) hanno trovato, per suoli forestali misti di faggio e pino laricio sull'altipiano della Sila valori di HI variabili tra 0,2 e 0,3 e valori di DH tra l'80 e l'84% e indicano per i suoli studiati la prevalenza dei processi di umificazione rispetto alla mineralizzazione. Nello stesso studio gli autori hanno trovato HI pari a 0,6 e 0,8 e DH tra 53 e 63% per pascoli e prato-pascolo e valori di HI pari a 0,7 e 0,8 e DH 54-60% per suoli ad uso agricolo.

Il C/N è particolarmente basso nel sito Ugolio (tra 7 e 10), a causa dei valori elevati di N totale (tra 2,3 e 4,1), mentre negli altri siti è sempre molto maggiore (35 nel sito Timidone) ed è sempre maggiore nelle unità gestionali a macchia mediterranea, sia a Timidone (35 e 33) sia a Monte Ferru (24, 29, 23, 23), verosimilmente a dimostrazione della difficoltà della degradazione di alcune specie della macchia mediterranea povere in elementi minerali e particolarmente recalcitranti (Read e Mitchell, 1983).

Il C/N è intermedio (22-27) nelle pinete del sito Timidone e nelle leccete, sia a Monte Ferru (21, 24, 24), sia Timidone (15). I valori più bassi in assoluto (escludendo il sito Ugolio), si riscontrano nelle aree a pressione antropica nel sito Monte ferru (da 13 a 26).

Nel sito Pixinamma i valori di C/N, a parità di unità gestionali, sono tendenzialmente più bassi rispetto agli altri siti, mentre sono più alti quelli delle pinete, sia le pure, sia quelle diradate (44, 25 e 21, 30 rispettivamente).

Il contenuto in P è molto basso a Pula i cui valori sono compresi tra 0,7 e 6,4. Il valore più alto è stato riscontrato in corrispondenza di un pascolo (PaP2) probabilmente causato dalle deiezioni degli animali al pascolo.

Nel sito Monte Ferru i valori sono compresi tra 6 e 87 con valori tendenzialmente più frequenti intorno a 20 mg/kg. Il valore 87 è stato riscontrato

nell'unità gestionale a forte impatto antropico, in particolare si tratta di un pascolo, ed è dovuto agli apporti di fertilizzanti inorganici.

La CSC ha valori generalmente bassi nel sito Pixinammana (valore minimo 2,38, massimo 17,73) in relazione allo scarso contenuto in argilla e SOM, e ha valori più alti a Timidone per motivi opposti (valore minimo 6,39, valore massimo 19,96). Negli altri siti i valori sono intermedi e variano da 15,1 (PaMF2) e 32,2 (MaMF2).

La GSB è sempre 100% nei suoli su substrati carbonatici nel sito Timidone, mentre gli altri siti presentano valori inferiori.

Lo stock di carbonio è maggiore nel sito Timidone rispetto agli altri siti a conferma delle considerazioni fatte sul ruolo del TOC, del contenuto in argilla e dello spessore degli orizzonti ologranici nel determinare la capacità di stoccaggio del carbonio nei suoli forestali.

In tabella 5.2 sono riportati i valori medi di alcune variabili pedologiche suddivise per unità gestionali.

Dalla lettura della tabella è possibile notare la maggiore densità apparente per i suoli delle aree a forte pressione antropica (mediamente 1,4 rispetto al valore della macchia che è $< 1,1$) dovuta alla compattazione causata dal ripetuto passaggio delle macchine operatrici e dal minor contenuto in SOM.

Il minor contenuto in sostanza organica, (TOC < 20) rispetto ai valori più elevati di pineta, (47) e macchia (59) e di riflesso in carbonio organico, delle aree a forte pressione antropica è dovuto sia agli scarsi apporti esterni di sostanza organica, sia alle lavorazioni che spingono il sistema verso la mineralizzazione rispetto all'umificazione. I valori particolarmente alti della macchia come commentato in precedenza sono dovuti alla presenza di specie a lettiera recalcitrante mentre i valori medi della lecceta sono inferiori a quelli della pineta.

Al riguardo Virzo de Santo et al. (1991, 1993) affermano che in ambiente mediterraneo, è il contenuto idrico della lettiera più che l'umidità del suolo a condizionare la velocità di decomposizione dei residui organici, per cui in ambienti in cui l'umidità è costante ed elevata la velocità di degradazione è determinata

prevalentemente dalla costituzione chimica dei residui, mentre in concomitanza di periodi secchi la decomposizione rallenta notevolmente fino a bloccarsi per poi riprendere alle prime piogge autunnali.

Inoltre sono stati calcolati i valori medi di alcune variabili pedologiche suddivise per unità gestionali (tabella 5.3).

UNITA' GESTIONALE	n. osse.	SPES (m)	ds	da (m)	ds	SOM (m)	ds	TOC (m)	ds	HI (m)	ds	DH (m)	ds	RH (m)	ds	HU (m)	ds	N (m)	ds	C/N (m)	ds	CSC (m)	ds	STOCK (m)	ds
		cm		g/cm ³				g/Kg				%		%		%		g/Kg					t/ha		
MACCHIA	6	10,3	3,8	1,097	0,20	104	44,4	77,6	59	0,20	0	76	8,8	36	5,7	92	2,4	2,0	1,2	2,6	4,7	28,25	8,2	59	22,9
LECCIA	5	12,4	4,3	1,201	0,10	55	17,4	32	10	0,25	0,12	74	9,7	35	17,3	89	1,6	2,2	1,4	1,6	7,3	21,60	2,9	60	16,6
PINETA	4	15,0	7,2	1,108	0,17	82	37,8	47	21,6	0,13	0,05	84	3,3	36	18,1	93	3,8	2,2	0,5	1,6	6,2	19,90	2,8	48	18,8
PINETA DIRADATA	2	12,5	3,5	1,263	0,06	45	8,7	25	4,5	0,17	0,07	81	6,6	51	2,9	88	5,8	3,1	1,1	9	2,1	20,65	7,4	29	0,7
AREEA FORTE PRESSIONE ANTROPICA	2	15,0	7,0	1,391	0,10	34	26	19	14,8	0,30	0,08	72	2,8	41	2,2	84	3,0	1,3	1,0	1,4	1,5	18,75	5,1	13	4,2
AREEIN EVOLUZIONE POST-INCENDIO	1	16,0	-	1,174	-	68	-	39	-	0,22	-	65	-	32	-	83	-	2,4	-	16	-	30,20	-	17	-

Tabella 5.2. Numero di osservazioni, valori medi e deviazioni standard di alcune variabili pedologiche suddivise per unità gestionali.

Ibrahima et al. (1995) imputano la maggiore velocità di degradazione dei residui delle latifoglie rispetto alle aghifoglie anche al maggior contenuto idrico delle prime rispetto alle seconde. I maggiori valori dell'indice di umificazione (0,3) delle aree a forte pressione antropica, stanno ad indicare l'abbondanza delle frazioni non umificate. Analoghe considerazioni possono essere fatte con l'uso del livello totale di umificazione (HU), parametro proporzionale ai processi di umificazione che è basso (84%) se confrontato con le aree in cui i disturbi esterni sono cessati in tempi remoti.

A conferma di ciò, le aree a forte pressione antropica sono quelle in cui è minore lo stock di carbonio organico (13 t/ha) mentre macchia e leccete sono quelle a maggior stock (59 e 60 t/ha).

In Sicilia Napoli et al. (2011) hanno trovato valori di stock di carbonio a 10 cm di suolo variabili tra 15 fino a oltre 60 t/ha per superfici a macchia mediterranea, tra 20 e 60 t/ha per le leccete, intorno a 20 t/ha per le pinete con pini mediterranei.

5.2. *Humus forestali.*

Il lavoro ha permesso di catalogare gli humus di alcune zone forestali della Sardegna sottoposti a diverso uso del suolo e/o gestione selvicolturale. In tabella 5.4 vengono presentati gli spessori di ciascun orizzonte organico, la tipologia di humus ed i risultati analitici per gli orizzonti OH campionati¹⁵.

In tutti i siti indagati il tipo di humus dominante è l'amphimull, caratterizzato dalla presenza contemporanea della lettiera (OL), dell'orizzonte organico umificato (OH) e da un orizzonte A di chiara origine biologica. La genesi di tale forma di humus, che è tipica degli ambienti mediterranei, è dovuta alle condizioni climatiche contrastanti tipiche delle regioni mediterranee (estati secche, autunni piovosi). Questi due fattori determinano una lenta degradazione della sostanza organica fresca (2-7 anni) che porta alla formazione di un orizzonte organico più o meno spesso (sia frammentato, ma soprattutto umificato) e dunque ad un maggior contenuto in carbonio organico, sia negli orizzonti ologranici sia in quelli minerali.

Al riguardo Hooker et al. (2008) confermano che la bassa umidità del suolo a fine primavera ed inizio estate può inibire drasticamente la crescita microbica e la vita edafica. Questo determina il rallentamento della degradazione dei residui organici e quindi l'accumulo della lettiera negli ecosistemi aridi, semiaridi e mediterranei proprio nel momento in cui le temperature sarebbero ideali per i processi di degradazione e mineralizzazione.

Nel sito Monte Timidone sono state classificate, oltre alle forme amphimull, due mesomull in corrispondenza di una lecceta e di una pineta ed un oligomull in corrispondenza di una pineta.

I mull si caratterizzano per il rapido turnover della sostanza organica, quindi per la rapida scomparsa di quest'ultima, per l'assenza dell'orizzonte OH e per un orizzonte A di origine biologica. Si tratta di forme di humus frequenti in suoli di ambienti temperati senza pesanti vincoli ambientali con lettiera facilmente degradabile ($C/N < 30$) e pH dell'orizzonte A maggiore di 5.

¹⁵anche se presente, non è stato sempre stato possibile campionare l'orizzonte OH a causa del limitato spessore, della presenza di abbondanti elementi minerali o per via della sua discontinuità.

Nel sito Pixinamanna sono stati classificati due dysmoder in corrispondenza delle pinete non soggette a nessun intervento selvicolturale e due oligomull in corrispondenza delle aree ad evoluzione post incendio. I dysmoder riscontrati a Pula si caratterizzano per la presenza degli orizzonti OL, OFnzo e OH, ma rispetto ai casi precedenti l'orizzonte A "di giustapposizione", cioè non si osserva intima mescolanza tra la sostanza organica e quella minerale e quindi i legami tra i due tipi di materiali sono scarsi e deboli.

SITO	CLASSE	ETICH	SPessori (cm)						TIPO DI HUMUS	CARATTERISTICHE ORIZZONTE ORGANICO (OH)									
			OL	OFzo	OFnoz	OH	TOC	N		C/N	TEC	HA	FA	NH	HI	HD	HR	HU	
CARDEDU	Ma	MaMF2	1	1		1	AMPHIMULL	179	6,6	27	3,76	1,88	0,90	0,62	0,2	74	16	95	
	Ma	MaMF3	0,5	1		1	AMPHIMULL	179	6,3	28	4,77	3,00	0,66	0,48	0,1	77	20	94	
	Ma	MaMF4	1	1		1,5	AMPHIMULL	171	6,7	26	3,61	2,98	0,68	0,61	0,2	77	16	95	
	Le	LeMF1	3	2		5	AMPHIMULL	224	6,3	35	6,49	3,27	1,39	1,15	0,2	72	18	91	
NUORO	Le	LeMF2	3	2,5		4,5	AMPHIMULL	225	6,7	34	6,14	2,64	1,42	1,18	0,3	66	28	94	
	Le	LeMF3	3	1,5		5,5	AMPHIMULL	216	7	31	7,41	2,84	2,84	0,76	0,1	83	16	95	
	Pi	PiMF1	1	0,5		0,5	AMPHIMULL												
	Le	LeU1	1	1		0,5	AMPHIMULL	128 ¹	10	13	3,47	1,81	0,83	0,76	0,3	76	21	93	
ALGHERO	P	PU1	1	1		0,5	AMPHIMULL	159	14,4	11	2,80	1,59	0,52	0,83	0,4	75	13	96	
	Pd	PdU1	1	1		1	AMPHIMULL	229	16,2	14	4,49	2,56	0,76	0,66	0,2	74	14	95	
	Pd	PdU2	2	1		1	AMPHIMULL	126	10	13	4,05	2,03	1,12	0,87	0,3	78	25	93	
	Ma	MaT1	1-2	2		5	AMPHIMULL	197	12	16	3,94	2,49	0,83	0,48	0,1	84	17	97	
PULA	Ma	MaT2	1-3	1		0,5	AMPHIMULL	290	22	33	2,72	1,55	1,00	0,38	0,2	94	9	99	
	Le	LeT1	1-2	0,50			MESOMULL												
	P	PT1	1-2	2-30			MESOMULL												
	P	PT2	2	1			OLIGOMULL												
PULA	Ma	MaP1	1	0,5		1	AMPHIMULL												
	Ma	MaP2	10	1		10	AMPHIMULL												
	P	PP1	2	0,5	1,5	0,5	DYSMODER												
	P	PP2	1	0,5		0,5	DYSMODER												
	Pd	PdP1	2	1		1,5/2	AMPHIMULL												
	Pd	PdP2	2	0,5/1		1	AMPHIMULL												
	Pa	PaP1	1,5	0,5		1,5	AMPHIMULL												
	Pa	PaP2	2	0,3		2/3	AMPHIMULL												
	Pi	PiP1	3	0,5			OLIGOMULL												
	Pi	PiP2	1/2	0,5/1			OLIGOMULL												

1. morfologicamente descritto come un O ma chimicamente classificabile come un A (SOM <18% C). (Zanella et al., 2009).

Tabella 5.3. *Tipi di humus, spessori e risultati analitici degli orizzonti organici OH campionati.*

5.3 Qualità biologica del suolo (QBS).

Nelle tabelle 5.4 e 5.5 sono riportati i valori dell'indice ecomorfologico, del numero di gruppi ecomorfologici e della classe di qualità biologica calcolati col metodo QBS-ar, raggruppati rispettivamente per area di studio (tab.5.4) e per unità gestionale (tab. 5.5). Le tabelle riportano anche le date di prelievo dei campioni. Nel sito Monte Ferru sono state eseguite due misure in due periodi differenti è stato utilizzato per testare la sensibilità stagionale del metodo. Nel secondo periodo i valori sono tutti leggermente più bassi in quanto il prelievo dei campioni è stato fatto in inverno rispetto al primo in cui è stato fatto in primavera. Gli scarti sono piccoli e simili tra loro indipendentemente dall'unità gestionale considerata. Per gli altri siti i campionamenti sono stati sempre fatti in primavera.

