

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

TESI DI DOTTORATO IN  
CULTURE ERBACEE, GENETICA AGRARIA  
E SISTEMI AGROTERRITORIALI  
XXI CICLO

ANALISI DEI PARAMETRI VEGETAZIONALI  
E DEI CARATTERI FUNZIONALI DI SPECIE GUIDA,  
COME STRUMENTI DI STUDIO DI COMUNITÀ PRATIVE

DOTT. ANNA BOLZAN

TESI DI DOTTORATO IN  
COLTURE ERBACEE, GENETICA AGRARIA  
E SISTEMI AGROTERRITORIALI

XXI CICLO  
SETTORE SCIENTIFICO: BIO/03

ANALISI DEI PARAMETRI VEGETAZIONALI  
E DEI CARATTERI FUNZIONALI DI SPECIE GUIDA,  
COME STRUMENTI DI STUDIO DI COMUNITÀ PRATIVE

DOTT. ANNA BOLZAN

Coordinatore: Prof. GIOVANNI DINELLI

Relatore: Prof. MARIA SPERANZA

# INDICE

<b>1. RIASSUNTO</b>	1
<b>2. INTRODUZIONE</b>	4
2.1. Le comunità prative	4
2.1.1. Caratteri generali e diffusione in Italia delle comunità prative	4
2.1.2. Inquadramento fitosociologico delle comunità prative	4
2.1.3. Tipologie di comunità prative dei <i>Festuca Brometea</i> secondo Corine Biotopes	7
2.1.4. Dinamica delle comunità prative	8
2.1.5. Trasformazioni delle comunità prative	9
2.2. Studio funzionale delle comunità prative	13
2.2.1. Ricchezza di specie e diversità funzionale	13
2.2.2. La competizione	15
2.2.3. Classificazione funzionale delle specie vegetali	16
2.2.4. Definizione di <i>functional trait</i>	17
2.2.5. I <i>functional traits</i> come indicatori di fattori ambientali	18
2.2.6. I <i>functional traits</i> per interpretare le risposte della comunità	19
2.2.7. Uso dei <i>traits</i> : vantaggi e limiti	21
<b>3. SCOPI del LAVORO</b>	25
<b>4. MATERIALI e METODI</b>	26

4.1. Aree di studio	26
4.1.1. Area di studio in Italia	26
4.1.1.1. I siti	27
4.1.2. Area di studio in UK	31
4.1.2.1. I siti	32
4.2. Le specie studiate	34
4.2.1. Caratterizzazione morfologica di <i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) Beauv.	34
4.2.2. Caratterizzazione morfologica di <i>Bromus erectus</i> Hudson	34
4.2.3. Caratterizzazione morfologica di <i>Dactylis glomerata</i> L.	35
4.2.4. Caratterizzazione morfologica di <i>Brachypodium sylvaticum</i> (Hudson) Beauv.	35
4.2.5. Caratterizzazione morfologica di <i>Holcus lanatus</i> L.	35
4.3. Caratterizzazione floristica, di produttività e pedologica dei siti	36
4.3.1. Rilievi floristici	36
4.3.1.1. Rilievo floristico delle comunità vegetali	36
4.3.1.2. Calcolo del Contributo Specifico (CS) e del Valore Pastorale (VP)	37
4.3.2. Fitomassa	37
4.3.2.1. Prelievi e determinazione della Fitomassa e Necromassa	38
4.3.3. Rilievi ed analisi podologiche	38
4.3.3.1. Rilievi ed analisi pedologiche in Italia	38
4.3.3.2. Rilievi ed analisi pedologiche in UK	38
4.4. Caratterizzazione funzionale delle specie	39
4.4.1. Selezione dei caratteri funzionali	39
4.4.1.1. Superficie Fogliare Specifica (SLA)	39
4.4.1.2. Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC)	40
4.4.1.3. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)	40
4.4.1.4. Contenuto in Fibra Fogliare (LFC)	40
4.4.1.5. Massa Radicale Secca (DRM)	41
4.4.1.6. Massa Epigea Secca (DBM)	41
4.4.2. Prelievi e analisi dei caratteri funzionali	41
4.4.2.1. Prelievi ed analisi di SLA, LDMC, LNC e LFC in Italia	41
4.4.2.2. Prelievi ed analisi di SLA, LDMC, DRM e DBM in UK	42
4.5. Analisi statistiche	43
4.5.1. Coefficiente di correlazione di Spearman	43
4.5.2. Coefficiente di correlazione di Pearson	43
4.5.3. Regressione lineare e regressione Standardized Major Axis (SMA)	43

4.5.4. Analisi di Varianza	44
4.5.5. Analisi Canonica	45
4.5.6. Caratterizzazione “vegetazionale” e “funzionale” dei siti e costruzione di un gradiente tra i siti	45
<b>5. RISULTATI</b>	<b>48</b>
5.1 Parametri vegetazionali	
5.1.1. Correlazione tra i Contributi Specifici di Graminacee, Leguminose e altre famiglie	48
5.1.2. Correlazione tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di Graminacee e tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di altre famiglie	49
5.1.3. Correlazioni del Contributo Specifico di <i>B. pinnatum</i> con le altre specie	49
5.1.4. Correlazione tra il Valore Pastorale e i Contributi Specifici di <i>B. pinatum</i> e di <i>B.</i> <i>erectus</i>	49
5.2. Caratteri funzionali ( <i>traits</i> ) di <i>B. pinnatum</i> , <i>B. erectus</i> e <i>D. glomerata</i>	58
5.2.1. Analisi della congruenza dei ranghi tra le specie	58
5.2.1.1. Congruenza tra anni	60
5.2.1.2. Congruenza tra stagioni	60
5.2.1.3. Congruenza tra siti	60
5.2.2. Analisi della correlazione tra <i>traits</i>	71
5.2.2.1. Tenore di Sostanza Secca (LDMC) <i>versus</i> Superficie Fogliare Specifica (SLA)	71
5.2.2.2. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) <i>versus</i> Superficie Fogliare Specifica (SLA)	72
5.2.2.3. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) <i>versus</i> Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	73
5.2.3. Analisi di Varianza	76
5.2.3.1. Analisi di Varianza per Specie, Stagioni e Siti nel 2006	76
5.2.3.1.1. Superficie Fogliare Specifica (SLA)	76
5.2.3.1.2. Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	76
5.2.3.1.3. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)	77
5.2.3.1.4. Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri	77
5.2.3.2. Analisi di Varianza per Specie, Stagioni e Siti nel 2007	78
5.2.3.2.1. Superficie Fogliare Specifica (SLA)	78
5.2.3.2.2. Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	78

5.2.3.2.3. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)	78
5.2.4. Analisi Canonica	87
5.2.4.1. Analisi Canonica dei <i>traits</i> per le specie	87
5.2.4.2. Analisi Canonica dei <i>traits</i> per i siti	87
5.3. Analisi dei Valori Vegetazionali, dei Valori Funzionali e costruzione di un gradiente tra i siti	90
5.4. Caratteri funzionali ( <i>traits</i> ) di <i>B. sylvaticum</i> , <i>D. glomerata</i> , <i>H. lanatus</i>	95
5.4.1. Analisi della correlazione tra <i>traits</i>	95
5.4.2. Analisi di Varianza	96
5.4.2.1. <i>Brachypodium sylvaticum</i>	96
5.3.2.1.1. Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM)	96
5.3.2.1.2. Superficie Fogliare Secca (SLA)	96
5.3.2.1.3. Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	97
5.4.2.2. <i>Dactylis glomerata</i>	97
5.3.2.1.1. Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM)	97
5.3.2.1.2. Superficie Fogliare Secca (SLA)	97
5.3.2.1.3. Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	98
5.4.2.3. <i>Holcus lanatus</i>	98
5.3.2.1.1. Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM)	98
5.3.2.1.2. Superficie Fogliare Secca (SLA)	98
5.3.2.1.3. Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	99
5.5. Costruzione del gradiente tra siti	121
<b>6. DISCUSSIONE</b>	<b>123</b>
6.1 Parametri vegetazionali	
6.1.1. Correlazione tra i Contributi Specifici di Graminacee, Leguminose e altre famiglie	123
6.1.2. Correlazione tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di Graminacee e tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di altre famiglie	123
6.1.3. Correlazioni del Contributo Specifico di <i>B. pinnatum</i> con le altre specie	124
6.1.4. Correlazione tra il Valore Pastorale e i Contributi Specifici di <i>B. pinnatum</i> e di <i>B. erectus</i>	124
6.2. Caratteri funzionali ( <i>traits</i> ) di <i>B. pinnatum</i> , <i>B. erectus</i> e <i>D. glomerata</i>	125
6.2.1. Analisi della congruenza dei ranghi tra le specie	125
6.2.2. Analisi della correlazione tra <i>traits</i>	126

6.2.2.1. Tenore di Sostanza Secca (LDMC) <i>versus</i> Superficie Fogliare Specifica (SLA)	127
6.2.2.2. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) <i>versus</i> Superficie Fogliare Specifica (SLA)	128
6.2.2.3. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) <i>versus</i> Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	129
6.2.3. Analisi di Varianza	129
6.2.3.1. Superficie Fogliare Specifica (SLA)	129
6.2.3.2. Tenore di Sostanza Secca (LDMC)	131
6.2.3.3. Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)	132
6.2.3.4. Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri	133
6.3. Analisi dei Valori Vegetazionali, dei Valori Funzionali e costruzione del gradiente tra siti	133
6.4. Caratteri funzionali in ambienti naturali e in ambienti controllati	135
6.4.1. Analisi della correlazione tra <i>traits</i>	136
6.4.1.1. Tenore di Sostanza Secca (LDMC) <i>versus</i> Superficie Fogliare Specifica (SLA)	136
6.4.1.2. Massa Radicale Secca (DRM) <i>versus</i> Massa Epigea Secca (DBM)	136
6.4.1.3. Superficie Fogliare Specifica (SLA) <i>versus</i> Massa Radicale Secca (DRM) e Superficie Fogliare Specifica (SLA) <i>versus</i> Massa Epigea Secca (DBM)	137
6.4.2. Analisi di Varianza	137
6.5. Costruzione del gradiente tra siti.	139
<b>7. CONCLUSIONI</b>	140
<b><i>RINGRAZIAMENTI</i></b>	144
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	145

# 1. RIASSUNTO

Lo studio condotto si propone l'approfondimento delle conoscenze sui processi di evoluzione spontanea di comunità vegetali erbacee di origine secondaria in cinque siti all'interno di un'area protetta del Parco di Monte Sole (Bologna, Italia), dove, come molte aree rurali marginali in Italia e in Europa, la cessazione o riduzione delle tradizionali pratiche gestionali negli ultimi cinquant'anni, ha determinato lo sviluppo di fitocenosi di ridotto valore floristico e produttivo. Tali siti si trovano in due aree distinte all'interno del parco, denominate Zannini e Stanzano, selezionate in quanto rappresentative di situazioni di comunità del Mesobrometo. Due siti appartenenti alla prima area e uno appartenente alla seconda, sono gestiti con sfalcio annuale, i rimanenti non hanno nessun tipo di gestione.

