

TOMMASO SITZIA (\*) - AUGUSTO ZANELLA (\*) - FRANCO VIOLA (\*)  
DINA CATTANEO (\*)

## ANALISI DEL PAESAGGIO FORESTALE PER L'INTERPRETAZIONE DELLE RELAZIONI TRA BIODIVERSITÀ E FORME DI HUMUS <sup>(1)</sup>

*L'area di studio è localizzata nel Parco Naturale Adamello-Brenta (Provincia di Trento). Sono state rilevate, in accordo con un disegno campionario casuale sistematico, 48 aree di saggio, distribuite in due valli diverse, caratterizzate da clima variabile da submediterraneo a subcontinentale.*

*La vegetazione forestale abbraccia un ampio spettro di situazioni ecologiche e competitive. Dalla prevalente diffusione di faggete termofile e orno-ostrieti di contatto, localmente interessate da rimboschimenti di pino silvestre o infiltrazioni di abete rosso e abete bianco di maggiore quota, si transita, negli impluvi o nelle esposizioni fresche, a formazioni di faggio mesofile, o, nelle condizioni più fertili e meno disturbate, alle abetine. Risalendo il versante, fino alle parti più alte e culminali, si incontrano peccete altimontane e subalpine, che, rappresentano il tipo di vegetazione stabile in quella fascia altitudinale.*

*Di questi boschi, che sono caratterizzati anche da diverse situazioni «selvicolturali», si dispone ora di informazioni in merito a diversi indicatori strutturali, oltre a quelli usuali di biometria, tra i quali il rapporto tra soggetti arborei giovani o di alberi di dimensioni notevoli, il rapporto tra i tipi strutturali, oppure di espressioni ecologiche a significato più complesso, come la quantità di necromassa in piedi o al suolo e del livello della sua alterazione, l'abbondanza di specie legnose e la loro copertura, la presenza di alberi habitat, e di alberi con cavità prodotte da picidi, oltre la ricchezza di specie vegetali e la copertura degli strati di vegetazione non arborei e del suolo nudo. Lo studio delle forme di humus che sarà svolto nel corso dell'anno 2005 darà la possibilità di individuare le relazioni esistenti tra queste e gli indicatori misurati ed esposti nel presente articolo.*

*Parole chiave:* indicatori; struttura forestale; naturalità; evoluzione dell'humus; tipi forestali.  
*Key words:* indicators; forest structure; naturalness; humus evolution; forest stand types.

---

(\*) Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali.

<sup>1</sup> Lavoro svolto nell'ambito del progetto MIUR PRIN COFIN2003 FOR\_BIO «Modelli di gestione sostenibile dei sistemi forestali per la conservazione della complessità e della diversità biologica» (Coordinatore nazionale: O. Ciancio). T. Sitzia: coordinamento, esecuzione ed elaborazione dei rilevamenti della struttura e della vegetazione forestale; A. Zanella: coordinamento, esecuzione ed elaborazione della parte relativa agli humus e alla loro classificazione; F. Viola: coordinamento della ricerca e supervisione della stesura del testo; D. Cattaneo: stesura di parti del testo e collaborazione all'elaborazione dei dati. Si ringrazia L. Guagliardo per l'assistenza durante l'esecuzione dei rilevamenti.

## PREMESSA ED OBIETTIVI

«L'humus è il collegamento tra il mondo degli organismi viventi e quello dei minerali. Da una parte esso è interfaccia tra gli spazi in cui si sviluppa il suolo e quelli in cui si organizza la vegetazione epigea; dall'altra parte l'humus è invece il momento di incontro, o di intreccio, tra i percorsi evolutivi della foresta e del terreno».

Questa espressione che apre il volume «Humus forestali», pubblicato dal Centro di Ecologia Alpina di Trento col coordinamento di ZANELLA (2001), sottolinea l'importanza che molti attribuiscono all'osservazione e all'interpretazione degli humus, in quanto strumento - indicatore per la valutazione degli equilibri dell'ecosistema foresta che continuamente cambia di aspetto lungo il percorso della micro- e della macro-evoluzione (MARGALEF, 1981).

A questo scopo non giova tanto la determinazione dei caratteri chimici e biochimici delle sostanze umiche, quanto piuttosto il riconoscimento delle forme dell'humus, che sono, secondo l'antica e ancor valida definizione data da MÜLLER (1887), il «modo con cui si organizzano gli orizzonti, posti l'uno sull'altro, in prossimità della superficie del suolo e formati da residui organici più o meno frammisti a materia minerale».

È noto che a determinare la formazione, l'evoluzione e la maturazione degli humus di foresta e a differenziarne le forme, cioè la struttura macro e microscopica (stratificazione degli orizzonti e caratteri dei residui organici), contribuiscono, tra gli altri fattori, l'ambiente meteo-climatico, la forma del territorio, la natura chimica e fisica delle rocce e, soprattutto, la qualità e la quantità della sostanza organica al suolo (necromassa) e di quella (viva) che, sottoforma di piante e di animali, è attiva nelle trasformazioni di quella morta.

Per descrivere il legame tra il bosco, con le sue componenti epigee (biodiversità floro-faunistica del soprassuolo), e l'humus, con gli animali, i funghi e i batteri (biodiversità edafica) che sinergicamente partecipano alla sua formazione, pur se in luoghi (orizzonti) e in tempi (stagioni) diversi, sono sempre stati proposti modelli piuttosto semplici, eppure efficaci. È infatti facile verificare che ogni cenosi forestale, sotto i possibili climi, e in ragione dei luoghi in cui si è sviluppata, ha attitudine a generare, con poche varianti, una sua propria forma di humus.

In via teorica si dovrebbe quindi poter definire l'humus d'una foresta attraverso il riconoscimento dei suoi alberi e dell'altra sua flora. In una certa misura dovrebbe valere anche il contrario, sempre che il bosco sia provvisto di assetti assolutamente e naturalmente equilibrati. Se questo non accade, e quasi mai accade, allora se ne deve cercare la causa nella rottura di quegli equilibri, ovvero, il più delle volte, nelle trasformazioni che il

bosco subisce in ragione delle scelte colturali e gestionali per esso compiute. Meno semplice è invece determinare l'efficacia di queste trasformazioni che possono determinare il blocco o la deviazione dei meccanismi di co-evoluzione del soprassuolo e dell'humus forestale.

In questa direzione muove la ricerca, che mira ad attribuire agli humus una capacità diagnostica ai fini della «misura» della maturità ecologica dell'ecosistema foresta.

La presente relazione si riferisce al metodo seguito, e ai risultati ottenuti, nell'individuazione di una serie di indicatori ritenuti efficaci alla interpretazione del sottosistema epigeo come attore nella formazione dell'humus. Eguale attenzione, in questo senso, è stata posta sia agli assetti «naturali» dei boschi, sia a quelli colturali, anch'essi qualificati e quantificati con gli strumenti propri dell'ecologia. Si è provveduto ad una serie di rilevamenti, condotti su un campione di 48 aree di saggio, in prima approssimazione ritenuto sufficiente a coprire la variabilità degli assetti «ecosistemici» dell'area di studio. Altrettanto interesse è stato dato anche alla variabilità strutturale derivante dagli interventi colturali compiuti in passato nell'area d'indagine (interamente compresa all'interno del territorio anane del Parco Naturale Adamello-Brenta in Provincia di Trento; 46°14' N; 10°57' E), così come indicati dai tecnici forestali del Parco e da quelli del Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento. La difficile accessibilità dei luoghi ha poi suggerito di collocare i campioni in prossimità di strade e di piste forestali, talora abbandonate ormai da molti decenni ed ora riproposte a nuova funzionalità in conformità a un piano generale di viabilità forestale. Questo strumento di programmazione territoriale è stato concepito dal Servizio Foreste per un più razionale e cauto impiego delle biomasse all'interno della Riserva Speciale imposta dal Parco allo scopo di tutelare l'Orso bruno (*Ursus arctos*) ed estesa su quasi tutto il settore anane dell'area protetta.