SITO	CODICE	QBS-ar 2010	n. GRUPPI	CL Q	QBS-ar 2011	n. GRUPPI	CL Q	QBS-ar 2012	n. GRUPPI	CL Q
CARDEDU	MaMF2	197	14	5	182	14	5			
	MaMF3	192	13	5	191	12	5			
	MaMF4	200	12	6	182	12	5			
	LeMF1	215	13	6	193	14	5			
	LeMF2	191	13	5	171	12	5			
	LeMF3	191	13	5	188	14	5			
	PiMF1	156	11	5	137	11	5			
	PaMF1	97	9	3	92	8	3			
	PaMF2	87	8	3	82	7	3			
NUORO	LeU1				181	12	5			
	PU1				167	12	5			
	PdU1				171	11	5			
	PdU2				152	11	5			
ALGHERO	MaT1				216	14	6			
	MaT2				211	13	6			
	LeT1				155	9	5			
	PT1				167	11	5			
	PT2				176	11	5			
	PT3				146	10	5			
PULA	MaP1				196	13	5			
	MaP2							216	14	6
	PP1				181	12	5			
	PP2							172	12	5
	PdP1				182	13	5			
	PdP2							176	12	5
	PaP1				106	8	3			
	PaP2							107	9	5
	PiP1							166	11	5
	PiP2						196	15	5	

Tabella 5.4. Punteggi QBS-ar massimali, numero di gruppi ecomorfologici e classe di qualità del suolo suddivisi per sito e anno di campionamento.

Dall'osservazione della tabella si nota come i valori maggiori del QBS-ar siano stati osservati in corrispondenza delle unità gestionali in cui il disturbo antropico è

cessato in tempi remoti. Nel caso delle tipologie a macchia, sono stati riscontrati i valori più alti del QBS-ar massimale ed anche il numero maggiore di gruppi ecomorfologici: ciò è indice di maggiore biodiversità in termini sia di ricchezza specifica sia di numero di individui per unità di superficie. Le tipologie a macchia, essendo sistemi in forte dinamismo, sono “contenitori” di biodiversità vegetale, questo determina la formazione di habitat e nicchie differenti nel sistema suolo-vegetazione e si riflette anche in una maggiore biodiversità animale (e dunque dei microartropodi).

I valori più bassi sono stati riscontrati in corrispondenza delle unità gestionali ad intenso impatto antropico in cui le lavorazioni ed il calpestio degli animali al pascolo provocano l’aumento della densità apparente e la riduzione del numero di habitat. Il concomitante minore apporto di sostanza organica al suolo si traduce in una riduzione della sostanza organica a disposizione della fauna del suolo e nella minore numerosità di gruppi e numerosità entro i gruppi, come evidenziato nel caso di Pixanamanna.

UNITA' GESTIONALE	CODICE	QBS-ar 2010	CLQ	n. gruppi	QBS-ar 2011	CLQ	n. gruppi	QBS-ar 2012	CLQ	n. gruppi
MACCHIA	MaMF2	197	5	14	182	5	14			
	MaMF3	192	5	13	191	5	12			
	MaMF4	200	6	12	182	5	12			
	MaT1				216	6	14			
	MaT2				211	6	13			
	MaP1				196	5	13			
	MaP2							216	6	
LECCETA	LeMF1	215	6		193	5	14			
	LeMF2	191	5	13	171	5	12			
	LeMF3	191	5	13	188	5	14			
	LeU1				181	5	12			
	LeT1				155	5	9			
EVOLUZIONE POST-INCENDIO	PiMF1	156	5	11	137	5	11			
	PiP1							166	5	11
	PiP2							196	5	15
AREE A PRESSIONE ANTROPICA	PaMF1	97	3	9	92	3	8			
	PaMF2	87	3	8	82	3	7			
	PaP1				106	3	8			
	PaP2							107	5	9
PINETA	PU1				167	5	12			
	PT1				167	5	11			
	PT2				176	5	11			
	PT3				146	5	10			
	PP1				181	5	12			
	PP2							172	5	12
PINETA DIRADATA	PdU1				171	5	11			
	PdU2				152	5	11			
	PdP1				182	5	13			
	PdP2							176	5	12

Tabella 5.5. *Punteggi QBS-ar massimali, numero di gruppi ecomorfologici e classe di qualità del suolo suddivisi per unità gestionali.*

Su alcuni dei campioni prelevati (i cinque relativi al sito di Pixanamanna campionati nel 2012), è stata effettuata l’analisi particolareggiata dei gruppi sistematici

presenti attraverso il conteggio degli individui per ogni singolo campione e la relativa stima dell'abbondanza (n° individui/m²). Questa ha successivamente permesso il calcolo degli indici ecologici di Shannon –Wiener (H') e di Equipartizione (E'). I risultati sono proposti in tabella 5.6. Tale osservazione aggiuntiva è stata fatta solo per il sito Pixinamanna al fine di poter osservare l'eventuale correlazione di questi dati con gli altri parametri ecologici disponibili solo per questo sito presentati più avanti.

SITO	AREE A FORTE IMPATTO ANTROPICO	MACCHIA	PINETA DIRADATA	EVOLUZIONE POST-INCENDIO	PINETA
ACARI	18167	27200	30000	29000	14200
COLLEMBOLI	5333	8600	8200	10100	1900
SINFILI		1700	1400	1600	800
EMITTERI		200		300	
COLEOTTERI	567		200	200	300
PROTURI	100	1000	400	1700	200
FORMICIDI	100	300		200	100
PAUROPODI		200	1900	600	
LARVA COLEOTTERO	200	500	100	100	100
PSEUDOSCORPIONI		200		200	
ARANEIDI				100	
DIPLOPODI		200		100	100
DIPLURI	100	300	100	500	100
LARVE DIPLOPODE		200		100	
TISANOTTERI	100		200	200	
CHILOPODI		100	400	200	700
LARVE DITTERO	2600	100	300		300
LARVE LEPIDOTTERO		300	100		300
TOTALI	27267	41100	43300	45200	19100
Indici ecologici					
E'	0,46	0,42	0,42	0,42	0,41
H'	1,01	1,14	1,05	1,17	1,03

Tabella 5.6. *Densità (individui/m²) di ciascun gruppo ecomorfologico e valori di E' e H' suddiviso per unità vegetazionale.*

Sebbene questa analisi sia stata limitata ad solo un campione per unità gestionale, le informazioni sommarie che fornisce confermano le considerazioni fatte sopra.

Dall'analisi della tabella 5.6 si osserva che le tipologie a macchia mediterranea ed in evoluzione post incendio hanno i valori maggiori dell'indice H' (indicando maggiore biodiversità) e bassi valori di E' dovuti al fatto che alcuni gruppi sono maggiormente rappresentati (numericamente) rispetto ad altri. Per quanto riguarda le aree ad intensa attività antropica si osserva il valore più basso di H' (1,01) ed il più alto

di E' (0,46) il che sta ad indicare minore biodiversità ma maggiore equidistribuzione numerica tra le diverse forme ecomorfologiche.

In questo studio l'analisi si è dimostrata particolarmente sensibile nel rilevare il grado di disturbo in aree soggette ad impatto antropico soprattutto a causa delle lavorazioni. Ciò è in accordo con quanto affermato da Gardi et al. (2002) e Parisi et. al (2005) secondo cui i valori medi del QBS-ar aumentano col diminuire della "pressione culturale" sul suolo.

5.4. Indici LFA (sito di Pula).

			LOI	PAI	NC	RI	RICHNESS (R)	SIMPSON INDEX (S)
PULA	P	PP1	0,17	0,03	49,96	56,44	6	0,21
	P	PP2	0,34	0,07	47,32	46,98	10	0,11
	Pd	PdP1	0,35	0,05	45,23	49,71	9	0,13
	Pd	PdP2	0,56	0,33	38,85	45,39	8	0,19
	Ma	MaP1	0,49	0,25	56,38	58,72	8	0,22
	Ma	MaP2	0,38	0,07	37,13	45,21	7	0,22
	Pi	PiP1	0,64	0,32	21,71	25,92	8	0,18
	Pi	PiP2	0,59	0,30	21,71	26,01	8	0,20
	Pa	PaP1	0,55	0,16	27,43	36,91	7	0,32
	Pa	PaP2	0,49	0,16	29,79	33,43	7	0,21

Tabella 5.7. Valori di LOI, PAI, NC, RI, RICHNESS E SIMPSON INDEX relativi al sito Pixinamanna.

Dall'analisi della tabella 5.7 si può osservare come l'unità gestionale "post incendio" sia quella in cui è maggiore la copertura del suolo offerta dalle patch rispetto alla lunghezza del transetto (LOI), i cui valori (0,64 e 0,59) sono sempre maggiori rispetto alle altre tipologie. Come conseguenza si osserva che anche il PAI (proporzione della superficie totale delle patch rispetto ad un'area massima considerata pari alla lunghezza del transetto per un'ampiezza di 10 metri) è maggiore nelle tipologie post incendio rispetto alle altre unità gestionali. I valori di NC e RI, che si riferiscono a caratteristiche proprie del suolo e della sua superficie e che riflettono la prima la disponibilità di nutrienti e la seconda la disponibilità di acqua nel suolo, sono maggiori entrambi nella tipologia a macchia mediterranea MaP1 (rispettivamente 56,38 e 58,72) mentre i valori più bassi si osservano in corrispondenza delle unità post incendio (21,72 e 25,92).

Gli indici di diversità delle piante vascolari indicano maggior ricchezza specifica nel sito PP2 con valore di richness pari a 10, mentre nella stessa unità gestionale ma nel punto profilo PP2 è stato riscontrato il valore più basso in assoluto (6). Nelle unità gestionali ad impatto antropico i valori si assestano a 7 mentre la gran parte delle tipologie ha valore 8, con l'eccezione si PdP1 (9) e MaP2 (7).

Nelle figure 5.1. 5.2 e 5.3 sono rappresentati gli scatterplot relativi a tre diverse coppie di variabili: S-H'; NC-QBS-ar; LOI- QBS-ar. Visto l'esiguo numero di dati, l'intento della rappresentazione è qualitativo.

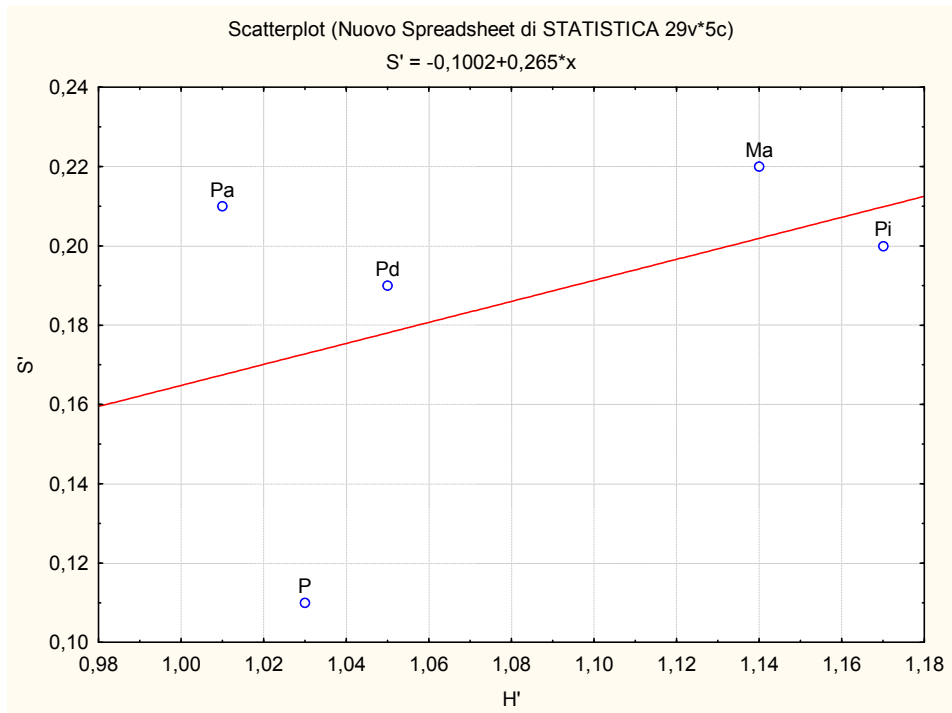


Figura 5.1. Scatterplot relativo al confronto tra S (Simpson Index) e H' (indice Shannon–Wiener) tra i siti MaP2, PaP2, PP2, PiP2, PdP2.

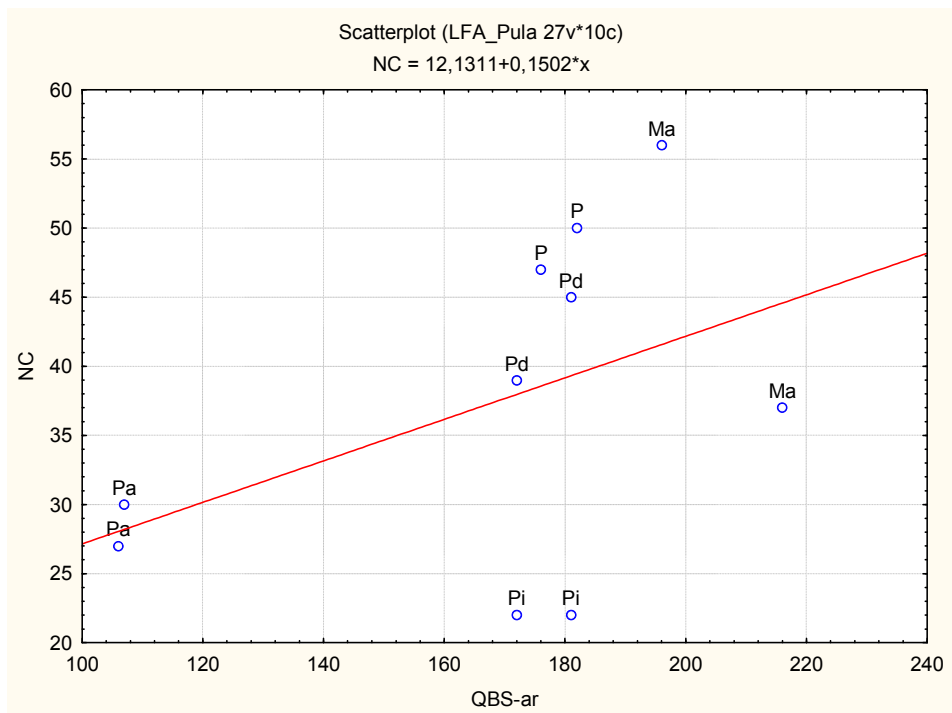


Figura 5.2. Scatterplot relativo al confronto tra QBS-ar e NC del sito Pixinamanna.