Lo stato delle comunità erbacee di tali siti è stato valutato secondo più punti di vista.

E' stata fatta una caratterizzazione vegetazionale dei siti, mediante rilievo lineare secondo la metodologia Daget-Poissonet, permettendo una prima valutazione relativa al numero di specie presenti e alla loro abbondanza all'interno della comunità vegetale, determinando i Contributi Specifici delle famiglie principali e delle specie dominanti (*B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*). La produttività è stata calcolata utilizzando un indice di qualità foraggera, il Valore Pastorale, e con la determinazione della produzione di Fitomassa totale, Fitomassa fotosintetizzante e Necromassa. A questo proposito sono state trovate correlazioni negative tra la presenza di Graminacee, in particolare di *B. pinnatum*, e i Contributi Specifici delle altre specie, soprattutto a causa dello spesso strato di fitomassa e necromassa prodotto dallo stesso *B. pinnatum* che impedisce meccanicamente l'insediamento e la crescita di altre piante.

E' stata inoltre approfonditamente sviluppata un terza caratterizzazione, che si propone di quantificare la diversità funzionale dei siti medesimi, interpretando le risposte della vegetazione a fattori globali di cambiamento, sia abiotici che biotici, per cogliere gli effetti delle variazioni ambientali in atto sulla comunità, e più in generale, sull'intero ecosistema.

In particolare, nello studio condotto, sono stati proposti alcuni caratteri funzionali, cosiddetti *functional traits*, scelti perché correlati all'acquisizione e alla conservazione delle risorse, e quindi al *trade-off* dei nutrienti all'interno della



pianta, ossia: Superficie Fogliare Specifica, SLA, Tenore di Sostanza Secca, LDMC, Concentrazione di Azoto Fogliare, LNC, Contenuto in Fibra, LFC, separato nelle componenti di Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri. Questi caratteri sono stati misurati in relazione a tre specie dominanti: *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*. Si tratta di specie comunemente presenti nelle praterie semi-mesofile dell'Appennino Settentrionale, ma caratterizzate da differenti proprietà ecologiche e adattative: *B. pinnatum* e *B. erectus* sono considerati competitori stress-toleranti, tipicamente di ambienti poveri di risorse, mentre *D. glomerata*, è una specie più mesofila, caratteristica di ambienti produttivi. Attraverso l'analisi dei *traits* in riferimento alle diverse strategie di queste specie, sono stati descritti specifici adattamenti alle variazioni delle condizioni ambientali, ed in particolare in risposta al periodo di stress durante l'estate dovuto a deficit idrico e in risposta alla diversa modalità di gestione dei siti, ossia alla pratica o meno dello sfalcio annuale.

Tra i caratteri funzionali esaminati, è stato identificato LDMC come il migliore per descrivere le specie, in quanto più facilmente misurabile, meno variabile, e direttamente correlato con altri *traits* come SLA e le componenti della fibra.

E' stato quindi proposto il calcolo di un indice globale per caratterizzare i siti in esame, che tenesse conto di tutti questi aspetti, riunendo insieme sia i parametri di tipo vegetativo e produttivo, che i parametri funzionali. Tale indice ha permesso di disporre i siti lungo un gradiente e di cogliere differenti risposte in relazione a variazioni stagionali tra primavera o autunno e in relazione al tipo di gestione, valutando le posizioni occupate dai siti stessi e la modalità dei loro eventuali spostamenti lungo questo gradiente.

Al fine di chiarire se le variazioni dei *traits* rilevate fossero dovute ad adattamento fenotipico dei singoli individui alle condizioni ambientali, o piuttosto fossero dovute a differenziazione genotipica tra popolazioni cresciute in siti diversi, è stato proposto un esperimento in condizioni controllate. All'interno di un'area naturale in UK, le Chiltern Hills, sono stati selezionati cinque siti, caratterizzati da diverse età di abbandono: Bradenham Road MaiColtivato e Small Dean MaiColtivato, di cui non si conosce storia di coltivazione, caratterizzati rispettivamente da vegetazione arborea e arbustiva prevalente, Butterfly Bank 1970, non più coltivato dal 1970, oggi prateria seminaturale occasionalmente pascolata, Park Wood 2001, non più coltivato dal 2001, oggi prateria seminaturale mantenuta con sfalcio annuale, e infine Manor Farm Coltivato, attualmente arato e coltivato.

L'esperimento è stato condotto facendo crescere i semi delle tre specie più comuni, *B. sylvaticum*, *D. glomerata* e *H. lanatus* provenienti dai primi quattro siti, e semi delle stesse specie acquistati commercialmente, nei cinque differenti tipi di suolo dei medesimi siti. Sono stati misurati quattro caratteri funzionali: Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Secca (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC). I risultati ottenuti hanno evidenziato che ci sono significative differenze tra le popolazioni di una stessa specie ma con diversa provenienza, e tra individui appartenenti alla stessa popolazione se fatti crescere in suoli diversi. Tuttavia, queste differenze, sembrano essere dovute ad adattamenti locali legati alla presenza di nutrienti, in particolare N e P, nel suolo piuttosto che a sostanziali variazioni genotipiche tra popolazioni.

Anche per questi siti è stato costruito un gradiente sulla base dei quattro caratteri funzionali analizzati. La disposizione dei siti lungo il gradiente ha evidenziato tre gruppi distinti: i siti più giovani, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato, nettamente separati da Butterfly Bank 1970, e seguiti infine da Small Dean MaiColtivato e Bradenham Road MaiColtivato.

L'applicazione di un indice così proposto potrebbe rivelarsi un utile strumento per descrivere ed indagare lo stato della prateria e dei processi evolutivi in atto, al fine di meglio comprendere e dominare tali dinamiche per proporre sistemi di gestione che ne consentano la conservazione anche in assenza delle tradizionali cure colturali.

**Parole chiave:** comunità prative, caratteri funzionali, *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, *B. sylvaticum*, *H. lanatus*

## 2. INTRODUZIONE

### 2.1 Le comunità prative

#### 2.1.1 Caratteri generali e diffusione in Italia delle comunità prative

In termini agronomici si definisce “prato” un terreno agricolo inerbito per più di un anno. Fino ad un anno (un ciclo colturale) si parla invece di erbaio. Nel caso in cui la comunità prativa venga mantenuta per più di 5 anni, si parla di prato stabile o, meglio, di prato permanente.

I prati permanenti sono derivati da forme di inerbimento più o meno spontaneo e sono condizionati nella loro composizione floristica dalle situazioni ambientali (clima e terreno), dalle tecniche di coltivazione e soprattutto di utilizzazione. I prati permanenti sono diffusi prevalentemente nell'Italia Settentrionale (oltre 700.000 ha) ma sono comunque presenti in tutte le regioni, anche se, scendendo al Sud, sempre più confinati nelle aree montane. Raggiungono globalmente in Italia, un'estensione superiore al milione di ha. Nei fondovalle e nella aree di bassa montagna dell'Italia Settentrionale sono indubbiamente la risorsa agraria più importante (per estensione), mentre nella pianura sono concentrati nelle aree con suoli poveri non adatti ad altre culture.

I prati permanenti presentano ovunque un importante ruolo produttivo, ambientale e paesaggistico in relazione alla grande flessibilità di utilizzazione (sfalcio e pascolamento), alla varietà dei paesaggi che la loro presenza determina, al modestissimo rilascio in profondità dei nutrienti soprattutto azotati, alla efficace azione antierosiva e alla conservazione della biodiversità cenotica (Baldoni, 2002).

#### 2.1.2 Inquadramento fitosociologico delle comunità prative

La notevole complessità delle situazioni vegetazionali dei prati permanenti è riconducibile e differenti alleanze fitosociologiche. Nel piano montano ritroviamo: arrenatereti (riconducibili all'*Arrhenatherion*), prati pingui collinari, sub montani e montani, derivanti dall'inerbimento naturale a seguito del disboscamento dei querceti e boschi planiziali del *Carpinion*; triseteti (riconducibili al *Trisetum-Polygonion bistortae*) prati e pascoli pingui del piano montano superiore e subalpino inferiore, derivanti da disboscamenti di faggeta microterma, pecceta e lariceto; mesobrometi (riconducibili al *Mesobromium*) prati e pascoli magri a *Bromus erectus* più o meno xerotermofili. I prati magri sono ambienti seminaturali

di elevato valore naturalistico: sono, infatti, estremamente ricchi di specie vegetali termofile, cioè che richiedono temperature miti, e che talvolta esprimono condizioni di aridità, legate ad un substrato di tipo calcareo (Baldoni, 2002).