La seconda parte del lavoro, qui non riportata, è invece relativa agli humus, e agli attori della sua formazione. Per il riconoscimento delle sue forme, cui è stato attribuito significato diagnostico in merito agli equilibri ecosistemici, si è provveduto a perfezionare «localmente» una chiave di classificazione, su cui da qualche anno ricercatori del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali dell'Università di Padova sono impegnati attraverso collaborazioni di rango europeo. Questa chiave di interpretazione degli humus promette di risultare particolarmente efficace non solo al riconoscimento delle tipologie fisionomiche di questa fondamentale parte del suolo, ma anche alla valutazione della sua funzionalità e dunque dell'efficienza con cui le componenti vive del terreno elaborano le necromasse per restituirle ai processi di sviluppo della foresta.

## IL TERRITORIO, I RILEVAMENTI E I CARATTERI DEI BOSCHI

L'area è centrata sui versanti settentrionali del massiccio dolomitico in maniera da annullare quasi totalmente la parte della variabilità pedologica connessa a quella del substrato litologico. Resta invece attiva la variabilità mesoclimatica dovuta all'esposizione e all'altimetria, la prima legata alla giacitura dei versanti del gruppo di Brenta che si affacciano sulle valli di Tovel (a nord-ovest), del Noce (a sud-est) e dello Spor (a est). L'altitudine è però il fattore assolutamente determinante sulla varietà dei paesaggi forestali, oscillando tra un minimo di 500-600 m s.l.m. del fondo della valle di Non fino al limite superiore del bosco, che in Val di Tovel si colloca intorno a 1900 m s.l.m.

L'impronta climatica è solo in parte desumibile dai dati raccolti in alcune stazioni meteorologiche poste a sostegno tecnico della coltivazione del melo (Spormaggiore, Dercolo, Cunevo, Flavon e Cles). Una sola, in prossimità di Tovel, da qualche anno dà informazioni utili agli studi idrobiologici sul mancato arrossamento del lago. Essendo le serie dei dati termo-udometrici estesi su pochi anni, spesso con interruzioni di alcune settimane, e tra loro scarsamente sovrapposte, quasi nulla si può dire sugli assetti climatici di quei luoghi. Indicativamente, tuttavia, si può segnalare come i valori medi annuali di temperatura oscillino tra 5°C, ai 1300 m s.l.m. di Tovel, e 9,5 - 10°C delle altre località, poste ad una altitudine di 400 - 600 m s.l.m. Le minime giornaliere a Tovel, a gennaio, si assestano mediamente intorno a -12°C, mentre a 19°C vi giunge la media di luglio. Nel fondovalle del Noce la minima sale a -9°C, mentre i massimi assoluti arrivano a superare, in agosto, 32°C.

Le precipitazioni nell'anno si collocano intorno a 1000 mm, nelle valli trasversali, che si incuneano nel massiccio di Brenta, e intorno a 1250-1300 mm, nel fondovalle del bacino anaune, che è particolarmente ampio e aperto alle più umide correnti meridionali. In entrambe le situazioni, tuttavia, si manifesta un'impronta udometrica sub-equinoziale, caratterizzata da minimi invernali di pochi mm, e da massimi primaverili e autunnali che talvolta superano 250 mm mensili.

Il campione di indagine della struttura ecosistemica epigea consta di 48 aree di saggio, delimitate entro ambiti territoriali individuati in sinergia con le strutture tecniche e di sorveglianza del Parco, facendo riferimento ad ideali percorsi rispondenti al progetto di accessibilità multifunzionale di possibile, futura, realizzazione.

I percorsi di interesse per la ricerca sono stati riportati sulla carta tecnica provinciale e quindi sono stati digitalizzati con il software ESRI® ArcView 8.1.

Sul territorio i punti di rilevamento sono stati localizzati con il metodo «*random walk*», il più affidabile stanti i limiti di tempo e le risorse a disposizione. Esso consiste nel seguire, aiutandosi con la carta tecnica provinciale, l'area approssimativamente compresa entro un limite di 50 m dall'asse del tracciato previsto. Dopo circa 300 m, misurati con contapassi, ci si fermava per la prima volta e si estraeva a caso un valore numerico compreso tra 0 e 355, in classi ampie 5 unità (ovvero 0, 5, 10, 15, ecc) ed un altro valore numerico compreso tra 20 e 50. Il primo valore costituiva l'azimut di spostamento e il secondo la distanza, in passi, dal centro dell'area di saggio entro cui compiere le osservazioni previste dal protocollo che sarà esposto nel proseguo dell'articolo. Nel punto così individuato si poneva il centro di tre aree di saggio circolari, rispettivamente di raggio 15, 25 e 50 m, nonché l'origine di quattro *transect* lunghi 25 m e orientati il primo sull'azimut in precedenza casualmente estratto, e gli altri a distanze radiali di 90°, ovvero due *transect* ortogonali di 50 m di lunghezza.

Nel caso di inclinazioni ( $\alpha$ ) superiori a 5° la lunghezza ( $l$ ) del raggio delle aree veniva corretta con l'usuale algoritmo

$$l_{\alpha} = l / \cos(\alpha)$$

Concluse in un luogo le osservazioni richieste dal protocollo, si riprendeva il cammino lungo il tracciato programmato reiterando la procedura in un nuovo luogo di rilevamento. Nel caso si giungesse all'estremo del tracciato in progetto, si continuava a contare i passi in direzione opposta fino ai 300 previsti dal metodo di campionamento. La procedura ha permesso di ottenere un campione distribuito in modo sistematico esteso su almeno 5% della superficie forestale d'interesse, cioè compresa entro 50 m a monte e a valle dei tracciati previsti dal piano della viabilità.

Nelle aree più piccole (raggio 15 m) si è provveduto al conteggio delle specie erbacee.

Nelle aree di saggio con raggio 25 m sono stati rilevati i seguenti caratteri:

- altezza media (Hm) e diametro medio (Dm) del popolamento;
- necromassa in piedi (*snag*) e suo stadio di decadimento;
- ricchezza di specie legnose (Rl) e loro copertura;
- ricchezza di specie vascolari (Rv).

Nelle aree di 50 m di raggio si è invece rilevato:

- statura del popolamento (St);
- stima (%) della copertura della componente governata a ceduo;
- numero di alberi *habitat* (Ah);
- numero di alberi con cavità prodotte da picidi (Ap);
- numero di alberi di dimensioni notevoli, ovvero aventi diametro a petto d'uomo superiore a 60 cm (An).

In uno dei due *transect* di 100 m si è determinata la quantità di *coarse woody debris* (necromassa a terra) e il suo stadio di decadimento. Nell'altro *transect*, infine, si è quantificata la stratificazione della vegetazione non arborea. Il censimento della vegetazione legnosa (complessivamente 61 specie) ha consentito il primo inquadramento degli assetti forestali e la loro attribuzione ad uno dei tipi forestali del Trentino. I dati floristici sono stati elaborati mediante procedure di classificazione gerarchica con il software *Mulva-5* (WILDI e ORLOCI, 1996) al fine di individuare somiglianze compositive da confrontare con le somiglianze stabilite attraverso gli altri caratteri rilevati nelle aree di saggio (Figura 1). L'analisi è stata sviluppata utilizzando i dati di abbondanza-dominanza; la dimensione della somiglianza è stata ricavata attraverso algoritmi di distanza multipla euclidea, mentre il raggruppamento delle aree si è informato al criterio di WARD (1963).