In figura 5.1 è possibile osservare come la tipologia ad evoluzione post incendio e quella a macchia mediterranea siano quelle in cui è maggiore la biodiversità, sia delle piante vascolari (S), sia dei microartropodi del suolo (H'). Le aree a forte pressione antropica (sistema altamente frammentato in termini di patch/interpatch) si caratterizzano per l'elevata biodiversità delle piante vascolari e per la scarsa biodiversità in termini di fauna del suolo. Le pinete presentano situazioni intermedie ed in particolare le pinete pure, caratterizzate da scarsa biodiversità vegetale e edafica, mentre quelle diradate, pur presentando bassi valori di H' mostrano maggiore biodiversità vegetale.

La figura 5.2 mostra la relazione esistente tra QBS-ar e NC. In particolare le aree a forte pressione antropica mostrano limitata disponibilità di nutrienti (NC) e bassi valori di QBS-ar. Le formazioni a macchia mediterranea mostrano invece valori elevati di QBS-ar ed elevata disponibilità di nutrienti. Le pinete si dispongono lungo un gradiente di disponibilità di nutrienti. Infatti nonostante i valori di QBS-ar molto simili, le pinete pure hanno maggior accumulo di biomassa rispetto alle diradate ed alle aree ad evoluzione post incendio, che presentano i valori più bassi di NC tra tutte le tipologie indagate.

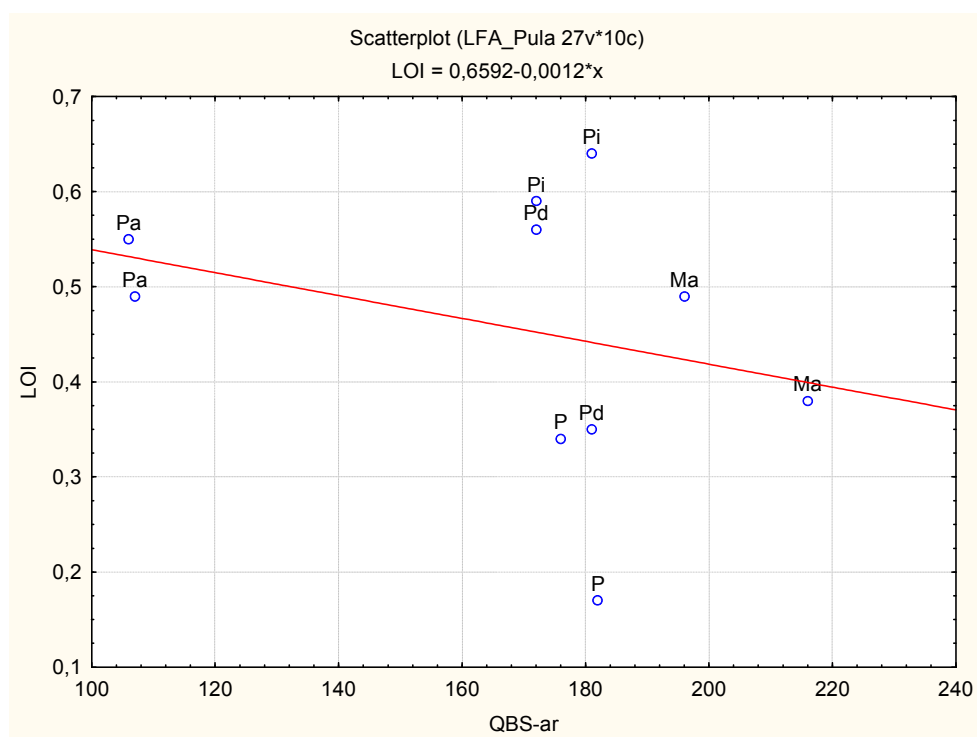


Figura 5.3. Scatterplot relativo al confronto tra QBS-ar e LOI del sito Pixinamanna.

La figura 5.3 conferma quanto detto sopra in quanto il LOI è un indice positivamente correlato con l'NC.

Pur considerando l'esiguo numero di campioni (per l'indice H' tre repliche in ciascuno dei 5 siti considerati) ed il carattere qualitativo della rappresentazione in figura, i risultati evidenziano che l'area in rapida evoluzione post incendio a dispetto dei valori bassi della maggior parte degli indicatori considerati, possiede una elevata biodiversità anche a livello di microartropodi e non solo a livello di piante vascolari.

5.5 Analisi statistica.

L'analisi è stata condotta separatamente per il sito di Pixinamanna rispetto agli altri siti in quanto sono differenti le variabili disponibili. Per Pixinamanna sono infatti disponibili i dati relativi all'analisi LFA ma mancano i dati relativi al frazionamento della sostanza organica. Inoltre per Pixinamanna sono stati usati i valori delle variabili pedologiche mediati a 10 cm di profondità.

Di seguito sono riportati i risultati relativi al primo sottoinsieme di dati (Pixinamanna), mentre il secondo caso è discusso nella sezione 5.5.2.

5.5.1 Analisi statistica e proposta di indice di qualità del suolo per il sito Pixinamma.

Le statistiche descrittive relative al sito Pixinamanna sono riportate in tabella 5.8.

Variabile	Statistiche Descrittive (LFA_Pula)				
	N Validi	Media	Minimo	Massimo	Dev.Std.
LOI	10	0,4560	0,1700	0,6400	0,1438
PAI	10	0,1740	0,0300	0,3300	0,1181
RI	10	42,4000	26,0000	59,0000	11,5873
NC	10	37,5000	22,0000	56,0000	11,9931
R	10	7,8000	6,0000	10,0000	1,1353
S	10	0,1990	0,1100	0,3200	0,0567
QBS-ar	10	168,9000	106,0000	216,0000	35,3944
pH	10	6,4740	6,1500	6,8200	0,2321
TOC	10	22,3000	11,0000	37,0000	8,7819
SOM	10	38,7000	20,0000	64,0000	15,0558
Pass	10	3,0000	0,7000	6,4000	1,7133
N	10	0,9700	0,6000	1,9000	0,4165
C/N	10	23,4000	15,0000	44,0000	8,2758
da	10	1,2316	1,0839	1,3708	0,1061
SCH	10	387,1000	225,0000	540,0000	106,5379
SAB	10	798,0000	735,0000	887,0000	47,9212
LIM	10	145,6000	84,0000	207,0000	35,1163
ARG	10	56,1000	29,0000	80,0000	15,8286
Ca	10	5,9400	2,3800	14,7300	3,4876
Mg	10	1,4310	0,5000	2,7200	0,7123
Na	10	0,2080	0,0800	0,3700	0,1048
K	10	0,3390	0,2000	0,4500	0,0768
CSC	10	10,4000	6,5000	18,3000	3,8187
GSB	10	1,2000	1,0000	1,3000	0,0943
STOCK	10	15,5000	8,0000	22,0000	4,6963

Tabella 5.8. *Statistiche descrittive relative al sito Pixinamanna.*

Dai dati analitici è stata ottenuta la matrice di correlazione riportata in tabella 5.9.

Correlazioni (LFA_Pula)
 Corr. marcate significative al livello p < .05000
 N=10 (Eliminaz. casewise dati mancanti)

Variabile	LOI	PAI	RI	NC	R	S	QBS-ar	pH	TOC	SOM	Pass	N	C/N	da	SCH	SAB	LIM	ARG	Ca	Mg	Na	K	CSC	GSB	STOCK
LOI	1,00	0,88	-0,71	-0,70	0,12	0,29	-0,30	0,34	-0,45	-0,45	0,44	-0,05	-0,57	0,45	-0,68	-0,36	0,42	0,16	-0,24	-0,36	-0,15	-0,04	0,14	0,21	-0,17
PAI	0,88	1,00	-0,51	-0,47	0,07	0,16	-0,07	0,48	-0,26	-0,26	0,42	-0,05	-0,24	0,21	-0,60	-0,42	0,51	0,14	-0,14	-0,29	-0,29	-0,37	0,22	0,10	-0,13
RI	-0,71	-0,51	1,00	0,97	0,02	-0,15	0,42	-0,19	0,73	0,74	-0,21	0,47	0,41	-0,67	0,32	-0,11	0,06	0,19	0,72	0,70	0,53	0,15	0,27	-0,64	0,23
NC	-0,70	-0,47	0,97	1,00	0,16	-0,32	0,44	-0,16	0,74	0,74	-0,10	0,50	0,39	-0,70	0,41	-0,18	0,12	0,27	0,71	0,70	0,46	0,10	0,31	-0,69	0,31
R	0,12	0,07	0,02	0,16	1,00	-0,73	0,22	0,05	-0,22	-0,21	-0,01	-0,01	-0,30	0,23	0,45	-0,54	0,53	0,46	-0,06	-0,11	-0,00	0,10	0,13	-0,10	-0,48
S	0,29	0,16	-0,15	-0,32	-0,73	1,00	-0,46	-0,14	0,11	0,12	0,13	0,19	-0,09	-0,12	-0,81	0,28	-0,28	-0,22	0,08	-0,00	0,14	0,15	-0,14	-0,08	0,43
QBS-ar	-0,30	-0,07	0,42	0,44	0,22	-0,46	1,00	0,42	0,25	0,25	-0,36	0,13	0,05	0,09	0,52	-0,39	0,34	0,43	0,37	0,24	0,13	-0,43	0,40	-0,11	-0,07
pH	0,34	0,48	-0,19	-0,16	0,05	-0,14	0,42	1,00	0,20	0,20	0,32	0,21	-0,22	0,13	-0,19	-0,73	0,75	0,55	-0,19	-0,24	-0,29	-0,53	-0,12	-0,08	0,44
TOC	-0,45	-0,26	0,73	0,74	-0,22	0,11	0,25	0,20	1,00	1,00	0,34	0,80	0,26	-0,86	-0,07	-0,30	0,23	0,42	0,61	0,50	0,26	-0,06	0,09	-0,89	0,73
SOM	-0,45	-0,26	0,74	0,74	-0,21	0,12	0,25	0,20	1,00	1,00	0,34	0,81	0,24	-0,85	-0,08	-0,32	0,25	0,44	0,60	0,49	0,27	-0,06	0,07	-0,89	0,74
Pass	0,44	0,42	-0,21	-0,10	-0,01	0,13	-0,36	0,32	0,34	0,34	1,00	0,62	-0,40	-0,31	-0,54	-0,41	0,35	0,46	0,15	0,08	0,01	0,01	0,13	-0,46	0,35
N	-0,05	-0,05	0,47	0,50	-0,01	0,19	0,13	0,21	0,80	0,81	0,62	1,00	-0,35	-0,55	-0,30	-0,51	0,37	0,73	0,72	0,55	0,52	0,19	0,35	-0,88	0,56
C/N	-0,57	-0,24	0,41	0,39	-0,30	-0,09	0,05	-0,22	0,26	0,24	-0,40	-0,35	1,00	-0,55	0,31	0,44	-0,33	-0,61	-0,09	-0,03	-0,38	-0,33	-0,28	-0,03	0,10
da	0,45	0,21	-0,67	-0,70	0,23	-0,12	0,09	0,13	-0,86	-0,85	-0,31	-0,55	-0,55	1,00	0,09	0,01	-0,01	-0,03	-0,46	-0,39	-0,08	-0,00	0,01	0,80	-0,55
SCH	-0,68	-0,60	0,32	0,41	0,45	-0,81	0,52	-0,19	-0,07	-0,08	-0,54	-0,30	0,31	0,09	1,00	0,14	-0,17	-0,05	-0,04	0,03	-0,08	-0,11	0,02	0,16	-0,42
SAB	-0,36	-0,42	-0,11	-0,18	-0,54	0,28	-0,39	-0,73	-0,30	-0,32	-0,41	-0,51	0,44	0,01	0,14	1,00	-0,98	-0,86	-0,17	-0,07	-0,11	0,14	-0,15	0,46	-0,28
LIM	0,42	0,51	0,06	0,12	0,53	-0,28	0,34	0,75	0,23	0,25	0,35	0,37	-0,33	-0,01	-0,17	-0,98	1,00	0,73	0,07	0,01	0,01	-0,16	0,10	-0,37	0,26
ARG	0,16	0,14	0,19	0,27	0,46	-0,22	0,43	0,55	0,42	0,44	0,46	0,73	-0,61	-0,03	-0,05	-0,86	0,73	1,00	0,37	0,21	0,29	-0,08	0,25	-0,57	0,26
Ca	-0,24	-0,14	0,72	0,71	-0,06	0,08	0,37	-0,19	0,61	0,60	0,15	0,72	-0,09	-0,46	-0,04	-0,17	0,07	0,37	1,00	0,88	0,79	0,28	0,78	-0,64	0,13
Mg	-0,36	-0,29	0,74	0,70	-0,11	-0,00	0,24	-0,24	0,50	0,49	0,08	0,55	-0,03	-0,39	0,03	-0,07	-0,01	0,21	0,88	1,00	0,88	0,45	0,66	-0,43	0,18
Na	-0,15	-0,29	0,53	0,46	-0,00	0,14	0,13	-0,29	0,26	0,27	0,01	0,52	-0,38	-0,08	-0,11	0,01	0,29	0,79	0,88	1,00	0,68	0,63	-0,30	0,08	
K	-0,04	-0,37	0,15	0,10	0,10	0,15	-0,43	-0,53	-0,06	-0,06	0,01	0,19	-0,33	-0,00	-0,11	0,14	-0,16	-0,08	0,28	0,45	0,68	1,00	0,20	-0,08	-0,00
CSC	0,14	0,22	0,27	0,31	0,13	-0,14	0,40	-0,12	0,09	0,07	0,13	0,35	-0,28	0,01	0,02	-0,15	0,10	0,25	0,78	0,66	0,63	0,20	1,00	-0,18	-0,36
GSB	0,21	0,10	-0,64	-0,69	-0,10	-0,08	-0,11	-0,08	-0,89	-0,89	-0,46	-0,88	-0,03	0,80	0,16	0,46	-0,37	-0,57	-0,64	-0,43	-0,30	-0,08	-0,18	1,00	-0,53
STOCK	-0,17	-0,13	0,31	0,23	-0,48	0,43	-0,07	0,44	0,73	0,74	0,35	0,56	0,10	-0,55	-0,42	-0,28	0,26	0,26	0,13	0,18	0,08	-0,00	-0,36	-0,53	1,00

Tabella 5.9. Matrice di correlazione tra le variabili pedologiche relative al sito Pixinamanna (tabella generata dal software STATISTICA)

L'osservazione della matrice evidenzia le seguenti correlazioni:

- positiva tra LOI e PAI (0,88): si tratta di grandezze affini che stimano l'importanza delle patch rispetto alla totalità del transetto, la prima in termini di lunghezza, la seconda in termini di superficie;
- positiva tra NC e RI (0,97): si tratta di grandezze affini, entrambe positivamente correlate con la qualità del suolo;
- negativa tra LOI e RI (-0,71) e tra LOI e NC (-0,70): NC non dipende dal numero delle patch ma dal tipo di patch ed inoltre in corrispondenza di aree ad elevata copertura vegetale, anche le interpatch possono avere alti valori di NC;
- positiva tra SOM e NC (0,74) e tra SOM e RI (0,74): i due indici LFA riflettono, il primo la disponibilità di acqua nel suolo, il secondo la disponibilità di nutrienti;
- negativa tra SOM e da (-0,85): la sostanza organica migliorando la stabilità degli aggregati, aumenta la porosità del suolo, a cui corrisponde la diminuzione della densità apparente, non a caso la SOM è utilizzata per stimare la da;
- negativa tra da e RI (-0,67) e tra da da e NC (-0,70): si spiega con la correlazione negativa tra SOM e da e quella positiva tra SOM e NC e RI, trattandosi di indici positivamente correlati alla buona qualità dei suoli, vanno in direzione opposta alla densità apparente;
- positiva tra RI e gli ioni Ca^{++} e Mg^{+} (0,72) (0,74): si tratta di due indici correlati positivamente con la fertilità del suolo e con la disponibilità di nutrienti;
- positiva tra QBS-ar e NC (0,44) e tra QBS e CSC (0,40): anche in questo caso si tratta di parametri collegati positivamente con la fertilità del sito e quindi correlati positivamente anche tra di loro.