Solitamente lo strato erbaceo risulta molto sviluppato, con coperture generalmente comprese tra il 70 e il 100%. Inoltre può essere presente uno strato arbustivo, generalmente basso (altezza massima 1 m), che presenta coperture non superiori al 20-30%. Si tratta, ad ogni modo, tipicamente di praterie, con lo strato erbaceo dominato da emicriptofite, con geofite e con piccole camefite. La presenza di uno strato legnoso, alto e/o basso arbustivo, è determinato solitamente dalla sospensione dell'uso pastorale da molto tempo.

Per quanto riguarda i prati e pascoli magri a *Bromus erectus*, i Mesobrometi, dal punto di vista fitosociologico sono generalmente inquadrati nella classe *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et R. Tx. ex Klika et Hadac 1944. All'interno di tale classe, Oberdorfer (1978) descrive due ordini principali: *Brometalia erecti* Br.-Bl. 1936 e *Festucetalia valesiaca* Br.-Bl. et R. Tx. ex Br.-Bl. 1949.

I *Brometalia erecti* comprendono prati mesoxerofili subatlantici-submediterranei a *Bromus erectus*, a *Genista radiata* ad *Artemisia alba*, riferibili all'alleanza *Bromion erecti* Koch 1926; prati xerofili di suoli acidi con *Phleum phleoides*, *Koeleria gracilis* e, talvolta, *Calluna vulgaris*, riferibili all'alleanza *Koelerio-Phleion phleoidis* Korneck 1974; prati xerofili submediterranei a *Bromus erectus*, *Helianthemum nummularium*, *Hippocrepis comosa*, riferibili all'alleanza *Xerobromion* (Br.-Bl. & Moor, 1938) Moravec in Holub *et al.*, 1967. Alcuni Brometi possono essere considerati come originari, altri invece sono sicuramente derivati, e più precisamente, riferibili a coltivazioni che sono state abbandonate in seguito al loro scarso rendimento, dovuto soprattutto alle difficoltà di irrigazione (Gerola, 1986).

L'ordine *Festucetalia valesiaca* comprende prati xerofili continentali a *Festuca valesiaca* e *Stipa cavillata*, ascrivibili per lo più all'alleanza *Festucion valesiaca* Klika 1931 o all'alleanza *Cirsio-Brachypodion* Hadac et Klika 1944. Si pensa che i Festuceti abbiano avuto origine nel Quaternario, in un periodo caldo e secco, durante il quale la vegetazione steppica della regione sarmatica, centro-europea orientale, si sarebbe estesa fino alla penisola Italiana e la vegetazione termofila della regione mediterranea sarebbe riuscita a spingersi fino all'interno delle Alpi (Gerola, 1986).

Più recentemente, Mucina *et al.*, (1993), descrivono tre ordini per la classe *Festuco-Brometea*: *Brometalia erecti* Br.-Bl. 1936, comprendente le alleanze *Bromion erecti* Koch 1926 e *Cirsio-Brachypodium pinnati* Hada et Klika in Klika *et* Hada, 1944; *Festucetalia valesiaca* Br.-Bl. et R. Tx. ex Br.-Bl. 1949, comprendente l'alleanza *Festucion valesiaca* Klika 1931 e *Stipo-Poion xerophilae* Br.-Bl. et R. Tx. ex Br.-Bl. 1949; *Koelerio-Phleetalia* Korneck 1974, comprendente l'alleanza *Koelerio-Phleion phleoidis* Korneck 1974.

Il contingente floristico dei prati aridi è, generalmente molto ricco, attestandosi intorno a una media di circa 30-35 specie per stazione, si possono avere prati con prevalenza di *Bromus erectus*, prati con prevalenza di *Brachypodium pinnatum*, prati con prevalenza di *Artemisia alba*, prati con prevalenza di specie del genere *Festuca*, prati con prevalenza di specie del genere *Sesleria*, prati con prevalenza di *Stipa pennata*, ecc.

A queste specie dominanti si accompagnano le specie caratteristiche o differenziali della classe *Festuco-Brometea*, quali ad esempio, *Allium sphaerocephalon*, *Asperula cynanchica*, *Briza media*, *Carex caryophylla*, *Carex humilis*, *Centaurea scabiosa*, *Dianthus carthusianorum*, *Dianthus sylvestris*, *Eryngium campestre*, *Euphorbia cyparissias*, *E. seguieriana*, *Galium verum*, *Genista pilosa*, *Hypericum perforatum*, *Koeleria macrantha*, *K. pyramidata*, *Medicago falcata*, *Ononis spinosa*, *Orlaya grandiflora*, *Phleum phleoides*, *Pimpinella saxifraga*, *Salvia pratensis*, *Scabiosa columbaria*, *Teucrium chamaedrys*.

Infine, possono essere presenti diverse specie di orchidee, quali *Anacamptis pyramidalis*, *Epipactis atropurpurea*, *Serapias vomeracea*, *Orchis coriophora*, *O. mascula*, *O. morio*, *O. militaris*, *O. pallens*, *O. provincialis*, *O. tridentata*, *O. ustulata*, *Gymnadenia conopsea*, *Ophrys apifera*, *O. bertolonii*, *O. holoserica*, *O. insectifera*, *O. sphegodes*.

I brometi e, in generale, le cenosi dei *Festuco-Brometea* possono evolvere, dapprima, verso formazioni arbustive termofile o meso-xerofile dei *Rhamno-Prunetea* e, successivamente, verso formazioni forestali più complesse rappresentate per lo più da querceti termofili a roverella e/o cerro, ostrieti termofili, castagneti termofili, ascrivibili ai *Quercetalia pubescenti-petraeae*, e talvolta anche da querceti mesofili del *Carpinion betuli*. Questo processo evolutivo può richiedere da 10-15 anni, per l'affermazione delle cenosi arbustive, a 70 e più anni, per l'affermazione delle cenosi forestali

### 2.1.3 Tipologie di comunità prative dei *Festuco-Brometea* secondo Corine Biotopes

Secondo i criteri del sistema Corine Biotopes (European Commission, 1991), il più moderno ed il più utilizzato sistema di classificazione degli habitat, le praterie aride e semiaride sono comprese nell'ambito della categoria 34-Praterie calcaree aride e steppe. Questa categoria, di ampia valenza ecologica, comprende a sua volta numerose sottocategorie, che, per quanto riguarda i prati e pascoli magri a *Bromus erectus*, con riferimento in particolare ai Mesobrometi dell'area Appenninica, sono così suddivise:

34.3 Praterie dense di erbe perenni e steppe medio europee: *Festuco-Brometea*. Praterie chiuse, dense, termofile dominate da erbe perenni, diffuse nel centro Europa e in colline dell'area Mediterranea.

34.32 Praterie sub-atlantiche semiaride calcicole: *Mesobromion* (*Seslerio-Mesobromion*, *Potentillo-Brachypodium pinnati*). Formazioni prative chiuse più o meno mesofile, dominate da erbe perenni cespitose, di suoli relativamente profondi per lo più carbonatici; diffuse nell'area sub-atlantica del *Quercion pubescenti-petraeae* dalla pianura ai crinali montuosi delle montagne sub-mediterranee della penisola Italiana, caratterizzate dalla presenza spesso dominante di *Bromus erectus* e *Brachypodium pinnatum* accompagnate da *Koeleria pyramidata*, *Festuca guestfalica*, *F. lemanii*, *Avenula pubescens*, *Sesleria albicans*, *Briza media*, *Carex caryophylla*, *C. flacca*, *Genzianella germanica*, *G. ciliata*, *Genziana cruciata*, *Trifolium montanum*, *Lotus corniculatus*, *Ononis repens*, *Medicago lupulina*, *Ranunculus bulbosus*, *Sanguisorba minor*, *Cirsium acaule*, *Euphrasia stricta*, *Dianthus deltoides*, *Potentilla neumanniana*, *Anthyllis vulneraria*, *Galium verum*, *Euphorbia brittingeri*, *Hippocrepis comosa*, *Helianthum nummularium*, *Thymus praecox*, *Salvia pratensis*, *Linum catharticum*, *Scabiosa columbaria*, *Centaurea scabiosa*, *Carlina vulgaris*, *Viola hirta*, *Plantago media*, *Primula veris*; e dalla presenza di molte specie di orchidee quali *Coeloglossum viride*, *Ophrys apifera*, *O. holoserica*, *O. insectifera*, *O. sphegodes*, *Aceras anthropophorum*, *Himantoglossum hircinum*, *Anacamptis pyramidalis*, *Orchis morio*, *O. ustolata*, *O. militaris*, *O. simia*, *Gymnadenia conopsea*, *Platanthera chlorantha*, *Herminium monorchis*, *Dactylorhiza fuchsii*. Queste praterie presentano un'ampia distribuzione: dall'Arcipelago Britannico all'Appennino Centrale, formando un ponte tra le regioni Mediterranee e le aree termofile del nord Europa. Si tratta generalmente di comunità ricche di specie la cui diversità specifica può essere

ridotta dallo sviluppo di *Brachypodium pinnatum*, graminea con un'ecologia di tipo spiccatamente sociale.

34.326 *Mesobromion* Sub-mediterraneo: praterie mesofitiche, chiuse, solitamente presentano un'elevata abbondanza di *Bromus erectus* ed orchidee. Hanno un'ampia distribuzione della periferia del bacino mediterraneo (Catalogna, Pirenei, Provenza) fino a sud-ovest delle Alpi e a nord dell'Appennino.

34.3266 *Mesobromion* dell'Appennino Settentrionale. Praterie semiaride calcicole appenniniche *Centaureo bracteatae-Brometum erecti*. (European Commission, 1991).

La categoria 34.32 è oggetto di tutela da parte della Direttiva Habitat (92/43/CEE), il cui Codice Natura 2000 è 6210.