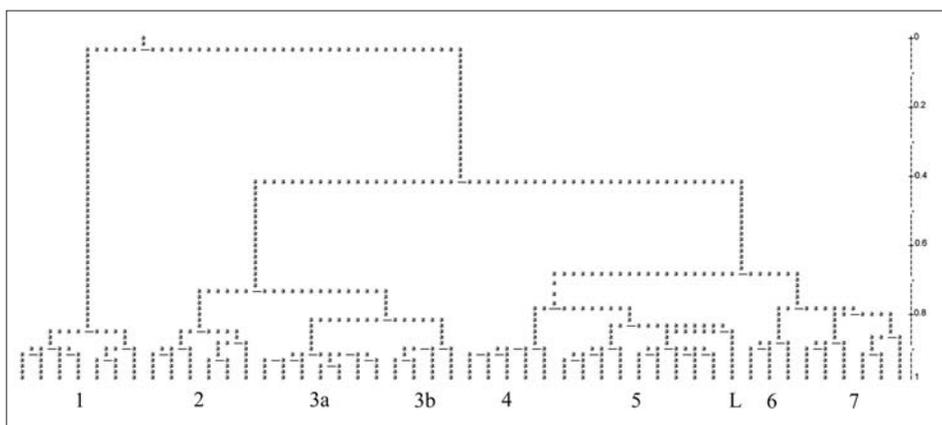


Figura 1 – Dendrogramma ascendente gerarchizzato dei rilevamenti della flora legnosa. L'asse y riporta i valori corrispondenti alle distanze euclidee, trasformati in modo da riportarli ad una scala variabile da 0 a 1. La distanza euclidea media è risultata di 12.3, la deviazione standard pari a 2.99, il valore massimo pari a 19.8. I numeri e le lettere alla base del dendrogramma corrispondono ai tipi forestali della Tabella 1.

– *Dendrogram of the relevés of the woody species. The y-axis reports the Euclidean distance reduced to the interval [0,1]. The mean distance is 12.3, the standard deviation 2.99, the maximum value 19.8. Numbers and letters under the dendrogram correspond to the forest types in Table 1.*

La classificazione ha condotto al riconoscimento dei tipi forestali riportati nella Tabella 1, la cui nomenclatura ha fatto riferimento a ODASSO (2002), cui si rimanda per approfondimenti riguardo alle caratteristiche vegetazionali. Sono riportate le corrispondenze con DEL FAVERO (2000) perché il pregio della vegetazione e gli influssi delle attività colturali sono derivati da questo lavoro.

L'indicazione delle possibili influenze dell'attività selvicolturale è fon-

*Tabella 1* – I tipi forestali presenti nel settore anane del Parco Naturale Adamello Brenta. Le indicazioni di pregio vegetazione e delle possibile influenze della attività colturali sono tratte da DEL FAVERO (2000), con alcune variazioni e integrazioni svolte sulla base di valutazioni critiche sullo stato dei locali sistemi forestali e contrassegnate da un asterisco (\*). Nella prima colonna (Categorie) sono segnalate le categorie forestali adottate nella PCA come etichette dei campioni riportati sulle prime due componenti principali (vd. Figura 2). Nelle denominazione dei tipi si è ommesso l'aggettivo «calcicolo» o «dei substrati carbonatici» per semplicità. I numeri riportati in calce dei tipi forestali fanno riferimento ai codici dei gruppi della Figura 1.

– *The forest stand types in the «Val di Non», Adamello-Brenta Natural Park. The vegetation values and the possible influences of logging are derived from Del Favero (2000) with some minor modifications, marked with an asterisk (\*), to take into account the local situation. In the first column on the right («Categorie») are reported the forest categories applied in the PCA as symbols in the plot of scores of the samples in the coordinates of the first two principal components (Figure 2). In the forest type names the adjective «calcicolo» (= limestone) is omitted. The numbers reported under the forest type names correspond to the group codes in the Figure 1.*

Categorie	Tipi forestali	Corrispondenze con Del Favero (2000)	Pregio vegetazionale	Possibili influenze delle attività colturali
Pecceta	Pecceta subalpina (-altimontana) dei suoli xerici (1)	Pecceta altimontana	medio	scarsa influenza
Abieti-piceo-faggeto (2)		Abieteteto	medio	la gestione del passato ha favorito soprattutto l'abete rosso agevolato anche da tagli su ampie superfici; opportuni interventi che tendono a portare nel piano dominante il faggio
Abieteteto	Abieteteto mesalpico dei suoli acidificati (3a)			
	Abieteteto tipico (3b)			
Faggeta mesofila	Faggeta mesofila (tipica) (4)	Faggeta montana tipica esomesalpica	basso	al momento del taglio, soprattutto nel governo a ceduo, frequente ingresso di soggetti di abete rosso e di larice che sono quindi favoriti da interventi su ampie superfici
	Faggeta termofila mesoigrofila (5)	Faggeta submontana dei suoli mesici	medio	interventi intensi (diradamenti forti, ceduzioni) possono modificare l'attuale microclima mesofilo favorendo le specie più rustiche
Faggeta termofila	Faggeta termofila con ostria variante con pino silvestre (6)	Pineta di pino silvestre esalpica con faggio (in parte)	basso (*)	la ceduzione tende a favorire l'ingresso delle specie più termofile e rustiche, interventi tesi a liberare il faggio non sono solitamente richiesti data la scarsa capacità coprente del pino silvestre (*)
	Faggeta termofila con ostria variante esalpica interna (7)	Faggeta submontana con ostria	medio (*)	la ceduzione tende ad aumentare la presenza del carpino nero, mentre il faggio può essere favorito anche dall'allungamento del turno
	Aceri-frassineto variante con ostria (L)	Aceri-frassineto con ostria	alto (*)	la ceduzione può favorire la diffusione del carpino nero

damentale per comprendere come, a seconda dell'epoca dell'ultima utilizzazione, possano variare la struttura e la composizione dei boschi studiati. Di questo importante carattere qualitativo si è tenuto conto nelle successive analisi. Le aree di saggio sono state suddivise in quelle ad utilizzazione recente e in quelle in cui l'ultima utilizzazione risaliva a oltre 25 anni fa.

L'importanza della necromassa quale stimolo alla crescita di popolazioni saproxiliche, sulle quali ha opportunità di innestarsi quello delle popolazioni di esse predatrici lungo le catene biotrofe epigee è nota da anni (BALDA, 1975) e recentemente sono state sviluppate anche in Italia esperienze di conservazione e ripristino di questa importante componente dell'ecosistema forestale (MASON, 2003).

La dimensione degli *snags* (alberi morti, ma ancora in piedi), il loro volume e il tasso di decadimento, sono dunque conosciuti come ottimi indicatori delle potenzialità di vita e della funzionalità delle popolazioni che attuano la trasformazione del legno morto (in genere artropodi e vermi), e dunque anche delle possibilità che su queste popolazioni si agganci lo sviluppo di una fauna biotrofa (altri artropodi e poi uccelli) fino alle specie di più elevato interesse naturalistico. In buona sostanza pare valere il principio che «tanto maggiore è la necromassa in piedi, tanto più forte è l'interesse naturalistico del luogo e del bosco».