L'analisi delle componenti principali (PCA) eseguita considerando tutte le variabili, ha dato i seguenti risultati (Tab. 5.10 e Figura 5.4)

Autovalori matrice correlazioni e statistiche relazionate (LFA_Pula)				
Sole variabili attive				
Numero valore	Autovalore	% Totale varianza	Cumulo Autovalore	Cumulo %
1	7,955893	33,14955	7,95589	33,1496
2	5,295234	22,06348	13,25113	55,2130
3	3,612495	15,05206	16,86362	70,2651
4	3,081315	12,83881	19,94494	83,1039
5	1,556793	6,48664	21,50173	89,5905
6	1,086827	4,52845	22,58856	94,1190
7	0,758926	3,16219	23,34748	97,2812
8	0,476499	1,98541	23,82398	99,2666
9	0,176017	0,73340	24,00000	100,0000

Tabella 5.10. Matrice con autovalori relativa alla PCA eseguita includendo le variabili LOI, PAI, RI, NC, R, S, QBs-ar, pH, TOC, SOM, Pass, N, C/N, da, SCH, SAB, LIM, ARG, CSC, GSB, Ca, K, Mg, Na.

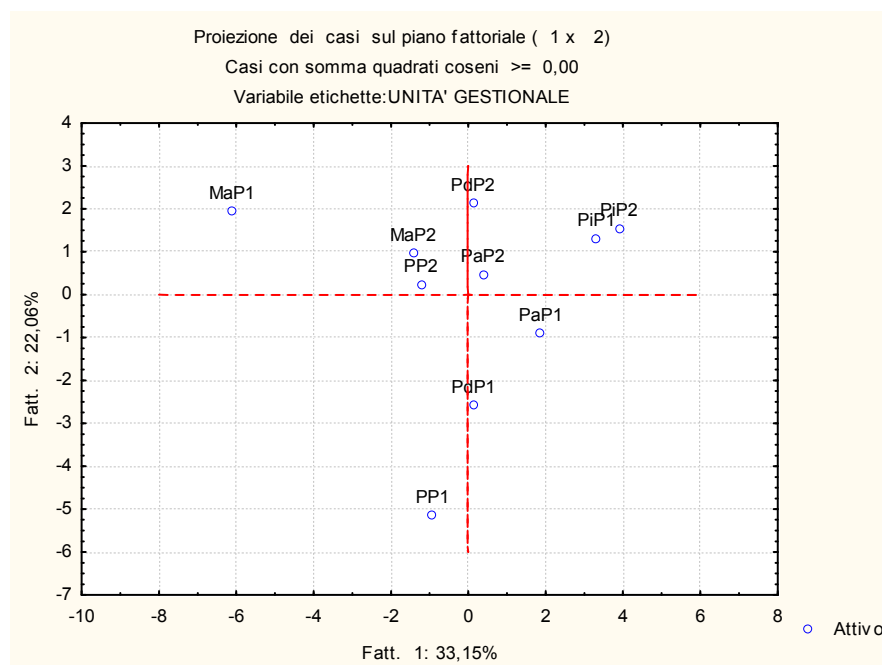


Figura 5.4. PCA riferita al sito Pixinamanna e alle variabili LOI, PAI, RI, NC, R, S, QBs-ar, pH, TOC, SOM, Pass, N, C/N, da, SCH, SAB, LIM, ARG, CSC, GSB, Ca, K, Mg, Na.

Dall'osservazione della figura 5.4 si osserva come i punti che rappresentano le differenti unità gestionali sono abbastanza vicini tra loro, ma c'è dispersione per quelli relativi alle pinete e alle pinete diradate.

Ragionando sulle correlazioni esistenti tra le variabili, si è proceduto a ripetere l'analisi eliminando una o più variabili per volta fino ad identificare un minimum data set che offriva il migliore raggruppamento dei dati. Si è ottenuto il migliore raggruppamento includendo nella PCA le seguenti variabili: NC, SOM, QBS-ar, CSC, da, N, pH, cui corrispondono la tabella 5.11 e i biplot delle figure 5.5 e 5.6.

Si nota comunque un po' di distanza tra i punti relativi alla macchia mediterranea, il che trova giustificazione nel fatto che si tratta di unità vegetazionali caratterizzate da una certa eterogeneità interna.

Si nota anche il fatto che le pinete, sia quelle pure sia quelle diradate, siano tra loro molto vicine ed entrambe siano vicine alle aree a forte impatto antropico, mentre le aree ad evoluzione post incendio si separano nettamente da tutte le altre.

Dall'osservazione comparata delle figure 5.5 e 5.6 si nota che le aree post-incendio si caratterizzano per densità apparente maggiore rispetto alle altre unità gestionali, mentre le formazioni a macchia mediterranea si caratterizzano per valori elevati di QBS-ar, N, SOM e NC.

Sulla base di queste osservazioni si può affermare, pur tenendo conto del ridotto numero di campioni utilizzati, che i suoli delle superfici a macchia presentano qualità maggiore rispetto a quelli delle unità ad evoluzione post incendio, mentre le altre tipologie hanno valori di qualità del suolo intermedi.

Autovalori matrice correlazioni e statistiche rela: Sole variabili attive				
Numero valore	Autovalore	% Totale varianza	Cumulo Autovalore	Cumulo %
1	3,232342	46,17631	3,232342	46,1763
2	1,548217	22,11739	4,780559	68,2937
3	1,212469	17,32099	5,993028	85,6147
4	0,715934	10,22763	6,708963	95,8423
5	0,205655	2,93793	6,914618	98,7803
6	0,076088	1,08697	6,990706	99,8672
7	0,009294	0,13278	7,000000	100,0000

Tabella 5.11. *Matrice con autovalori relativa alla PCA includendo le variabili: NC, SOM, QBS-ar, CSC, Da, N, pH.*

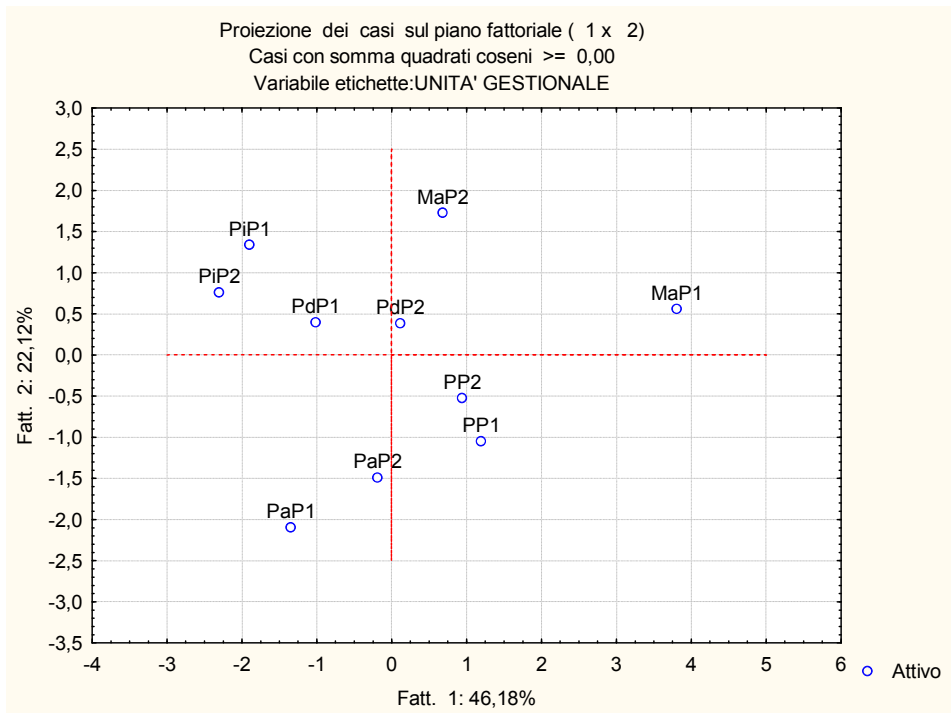


Figura 5.5. PCA riferita al sito Pixinamanna con le variabili: NC, SOM, QBS-ar, CSC, Da, N, pH.

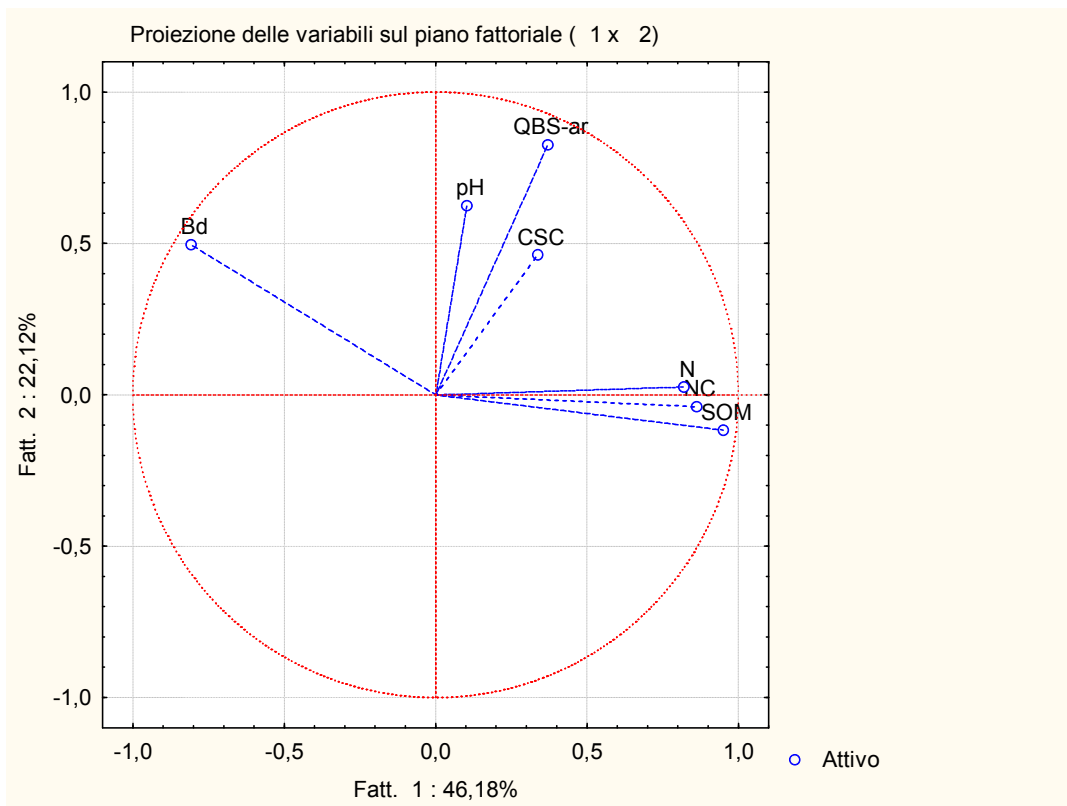


Figura 5.6. *Biplot relativo alle variabili da, pH, QBS-ar, CSC, N, NC e SOM.*

Le variabili così selezionate sono state pertanto utilizzate per la determinazione dell'indice di qualità del suolo.

Il primo passo è stato la normalizzazione dei dati attraverso l'approccio linear scoring (Liebig et al., 2001). Ai valori di ciascuna variabile è stato attribuito un punteggio variabile da 0 ad 1 a seconda che tale variabile fosse correlata positivamente con la qualità del suolo oppure negativamente. I valori del pH, del QBS-ar, della CSC, del contenuto in N totale, della SOM, dell'NC, sono stati considerati sempre correlati positivamente con la qualità del suolo mentre la da è stata considerata negativamente correlata. Nel primo caso il valore assunto dall'indicatore in ciascun sito viene diviso per il valore massimo osservato, che di conseguenza assume il punteggio massimo. Nel secondo caso il valore minimo osservato è stato diviso per il valore assunto dall'indicatore in ogni sito e al valore minimo dell'indicatore è stato associato il punteggio massimo.

Dopo la normalizzazione dei dati l'indice di qualità è stato calcolando secondo la formula definita precedentemente.

Dai dati ottenuti (Fig. 5.7) è emerso che i valori più alti dell'indice si riscontrano per le superfici a macchia mediterranea (0,84 e 0,70), seguiti dalle pinete (entrambe 0,69), dalle pinete diradate (0,57 e 0,64), dalle aree a forte pressione antropica (0,53 e 0,59) ed infine dalle aree ad evoluzione post-incendio (0,52 e 0,51).

Questi valori sono in linea con le considerazioni fatte in precedenza riguardo alla maggiore qualità generale dei suoli sotto macchia mediterranea.