#### **2.1.4 Dinamica delle comunità prative**

Le comunità prative, come tutti gli ecosistemi, sono soggette al variare delle condizioni ambientali che ne determinano la nascita e l'evoluzione. Quando le condizioni ambientali si mantengono relativamente stabili nel tempo, esse definiscono un sistema che comporta, per gli organismi che ne fanno parte, una serie di vincoli in grado di rendere stabile l'ecosistema per lungo tempo (Gaucherand, 2005). Tuttavia, alcuni fattori ambientali possono costituire un "disturbo" se il loro manifestarsi porta alla distruzione di una parte o di tutti gli organismi che compongono l'ecosistema (Grime, 1977). Si definisce disturbo un qualsiasi processo che porta ad una perdita improvvisa di biomassa all'interno di una comunità in un periodo significativamente più breve di quello necessario all'accumulo di tale biomassa (Huston, 1994). Può trattarsi di un evento puntuale o ciclico, d'origine biotica od abiotica. Il fuoco, venti violenti, le inondazioni, la caduta di un albero, il passaggio di un bulldozer, costituiscono altrettanti esempi di perturbazione di tipo puntuale. Quando si tratta invece di un evento di tipo ciclico, non è più possibile parlare di disturbo in senso stretto, poiché il disturbo può essere a ragione considerato come facente parte integrante del funzionamento dell'ecosistema, strutturando le comunità animali e vegetali. Questo, in riferimento alle comunità prative, può essere tipicamente il caso dello sfalcio, che viene effettuato ogni anno nel medesimo periodo.

Se si vuole analizzare l'effetto di un disturbo in relazione ad una comunità vegetale e alla sua dinamica, è necessario rapportarsi ad uno stadio di riferimento o alle dinamiche di una successione. Con "successione" si indicano i cambiamenti

continui della composizione specifica e nella struttura delle comunità vegetali naturali o semi naturali nel corso del tempo (Clements, 1916). Questi cambiamenti sono il risultato di differenti processi, e, in particolare, della velocità di crescita e di mortalità degli organismi sotto l'effetto del cambiamento delle condizioni ambientali. Il cambiamento delle condizioni ambientali può essere il risultato dell'azione degli organismi stessi (successione autogena), o dei processi esterni all'ecosistema come ad esempio i grandi cicli climatici (successione allogena).

Il fenomeno della successione è stato largamente studiato in ecologia vegetale (Connell & Slatyer, 1977; Escarrè *et al.*, 1983; McCook, 1994; Ganade & Brown, 2002; Garnier *et al.*, 2004). Si possono distinguere: successioni primarie che si sviluppano su di un substrato che non è mai stato occupato prima da organismi vegetali (colate laviche, roccia nuda); e successioni secondarie che si sviluppano su siti dove tutta o parte della copertura vegetale è stata distrutta, ma dove il substrato, già modificato dall'occupazione recente di altre piante, non è stato eliminato. Le prime specie che si installano nei primi stadi di una successione sono dette "pioniere". Queste specie sono caratterizzate da una crescita rapida e da una durata di vita piuttosto breve; per questo motivo il ricambio delle specie avviene ad un ritmo piuttosto elevato durante i primi stadi della successione. La longevità degli organismi, la loro resistenza alle malattie e ai parassiti e la loro struttura, tendono invece ad accrescersi durante gli stadi successivi, mentre la velocità di crescita diminuisce. Alcune specie necessitano di condizioni di scarsa luminosità per germinare e crescere; altre invece, cosiddette eliofile, non sono in grado di crescere sotto piante adulte, e questo spiega la loro precoce diminuzione nei primi stadi della successione. Inizialmente, la struttura delle comunità può cambiare con rapidità, ma la velocità con cui si verificano le variazioni tende a ridursi non appena si sviluppa una comunità che ha raggiunto un livello terminale di stabilità del sistema (climax). La diversità specifica (biodiversità) risulta molto maggiore nelle fasi terminali piuttosto che in quelle iniziali, anche se in alcuni stadi intermedi può essere ancora più alta (Vazzana, 1998). Il disturbo può infine, avere come effetto un ringiovanimento delle comunità, può cioè far regredire la comunità ad uno stadio precedente della successione.

### **2.1.5 Trasformazioni delle comunità prative**

La presenza antropica e le attività agro-silvo-pastorali, hanno avuto da secoli un ruolo fondamentale nel modellare il paesaggio e le comunità vegetali che lo



costituiscono. Tuttavia, soprattutto negli ultimi cinquant'anni, si è assistito ad un profondo cambiamento nei rapporti tra uomo e ambiente. Da un lato tali trasformazioni hanno avuto come conseguenza un'artificializzazione sempre maggiore dell'ambiente, dall'altro, soprattutto in aree marginali, a causa di un progressivo decremento delle pratiche agricole e pastorali, tali trasformazioni hanno invece portato ad innescare di una serie dinamica tendente alla ricostituzione del bosco. Ciò ha determinato un aumento della naturalità dei territori interessati da questo fenomeno, accompagnati però da un'uniformizzazione del paesaggio. La conservazione delle tradizioni del territorio e della diversità locale anche oltre i confini delle aree protette sta diventando una priorità politica (per esempio: Direttiva Habitat 92/43/CEE che istituisce la rete ecologica Natura 2000) con obiettivi che vanno ora al di là delle esigenze di una mera produzione agricola.

I dati disponibili evidenziano come la superficie forestale italiana sia passata da 5.6 milioni di ettari (Gori Montanelli, 1950) a 8 milioni di ettari (MAF, 1985) e probabilmente a 10 milioni di ettari attuali, e come ciò sia avvenuto soprattutto a carico degli spazi agro-pastorali tradizionali non idonei ad essere utilizzati attraverso sistemi agrari di tipo produttivistico. Nell'Italia Settentrionale montana, il patrimonio zootecnico ha subito nel trentennio 1960-1990 una contrazione del 28% (Cavallero *et al.*, 1997). Per effetto della diminuzione del numero di capi e per i cambiamenti strutturali che hanno interessato il comparto agricolo montano, le superfici prato-pascolive si sono ridotte del 33%. In alcune zone delle Alpi Occidentali la superficie pascoliva degradata rappresenta oggi più del 50% della superficie che un tempo veniva regolarmente utilizzata (Cavallero *et al.*, 2000). L'abbandono e la conseguente riforestazione di queste aree ha ricadute non solo sul sistema foraggero, ma anche sugli aspetti ambientali, paesaggistici e culturali ad esso connessi (Talamucci, 1996). La riduzione degli spazi aperti e della vegetazione a struttura erbacea, comporta, infatti, un'erosione di biodiversità sia a livello di comunità vegetali che di specie animali ad esse collegate, sia a livello di paesaggio, oltre che difficoltà per lo sviluppo economico locale legato al turismo e ad una migliore qualità di vita.

La riduzione degli spazi aperti rappresenta inoltre un problema rilevante anche dal punto di vista quantitativo, considerato che le superfici occupate da vegetazione erbacea di origine secondaria occupano circa 1/6 dell'intero territorio nazionale. Un ulteriore problema risulta inoltre dalla necessità di coniugare le finalità conservazionistiche con possibilità di sviluppo economico ambientale sostenibile.

E' proprio in contesti di questo tipo che il significato multifunzionale delle formazioni erbacee seminaturali può trovare la giusta collocazione. Il mantenimento di tali formazioni è oggi infatti giustificato non solo e non tanto dal tradizionale utilizzo di tipo agro-pastorale e da un ritorno economico immediato, ma anche e soprattutto in funzione della conservazione di una diversità di paesaggio, di comunità e di specie, sia vegetali che animali. Tutti questi aspetti, associati ad una rivalutazione generale del patrimonio culturale di un territorio, possono contribuire ad una rivalutazione anche economica di aree marginali, promuovendo, ad esempio, forme di turismo e di produzioni locali di qualità (Nagy, 2002; Pardini *et al.*, 2004).

Con riferimento al loro significato multifunzionale, la gestione delle praterie è stata oggetto di attenzione da diversi punti di vista. Esiste un'ampia letteratura, che esamina il problema della gestione delle praterie in funzione della conservazione della loro elevata diversità biologica (Mortimer *et al.*, 1999; Mortimer *et al.*, 2002; Van Der Putten, 2003), di un paesaggio aperto, oltre che del loro valore estetico (Bakker, 1989; Hillier *et al.*, 1990; Bakker *et al.*, 1998; Poschlod *et al.*, 1998; Bruun, 2000; Delpech, 2000). La maggior parte delle conoscenze disponibili, anche se di notevole significato da un punto di vista generale, fanno però riferimento a contesti diversi da quello italiano (De Mera *et al.*, 2000; Kramberger & Gselman, 2000) e talora diversi anche da quello europeo (Pringle, 1995; Van Jaarsveld *et al.*, 1998).

Per quanto riguarda l'Europa, esperienze riferite ad esempio all'Europa Settentrionale (Hansson & Fogelfors, 2000) hanno messo in evidenze alcune interessanti tendenze riguardanti le variazioni di biodiversità delle comunità prative, determinate da diverse tipologie di gestione. I tempi di riforestazione sono piuttosto rapidi (circa 15 anni). La ricchezza floristica viene mantenuta per i primi otto anni dall'abbandono, ma tende poi a declinare. La sospensione del pascolo non rappresenta un evento che determina modificazioni irreversibili dal punto di vista della perdita di specie, ma solo modificazioni quantitative all'interno della comunità, quali ad esempio la diminuzione delle graminacee. Il pascolo invece ne determina un aumento quantitativo. Le lavorazioni periodiche del terreno promuovono un aumento del numero di specie e mantengono un buon equilibrio nella dominanza delle singole specie. Trattamenti di rimozione delle specie legnose con mezzi meccanici o mediante erbicidi, comportano invece una diminuzione di ricchezza specifica nel corso del tempo e un incremento di specie nitrofile.

L'elevata diversità specifica iniziale è probabilmente un effetto dall'azione degli erbivori che favorisce la coesistenza tra specie diverse, riducendone la competizione intraspecifica.