Si tratta di indicatori che possono dare sia la misura di una gestione attenta alla biodiversità, sia anche della assenza di forme gestionali, soprattutto a causa della modesta accessibilità delle particelle in assestamento, per cui essi diventano segnali del recupero di condizioni di relativa naturalità.

Sono stati classificati *snags* tutti gli alberi morti con diametro superiore a 10 cm e più alti di 2 m, quando l'angolo formato dal fusto rispetto al suolo era maggiore di 45°; se l'angolo era inferiore a 45° tali alberi venivano catalogati come necromassa al suolo. Come misura relativa si è adottata l'area basimetrica ad ettaro. Al fine di permettere il confronto con altri studi riportanti la quantità di necromassa in bosco, usualmente espressa in termini di volume ( $m^3 ha^{-1}$ ), se ne è calcolato il volume con la formula: area basimetrica \* altezza dell'albero \* coefficiente di forma. Dato che in foreste gestite frequentemente, questo coefficiente varia da 0.55 a 0.75 (BÜTLER *et al.*, 2004), si è deciso di applicare un valore di 0.5, con sottostima prudenziale del volume.

Il *coarse woody debris* (CWD), ovvero il legno morto a terra, è una componente strutturale importante degli ecosistemi forestali, che influisce sia sulla biodiversità, sia sui processi ecologici. Il CWD fornisce habitat per molti organismi, condiziona i flussi di energia e il ciclo dei nutrienti e può condizionare l'erosione del suolo, il trasporto solido e il suo accumulo in alveo. Nel CWD sono stati inclusi sia tronchi di legno ancora compatto, sia quelli di legno già profondamente alterato, nonché alberi sradicati (almeno

10 cm di diametro) rientranti nella categoria della materia organica legnosa morta, che non ha più consistenza meccanica, indipendentemente dallo stadio di decomposizione, e che si trova sia sopra la superficie del suolo, sia appena sotto la coltre di muschi, pur conservando forme ancora evidenti. Per la misura del CWD è stato seguito il metodo di VAN WAGNER (1968) rielaborato da WARREN e OLSEN (1964), che consiste delle seguenti fasi:

- misurazione del diametro di ogni pezzo di legno nel punto di intersezione col *transect*,
- se il *transect* attraversava l'estremità di un pezzo di legno, lo si registrava solo se fosse intersecato l'asse centrale,
- i pezzi che il *transect* intersecava esattamente all'estremità dell'asse centrale si registravano una volta sì e una volta no
- ogni pezzo il cui asse centrale coincideva con il *transect* veniva ignorato, se il *transect* toccava più volte un pezzo curvo, questo era registrato tante volte quanti erano i contatti,
- la lunghezza del legno e l'angolo di intersezione non venivano rilevati.

La formula per il calcolo del volume del singolo pezzo, ove tutte le misure sono espresse nella stessa unità (volume in m<sup>3</sup>, diametro e lunghezza in m), è la seguente (MARSHALL *et al.*, 2000):

$$V = \frac{\pi^2 \sum_{i=1}^n d^2}{8L}$$

dove:

V è il volume per ettaro,

d è il diametro dei singoli pezzi,

L è la lunghezza del transetto.

Alla misura della quantità di necromassa, sia a terra che in piedi, si è accoppiato il rilevamento dello stato di decadimento nelle cinque classi previste da KOOP (1989):

1. ceppaie tagliate di fresco, tronchi o rami con legno duro, corteccia intatta, tronco con sezione trasversale tonda e integra;
2. legno la cui superficie può essere deformata col dito (è possibile una compressione per la profondità massima di 1 cm), corteccia staccata ed in parte caduta, fusto tondo in sezione trasversale;
3. legno morbido, la maggior parte del fusto può essere deformata per più centimetri, corteccia totalmente perduta, ma fusto ancora a sezione trasversale circolare;
4. legno soffice, completamente spugnoso, fusto ovalizzato e con grandi soluzioni di continuità, che si disintegra se sottoposto anche a modeste sollecitazioni;

5. fusto irricognoscibile; i suoi resti possono essere attribuiti all'esistenza pregressa di una pianta solo attraverso l'eterogeneità della lettiera o da quella della vegetazione che ne colonizza l'antico biospazio.

Per tenere conto dello stato di decadimento, la quantità di necromassa è stata ponderata mediante la formula:

$$q_c = q_r * (d / 5)$$

dove

$q_c$  è la quantità di necromassa corretta

$q_r$  è la quantità di necromassa reale

$d$  è la classe di decadimento.

La stratificazione del sistema epigeo condiziona la luce che giunge al suolo, e così anche l'evoluzione delle forme di humus. In questo lavoro è stata valutata la copertura degli strati di vegetazione, esclusi gli individui legnosi di altezza superiore a 5 m, e quella prodotta da altre componenti abiotiche del sistema. Sono state considerate e conteggiate le seguenti categorie, cui corrispondono altrettanti strati di diversa altezza media e a diversa funzione ecologica: arbusti, frutici, suffrutici, erbe, muschi, licheni, sfagni, lettiera, FWD (*fine woody debris*, frammenti di legno morto di diametro inferiore a 10 cm), suolo nudo, pietre, roccia. Il metodo di campionamento applicato si riconduce al criterio noto come *point intercept sampling*, che consiste nel registrare, lungo un transetto di lunghezza nota e in punti posti a distanze prefissate, la presenza o l'assenza dell'attributo oggetto di stima. In questo caso si è rilevato un transetto di 50 m con 50 punti distanziati di un metro l'uno dall'altro. Si sono quindi contati il numero di strati presenti (Ns), lo strato dominante, un indice di omogeneità (Nm, dato dal numero massimo di segmenti di transetto fra loro adiacenti ed appartenenti ad un unico strato) ed un indice di diversità (Sh) calcolato attraverso il noto indice di Shannon:

$$H = - \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

dove

$n$  è il numero di punti appartenenti all' $i$ -esimo strato

$N (= 50)$  è il numero di punti totali del transetto .

#### ANALISI DEI DATI E PRIME CONSIDERAZIONI SUI CARATTERI DEI SISTEMI E DEL PAESAGGIO FORESTALE

L'obiettivo principale delle elaborazioni statistiche era quello di ordinare i campioni in modo da inquadrare le relazioni esistenti tra le variabili

quantitative misurate e le variabili qualitative. Per questo motivo, dopo aver applicato un'analisi dei gruppi (*cluster analysis*) per individuare gruppi di rilevamenti aventi simile composizione degli strati arborei (Figura 1), è stata applicata un'analisi delle componenti principali (PCA) per ordinare i rilevamenti secondo le loro caratteristiche quantitative. Preliminare alla PCA è stato il calcolo dei coefficienti di correlazioni per ranghi di Spearman, attraverso il quale sono state selezionate le variabili da includere nella PCA. Alla PCA è stato accoppiato, per individuare differenze tra i tipi forestali, il test ANOVA per ranghi di Kruskal-Wallis, che è stato preferito a test parametrici per l'anormalità della distribuzione e per la non omogeneità delle varianze della maggior parte delle variabili. Per verificare l'esistenza di differenze nei parametri misurati al variare dell'epoca di utilizzazione è stato infine applicato il test U di Mann-Whitney, confrontando le medie assunte dalle aree di saggio ricadenti in particelle non utilizzate da oltre 25 anni ( $n = 9$ ) rispetto alle altre ( $n = 27$ ).