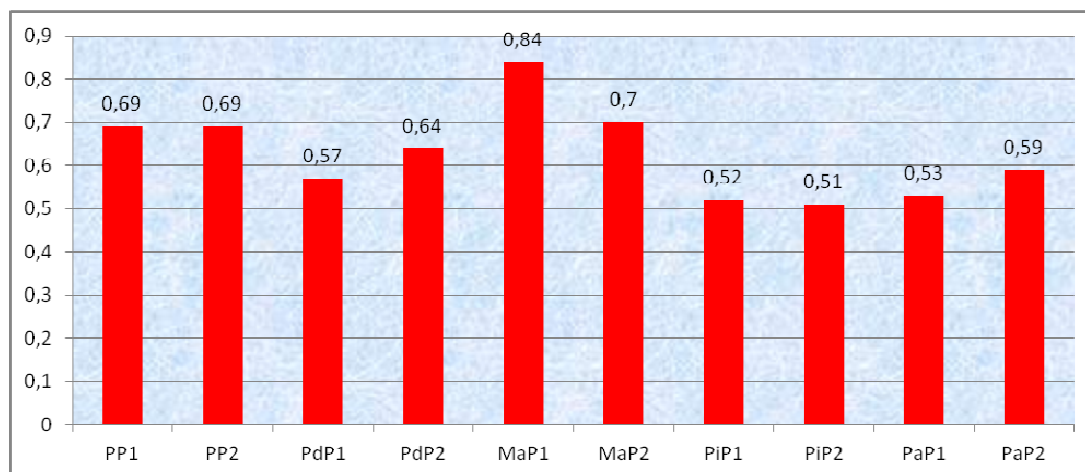


Figura 5.7. Valori di qualità del suolo relativo alle tipologie vegetazionali individuate nel sito Pixinamanna.

La figura 5.7 conferma le intuizioni fatte in precedenza riguardo alla maggiore qualità dei suoli delle formazioni a macchia mediterranea rispetto alle altre.

5.5.2 Analisi statistica e proposta di indice di qualità del suolo per i siti Monte Ferru, Ugolio, Timidone.

Anche per i siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone sono state calcolate le statistiche descrittive (tabella 5.12) ed i coefficienti di correlazione (tabella 5.13).

Variabile	Statistiche Descrittive (escluso Pula)				
	N Validi	Media	Minimo	Massimo	Dev.Std.
QBS-ar	19	172,0000	87,0000	216,0000	35,3208
pH	20	6,5845	5,4000	7,8100	0,7548
TOC	20	41,6000	9,0000	141,0000	28,9217
SOM	20	72,8000	15,7500	246,7500	50,6129
P	20	14,4000	0,0000	87,0000	19,7841
N	20	2,1700	0,7000	4,3000	1,0608
C/N	20	18,3500	7,0000	35,0000	7,6659
da	20	1,1755	0,7940	1,5568	0,1733
SCH	20	334,7300	7,6000	725,0000	217,7436
SAB	20	537,6000	194,0000	752,0000	158,8231
LIM	20	276,9500	115,0000	476,0000	105,8770
ARG	20	183,4500	53,0000	579,0000	144,7057
Ca	20	10,7195	1,8700	29,3200	6,4303
Mg	20	3,5735	1,0200	17,2300	3,5806
Na	20	1,1260	0,1100	1,9000	0,5645
K	20	0,8566	0,0310	2,3300	0,6586
CSC	20	23,3050	14,4000	38,2000	6,4252
GSB	20	69,3467	23,0927	100,0000	24,9673
TEC	20	1,6957	0,5200	4,0789	0,9010
HA	20	0,9801	0,2420	2,8340	0,6381
FA	20	0,3228	0,1383	0,6300	0,1425
NH	20	0,2351	0,1027	0,4148	0,0886
HI	20	0,2128	0,0550	0,3636	0,0885
DR	20	76,8229	59,7448	89,1304	8,3840
RH	20	34,7874	17,3338	64,1837	13,4286
HU	20	89,8614	82,2481	96,7994	4,0345
STOCK	20	47,4500	10,0000	91,0000	23,4015

Tabella 5.12. Statistiche descrittive relative ai siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone.

Correlazioni (escluso_Pula)
 Corr. marcate significative al livello p < 05000
 N=19 (Eliminaz. casewise dati mancanti)

Variabile	QBS-ar	pH	TOC	SOM	P	N	C/N	da	SCH	SAB	LIM	ARG	Ca	Mg	Na	K	CSC	GSB	TEC	HA	FA	NH	HI	DR	RH	HU	STOCK
QBS-ar	1.00	0.08	0.43	0.43	-0.55	0.15	0.56	-0.51	0.24	0.00	-0.17	0.13	0.58	-0.06	0.14	0.15	0.50	0.28	0.25	0.12	0.39	0.34	-0.12	-0.05	-0.43	0.46	0.57
pH	0.08	1.00	0.56	0.56	-0.42	0.04	0.32	-0.65	-0.58	-0.75	0.21	0.69	0.48	0.61	-0.56	0.58	0.07	0.92	0.49	0.62	-0.31	-0.20	-0.49	0.12	-0.31	0.46	-0.45
TOC	0.43	0.56	1.00	1.00	-0.34	0.51	0.42	-0.90	-0.37	-0.62	0.42	0.39	0.83	0.31	-0.48	0.59	0.56	0.62	0.81	0.67	0.17	0.44	-0.46	-0.17	-0.44	0.32	-0.16
SOM	0.43	0.56	1.00	1.00	-0.34	0.51	0.42	-0.90	-0.37	-0.62	0.42	0.39	0.83	0.31	-0.48	0.59	0.56	0.62	0.81	0.67	0.17	0.44	-0.46	-0.17	-0.44	0.32	-0.16
P	-0.55	-0.42	-0.34	-0.34	1.00	-0.25	1.00	-0.12	0.37	0.39	0.21	0.34	-0.49	-0.22	0.33	0.14	-0.15	-0.02	-0.43	-0.30	-0.31	0.30	0.44	0.34	-0.27	0.03	-0.43
N	0.15	0.04	0.51	0.51	-0.25	1.00	-0.42	-0.51	-0.26	-0.33	0.02	0.36	0.17	0.11	-0.25	0.18	0.26	-0.02	0.73	0.60	0.41	0.62	-0.32	-0.02	0.24	-0.14	0.18
C/N	0.56	0.32	0.42	0.42	-0.12	-0.42	1.00	-0.41	0.07	-0.13	0.26	-0.05	0.70	0.09	-0.20	0.23	0.43	0.53	0.03	-0.01	-0.05	0.10	-0.01	-0.13	-0.74	0.50	-0.05
da	-0.51	-0.65	-0.90	-0.90	0.37	-0.51	-0.41	1.00	0.39	0.75	-0.32	-0.60	-0.74	-0.38	0.48	-0.60	-0.51	-0.70	-0.81	-0.77	-0.15	-0.36	0.63	-0.08	0.39	-0.53	0.13
SCH	0.24	-0.58	-0.37	-0.37	0.39	-0.26	0.07	0.39	1.00	0.62	-0.06	-0.66	-0.07	-0.39	0.61	-0.32	0.39	-0.55	-0.41	-0.54	-0.09	0.20	0.54	-0.46	-0.13	-0.38	0.31
SAB	0.00	-0.75	-0.62	-0.62	0.21	-0.33	-0.13	0.75	0.62	1.00	-0.49	-0.76	-0.41	-0.47	0.49	-0.68	-0.15	-0.69	-0.69	-0.81	0.20	0.03	0.62	-0.18	0.14	-0.36	0.48
LIM	-0.17	0.21	0.42	0.42	0.34	0.02	0.26	-0.32	-0.06	-0.49	1.00	-0.19	0.38	0.26	-0.18	0.34	0.45	0.23	0.25	0.21	-0.43	0.19	-0.05	-0.35	-0.39	-0.05	-0.56
ARG	0.13	0.69	0.39	0.39	-0.49	0.36	-0.05	-0.60	-0.66	-0.76	-0.19	1.00	0.19	0.33	-0.42	0.51	-0.16	0.61	0.59	0.76	0.09	-0.17	-0.66	0.46	0.13	0.45	-0.12
Ca	0.58	0.48	0.83	0.83	-0.22	0.17	0.70	-0.74	-0.07	-0.41	0.38	0.19	1.00	0.09	-0.35	0.56	0.70	0.62	0.62	0.51	0.03	0.40	-0.23	-0.26	-0.55	0.31	-0.16
Mg	-0.06	0.61	0.31	0.31	-0.33	0.11	0.09	-0.38	-0.39	-0.47	0.26	0.33	0.09	1.00	-0.52	0.17	0.13	0.57	0.27	0.33	-0.16	0.02	-0.28	0.14	-0.15	0.33	-0.32
Na	0.14	-0.56	-0.48	-0.48	0.14	-0.25	-0.20	0.48	0.61	0.49	-0.18	-0.42	-0.35	-0.52	1.00	-0.25	-0.12	-0.52	-0.45	-0.48	0.03	-0.20	0.32	-0.16	0.15	-0.22	0.48
K	0.15	0.58	0.59	0.59	-0.15	0.18	0.23	-0.60	-0.32	-0.68	0.34	0.51	0.56	0.17	-0.25	1.00	0.31	0.58	0.68	0.70	-0.16	-0.03	-0.43	-0.19	-0.16	0.05	-0.42
CSC	0.50	0.07	0.56	0.56	-0.02	0.26	0.43	-0.51	0.39	-0.15	0.45	-0.16	0.70	0.13	-0.12	0.31	1.00	0.11	0.49	0.33	0.06	0.66	-0.09	-0.32	-0.34	-0.01	-0.06
GSB	0.28	0.92	0.62	0.62	-0.43	-0.02	0.53	-0.70	-0.55	-0.69	0.23	0.61	0.62	0.57	-0.52	0.58	0.11	1.00	0.46	0.55	-0.23	-0.11	-0.39	0.05	-0.47	0.57	-0.33
TEC	0.25	0.49	0.81	0.81	-0.30	0.73	0.03	-0.81	-0.41	-0.69	0.25	0.59	0.62	0.27	-0.45	0.68	0.49	0.46	1.00	0.94	0.28	0.44	-0.62	0.03	0.09	0.12	-0.14
HA	0.12	0.62	0.67	0.67	-0.31	0.60	-0.01	-0.77	-0.54	-0.81	0.21	0.76	0.51	0.33	-0.48	0.70	0.33	0.55	0.94	1.00	0.13	0.21	-0.73	0.23	0.17	0.22	-0.28
FA	0.39	-0.31	0.17	0.17	-0.30	0.41	-0.05	-0.15	-0.09	0.20	-0.43	0.09	0.03	-0.16	0.03	-0.16	0.06	-0.23	0.28	0.13	1.00	0.41	-0.27	0.39	0.37	0.20	0.69
NH	0.34	-0.20	0.44	0.44	0.04	0.62	0.10	-0.36	0.20	0.03	0.19	-0.17	0.40	0.02	-0.20	-0.03	0.66	-0.11	0.44	0.21	0.41	1.00	0.19	-0.32	-0.13	-0.23	0.28
HI	-0.12	-0.49	-0.46	-0.46	0.34	-0.32	-0.01	0.63	0.54	0.62	-0.05	-0.66	-0.23	-0.28	0.32	-0.43	-0.09	-0.39	-0.62	-0.73	-0.27	0.19	1.00	-0.64	-0.23	-0.58	0.18
DR	-0.05	0.12	-0.17	-0.17	-0.27	-0.02	-0.13	-0.08	-0.46	-0.18	-0.35	0.46	-0.26	0.14	-0.16	-0.19	-0.32	0.05	0.03	0.23	0.39	-0.32	-0.64	1.00	0.47	0.63	0.09
RH	-0.43	-0.31	-0.44	-0.44	0.03	0.24	-0.74	0.39	-0.13	0.14	-0.39	0.13	-0.55	-0.15	0.15	-0.16	-0.34	-0.47	0.09	0.17	0.37	-0.13	-0.23	0.47	1.00	-0.32	0.17
HU	0.46	0.46	0.32	0.32	-0.43	-0.14	0.50	-0.63	-0.38	-0.36	-0.05	0.45	0.31	0.33	-0.22	0.05	-0.01	0.57	0.12	0.22	0.20	-0.23	-0.58	0.63	-0.32	1.00	0.05
STOCK	0.57	-0.45	-0.16	-0.16	-0.37	0.18	-0.05	0.13	0.31	0.48	-0.56	-0.12	-0.16	-0.32	0.48	-0.42	-0.06	-0.33	-0.14	-0.28	0.69	0.28	0.18	0.09	0.17	0.05	1.00

Tabella 5.13. Matrice di correlazione tra le variabili pedologiche relative ai siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone.

Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

Dalla lettura della tabella 5.13 sono emerse le seguenti correlazioni principali:

- positiva tra QBS-ar e C/N, Ca, HU e STOCK: si tratta di parametri correlati positivamente col TOC e quindi a loro volta positivamente correlati con la qualità del suolo;
- positiva tra TOC e HA: in quanto a maggior contenuto di TOC crescono proporzionalmente anche le componenti fondamentali della sostanza organica e quindi anche gli acidi umici;
- negativa tra TOC e da: in quanto la sostanza organica migliorando la stabilità degli aggregati, aumenta la porosità del suolo a cui corrisponde la diminuzione della densità apparente.

In analogia a quanto proposto nel precedente paragrafo riguardo alla creazione dell'indice di qualità del suolo, anche per i siti Monte Ferru, Timidone ed Ugolio si è proceduto in maniera analoga al caso di Pixinamanna.

In tabella 5.14 è rappresentata la matrice con gli auto valori relativi alla PCA effettuata inserendo tutte le variabili disponibili (QBS-ar, pH, TOC, SOM, P, N, C/N, da, SCH, SAB, LIM, ARG, Ca, Mg, Na, K, CSC, GSB, TEC, HA, FA, NH, HI, DR, HU, STOCK).

Numero valore	Autovalori matrice correlazioni e statistiche rela Sole variabili attive			
	Autovalore	% Totale varianza	Cumulo Autovalore	Cumulo %
1	10,20564	37,79867	10,20564	37,7987
2	4,33696	16,06283	14,54261	53,8615
3	3,69592	13,68860	18,23853	67,5501
4	2,95549	10,94626	21,19402	78,4964
5	1,32331	4,90113	22,51733	83,3975
6	1,22846	4,54985	23,74578	87,9473
7	0,82401	3,05190	24,56980	90,9993
8	0,67205	2,48906	25,24184	93,4883
9	0,48609	1,80035	25,72794	95,2887
10	0,37297	1,38137	26,10091	96,6700
11	0,29263	1,08380	26,39354	97,7538
12	0,22456	0,83172	26,61810	98,5856
13	0,12338	0,45697	26,74148	99,0425
14	0,10375	0,38426	26,84523	99,4268
15	0,07975	0,29539	26,92499	99,7222
16	0,05248	0,19438	26,97747	99,9166
17	0,01350	0,05000	26,99097	99,9666
18	0,00903	0,03344	27,00000	100,0000

Tabella 5.14. Autovalori della PCA relativa ai siti Monte Ferru, Timidone ed Ugolio eseguita con le seguenti variabili: QBS-ar, pH, TOC, SOM, P, N, C/N,

da, SCH, SAB, LIM, ARG, Ca, Mg, Na, K, CSC, GSB, TEC, HA, FA, NH, HI, DR, HU, STOCK.