Con riferimento alla realtà italiana, Cereti *et al.* (2000b) evidenziano come la conservazione delle superfici pastorali sia strettamente correlata alla loro utilizzazione. Il pascolamento controllato, con impiego di carichi ridotti anche del 60%, rispetto a quelli di equilibrio, calcolati con il metodo fitopastorale, risulta in grado di arrestare la progressione della colonizzazione da parte di specie legnose nei pascoli non più utilizzati razionalmente da tempo, ma non di avviarne il recupero. D'altra parte l'utilizzazione con sfalci, seguiti dal pascolamento, sembra invece consentire un miglior controllo delle specie legnose colonizzatrici (Lombardi & Cavallero, 2000). Oltre all'esperienze di tipo agronomico, è disponibile anche un'ampia letteratura di impostazione fitosociologica, riguardante la descrizione delle diverse tipologie di vegetazione di tipo prativa secondaria della fascia collinare e montana (Ubaldi *et al.*, 1990; Biondi & Ballelli, 1995; Biondi *et al.*, 1995; Poldini & Oriolo, 1995; Zanotti *et al.*, 1998; Sburlino *et al.*, 1999), ma sono ancora relativamente limitate le esperienze di applicazione delle conoscenze vegetazionali a problemi di conservazione e gestione della vegetazione prativa (Bagella, 2001; Tonioli *et al.*, 2004), nonché di integrazione tra competenze botanico-vegetazionali e competenze agronomiche (Cereti *et al.*, 2000a). Questo aspetto sembra essere di particolare interesse per lo sviluppo di metodologie gestionali di facile applicabilità a livello territoriale ed ha già cominciato a produrre incoraggianti risultati (Roggero *et al.*, 2002).

Anche nel Regno Unito, come in Italia, dall'inizio del 20° secolo si è avuto un significativo declino nell'estensione e nell'importanza delle praterie calcaree, specialmente nel sud del Paese, a causa dell'abbandono delle tradizionali pratiche agricole e pastorali. Le difficoltà di approvvigionamento di viveri durante la seconda guerra mondiale, portarono ad un'urgente necessità di aumentare la produzione nazionale di alimenti. Questo ha comportato un notevole ammodernamento dei metodi di produzione e l'utilizzo di superfici che fino a poco prima erano lasciate a pascolo. Con la fine della guerra questa tendenza non è stata interrotta. Molte delle vaste praterie calcaree sono state arate e trasformate in campi coltivati, specialmente per la coltivazione di orzo e foraggio. Nelle praterie restanti, piccole e situate in luoghi non adatti al pascolo, l'assenza di gestione ha portato alla loro ricolonizzazione da parte della vegetazione spontanea, prima con il

grande sviluppo di Graminee sociali come *Brachypodium pinnatum* e *Bromus erectus*, poi con il progressivo ingresso di specie arbustive come *Crataegus monogyna*, *Ligustrum vulgare*, *Cornus sanguinea*, *Euonymus europaeus*, *Rhamnus catharticus*, *Viburnum lantana*, *Rosa* spp. e *Clematis vitalba*.

Per questi motivi, quindi, le praterie calcaree, soprattutto nel sud del Regno Unito, risultano essere uno degli habitat seminaturali più degradati dell'intero territorio nazionale. Non si possiedono moltissimi dati, ma Blackwood & Tubbs (1970) hanno stimato che tra il 1934 ed il 1962 le praterie calcaree nel sud dell'Inghilterra sono diminuite da 7714 a 2268 ha. Tenendo conto che molte praterie calcaree, essendo cessato qualsiasi tipo di gestione, hanno subito un sostanziale cambiamento nella composizione floristica, sembra probabile che non più del 20% delle praterie presenti nel 1939 sopravviva oggi con la propria composizione floristica originale. Parallelamente molte piante vascolari hanno subito un declino, ad esempio: *Pulsatilla vulgaris*, *Thesium humifusum*, *Blackstonia perfoliata*, *Iberis amara*, *Linum anglicum*, *Gentianella anglica*, *Senecio intergrifolius*, *Asperula cynanchica*, *Hippocrepis comosa*, *Phyteuma tenerum*, *Ajuga chamaepitys*, *Hypochaeris maculata*, e tra le orchidee *Spiranthes spiralis*, *Herminium monorchis*, *Ophrys apifera*, *O. insectifera*, *O. sphegodes*, *O. fuciflora*, *Himantoglossum hircinum*, *Anacamptis pyramidalis*, *Orchis simia*, *O. ustulata* e *Aceras anthropophorum*. (Ratcliffe, 1984)

Sembra quindi di fondamentale importanza, nelle aree dove erano presenti praterie su substrato calcareo, cercare di restaurare l'ecosistema precedente ripristinando il grado di naturalità e ricchezza di specie originario. Nella conservazione e gestione di queste praterie resta di fondamentale importanza capire gli effetti delle strategie specifiche messe in atto, per la gestione e la conservazione, al fine di conservare e proteggere le specie maggiormente rappresentative della comunità vegetale insieme alla fauna che la abita e ne fruisce (Wallis De Vries *et al.*, 2002).

## **2.2 Studio funzionale delle comunità prative**

### **2.2.1 Ricchezza di specie e diversità funzionale**

A partire dal ventesimo secolo, il descrivere e classificare la vegetazione è stato per molti scienziati uno dei principali obiettivi, a cominciare dall'approccio floristico-sociologico introdotto da Braun-Blanquet nel 1932. Spesso questi modelli di classificazione, basati sulla composizione e sulla ricchezza di specie, sono stati usati come riferimento per caratterizzare gli ambienti vegetali in relazione al loro

valore ecologico e talvolta anche agronomico (Bornard & Dubost, 1992; Bornard & Bassignana, 2001; Martinasso, 2003; Vandvik & Birks, 2004). Molti autori infatti, affermano l'esistenza di una relazione positiva tra il numero di specie e i processi dell'ecosistema in atto, assumendo che una più alta ricchezza di specie apporti un conseguente aumento della ricchezza funzionale (Schwartz *et al.*, 2000; Schmid *et al.*, 2002). In realtà questa corrispondenza non è sempre così universale, e l'ambito di tipologie di ecosistemi studiati con questo approccio resta ancora limitato (Diaz & Cabido, 2001). D'altra parte, ciascun ecosistema può differire notevolmente da una regione all'altra, con risposte specifiche di flora e fauna tipiche di ciascun *pattern* di distribuzione. Gli sforzi della ricerca necessari per poter considerare ogni singolo caso dovrebbero essere enormi. Risulta indispensabile quindi, riuscire a generalizzare il più possibile i risultati acquisiti relativi ai sistemi studiati per essere in grado di applicare questa conoscenza anche ad un numero più ampio di siti e regioni.

Molte iniziative sono state proposte per ridurre la complessità delle comunità vegetali a schemi semplici e ricorrenti. In particolare, a partire dagli anni '90, il crescente desiderio di associare simultaneamente le risposte della vegetazione ai fattori globali e ai cambiamenti nelle funzioni degli ecosistemi terrestri, ha spinto molti ecologi a riconsiderare il concetto di classificazione funzionale delle specie, oltre che quello di classificazione tassonomica (Woodward & Diament, 1991; Keddy, 1992; Johnson *et al.*, 1996; Grime *et al.*, 1997, Lavorel *et al.* 1997; Tilman *et al.*, 1997; Crawley *et al.*, 1999; Tilman, 1999; Walker *et al.*, 1999; Weither *et al.*, 1999; Grime, 2001; Westoby *et al.*, 2002; Loreau, 2000; Chapin *et al.*, 2000; Huston *et al.*, 2000). Del resto, utilizzare criteri non tassonomici per descrivere la diversità biologica, non è un fatto totalmente nuovo: la classificazione di Raunkiaer (1934) che considera diverse forme di vita delle specie vegetali, ne è un esempio.

Alla base di una classificazione di tipo funzionale sta il fatto che le specie vegetali possono essere raggruppate *a priori* a seconda delle loro funzioni o delle correlazioni tra caratteri (Woodward & Cramer, 1996; Smith *et al.*, 1997; Chapin *et al.*, 2000). Le comunità vegetali possono quindi essere viste come il risultato di una serie gerarchica di filtri abiotici (fattori climatici, disponibilità delle risorse, disturbo) e biotici (competizione, predazione, mutualismo) che selezionano, da un consistente pool disponibile, quelle specie e quei caratteri che possono persistere in un dato sito (Woodward & Diament, 1991; Keddy, 1992; Gitay & Noble, 1997; Lavorel *et al.*, 1997; Diaz *et al.*, 1999). Combinando la conoscenza e la forza

selettiva di questi filtri, si può arrivare a predire i relativi caratteri di risposta di ciascuna comunità vegetale nonché gli effetti che questi hanno sui cambiamenti ambientali dei processi dell'ecosistema (Chapin *et al.*, 1993; Grime *et al.*, 1997; Gitay & Noble, 1997; Walker *et al.*, 1999, Lavorel & Garnier, 2002; Ackerly, 2004).

### **2.2.2. La competizione**

La competizione è considerata il principale processo che influenza la struttura e il dinamismo delle comunità vegetali. Gli altri fattori, come il parassitismo, il mutualismo e la predazione, risultano implicitamente inclusi nell'esito della competizione, in quanto prendono inevitabilmente parte alle interazioni positive o negative che avvengono all'interno della comunità stessa (Goldberg, 1996; Brooker & Callaghan, 1998; Armas & Pugnare, 2005). Il bilancio netto tra questi fattori influenza non solo la struttura della comunità, ma anche la presenza o assenza di una particolare specie (Padilla & Pugnare, 2006), e ci può essere un cambiamento a seconda della disponibilità delle risorse (Goldberg, 1990; La Peyre *et al.*, 2001; Navas & Moreau-Richard, 2005; Liancourt *et al.*, 2005). Molte teorie si basano sulla competizione per spiegare e predire la struttura spaziale e temporale delle comunità vegetali, ma definire il ruolo del successo di una specie e la costituzione di una comunità lungo un gradiente ambientale di fertilità e produttività, resta ancora oggetto di un acceso dibattito (Newman, 1973; Grime, 1974; Diamond, 1975; Grime, 1979; Tilman, 1982; Tilman, 1987; Tilman, 1988; Keddy, 1989; Keddy & Shipley, 1989; Grace, 1991; Goldberg & Barton, 1992; Brooker & Callaghan, 1998; Goldberg *et al.*, 1999; La Peyre *et al.*, 2001; Corcket *et al.*, 2003; Brooker *et al.*, 2005). In particolare, due sono stati i modelli a lungo discussi: quello proposto da Tilman e quello proposto da Grime (Tilman, 1985, 1987, 1988; Tilman & Cowan, 1989; Thompson & Grime, 1988).