Gli indicatori biometrici (altezza, diametro medio e statura) sono tra loro ovviamente correlati ( $r > 0.60$ ,  $p < 0.001$ ). I tre parametri sono positivamente correlati con il numero di alberi notevoli ( $r > 0.50$ ,  $p < 0.001$ ), con le quantità di necromassa a terra e in piedi ( $r > 0.40$ ,  $p < 0.05$ ) e con l'eterogeneità degli strati bassi di vegetazione ( $r > 0.30$ ,  $p < 0.05$ ). La statura è correlata negativamente con la ricchezza in specie legnose ( $r = -0.43$ ,  $p < 0.05$ ), ma non con il numero totale di specie ( $r = 0.02$ ,  $p > 0.05$ ), che invece risulta debolmente correlato con il diametro medio ( $r = 0.3$ ,  $p < 0.05$ ).

Il numero di alberi con cavità prodotte da picidi è positivamente correlato con la necromassa in piedi ( $r = 0.54$ ,  $p < 0.001$ ); con il numero di alberi habitat ( $r = 0.36$ ,  $p < 0.05$ ) e con il diametro medio del popolamento ( $r = 0.41$ ,  $p < 0.05$ ).

È interessante notare che la diversità degli strati bassi di vegetazione (Sh) è positivamente correlata alla quantità di necromassa a terra ( $r = 0.32$ ,  $p < 0.05$ ).

Esiste infine una correlazione positiva tra la altimetria dei saggi e i valori di altezza media ( $r = 0.57$ ,  $p < 0.001$ ), di diametro medio ( $r = 0.72$ ,  $p < 0.001$ ) e di statura ( $r = 0.29$ ,  $p < 0.05$ ), legata alla fascia altimetrica di diffusione delle peccete, degli abieteti e delle faggete mesofile che si collocano a quote maggiori rispetto alle faggete termofile, le quali evidenziano minori quantità di biomassa epigea.

È subito evidente che il sistema forestale della valle è assolutamente eterogeneo dal punto di vista biometrico. Questa eterogeneità è soprattutto legata ai tipi forestali; dominano infatti per statura quelli mesofili, mentre le faggete termofile sviluppano stature inferiori. Ciò è confermato anche dal test ANOVA di Kruskal-Wallis (Tabella 2).

Cinque variabili su otto mostrano distribuzione anormale delle frequenze secondo i risultati del test W di Shapiro-Wilk ( $p < 0.05$ ). Nella PCA sono state inserite solo le variabili distribuite normalmente e quelle aventi una distribuzione non troppo distante da quella normale. Si sono poi selezionati da ciascun gruppo di indicatori quelli aventi fra loro un coefficiente di correlazione di Spearman inferiore a 0.5. Ne è risultata la seguente serie di variabili:

- indicatore biometrico: statura (St);
- indicatori di biodiversità: ricchezza di specie vegetali (Rv), ricchezza di specie legnose (Rl), eterogeneità degli strati bassi di vegetazione (Sh);
- dati stazionali: quota (Qu).

Sia la necromassa a terra, sia quella in piedi, sia ancora il tasso di copertura del ceduo, presentano distribuzioni troppo anormali per essere incluse nelle analisi e sono quindi state trattate in un secondo momento come variabili qualitative per interpretare i risultati della PCA. Allo stesso modo sono state trattate le esposizioni.

Le prime tre componenti principali sintetizzano, rispettivamente, il 36%, il 31% e il 17% della variabilità. Il 67% della variabilità può quindi essere rappresentato da un diagramma di ordinamento a due assi. Il riporto grafico delle coordinate delle componenti suggerisce che i punteggi del primo asse sono influenzati in modo negativo da alti valori di statura (St), di diversità degli strati bassi di vegetazione (Sh) e di quota (Qu). Il valore basso delle coordinate della ricchezza in specie vegetali (Sv) e in specie legnose (Sl) sulla seconda componente suggerisce che i punteggi di questa riflettono una minore ricchezza di specie vegetali, sia complessiva, sia considerando le sole specie legnose. L'ordinamento dei campioni, basato sui punteggi delle componenti, è mostrato nelle figure successive.

Il fatto che Sh e Rl-Rv assumano coordinate relativamente distanti lungo la prima componente e che la prima variabile sia legata alla quota suggerisce che un numero elevato di specie non è necessariamente legato ad una elevata eterogeneità delle forme di crescita. Ciò non deve stupire, ma induce a ritenere che, oltre a variabili chiave stazionali, come la quota, anche altre, interne al sistema, come l'eterogeneità degli strati bassi di vegetazione, possano influire sull'evoluzione delle forme di humus.

Nella Figura 3a si nota una separazione, lungo il primo asse, tra le cinque categorie forestali (vedi Tabella 1): essa è graduale fra i gruppi delle peccete (1), abieti-piceo-faggete (2) e abieteti (3) e quello delle faggete mesofile (4), mentre è più netto tra questi quattro e il gruppo delle faggete termofile (5). Tutti i gruppi mostrano un gradiente dalla base all'apice del diagramma, cioè sono distribuiti lungo il secondo asse. Dato l'andamento delle coordinate delle variabili, si può concludere che, in confronto con gli

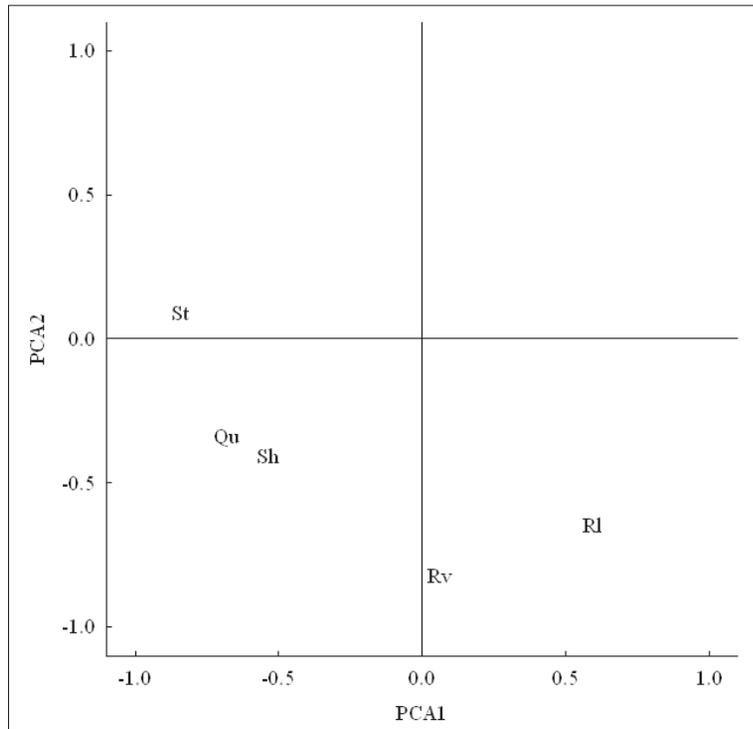


Figura 2 – Indicatori rilevati nell'area di studio. Coordinate sulle prime due componenti principali. Le lettere indicano le variabili: St è la statura, Qu è la quota altimetrica, Sh è l'eterogeneità degli strati bassi di vegetazione, Rv è la ricchezza di specie vegetali, Rl è la ricchezza di specie legnose.