A tale matrice corrisponde la figura 5.8 in cui è possibile notare la ripartizione dei punti relativi al sito Timidone alla destra del grafico, l'addensamento di quelli di Monte Ferru in prossimità del centro e quelli di Ugolio in basso a sinistra.

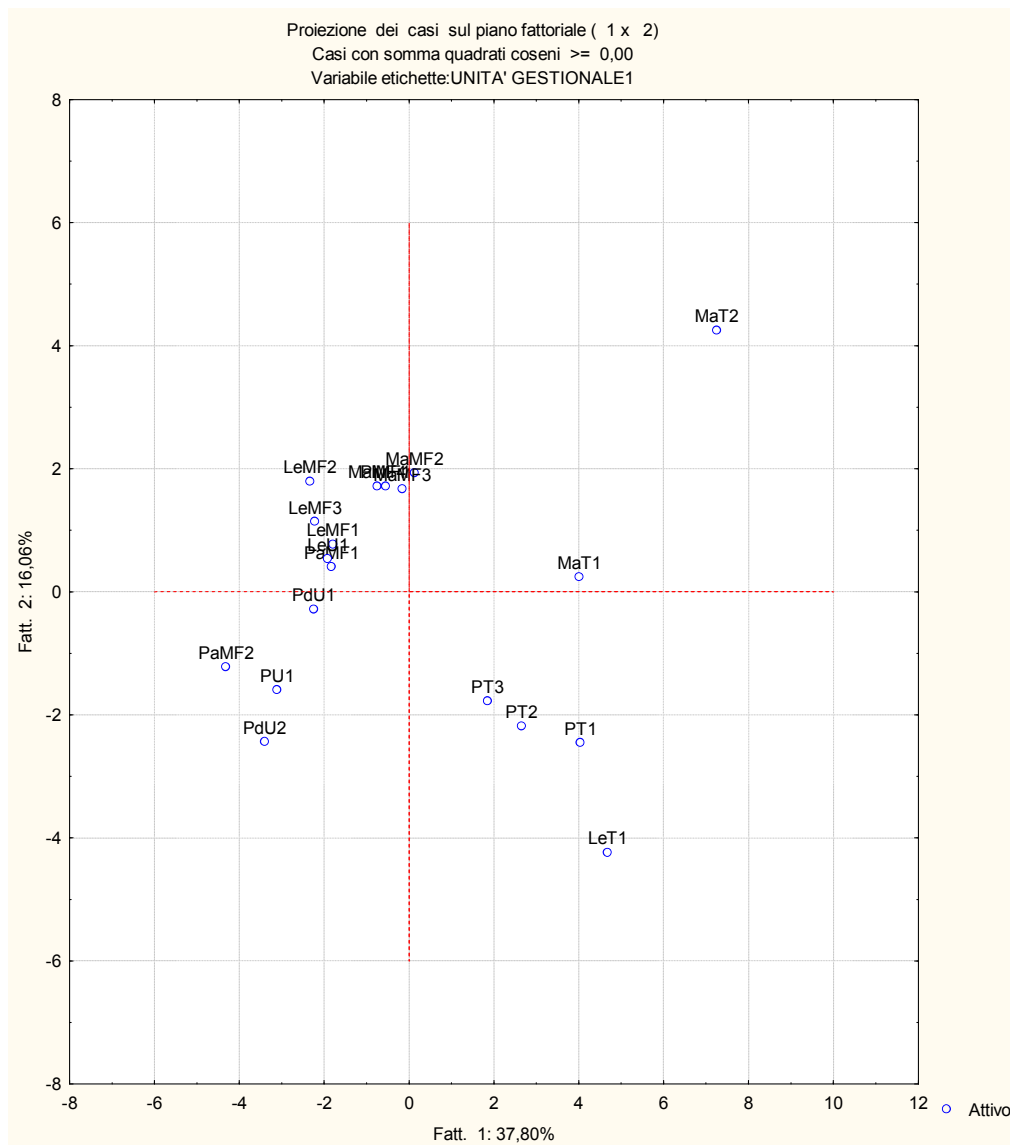


Figura 5.8. PCA relativa ai siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone ed alle seguenti variabili: QBS-ar, pH, TOC, SOM, P, N, C/N, da, SCH, SAB, LIM, ARG, Ca, Mg, Na, K, CSC, GSB, TEC, HA, FA, NH, HI, DR, HU, STOCK.

Nel tentativo di ridurre il numero di variabili e di avvicinare la distribuzione delle tipologie vegetazionali si è proceduto ad eliminare dal dataset le variabili ridondanti e quelle che davano informazioni simili.

La migliore distribuzione dei punti si è ottenuta utilizzando le seguenti variabili: QBS-ar, TOC, CSC, da, Ca, HU. A tale dataset corrisponde la tabella degli auto valori (tab. 5.15) in cui la variabilità spiegata dai primi due valori è pari all'80%, molto maggiore della prima distribuzione (tab 5.14) in cui era pari a circa 53%.

Numero valore	Autovalori matrice correlazioni e statistiche relaz Sole variabili attive			
	Autovalore	% Totale varianza	Cumulo Autovalore	Cumulo %
1	3,726230	62,10384	3,726230	62,1038
2	1,082079	18,03466	4,808310	80,1385
3	0,678100	11,30167	5,486410	91,4402
4	0,258678	4,31130	5,745088	95,7515
5	0,200933	3,34889	5,946022	99,1004
6	0,053978	0,89964	6,000000	100,0000

Tabella 5.15. Autovalori della PCA relativa ai siti Monte Ferru, Timidone ed Ugolio eseguita con le seguenti variabili: QBS-ar, TOC, CSC, da, Ca, HU.

Al data set individuato corrisponde la figura 5.9 in cui è possibile osservare la distribuzione delle unità gestionali nello spazio e la Fig 5.10 in cui è possibile osservare la distribuzione delle variabili nello spazio.

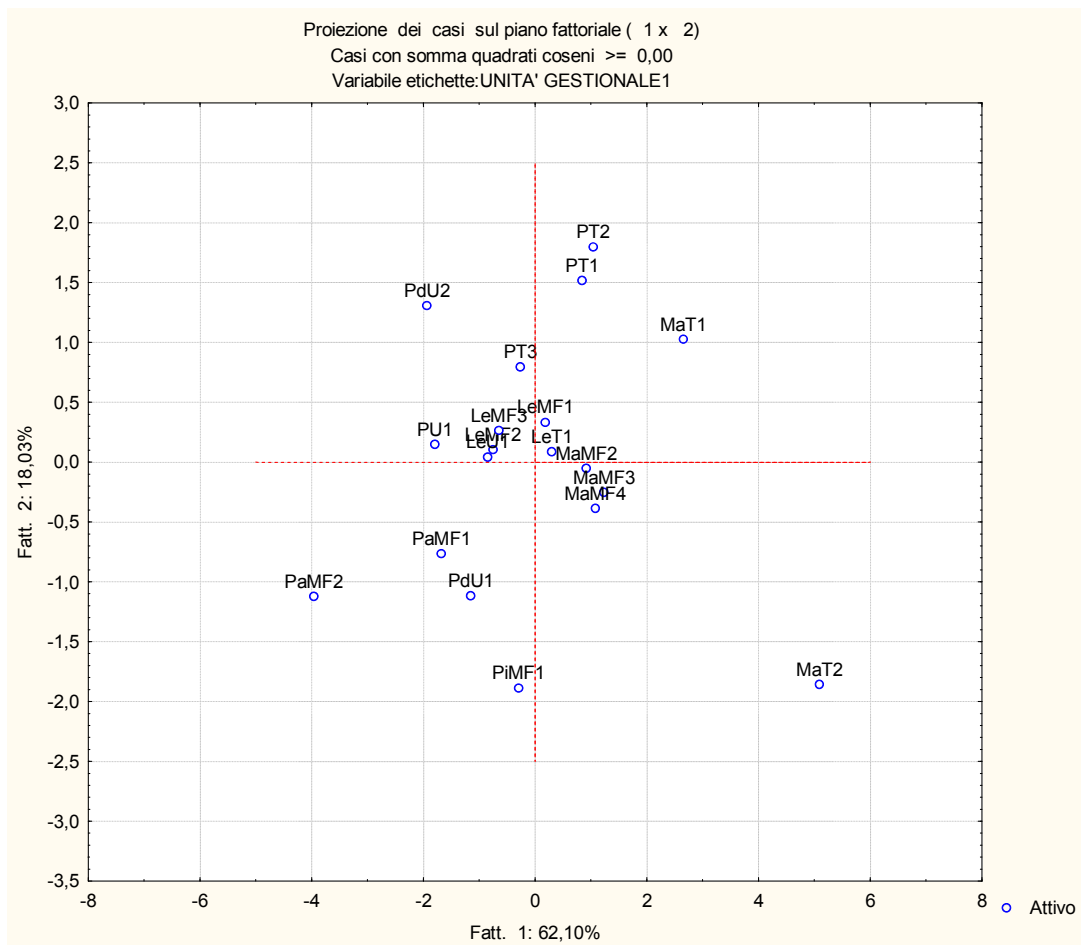


Figura 5.9. PCA relativa ai siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone ed alle seguenti variabili: QBS-ar, TOC, CSC, da, Ca, HU.

Nella figura 5.9 si osserva l'addensamento nella parte centrale del grafico delle tipologie a macchia e delle leccete relative ai siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone. Le macchie di Timidone sono un po' distanti dalle altre probabilmente a causa del loro elevato valore di TOC (entrambe), di CSC (MaT2) e di HU (MaT1). Le pinete di Timidone paiono separarsi dalle altre tipologie così come le tipologie soggette a disturbo recente e attuale (Pa e Pi). Le pinete di Ugolio, diradate e no, occupano un'area variabile dello spazio a causa della loro notevole eterogeneità.

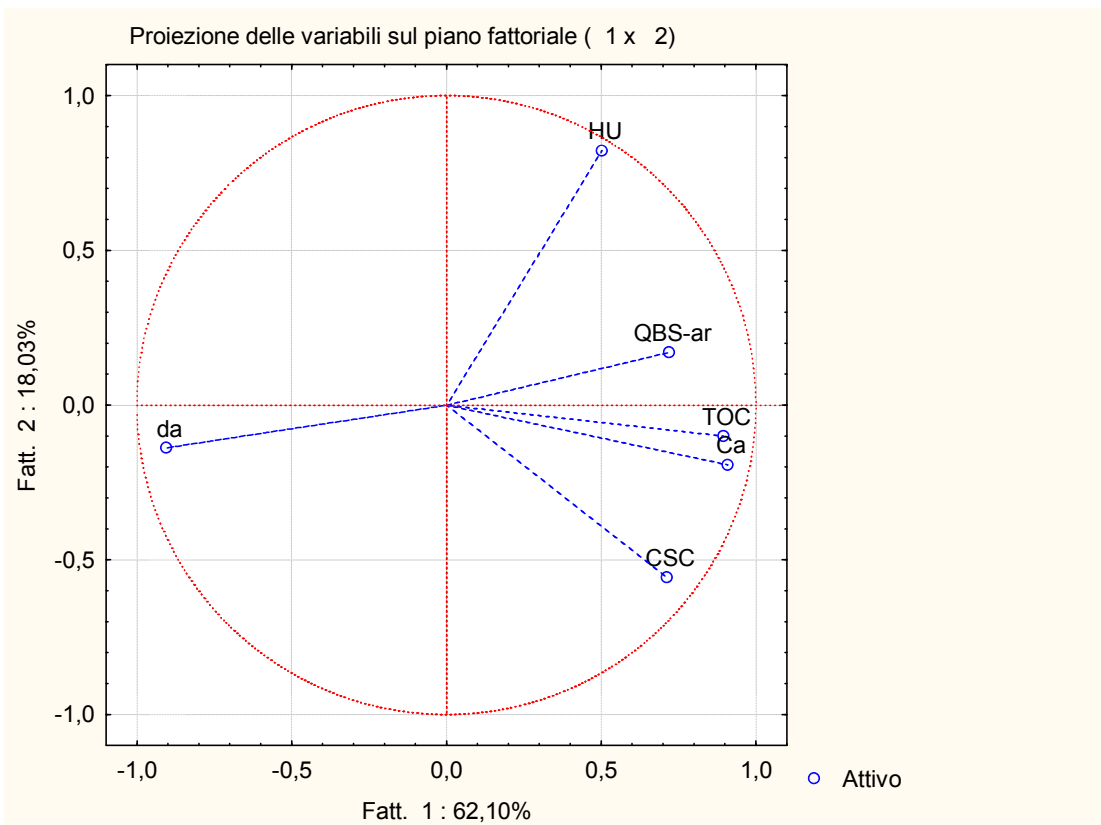


Figura 5.10. *Biplot relativo ai siti Monte Ferru, Ugolio e Timidone e alle variabili QBS-ar, TOC, CSC, da, Ca, HU.*

Una volta definito il minimum dataset si è proceduto al calcolo dell'indice di qualità in maniera analoga a quanto descritto nel paragrafo precedente per il sito di Pixinamanna.

I risultati dell'elaborazione dei dati, per i siti di Monte Ferru, Ugolio e Timidone sono presentati nella figura 5.11.