Tilman (1985) afferma che l'intensità della competizione è costante lungo un gradiente di fertilità, ma le modalità di acquisizione dei differenti tipi di risorse, comportano variazioni sul tipo di competizione. Nel corso di una successione infatti, le specie vegetali si sostituiscono l'una all'altra al variare di fattori selettivi che incidono sui modelli di allocazione delle risorse, in quanto vi è un aumento della disponibilità di azoto nel terreno, ma anche un aumento della biomassa che, d'altro canto, limita la penetrazione della luce disponibile. Ne consegue che, negli ambienti più produttivi dove la competizione per la luce è massima, le piante

tendono ad aumentare la biomassa degli apparati coinvolti nell'acquisizione delle risorse epigee, a spese di quelli coinvolti nell'acquisizione delle risorse ipogee.

A differenza di Tilman, Grime (1979) afferma invece che l'intensità della competizione è piuttosto irrilevante in ambienti poveri di risorse, mentre aumenta d'importanza all'aumentare della produttività. Grime (1979), introduce un nuovo fattore, non connesso con le risorse dell'ambiente, il disturbo, che differenzia le specie secondo tre strategie: specie competitive, stress-tolleranti e ruderali (modello del triangolo C-S-R). Gli studi nei quali queste teorie sono state discusse e sperimentate sul campo, non sono giunti ad un accordo condiviso (Fowler, 1990; Wilson & Shay, 1990; Aerts *et al.*, 1991; Wilson & Tilman, 1991; Campbell & Grime, 1992; Reader, 1993).

Tuttavia, molte controversie potrebbero essere spiegate focalizzando l'attenzione non tanto sul concetto di intensità della competizione, quanto piuttosto sull'importanza della competizione nel determinare la struttura delle comunità (Welden & Slausen, 1986; Grace, 1991, 1995). Le *performances* delle specie vegetali, infatti, sono indotte da una concomitanza di molteplici fattori alternativi, quali la cattura e la conservazione delle risorse (Grime, 1979; Poorter & Garnier, 1999), l'acquisizione di luce e acqua (Smith & Huston, 1989), di luce e nutrienti (Tilman, 1988), la crescita e la riproduzione (Silverton *et al.*, 1993; Solbrig, 1993; Westoby, 1998), e le forme di crescita non sono altro che l'espressione ultima di questi *trade-offs* (Chapin, 1993). Riuscire ad identificare un *set* comune di attributi funzionali coinvolti nelle capacità competitive delle specie, per caratterizzare le strategie ricorrenti, può rivelarsi un efficiente modo per capire il meccanismo delle interazioni interspecifiche (Navas & Moreau-Richard, 2005), e per caratterizzare la natura della competizione lungo un gradiente naturale (Wardle *et al.*, 1999).

### **2.2.3 Classificazione funzionale delle specie vegetali**

I più recenti approcci che coinvolgono l'analisi di possibili *sets* di attributi biologici, hanno identificato, oltre allo studio delle strategie adattative e alle relative conseguenze in crescita e riproduzione, anche altre due categorie di classificazione funzionale delle specie vegetali, i Gruppi Funzionali e i Gruppi di Risposta (Lavorel *et al.*, 1997).

1) I Gruppi Funzionali (*Plant Functional Types*, PFTs) – sono definiti come raggruppamenti di specie non filogenetici, caratterizzati da comportamenti adattativi simili basati su un *set* di attributi biologici comuni (Walker, 1992; Gitay

& Noble, 1997; Smith *et al.*, 1997; Woodward *et al.*, 1997; Diaz & Cabido, 1997; Lavorel & Garnier, 2002). La base del concetto di Gruppo Funzionale resta l'analisi dei caratteri sviluppati da piante che convivono nella stessa comunità, e dei relativi effetti che questi caratteri possono avere sia in relazione ai processi dell'ecosistema (produttività, ciclo dei nutrienti, ciclo del carbonio o dell'acqua) (Tilman, 1988; Smith & Huston, 1989), sia in risposta ai cambiamenti ambientali (come variazioni climatiche o il disturbo) (Grime, 1979; Chapin *et al.*, 1993; Scarpe, 1996; Chapin *et al.*, 1996; Poorter & Garnier, 1999; Cruz *et al.*, 2002; Lavorel & Garnier, 2002; Duru *et al.*, 2005).

(2) Specifici Gruppi di Risposta – sono gruppi di specie che rispondono in modo simile a specifici fattori ambientali. La loro individuazione risulta utile quando si tratta di proporre schemi di classificazione relativi a scale regionali più piccole o a livello di paesaggio, dove gli effetti della natura e dell'uomo sono di primario interesse. Questo può rivelarsi particolarmente utile, ad esempio, in aree prative marginali, soggette a progressivo rimboschimento, dove variazioni in corso nell'uso del suolo condizionano inevitabilmente i regimi di disturbo (Lavorel *et al.*, 1997).

#### **2.2.4 Definizione di *functional trait***

Le caratteristiche rilevanti nel determinare la risposta dell'organismo all'ambiente e/o i suoi effetti sul funzionamento di un ecosistema, sono definiti come caratteri funzionali o "*trait*" (Lavorel *et al.*, 1997).

Storicamente il termine "carattere", o *trait*, è stato indistintamente utilizzato nel linguaggio comune a molteplici discipline scientifiche, dalla genetica, alla fisiologia evolutiva, all'ecologia. A seguito di Darwin (1859), si è cominciato ad usare i caratteri soprattutto per indicare la *performance* di un organismo. Negli ultimi trent'anni, l'interesse in ecologia nell'approfondire i concetti di comunità (Grime, 1974; Petchey & Gaston, 2002; McGill *et al.*, 2006) ed ecosistema (Chapin, 1993; Grime, 1998; Lavorel & Garnier, 2002; Eviner & Chapin, 2003), ha forzato il significato di *trait* oltre i suoi confini originari, spaziando dal livello di organismo a quello di ecosistema. Purtroppo, nonostante i molteplici tentativi di definire una terminologia specifica (Diaz & Cabido, 2001), specialmente in ecologia vegetale, permane ancora una certa confusione non solo nel definire il termine "*trait*", ma anche nel capire il concetto cui il termine si riferisce. Un'ulteriore complicazione è stata data dall'introduzione del concetto di carattere



funzionale, *functional trait*, un'espressione coniata *ex novo* con l'affermarsi dell'ecologia funzionale come disciplina (Calow, 1987; Keddy, 1992). Violle *et al.* (2007), propongono allora una nuova definizione: *traits* sono tutti quei caratteri morfologici, fisiologici o fenologici misurabili a livello di singolo individuo, a partire dalla cellula fino all'intero organismo, senza riferimenti all'ambiente (fattori ambientali) o a qualsiasi altro livello di organizzazione (popolazione, comunità, ecosistema). Nell'ambito delle popolazioni di una specie, il *trait* può manifestare valori o modalità differenti lungo un gradiente ambientale o attraverso il tempo, caratterizzando così una determinata popolazione ad un dato tempo e spazio.

### **2.2.5 I *functional traits* come indicatori di fattori ambientali**

Il vantaggio di utilizzare i caratteri funzionali delle specie anziché le specie stesse, è dato dalla possibilità di comparare i diversi tipi di comunità vegetali, indipendentemente dalla composizione floristica, rispetto ad un processo specifico, delineando *trends* generali di comportamento (Diaz *et al.*, 2001). Le recenti analisi per selezionare i caratteri che meglio rispondono ai fattori ambientali, hanno considerato due categorie: i “*soft traits*”, facilmente misurabili per un ampio numero di specie e siti, ma non esplicitamente connessi a una funzione, e gli “*hard traits*”, di solito meno facilmente misurabili, ma con un ruolo funzionale diretto, volti a interpretare gli effetti che le specie della comunità hanno sul funzionamento dell'ecosistema (McIntyre *et al.*, 1999; Hodgson *et al.*, 1999; Weiher *et al.*, 1999; Grime, 2001; Westoby *et al.*, 2002; Lavorel & Garnier, 2002). In Tabella 2.1 sono riportati alcuni esempi di *soft* ed *hard traits* in relazione alle risposte e agli effetti che la disponibilità di risorse (in questo caso, i nutrienti nel suolo) e un disturbo (in questo caso, il fuoco) possono avere sull'ecosistema (Lavorel & Garnier, 2002).

Vari autori hanno utilizzato *soft* e *hard traits* come indicatori di fattori ambientali di diverso tipo: (1) forme di vita, caratteri fogliari e genomici in risposta a variazioni climatiche (McGillivray & Grime, 1995; Niinemets, 2001; Pavon *et al.*, 2000); (2) Superficie Fogliare Specifica (SLA) e composizione chimica in risposta alla disponibilità di nutrienti nel suolo (Cunningham *et al.*, 1999; Poorter & De Jong, 1999); (3) ciclo di vita, velocità di crescita relativa (RGR), e cicli fotosintetici in risposta alla CO<sub>2</sub> (Poorter *et al.*, 1996); (4) RGR, morfologia delle foglie e delle radici, e massa dei semi in risposta alle diverse intensità di luce (Leishman & Westoby, 1994; Reich *et al.*, 1998) (5) ciclo di vita, altezza della

pianta, struttura, caratteri dei semi e dei germogli in risposta al disturbo (Bond & Midgely, 2001; McIntyre & Lavorel, 2001).