– Indicators measured in the study area. Loadings on the first two principal components, PC1 and PC2. Letters indicates variables: St is stature (top height), Qu is altitude, Sh is the diversity of the low vegetation strata, Rv is the plant species richness, Rl is the woody species richness.

altri campioni, le faggete termofile mostrano valori più bassi degli indicatori biometrici e di diversità degli strati bassi di vegetazione, mentre il numero di specie può variare in modo indifferente alla categoria forestale, anche se i valori più alti sono assunti, più frequentemente, dalle peccete e dagli abieteti. Per quanto riguarda l'altimetria, è evidente che le faggete termofile si collocano a quote inferiori rispetto agli altri quattro gruppi.

Nella Figura 3b sono rappresentati i campioni, differenziando le etichette in base alla copertura arborea dei cedui. Dal grafico si evince come ad una maggiore frequenza della ceduzione corrisponda, come ovvio, un minore valore della statura e una maggiore omogeneità degli strati bassi di vegetazione. A ciò si accompagna, dato che i cedui sono diffusi specialmente tra le faggete termofile, una minore altimetria, rispetto alle peccete, gli abieteti e alle faggete montane, posti ad altimetrie maggiori.

Nella Figura 4a e nella Figura 4b sono riportati, con diversi numeri, le

**Tabella 2** – Indicatori biometrici, di biodiversità, di naturalità e topografia (media ed errore standard) delle categorie forestali individuate. L'ultima colonna a destra riporta i risultati del test di Kruskal-Wallis. La descrizione degli indicatori è riportata nel testo.  
 – *Biometric, biodiversity, naturalness indicators and topography of the surveyed forest stand categories (mean and standard error). The last column on the right reports the results of the Kruskal-Wallis test. The description of the indicators is reported in the text.*

	Piceeta (n=7)		Abieti-piceo-faggio (n = 6)		Abieteto (n = 11)		Faggeta mesofila (n = 14)		Faggeta termofila (n = 9)		P	H
	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES	M	ES		
<b>Indicatori biometrici</b>												
Statura (m)	26.8	0.7	25.6	1.3	29.1	0.8	25.6	0.8	20.5	1.7	.0009	18.6
Altezza media (m)	20.7	1.1	19.0	1.6	21.4	1.3	17.7	0.7	13.7	0.8	.0003	21.2
Diametro medio (cm)	30.8	2.0	31.2	2.9	30.6	2.2	26.3	1.5	19.1	0.7	.0007	19.3
<b>Indicatori di biodiversità</b>												
Nr. specie fanerogame	31.7	1.1	49.3	4.1	36.4	1.8	36.2	2.5	34.5	2.3	.0156	12.2
Nr. specie legnose	18.2	1.2	20.5	0.7	15.1	0.6	17.1	1.1	22.2	0.9	.0005	20.0
Nr. di strati bassi vegetazione	6.2	0.2	5.0	0.4	4.4	0.2	4.3	0.2	4.7	0.3	.0012	18.0
Nr. max strati bassi di vegetazione contigui	5.4	0.6	11.5	1.9	6.3	0.5	9.1	0.6	8.5	1.0	.0009	18.9
Ind. Shannon strati bassi di vegetazione	1.34	0.07	1.11	0.07	1.15	0.05	0.91	0.06	1.02	0.10	.0033	15.8
<b>Indicatori di naturalità</b>												
Necr. a terra (m <sup>3</sup> /ha) reale	10.0	3.1	9.4	5.1	6.4	2.8	6.2	1.8	1.3	0.7	.1333	7.0
Necr. a terra (m <sup>3</sup> /ha) corretta con cl. dec.	4.02	1.23	4.65	2.63	3.27	1.54	3.49	0.99	0.73	0.33	.2374	5.5
Necromassa in piedi (m <sup>3</sup> /ha)	13.0	7.6	12.6	4.4	14.7	4.1	6.1	1.8	2.5	0.7	.0544	9.3
Necromassa in piedi (m <sup>3</sup> /ha)	0.85	0.38	1.14	0.34	1.23	0.27	0.92	0.35	0.38	0.10	.0969	7.8
Necr. in piedi (m <sup>3</sup> /ha) corretta con cl. dec.	0.33	0.15	0.46	0.16	0.45	0.11	0.35	0.14	0.14	0.04	.1183	7.3
<b>Topografia</b>												
Quota (m s.l.m.)	1547	59	1593	28	1346	36	1255	31	994	42	.0000	31.6
Pendenze (°)	12.7	1.9	23.5	2.6	27.3	1.6	28.8	2.2	24.5	2.5	.0012	18.1

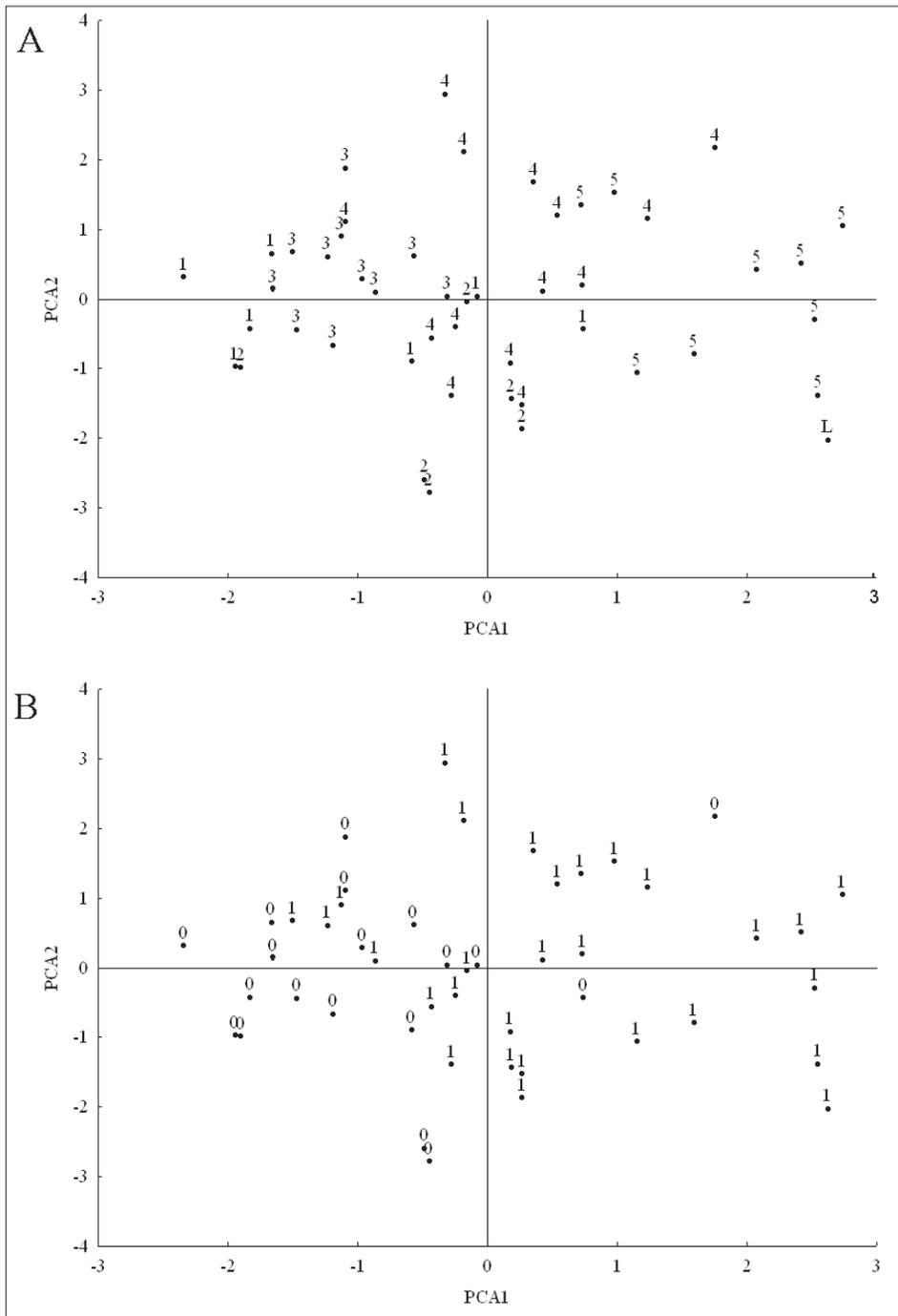


Figura 3 – Rappresentazione delle coordinate assunte dai 48 campioni sulle prime due componenti principali, PCA1 (36% della varianza) e PCA2 (31% della varianza): (A) 1= peccete, 2 = abieti-piceofaggete, 3 = abieteti, 4 = faggete mesofile, 5 = faggete termofile, L = aceri-frassineti (vd. Tabella 1); (B) 1= popolamenti aventi una copertura arborea governata a ceduo superiore al 20%, 0 = popolamenti con copertura arborea governata a ceduo minore del 20%.