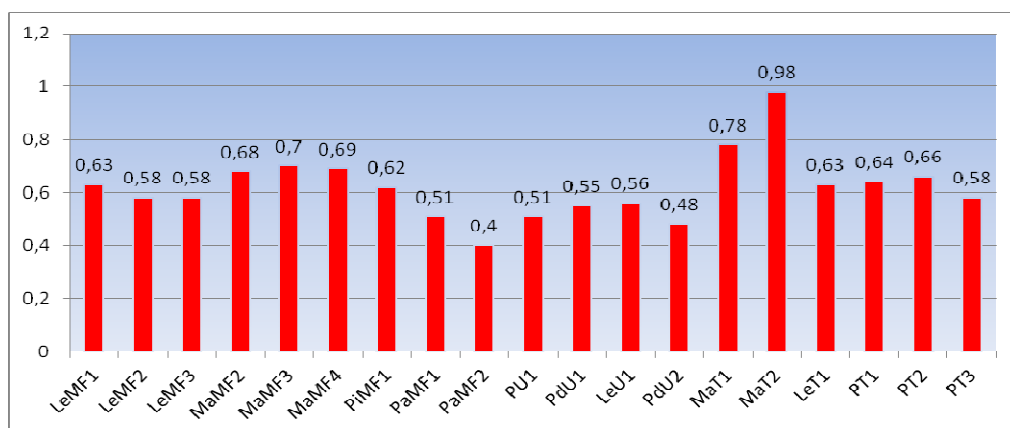


Figura 5.11. *Valori di qualità del suolo relativo alle tipologie vegetazionali individuate nei siti Monte Ferru Ugolio e, Timidone.*

Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

La figura 5.11 mostra la distribuzione delle unità gestionali in un range di qualità del suolo: i suoli a più bassa qualità sono quelli soggetti a disturbo antropico attuale (PaMF1 e PaMF2 con indice di qualità rispettivamente di 0,4 e 0,51) mentre i valori più alti (da 0,63 a 0,98) sono stati riscontrati nelle tipologie a macchia mediterranea. Le leccete e pinete hanno valori intermedi di qualità del suolo. È particolare il caso di Ugolio in cui i valori degli indici sono sempre bassi rispetto agli altri siti.

I valori complessivamente più elevati trovati per la macchia, anche rispetto alla lecceta, sono ricollegabili al fatto che la macchia è un sistema in evoluzione, caratterizzato da massima produttività, quindi da elevato accumulo, mentre la lecceta è un sistema più prossimo all'equilibrio con elevata biomassa ma con minore produttività.

In Campania, Marzaioli et al. (2011) utilizzando lo stesso l'approccio ma con differenti variabili predittive (includendo tra l'altro il contenuto in metalli pesanti ed alcuni parametri microbici) avevano trovato valori di qualità di 0,8 nei suoli dei boschi misti, 0,5 nei suoli di coltivazioni arboree e valori intermedi nei suoli di boschi di conifere, di arbusteti, di pascoli e di oliveti.

6. Conclusioni.

Nel presente lavoro sono stati studiati i suoli di alcune zone forestali della Sardegna situate in contesti ambientali differenti. Monte Timidone (Alghero), sulla costa nord-occidentale dell'isola, Ugolio (Nuoro) nella Sardegna centrale, Monte Ferru (Cardedu), sulla costa centro orientale ed infine Pixinamanna (Pula) sulla costa meridionale.

Sono stati analizzati suoli ascrivibili a sei tipologie: macchia mediterranea, lecceta, pineta pura, pineta diradata, aree evoluzione post incendio, aree a forte pressione antropica.

Il primo obiettivo dello studio era valutare la qualità dei suoli forestali attraverso misurazioni ed osservazioni basate sulle proprietà biologiche (microfauna edafica, humus forestali) ed ecologiche (funzioni ecologiche del suolo a scala di versante). Per gli stessi suoli è stato stimato lo stock di carbonio organico ed infine, sulla base dei dati relativi alle analisi chimico-fisiche e delle osservazioni fatte in campo, è stato sviluppato un "indice olistico" per la stima della qualità del suolo forestale e per la valutazione degli effetti della gestione antropica

I risultati ottenuti hanno mostrato come le superfici a macchia mediterranea siano quelle in cui il contenuto in carbonio organico è maggiore rispetto alle altre unità gestionali analizzate. Come conseguenza anche lo stock è maggiore in queste tipologie rispetto alle altre. I risultati identificano quindi le superfici a macchia mediterranea come degli importanti sink di carbonio.

Si è inoltre osservato come il contenuto in carbonio organico sia maggiore in corrispondenza delle forme di humus caratterizzate dalla presenza di un orizzonte ologranico umificato OH e di un orizzonte A di genesi biologica: al maggior contenuto in carbonio dell'orizzonte organico corrisponde anche il maggior contenuto di carbonio nell'orizzonte minerale A. In particolare quest'ultimo si caratterizza per avere struttura macroglomerulare (diametro > 3-5 mm), intima mescolanza tra la sostanza organica e le particelle minerali, intensa attività biologica, migliore porosità e regime idrico: si tratta solitamente di suoli caratterizzati anche da elevata biodiversità edafica, testimoniata anche dai valori del QBS-ar e dalla ricchezza specifica (inteso in termini di *richness*).

I suoli a macchia mediterranea si sono distinti da quelli delle altre tipologie anche per i minori spessori dell'orizzonte OH e per gli elevati valori del QBS-ar. Alla luce di questi risultati è possibile ipotizzare che le formazioni a macchia, essendo dei sistemi in forte dinamismo e a rapido accrescimento abbiano un'elevata richiesta di energia interna. Ciò determina la selezione di una comunità edafica altrettanto efficiente ed esigente. La migliore efficienza di quest'ultima si traduce nella degradazione fisica e chimica pronta e rapida dei residui organici: tale migliore efficienza si riflette nel minor spessore degli orizzonti umificati e nel maggiore contenuto in TOC degli orizzonti A, tendenze che si è notato essere più spiccata per la macchia rispetto alle altre tipologie.

I suoli delle pinete hanno un funzionamento più simile ai suoli delle leccete rispetto a quelli delle macchie.

Gli amphimull riscontrati sotto macchia potrebbero essere ecologicamente molto vicini alle forme di humus "dolci" (tipicamente i mull, caratterizzati dall'assenza dell'orizzonte umificato OH) ma le condizioni meteorologiche tipiche della zona mediterranea condizionano più degli altri fattori la velocità di scomparsa dei residui e quindi le caratteristiche della lettiera. In particolare l'interruzione delle piogge nel periodo tardo primaverile influenza lo sviluppo della comunità edafica a tal punto da determinare l'arresto della decomposizione proprio nel periodo in cui le temperature sarebbero più favorevoli a tal processo. Ciò determina la formazione di orizzonti organici umificati e la formazione di orizzonti minerali A di genesi biologica, la cui efficienza ecosistemica è intermedia tra quella dei mull e quella dei moder.

Il QBS-ar ha permesso di discriminare nettamente le aree soggette a disturbo antropico dalle altre unità gestionali. In particolare le aree soggette a lavorazioni e pascolamento intenso riportano i valori più bassi. Valori intermedi si riscontrano in situazioni in cui i disturbi sono cessati in tempi recenti, mentre quelli più alti si osservano in corrispondenza di siti in cui i fattori di disturbo sono cessati in tempi remoti. Rispetto ad altri metodi di biomonitoraggio, il metodo si caratterizza per la relativa semplicità procedurale e metodologica, per la semplice identificazione dei gruppi ecomorfologici, che non richiede la conoscenza approfondita della sistematica degli invertebrati ed inoltre è poco costoso. Potrebbe essere inserito in protocolli di

monitoraggio, unitamente ad altri parametri fisici e chimici, per valutare l'effetto delle lavorazioni, del pascolo e delle attività di gestione forestale in aree a rischio di degradazione, oppure per la valutazione della risposta di suoli soggetti a stress di varia natura (soprattutto inquinanti e xeno biotici), o soggetti a misure di ripristino ambientale.

Il metodo LFA ha permesso di mettere in evidenza il ruolo svolto dagli interventi di ripristino ecologico in situazioni stazionali originariamente difficili, evidenziando efficacemente gli effetti di questi interventi sulla struttura del paesaggio a scala di versante e sulle proprietà idrologiche superficiali del suolo.

Le informazioni fornite dai diversi indicatori considerati sono tra loro complementari e possono essere utilizzate al fine di effettuare stime di natura "olistica" della qualità dei suoli forestali.

L'approccio metodologico interdisciplinare applicato in questo lavoro ha permesso di caratterizzare le proprietà pedologiche ed ecologiche di alcuni suoli forestali sardi, attraverso la sperimentazione di approcci metodologici che in precedenza non erano mai stati applicati congiuntamente e confrontati.

I risultati ottenuti forniscono una caratterizzazione multidimensionale di siti forestali molto diversi tra loro, costituendo una base informativa di dati che potrà essere utilizzata per la gestione forestale e per la valutazione delle conseguenze delle pratiche gestionali.

Sarebbe auspicabile in futuro poter realizzare un maggiore sforzo di campionamento al fine di confermare le considerazioni fatte sulle relazioni esistenti tra humus, comunità edafica e vegetazione. Al riguardo sarebbe utile in particolare integrare agli indicatori già utilizzati, altri di natura microbiologia e biochimica.

Inoltre, a completamento della stima dello stock del carbonio organico, particolare importanza dovrebbe rivestire la stima del carbonio stoccato nella vegetazione epigea e quando possibile anche di quella ipogea. Una stima sommaria della componente epigea potrebbe essere fatta con l'uso di relazioni allometriche.

Per concludere, il maggiore sforzo di campionamento, supportato anche da ulteriori componenti analitiche, permetterebbe la creazione di un prezioso database sulle caratteristiche pedo-ecologiche dei suoli forestali sardi, e sul relativo stock di carbonio organico. Informazioni che allo stato attuale sono scarse e frammentarie. Ciò

consentirebbe di colmare un'importante lacuna conoscitiva, con utili ricadute sulla pianificazione e sulla gestione del patrimonio forestale sardo.

7. Ringraziamenti.

Il presente lavoro è stato reso possibile grazie al sostegno ricevuto dalla R.A.S. attraverso borsa di ricerca co-finanziata con fondi a valere sul P.O. Sardegna, F.S.E. 2007-2013 sulla L.R. 7/2007 “Promozione della ricerca scientifica e dell’innovazione tecnologica in Sardegna”.

E' difficile ricordare in poche righe tutte le persone che, a vario titolo, hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro.

Intendo ringraziare innanzitutto il prof. Salvatore Madrau, per tutto quello che mi ha insegnato in questi anni di dottorato.

Un particolare ringraziamento va al Dott. Claudio Zucca, sia per gli insegnamenti, ma anche per la sua infinita disponibilità, pazienza e capacità motivazionale anche nei momenti meno semplici del percorso di studio.

Vorrei inoltre ringraziare il prof. Antonio Franceschini, per l’impegno profuso per la gestione e il coordinamento dei dottorandi dell’indirizzo in Monitoraggio e Controllo.

Un ringraziamento speciale va anche ai tecnici del laboratorio della sede di Carta Loi e ai soci e dipendenti della cooperativa Ecotopia di Nuoro, in particolare a Claudia, che è stata fondamentale nel seguirmi con attenzione e meticolosità nel lavoro svolto in laboratorio.

Ringrazio di cuore tutti gli amici ed i colleghi incontrati in questi anni di dottorato. Infine va il ringraziamento ai miei genitori per essere stati sempre presenti e non aver mai fatto mancare sostegno e incoraggiamento.

8. Bibliografia.

- Accademia Nazionale delle Scienze, 2000. *Atti del Convegno "Indicatori per la qualità del suolo. Prospettive ed applicabilità."* Piacenza, 29 marzo. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali. 118°, Serie V, Vol. XXIV, Parte II, 187-410.
- A.F.E.S., 2008. *Référentiel Pédologique*. I.N.R.A., Paris.
- Andreotta et al., 2011. *Forest humus forms as potential indicators of soil carbon storage in Mediterranean environments*. *Biology and Fertility Soils* 47, 31-40.
- Arrigoni P.V., 1968. *Fitoclimatologia della Sardegna*. Webbia.
- Aune, J.B., Lal, R., 1997. *The tropical soil productivity calculator - a model for assessing effects of soil management on productivity*. In: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Soil Management - Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality*. *Adv. Soil Sci.*, Lewis Publishers, London, UK, pp. 499-520.
- Bachelier, G., 1986. *La vie animale dans le sol*. O.R.S.T.O.M., Paris.
- Blasi S., Menta C., Balducci L. Conti F.D., Petrini E., Piovesan G., 2012. *Soil microarthropod communities from Mediterranean forest ecosystems in Central Italy under different disturbances*. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Bongers T. de Goede, 1990. *The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition*. *Oecologia* 83, 14-19.
- Bouché M.B. 1972. *Lombrincies de France. Ecologie et systématique*. INRA 72-2 Institut National de Recherches Agricoles, Paris.
- Burger J.A., Kelting D.L., 1999. *Using soil quality indicators to assess forest stand management*. *Forest Ecology and Management* 122, 155-166.
- Campbell, C. A., Paul, E. A., McGill, W. B., 1976. *Effect of cultivation and cropping on the amounts and forms of soil N*. In: Rice, W. A. (Eds.), *Proceedings of Western Canada Nitrogen Symposium*. Alberta Agriculture. Edmonton, Alberta, Canada, 9-101.
- Carmean, 1975. *Forest site quality evaluation in the United States*. *Advances in Agronomy* 27, 209-269.
- Cher G.M., Myrold D.D., Bottomley P. J., 2009. *A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest*. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 822-830.
- Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

- Ciavatta et al., 1990. *Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone*. Journal of Chromatography 509, 141-146.
- Commissione Europea, 2006. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC, COM(2006) 232*.
- A.R.P.A.S, (2000-2010). Dati meteorologici delle stazioni di Jerzu, Nuoro, Olmedo, Villa San Pietro.
- D'avino L., 2002. *Esposizione del metodo di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure*. Depositato presso il Museo di Storia Naturale, Dipartimento di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università degli Studi di Parma. Parma.
- Doran J.W., Parkin T.B., 1994. *Defining soil quality*. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (eds) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Special Publication 35, Madison, WI, USA, 3-21.
- Emmerling, C., Udelhoven, T., 2002. *Discriminating factors of the spatial variability of soil quality parameters at landscape-scale*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 165, 706-712.
- Eswaran, H. 1994. *Soil resilience and sustainable land management*. In: D.J. Greenland and I. Szabolcs (eds), *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, Wallingford, UK: CAB International, 21-32.
- FAO, 2006. *Guidelines for Soil Description*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Florenzano G., 1991. *Fondamenti di microbiologia del terreno*. REDA, Roma.
- Ford, D.E., 1983. *What do we need to know about forest productivity and how can we measure it?* In: Ballard, R., Gessel, S.P. (Eds.), *IUFRO Symposium on Forest Site and Continuous Productivity*. USDA Forest Service, General Technical Report, PNW 163, 2-12.
- Gardi, C., Tomaselli, M., Parisi, V., Petraglia, A., & Santini, C., 2002. *Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands*. European Journal of Soil Biology 38, 103-110.
- Garlato A., Obber S., Vinci I., Sartori G., Manni G., 2009. *Stock attuale di carbonio organico nei suoli di montagna del Veneto*. Studi Trentini Scienze Naturali 85, 69-81.