Ad esempio, nelle specie vegetali, l'utilizzo di *soft traits* come la Superficie Fogliare Specifica (SLA) e l'altezza della pianta, si rivelano molto utili per conoscerne l'efficienza fotosintetica e l'abilità di competere per la luce (Weiher *et al.*, 1999; Grime, 2001; Westoby *et al.*, 2002). Non solo: processi che solitamente vengono ignorati o difficili da analizzare, come per esempio quelli che avvengono sotto il livello del suolo, possono in un certo senso, essere intuiti attraverso lo studio di caratteri più facilmente valutabili (come la lunghezza o la massa delle radici), o in qualche modo, associati a *soft trait* misurabili in superficie (Cornelissen *et al.*, 2001; Craine *et al.*, 2005).

### **2.2.6 I *functional traits* per interpretare le risposte della comunità**

Gruppi di risposta e gruppi di effetto, corrispondono a due approcci di classificazione funzionale differente. E in particolare, gli "*hard traits*" sono comunemente usati per interpretare gruppi di effetto a livello di singolo individuo, mentre variazioni morfologiche e di comportamento nei "*soft traits*" interpretano risposte a fattori biotici e abiotici a livello di comunità. Purtroppo, l'uso frequente di liste di entrambi i tipi di *traits*, senza corrispondenze o collegamenti, rende difficile riconciliare le due modalità di classificazione (Weiher, 1999). Per capire le cause del differente grado di sovrapposizione tra risposte ed effetti occorre analizzare innanzitutto le specifiche funzioni dei caratteri coinvolti. Certi *traits* possono essere usati per identificare specifiche strategie adattative delle specie in relazione all'ambiente. La necessità di interpretare le risposte della comunità e più in generale dell'ecosistema alle variazioni ambientali ha portato alla selezione di caratteri chiave, che tengono conto: (1) della capacità di utilizzare le risorse in ambienti con differente grado di fertilità (2) della capacità competitiva delle specie per la dominanza (3) della risposta al disturbo (Wilson *et al.*, 1999; Cruz *et al.*, 2005).

Per quanto riguarda la capacità di utilizzo delle risorse, studi recenti riguardo ai cambiamenti nei caratteri delle specie lungo un gradiente di disponibilità di nutrienti, hanno mostrato che le specie di habitat particolarmente ricchi sono caratterizzate da una rapida velocità di crescita, una rapida cattura delle risorse disponibili e un veloce *turn-over* degli organi, mentre, in habitat poveri di risorse, avviene esattamente il contrario. Recentemente, una serie di caratteri funzionali

quantitativi sono stati associati a questo fondamentale *trade-off* di nutrienti. In particolare, specie a crescita rapida, tipiche di habitat ricchi di nutrienti, presentano in genere, anche una combinazione di elevati valori in SLA, alta concentrazione di nutrienti nei tessuti fogliari, in particolare azoto (LNC), bassa densità di tessuti, ridotto sviluppo della parete cellulare, efficiente velocità di immagazzinamento di carbonio e breve vita delle foglie (LLS) (Poorter & Remkes, 1990; Poorter & Bergkotte, 1992; Shipely, 1995; Ryser, 1996; Poorter & Evans, 1998; Baruch & Goldstein, 1999). All'opposto, le specie tipiche di ambienti più poveri, massimizzano il tempo di resilienza dei nutrienti al loro interno attraverso una maggiore longevità degli organi, soprattutto delle foglie, e un più efficiente riassorbimento dei nutrienti dagli organi senescenti (Garnier & Aronson, 1988). Specie con lenta velocità di crescita (RGR), foglie più longeve, più alta densità dei tessuti, ma più bassi valori di SLA (Reich *et al.*, 1992), contengono in proporzione anche quantità maggiori di lignina, emicellulosa e cellulosa, rispetto a specie con elevato RGR. Wilson *et al.* (1999) hanno mostrato che il Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC) risulta strettamente correlato alla densità dei tessuti, che è una variabile chiave nel caratterizzare lo sviluppo morfogenetico delle specie (Garnier *et al.*, 2001; Shipley & Vu, 2002; Niinemets & Kull, 2003) e più precisamente, LDMC riflette il rapporto tra mesofillo e composti strutturali nella foglia (Garnier & Laurent, 1994; Van Arendonik & Poorter, 1994). Alti valori di LDMC sono indice di scarse porzioni di mesofillo ed epidermide ma di elevate porzioni di tessuto vascolare e sclerenchima (Dijkstra, 1989; Niemann *et al.*, 1992; Garnier & Laurent, 1994; Poorter & Bergkotte, 1992). Di contro, specie con elevato RGR, sono caratterizzate da foglie con un alto contenuto di acqua, basso peso specifico, ridotto sviluppo della parete cellulare, alta porzione di mesofillo e concentrazione di composti azotati. Differenze nell'anatomia del tessuto fogliare e composizione chimica tra specie erbacee, influenzano principalmente la digestibilità e il valore nutritivo delle componenti vegetali (Wilson, 1993).

Per analizzare la risposta della comunità al disturbo, quale potrebbe essere ad esempio il regime di defoliazione, è necessario tener presente le capacità competitive individuali delle specie. L'altezza specifica delle piante (SSH), ad esempio, è considerata essere il principale indice di dominanza (Hodgson *et al.*, 1999), in quanto espressione dell'abilità di catturare la luce (Vesk, 2004). Ad ogni modo, in praterie pascolate o sfalciate, questo *trait* da solo non è in grado di identificare le capacità competitive delle specie. Altri caratteri sono relazionati alla

posizione delle gemme meristematiche (Bonser *et al.*, 1996), e alle abilità rigenerative e di mettere rami (Lavorel *et al.*, 1999). La gestione ciclica della prateria, se regolare e periodica nel tempo, potrebbe permettere la selezione di caratteri fenologici, come l'inizio anticipato della fioritura o della produzione dei semi, in modo tale da adattarsi al particolare regime in atto. Anche la dimensione dei semi stessi è stata associata alla risposta al disturbo (Westoby *et al.*, 2002). Semi di taglia maggiore, possono conferire vantaggi in presenza di limitazioni ambientali, come ad esempio l'ombreggiamento (inclusa la competizione diretta tra gli individui adulti), la siccità, o la disponibilità dei nutrienti. Inoltre, in risposta all'accumulo della lettiera, la dimensione dei semi tende ad aumentare. La risposta al disturbo inoltre, coinvolge aspetti demografici, oltre che fisiologici. Sembra, per esempio, che dopo l'abbandono di ogni regolare pratica gestionale, non essendoci più alcuna costrizione temporale, aumentino le specie caratterizzate da fioritura posticipata (Kahmen & Poschlod, 2004).

### **2.2.7 Uso dei *traits*: vantaggi e limiti**

Gli schemi per descrivere le strategie delle specie, e le numerose liste di *functional traits* proposte, hanno enfatizzato l'utilità di una correlazione tra *traits*, sia per riuscire a dedurre i processi utilizzando strumenti facilmente misurabili, sia per cogliere le molteplici risposte ed effetti delle comunità sull'ecosistema, avendo a disposizione pochi caratteri (Hodgson *et al.*, 1999). Studi in un determinato contesto ambientale, naturale o controllato, e in riferimento ad una data flora, possono contribuire ad aggiungere o selezionare specifici *traits* alla lista, a seconda del particolare disturbo in atto e in relazione al tipo di informazioni che si vogliono ottenere. Tuttavia, molte correlazioni tra caratteri, potrebbero non essere sempre vere per tutte le specie, o potrebbero evolversi nel tempo e non mantenere lo stesso *range* di variazione in relazione ai cambiamenti ambientali. Inoltre, l'uso di un *trait* come sostitutivo di un altro, potrebbe determinare una perdita di talune informazioni legate all'unicità di quel *trait* non misurato (Weither *et al.*, 1999). Resta di fondamentale importanza quindi, la modalità di scelta dei caratteri, con particolare attenzione per quelli misurabili *in situ*, che possono essere espressione diretta del *trade off* fondamentale tra cattura e conservazione delle risorse, quindi delle strategie delle specie presenti, e, al tempo stesso, indicatori delle dinamiche e dei cambiamenti in atto in quella comunità. Di qui la necessità di sviluppare un metodo multivariato per l'analisi complessiva di questi caratteri, in grado di

riconciliare un approccio di tipo induttivo con un approccio deduttivo, per interpretare come gli attributi biologici delle specie possano spiegare le risposte della comunità ai cambiamenti ambientali, e, successivamente, comprendere e prevedere gli effetti a livello di ecosistema.

**Tabella 2.1** Esempi di *traits* implicati nella risposta degli ecosistemi ad alcuni fattori ambientali (nutrienti e fuoco) ed effetti sul funzionamento dell'ecosistema (produzione primaria ed infiammabilità) RGR: Relative Growth Rate, velocità di crescita relativa; LAI: Leaf Area Index: indice di superficie fogliare (adattamento da Lavorel & Garnier, 2002).