– Plot of scores on the coordinates of the first two principal components, PCA1 (36% of variance) and PCA2 (31% of variance): (A) 1 = spruce wood, 2 = spruce-fir-beech wood, 3 = fir wood, 4 = mesophile beech wood, 5 = termophile beech wood, L = ash-maple wood; (B) 1 = more than 20% coppice, 0 = less than 20% coppice or high forest.

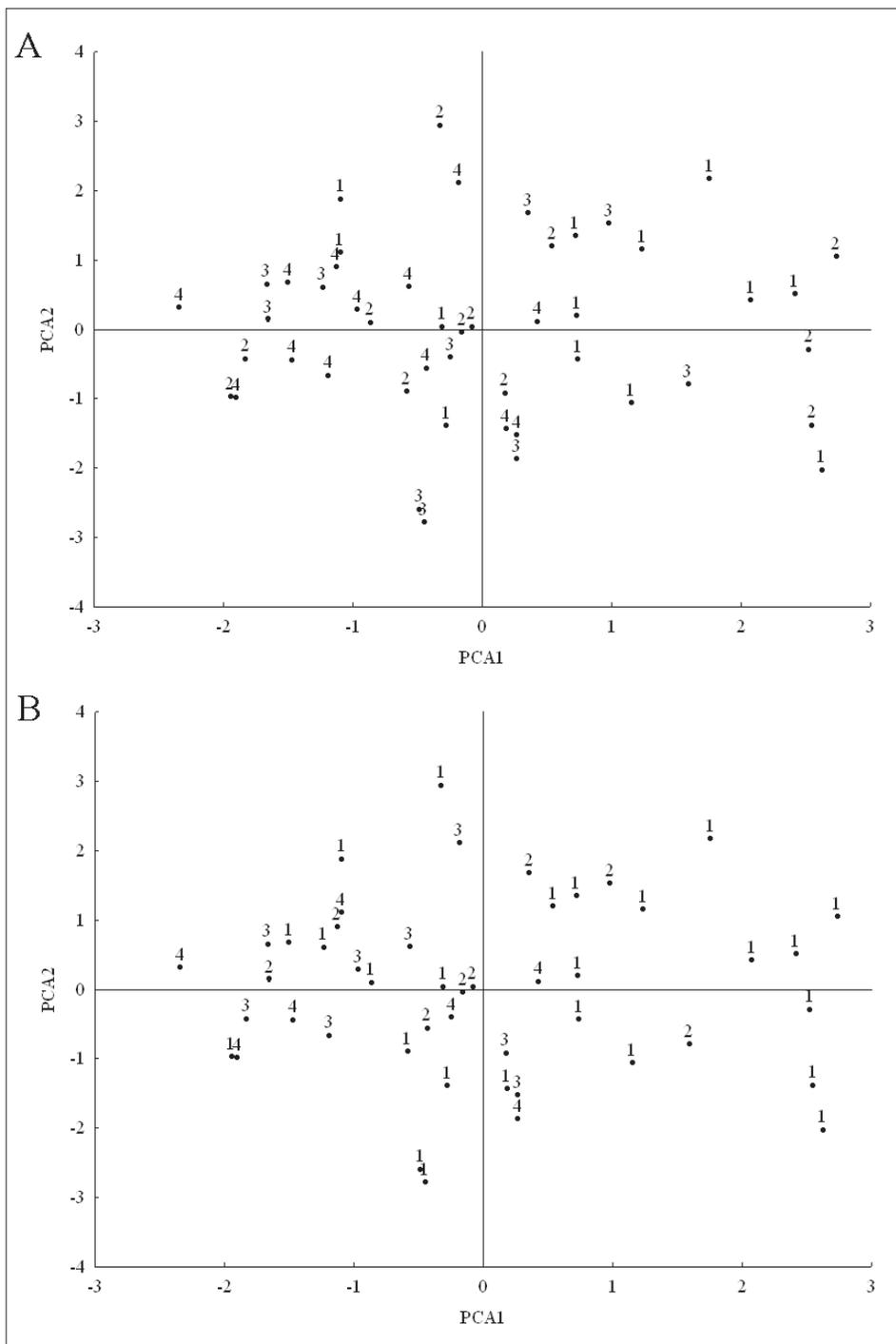


Figura 4 – Rappresentazione delle coordinate assunte dai 48 campioni sulle prime due componenti principali, PCA1 (36% della varianza) e PCA2 (31% della varianza): (A) quantità di necromassa in piedi, corretta con la classe di decadimento, espressa in quartili (1: bassa, 4: elevata); (B) quantità di necromassa a terra, corretta con la classe di decadimento, espressa in quartili (1: bassa, 4: elevata).

– Plot of scores on the coordinates of the first two principal components, PCA1 (36% of variance) and PCA2 (31% of variance): (A) logs volume, weighted with the decay classes, plotted as quartiles (1: low, 4: high); (B) coarse woody debris volume, weighted with the decay class, plotted as quartiles (1: low, 4: high).

classi di necromassa espresse in quartili. Ricordando che alla necromassa è stato assegnato il significato di indicatore di naturalità, si può notare che le classi più alte (3 e 4) assumono quasi sempre coordinate basse lungo il primo asse fattoriale, trovandosi dunque in relazione con alti valori di statura, di quota e di diversità degli strati bassi di vegetazione.

L'eterogeneità dei valori degli indicatori inclusi nella PCA è dunque legata sia alla diversità della vegetazione, sia alla forma di governo, principalmente per quanto riguarda la quantità di necromassa che non ha evidenziato differenze significative tra le diverse categorie forestali (Tabella 2) a riprova che altri fattori, prevalentemente di origine antropica, hanno influenzato il suo accumulo. L'abieteto è risultato la categoria forestale con maggiore statura e la faggeta termofila quella con maggiore ricchezza floristica; le peccete sono risultate maggiormente diversificate a livello di strati bassi di vegetazione (Tabella 2).

Con poche eccezioni i boschi in analisi hanno modeste dimensioni diametriche e ipsometriche; le altezze medie rilevate nelle singole aree di saggio oscillano tra 11 e 28 m, assestando la media sotto i 20 m. La statura, per quanto possa assumere significati ecologici, assume valore medio intorno a 25 m, e quello massimo a 33 m, considerando le singole aree di saggio. Ciò potrebbe significare una modesta fertilità delle stazioni e dà, quindi, l'indicazione di boschi immaturi rispetto alle potenzialità dei luoghi, con ampi spazi di possibile ri-evoluzione e di crescita. In altri termini, ciò dà anche dimensione all'effetto dei tagli eseguiti in passato, che hanno lasciato segni di povertà biometrica nel restante popolamento, che poco ha, ancora oggi, da dare in termini di biomassa, o di biomassa di qualità.