- Green R.N., Klinka K., Trowbridge R.L., 1993. *Towards a taxonomic classification of humus forms*. Society of American Foresters 29, 1-49.
- Guelpa M. 2010. *Una catena di suoli nei calcari mesozoici della penisola di capo Caccia (Alghero-Sassari)*. Tesi di laurea. Corso di laurea Specialistica in Pianificazione e Gestione dell'Ambiente e del Territorio Rurale, Università degli Studi di Sassari.
- Hartmann F., 1970. *Gli humus forestali*. Cedan, Padova.
- Hawksworth D.L., 1991. *The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation*. Mycological Research 95, 641-655.
- Hollis, J.M., Woods, S.M., 1989. *The measurement and estimation of saturated soil hydraulic conductivity*. SSLRC Research Report, Silsoe, Beds.
- Hooker T.D., Stark J.M., Norton U., Leffler A.J., Peek M., Ryel R., 2008. *Distribution of ecosystem C and N within contrasting vegetation types in a semiarid rangeland in the Great Basin, USA*. Biogeochemistry 90, 291-308.
- Ibrahima A., Joffre R. and Gillon D., 1995. *Changes in litter during the initial leaching phase: an experiment on the leaf litter of mediterranean species*. Soil Biology and Biochemistry 27, 931-939.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1996. *Soil quality. Vocabulary*. Part 1: Terms and definitions relating to the protection and pollution of the soil.
- IPCC, 2000. *Land Use, Land-Use Change and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University.
- Islam & Weil, 2009. *Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh*. Agriculture, Ecosystems and Environment 79, 9-16.
- ISPRA. *Carta Geologica d'Italia nella scala 1:50.000*.
- Jabol B., Brethes A., Bun J.J., Ponge J.F., 1995. *Classification of forest humus forms: a French proposal*. Annales de Sciences Forestieres 52, 535-546.
- Jacomini, 2000. *Indicatori e indici eco tossicologici applicati al suolo. Stato dell'arte*
- Johansson, M. B., 1994. *Decomposition rates of Scots pine needle litter related to site properties litter quality, and climate*. Canadian Journal of Forest. Research 24, 1771-1781.

- Kay, B.D., Grant, C.D., 1996. *Structural aspects of soil quality*. In: MacEwan, R.J., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality is in the Hands of the Land Manager*. Centre for Environmental Management, University of Ballarat, Victoria, Australia, pp. 37-41.
- Killham, K., 1994. *Soil ecology*. Cambridge University Press.
- Klinka K., Green R.N., Trowbridge R.L. e L.E. Lowe, 1981. *Taxonomic classification of humus forms in ecosystem of British Columbia. First Approximation*. Ministry of Forest British Columbia.
- Knoepp J.D., David C., Coleman D.A., Crossley D.A. Jr., Clark J.S. 2000. *Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use*. *Forest Ecology and Management* 138, 357-368.
- Lal R., Buce J.P., 1999. *The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect*. *Environmental Science and Policy* 2, 171-185.
- Lal, R., Stewart, B. A., 1990. *Soil degradation: A global threat*, In: Lal, R., Stewart, B. A. (Eds.), *Soil degradation*. Springer-Verlag. New York, Stati Uniti, 13-17.
- Lal, R., 2003. *Soil degradation and global food security: a soil science perspective*. In: *Land quality, agricultural productivity, and food security: biophysical processes and economic choices at local, regional, and global levels*, (Ed. K. Wiebe). Edward Elgar Publishing Ltd., 16-35.
- Larson, W.E., Pierce, F.J., 1991. *Conservation and enhancement of soil quality* In: Dumanski, J. (Eds.), *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*. Proceedings of the International Workshop, Chiang Rai, Thailand, 15– 21 Sept. 1991. Technical papers, vol. 2. International Board for Soil Resource and Management. Bangkok, Thailand, 175-203.
- Lavelle P., Angerfield M.D., Frago C., Eschenbrenner V., Lopez-Hernandez D., Pashanasai B., Brussaard L., 1994. *The relationship between soil Macrofauna and tropical soil fertility*. In: Swift M.J. & Woormer P. (Eds.). *Tropical Soil Biology and Fertility*. New York John Wiley-Sayee, 137-169.
- Lentzsch, P., Wieland, R., Wirth, S., 2005. *Application of multiple regression and neural network approaches for landscape-scale assessment of soil microbial biomass*. *Soil Biology & Biochemistry* 37, 1577–1580.
- Liebig M.A., Varvel G., Doran J., 2001. *A simple performancebased index for assessing multiple agroecosystem functions*. *Agronomy Journal* 93, 313–318.

- Lisa C., Conti F.D., Piovesan G., 2011. *QBS-ar: Il suolo dal punto di vista dei microartropodi edafici*. In: Dazzi C., *La percezione del suolo. Le penseur*. Brienza. 247 p.
- Madrau S., Deroma M.A., Loi G., Baldaccini P., 2006. *Database pedologico georeferenziato e la Carta dei Suoli della Sardegna alla scala 1:250.000*.
- Marland G., Boden T.A., & Andres R.J., 2001. *Global, Regional and National CO2 Emission*. In *Trends: a Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- Marzaioli et al., 2010. *Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types*. *Applied Soil Ecology*, Applied Soil Ecology 44, 205–212.
- Menta C., Leoni A., Gardi C., Conti F. D., 2011. *Are grasslands important habitats for soil microarthropod conservation?* *Biodiversity and Conservation* 20, 1073-1087.
- Meeting, F.B., Smith, J.L., Amthor, J.S., Izaurrealde, R.C., 2001. *Science needs and new technology for increasing soil carbon sequestration*. *Climatic Change* 51, 11–34.
- MIPAF, 2000. *Metodi di analisi chimica del suolo*. Franco Angeli Editore, Milano.
- MIPAF, 1997. *Metodi di analisi fisica del suolo*. Franco Angeli Editore, Milano.
- Nannipieri P., 1993. *Ciclo della sostanza organica nel suolo (aspetti agronomici, chimici, ecologici e selvicolturali)*. Pàtron.
- Napoli R., Marchetti A., Marchetti M., Riccioni F., Riviaccio R., Piccini C., Oradini A., Paolanti M., Cibella R., 2011. *Relazione tra vegetazione e contenuto di carbonio organico dei suoli nell'ambiente forestale della Sicilia: valutazione e stima degli stock sulla base della variabilità pedologica*. C.R.A. *La Percezione del suolo. Atti del Workshop*
- OECD, 2003. *OECD Environmental Indicators – development, measurement and use. Reference Paper*. <http://www.oecd.org/dataoecd/7/47/24993546.pdf>
- Parisi V., 2001. *La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi*. *Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense* 37, 87-106.
- Parisi, V., Cristina, M., Gardi, C., Jacomini, C., Mozzanica, E., 2005. *Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105, 323-333.
- Petrella F., Piazzini M., 2005. *Il carbonio organico negli ecosistemi agrari e forestali del Piemonte: misure ed elaborazioni*. Atti della giornata “Protocollo di Kyoto: Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

il ruolo del suolo nella cattura della CO₂ atmosferica'. Bollettino dell'Associazione Italiana Pedologi. 1-3, 33-34.

- Ponge JF, Chevalier R., 2006. *Humus Index as an indicator of forest stand and soil properties*. Forest Ecology and Management 233, 165-175.
- Ponge J.F., Chevalier R., Loussot P., 2002. *Humus Index: An Integrated Tool for the Assessment of Forest Floor and Topsoil Properties*. Soil Science Society of America Journal 66, 1996–2001.
- Ponge, J.F., Gillet, S., Dubs, F., Fédoroff, E., Haese, L., Sousa, J.P., Lavelle, P., 2003. *Collembolan communities as bioindicators of land use intensification*. Soil Biology and Biochemistry 35, 813-826.
- Ponge, J.F., 2003. *Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to biodiversity*. Soil Biology and Biochemistry 35, 935-945.
- Powers R.F., Tiarks A.E., Boyle J.R., 1998. *Assessing soil quality: practicable standards for sustainable forest productivity in the United States*. In: Adams, M.B., Ramakrishna K., Davidson, E.A. (Eds.), *The Contribution of Soil Science to the Development and Implementation of Criterial and Indicators of Sustainable Forest Management*. Soil Science Society of America, Special Publication 53, 53-80.
- RAS, 2007. *Carta dell'Uso del Suolo della Regione Autonoma della Sardegna*.
- RAS, 2006. *Ortofoto alla scala 1.10.000*.
- Read D.J., Mitchell D.T., 1983. *Decomposition and mineralization processes in Mediterranean type ecosystems and in a heathland of similar structure*. In: Kruger FJ, Mitchell DT, Jarvis JUM, eds. *Mediterranean type ecosystems: the role of nutrients*. New York: Springer Verlag.
- Regione Emilia Romagna, 2010 (a). Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli *Carta del carbonio organico immagazzinato nei suoli della pianura emiliano romagnola 0-30 cm scala 1:50.000*.
- Regione Emilia Romagna, 2010 (b). Regione Emilia Romagna Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli *carta del carbonio organico immagazzinato nei suoli dell'Appennino Emiliano-Romagnolo 0-30 cm scala 1:250.000*.
- Reynolds JF, Grainger A, Stafford Smith DM, Bastin G, Garcia-Barrios L, Fernández RJ, Janssen MA, Jürgens N, Scholes RJ, Veldkamp A, Verstraete MM, von Maltitz G, Zdruli P., 2011. *Scientific concepts for an integrated analysis of desertification*. Land Degradation & Development 22, 166-183.

Carlo Cucca. Riserve di carbonio, forme di humus e qualità biologica in suoli forestali sardi. Tesi di Dottorato in Scienze dei Sistemi Agrari e Forestali e delle Produzioni Alimentari. Indirizzo in Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in ambiente Mediterraneo. Università degli Studi di Sassari

- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F., 1996. *Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard*. In: Doran, J.W., Jones A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America, Special Publication 49, 39-60.
- Safriel U.N., 2009. *Status of desertification in the Mediterranean region*. In: *Water Scarcity, Land Degradation and Desertification in the Mediterranean Region*. J.L. Rubio, U.N. Safriel, R. Daussa, W.E.H. Blum, and F. Pedrazzini (eds). NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer Science+Business Media B.V., 33-73.
- Schlesinger W., Andrews J., 2000. *Soil respiration and the global carbon cycle*. *Biogeochemistry* 48, 7–20.
- Schoeneberger, P.J., Wysocky, D.A., Benham, E.C., Broderson, W.D., 2002. *Field book for describing and sampling soils, version 2*. NRCS–USDA, NSSC, Lincoln, NE.
- Sidari M., Muscolo A., Cianci V., Attinà E., Vecchio G., Zaffina F., 2005. *Evoluzione della sostanza organica in suoli rappresentativi dell’Altopiano della Sila*. *Foresta* 2, 296-305.
- Shannon C.E., Wiener W., 1949. *The mathematical theory of communication*. *The Bell System Technical Journal* 27, 379-423, 623-656.
- Simpson E. H., 1949. *Measurement of species diversity*. *Nature* 163, 688.
- Smith P., 2004. *Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context*. *European Journal of Agronomy* 20, 229–236.
- Smith P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O’Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan G., Romanenkoy, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., Smith, J., 2008. *Greenhouse gas mitigation in agriculture*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 363, 789–813.
- Solaro, Brenna, 2005. *Il carbonio organico nei suoli e nelle foreste della Lombardia. Atti della giornata “Protocollo di Kyoto: il ruolo del suolo nella cattura della CO2 atmosferica”*. *Bollettino dell’Associazione Italiana Pedologi*. 1-3, 24-28.
- SSSA, 1997. *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America, Madison, WI
- Tabaglio, V., Gavazzi, C., & Menta, C., 2008. *The influence of no-till, conventional tillage and nitrogen fertilization on physico-chemical and biological indicators after three years of monoculture barley*. *Italian Journal of Agronomy*, 3(4), 233–240.

- Tongway D. J., Hindley N. L., 2004. *Landscape Function Analysis Manual: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to Minesites and Rangelands*. CSIRO Australia, 82 pp.
- Tonolli S., Salvagni F. (a cura di), 2007. *InForCar. Inventario forestale del carbonio della provincia di Trento*. Ministero dell' Ambiente e della tutela del territorio e del Mare e Centro di Ecologia Alpina, Trento
- USDA, 2001. *Soil Quality Test Kit Guide*.
http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test_kit_complete.pdf
- Virzo De Santo A., Berg B., Rutigliano F.A., Alfani A., Fioretto A., 1993. *Factors regulating early – stage decomposition of needle litter in five different coniferous forests*. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, 1423-1433.
- Virzo De Santo A., Fioretto A., Rutigliano F.A., Alfani A. and Musacchio A., 1991. *Bitter decomposition in coniferous forests of southern Italy*. Climatic influence. *Società Italiana di Ecologia*. Atti 12, 67-73.
- Wallwork, J. A., 1970. *Ecology of soil animals*. McGraw-Hill. London. 283 pp.
- Wang S., Liu J., Yu G., Pan Y., Chen Q. e Li J., 2004. *Effects of land use change on the storage of soil organic carbon: a case study of the Qianyanzhou forest experimental station in China*. *Climatic Change* 67, 247–255.
- West GB, Brown JH, Enquist BJ. 1999a. *A general model for the structure and allometry of plant vascular systems*. *Nature* 400: 664-667.
- West GB, Brown JH, Enquist BJ. 1999b. *The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms*. *Science* 248: 1677-1679.
- Zanella A., Tomasi M., De Siena C., Frizzera L., Jabiol B., Nicolini G., 2001. *Humus forestali. Manuale di ecologia per il riconoscimento e l'interpretazione. Applicazione alle faggete*. Centro di Ecologia Alpina, Trento, pp. 321.
- Zanella et al. 2009. *Toward a european humus forms reference base*. *Studi Tridentini di Scienze naturali* 85, 145-151.
- Zornoza R., Mataix-Solera J., Guerrero C., Arcenegui V., Mataix-Beneyto J., Gomez I., 2008. *Validating the effectiveness and sensitivity of two soil quality indices based on natural forest soils under Mediterranean conditions*. *Soil Biology & Biochemistry*. 40, 2079–2087.

Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Mayoral, A.M., Morales, J.Mataix-Beneyto, J., 2007. *Soil properties under natural forest in the Alicante Province of Spain*. *Geoderma* 142, 334–341.

Zucca, C., Canu, A., Previtali, F., 2010. *Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia (Italy)*. *Catena* 83, 46-54.