Sotto il profilo sinecologico, va anche ricordato che la dimensione verticale del popolamento arboreo, e specificatamente la statura, misura il biospazio disponibile alla funzionalità dell'intera biocenosi (SUSMEL, 1980). In altri termini, la modestia volumetrica dell'ecosistema, intesa come spazio compreso tra il terreno e il piano tangente alle chiome degli alberi dominanti, è fattore limitante all'ospitalità offerta alle piante e agli animali che potrebbero vivere nella foresta o sfruttarne le risorse fisiche e biologiche.

In base ai risultati del test U di Mann-Whitney ( $U_{27,9} = 54$ ,  $p < 0.05$ ), il tempo trascorso dall'ultima utilizzazione ha mostrato influenze significative solo sulla necromassa in piedi, corretta con la classe di decadimento. Le particelle da molto tempo inutilizzate mostrano medie più elevate ( $0.55 \text{ m}^2/\text{ha}$ ) rispetto a quelle periodicamente soggette a trattamenti selvicolturali ( $0.32 \text{ m}^2/\text{ha}$ ). Peraltro, confrontando i valori di necromassa assunti dalle peccete subalpine del Parco Naturale con quelli noti in altre foreste europee (BÜTLER *ET AL.*, 2004), emerge come le medie reali siano comparabili a quelle di foreste ordinariamente gestite. Non mancano però, tra le quantità

di necromassa a terra (massimo 33.41 m<sup>3</sup>/ ha) e in piedi (massimo 65.37 m<sup>3</sup>/ha) rilevate nelle singole aree di saggio, valori analoghi a quelli di foreste non gestite.

#### NOTA CONCLUSIVA

Dal rilevamento della vegetazione forestale, effettuato mediante un campionamento casuale sistematico, è emerso il quadro dei tipi forestali dell'area di studio, la loro abbondanza relativa e i rapporti che le variabili quantitative e qualitative hanno rispetto alla classificazione tipologica. Il gruppo degli aceri-frassineti, troppo poco rappresentato, non sarà ulteriormente indagato per la ricerca delle relazioni con l'evoluzione delle forme di humus, mentre gli altri cinque tipi saranno adottati come categorie di riferimento per l'individuazione di proposte gestionali e di pianificazione forestale e naturalistica, com'è imposto dalla particolare destinazione del territorio in esame (parco naturale). La possibilità di disporre di campioni di boschi a frequente utilizzazione e di campioni a utilizzazione più antica, come emerge dai dati dei piani di assestamento, consente di effettuare un campionamento dei prelievi dei profili stratificato non solo in base ai tipi forestali e alle loro frequenze relative, ma anche in base alla loro maggiore o minore naturalità, così come si può stimare in base alla durata dei processi di ri-evoluzione in corso.

Alla fine dell'indagine resteranno certamente ancora aperte alcune questioni fondamentali, ad esempio su come cambi il suolo di un bosco sottoposto a forte pressione antropica, oppure su quali siano le conseguenze sul ciclo della sostanza organica nel suolo quando cambiano la forma di governo o di trattamento, od ancora se si possa individuare la forma di humus tipica di un certo ambiente o di un dato tipo forestale. Gioveranno sicuramente le aree di saggio permanenti che nel corso del 2005 verranno allo scopo individuate all'interno dell'area di studio.

#### SUMMARY

##### **Analysis of forest structure for the interpretation of the relationships between biodiversity and humus forms**

The study area was located in the Adamello-Brenta Natural Park (Trento Province, North Italy). 48 plots were distributed according to a systematic sampling design and were located in two valleys, both on calcareous soils. The climate varied from submediterranean to subcontinental.

The submontane belts were dominated by dry Beech woods and by Manna ash-

Hop hornbeam woods, sometime planted with Scots pine or mixed with Spruce and Silver Fir coming from higher altitudes. In the montane level were widespread mull Beech woods. In the middle and upper montane belt, they give way to Silver Fir and, in the higher altitudes, to Spruce woods. Finally, mixed woods dominated by Maple and Ash are to be found in the shady slopes and ravines.

After the surveys, we provided many indicators of naturalness and biodiversity, which are not usually measured during the planning process. They included number of «great» and habitat trees, the amount of fallen and standing dead wood, the cover of the different vegetation strata. The study of the other most important biometric parameters and of the naturalness and biodiversity indicators, together with the detection of the humus forms in a range of woodlands, gives way to the understanding of the relationships between them.

#### BIBLIOGRAFIA

- BALDA R., 1975 – *The relationships of secondary cavity nesters to snag densities in western coniferous forests*. Forest Service Wildlife Habitat Technical Bulletin No. 1, Southwest Region, Albuquerque, New Mexico.
- BÜTLER R., ANGELSTAM P., EKELUND P., SCHLAEPFER R., 2004 – *Dead wood threshold values for the three-toed woodpecker presence in boreal and sub-Alpine forest*. Biological Conservation, 119: 305-318.
- DEL FAVERO R. (A CURA DI), 2000 – *Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto*. Regione del Veneto, Venezia Mestre.
- KOOP H., 1989 – *A Comprehensive monitoring system*. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- MARGALEF R., 1981 – *Energia esosomatica: successione ed evoluzione, stabilità dei sistemi naturali*. Edizioni Corso di Cultura in Ecologia, Università degli Studi, Padova.
- MARSHALL P.L., DAVIS G., LE MAY V.M., 2000 – *Using Line Intersect Sampling for Coarse Woody Debris. Technical report 003*. Columbia Forest Service, Vancouver Forest Region, Nanaimo.
- MASON F., 2003 – *Guidelines and aims of the project life NAT/IT/99/006245 "Bosco della Fontana: urgent conservation actions on relict habitat"*. In: «Proceedings of the International Symposium Dead wood: a key to biodiversity», a cura di F. Mason, G. Nardi, M. Tisato, Sherwood 95, Suppl. 2, p. 41-44.
- MÜLLER P. E., 1887 – *Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden*. Verlag von Julius Springer, Berlin.
- ODASSO M., 2002 - *I tipi forestali del Trentino: catalogo, guida al riconoscimento, localizzazione e caratteristiche ecologico-vegetazionali*. Centro di Ecologia Alpina, Viote Monte Bondone (Trento).
- SUSMEL L., 1980 – *Normalizzazione delle foreste alpine. Basi ecosistemiche, equilibrio, modelli culturali, produttività*. Liviana Editrice, Padova.
- VAN WAGNER C. E., 1968 – *The line intersect Method in forest Fuel Sampling*. Forest Science, 14: 20-26.

- WARD J.H. JR., 1963 – *Hierarchical grouping to optimize an objective function*. Journal of the American Statistical Association, 58: 236-244.
- WARREN W. G., OLSEN P. F., 1964 – *A line intersect technique for assessing logging waste*. Forest Science, 10: 267-276.
- WILDI O., ORLÓCI L., 1996 – *Numerical exploration of community patterns. A guide to the use of MULVA-5*. 2nd ed. SPB Academic Publishing by, Amsterdam.
- ZANELLA A., TOMASI M., DE SIENA C., FRIZZERA L., JABIOL B., NICOLINI G. (a cura di), 2001 – *Humus forestali*. Centro di Ecologia Alpina, Viote Monte Bondone (Trento).