<b>Meccanismi e corrispondenti <i>hard traits</i></b>				
	<b>Risposte a fattori ambientali</b>		<b>Effetti sull'ecosistema</b>	
<i>Soft trait</i>	<b>Nutrienti</b>	<b>Fuoco</b>	<b>Produttività primaria</b>	<b>Infiammabilità</b>
<b>Pianta</b>				
Forma di vita	Assorbimento Decomposizione (contenuto di lignina)	Fuga: altezza della pianta e delle gemme, fenologia Capacità rigenerativa	Riserva di C (biomassa epigea) Acquisizione delle risorse Crescita (velocità di crescita)	Distribuzione dell'acqua all'interno della pianta
Longevità		Tolleranza (longevità)		
Età dell'individuo adulto		Capacità rigenerativa		
Periodo di attività fotosintetica		Fuga (fenologia)	Assorbimento della luce	
Allocazione delle riserve ipogee		Tolleranza (capacità pollonifera)	Riserva di C	
<b>Stelo</b>				
Altezza dello stelo		Fuga	Riserva di C (biomassa epigea) Assorbimento della luce	Propagazione del fuoco Competizione
Struttura della chioma		Fuga	Assorbimento della luce (LAI) Fissazione di C (velocità fotosintetica) Crescita (velocità di crescita)	Stress idrico (LAI) Propagazione del fuoco Microclima (LAI) Allocazione (biomassa infiammabile)
Spessore della corteccia		Tolleranza (tessuti di protezione)		
<b>Foglia</b>				
Superficie Specifica	Conservazione Decomposizione (contenuto in lignina) RGR	Tolleranza (RGR dei nuovi germogli)	Fissazione di C (velocità fotosintetica)	
Tenore di Sostanza Secca	Conservazione Decomposizione (contenuto di lignina)	Capacità rigenerativa (RGR delle plantule)	Crescita (velocità di crescita)	Composizione dei tessuti (contenuto di acqua) Potenziale osmotico
Concentrazione di Azoto	Conservazione		Fissazione di C Allocazione delle risorse (C/N)	
Durata della vita		Tolleranza (RGR dei nuovi germogli) Capacità rigenerativa (RGR delle plantule)	Fissazione di C Crescita (velocità di crescita)	
Fenologia		Fuga (tempo di defogliazione)	Fissazione di C (velocità fotosintetica)	
Concentrazione di <sup>15</sup> N	Assorbimento			

Meccanismi e corrispondenti <i>hard traits</i>				
	Risposte a fattori ambientali		Effetti sull'ecosistema	
<i>Soft trait</i>	Nutrienti	Fuoco	Produttività Primaria	Infiammabilità
<b>Radici</b>				
Profondità di radicamento	Assorbimento	Tolleranza (capacità di ricrescita)	Riserva di C (massa radicale)	Distribuzione dell'acqua all'interno della pianta
Lunghezza Specifica	Assorbimento		Assorbimento di C e di nutrienti Crescita (velocità di crescita)	
Processo di assorbimento dell'azoto	Assorbimento dell'azoto (fissazione di N <sup>2</sup> /assorbimento di N)		Assorbimento di C e di nutrienti Crescita (velocità di crescita)	
<b>Seme</b>				
Massa del seme		Capacità rigenerativa: fecondità, germinabilità, dispersione		
Morfologia del seme		Capacità rigenerativa: persistenza dei semi nell'ambiente		
Fenologia		Capacità rigenerativa: fenologia, in funzione del periodo in cui avviene l'incendio e della stagione vegetativa		
Tests germinativi		Capacità rigenerativa: stimoli germinativi		

### 3. SCOPI del LAVORO

Il lavoro si propone di approfondire le conoscenze sul funzionamento delle comunità prative di origine secondaria attraverso l'analisi di alcuni casi studio in ambiente naturale e attraverso un esperimento condotto in condizioni controllate.

Le comunità analizzate in natura sono state studiate dal punto di vista della loro composizione floristica, della loro produttività, e dei valori assunti da alcuni importanti caratteri funzionali (*functional traits*) delle specie dominanti.

L'analisi dei caratteri floristici e di produttività rientra in un approccio tradizionale allo studio di comunità vegetali, mentre l'analisi di caratteri funzionali correlati all'acquisizione e alla conservazione delle risorse, rappresenta un approccio più innovativo.

Le comunità prative selezionate differiscono per gestione (sfalcio, non sfalcio) e per condizioni stazionali (maggiore o minore pendenza) che influiscono soprattutto sulla disponibilità d'acqua. E' dunque possibile individuare un'insieme di situazioni caratterizzate da condizioni ambientali diverse, per le quali ci si propone di analizzare le risposte delle comunità prative considerate nel loro complesso (caratteri floristici e di produttività) e le risposte funzionali di singole specie. Per quest'ultimo aspetto, in particolare, ci si propone di:

1. identificare e descrivere le differenti strategie adattative di ciascuna specie, utilizzando i *traits* come strumenti interpretativi di variazioni ambientali;
2. valutare eventuali correlazioni tra i *traits* studiati, e l'attendibilità dei *traits* stessi, al fine di proporre quello che possa essere rappresentativo e di più facile ed efficace utilizzo per una caratterizzazione funzionale delle specie.

Entrambe le categorie di caratteri analizzati (floristici e di produttività da una parte, e funzionali dall'altra) apportano importanti contributi alla comprensione del funzionamento delle comunità considerate.

E' sembrato perciò opportuno proporre come scopo finale la messa a punto di una procedura che consentisse di esprimere in maniera integrata i risultati delle analisi effettuate a livello di comunità e a livello di specie.

L'esperimento svolto in condizioni controllate, si propone invece di verificare se la variabilità interpopolazione di alcuni *functional traits* di specie prative di diversa provenienza, abbia o meno una base genotipica.



## **4. MATERIALI e METODI**

### **4.1 Aree di studio**

#### **4.1.1 Area di studio in Italia**

Lo studio è stato condotto all'interno di un'area protetta dell'Appennino Emiliano, il Parco Regionale di Monte Sole, fra il fiume Reno e il torrente Setta, dalla confluenza dei due corsi d'acqua in prossimità dell'abitato Sasso Marconi alla strada che collega Vergato a Grizzana Morandi, all'interno dei Comuni di Marzabotto, Grizzana Morandi e Monzuno, in provincia di Bologna (Italia). Il territorio del Parco si estende per circa 6.480 ettari, da circa 200 metri sul livello del mare, nei pressi di Sasso Marconi, a poco più di 800 metri, con la cima di Monte Salvaro, (Monte Sole 685 m s.l.m.) ma gran parte del territorio è compreso tra 400 e 500 metri di altezza.

Il clima è tipicamente sub-mediterraneo, con temperature invernali che superano di poco lo zero, mentre in estate si possono raggiungere anche i 25° C max, con le relative eccezioni per i microclimi locali (forre e valli strette esposte a nord). La temperatura media annua è di circa 14° C. Per la stazione di Sasso Marconi (195 m s.l.m.) si registra una media annua delle precipitazioni intorno ai 990 mm, concentrate soprattutto nei mesi autunnali e primaverili; il calo estivo delle precipitazioni determina un periodo di aridità a volte anche piuttosto accentuato e a carattere incostante da un anno all'altro. In Figura 4.1 sono rappresentati i grafici delle temperature e precipitazioni relativi al 2006 e 2007 (Stazione di Sasso Marconi, ARPA, Servizio IdroMeteoClima, Emilia Romagna).

La grande varietà di paesaggi e di forme che si riscontrano all'interno del parco è riconducibile alla presenza di diversi tipi litologici, dovuti a loro volta ai diversi processi orogenetici e di sedimentazione. I principali rilievi del Parco, Monte Baco, Monte Sole e Monte Salvaro, sono formati da arenarie molto compatte, appartenenti alla Formazione di Bismantova, su cui si modellano forme aspre caratterizzate da ripide pareti e incisioni torrentizie strette e profonde. Da Monte Termine al fondovalle del Setta si estendono le Arenarie di Loiano, biancastre e quarzose feldspatiche. Le zone vicine a Vergato, Pian di Setta e Grizzana Morandi sono invece caratterizzate da versanti costituiti da argille, in cui vi è la presenza diffusa di fenomeni di dissesto che determinano una morfologia più dolce. Inoltre, nei versanti argillosi esposti a sud, i fenomeni erosivi possono generare la formazione di calanchi. Dal punto di vista vegetale, la particolare collocazione geografica dell'area, che si trova ai limiti della zona climatica mediterranea, ma risente ancora delle influenze continentali proprie dell'Emilia centrale, e le diverse condizioni di terreno e di

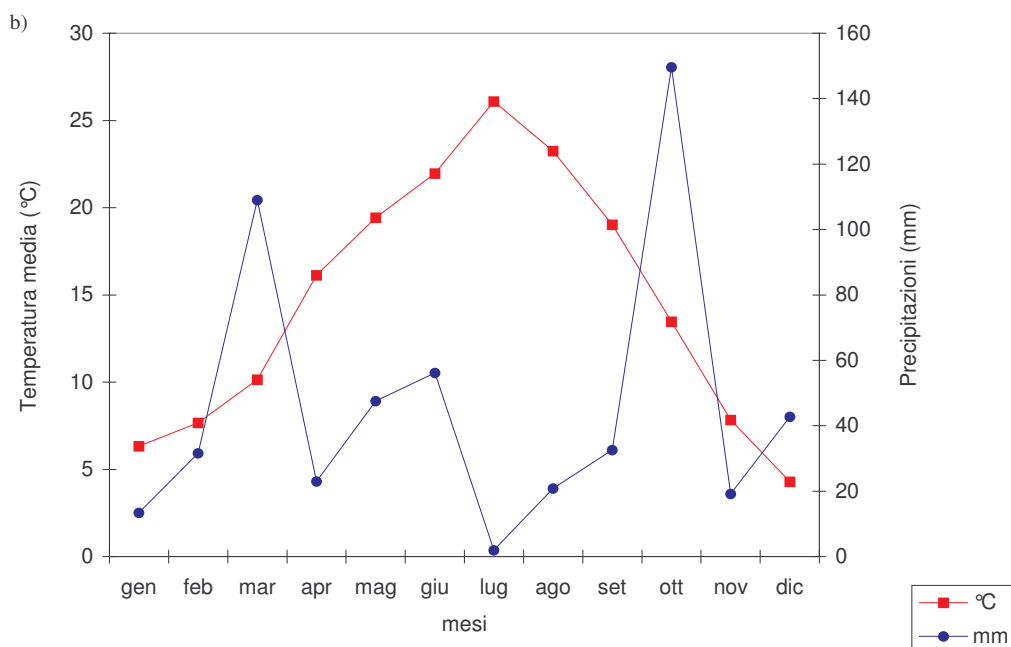
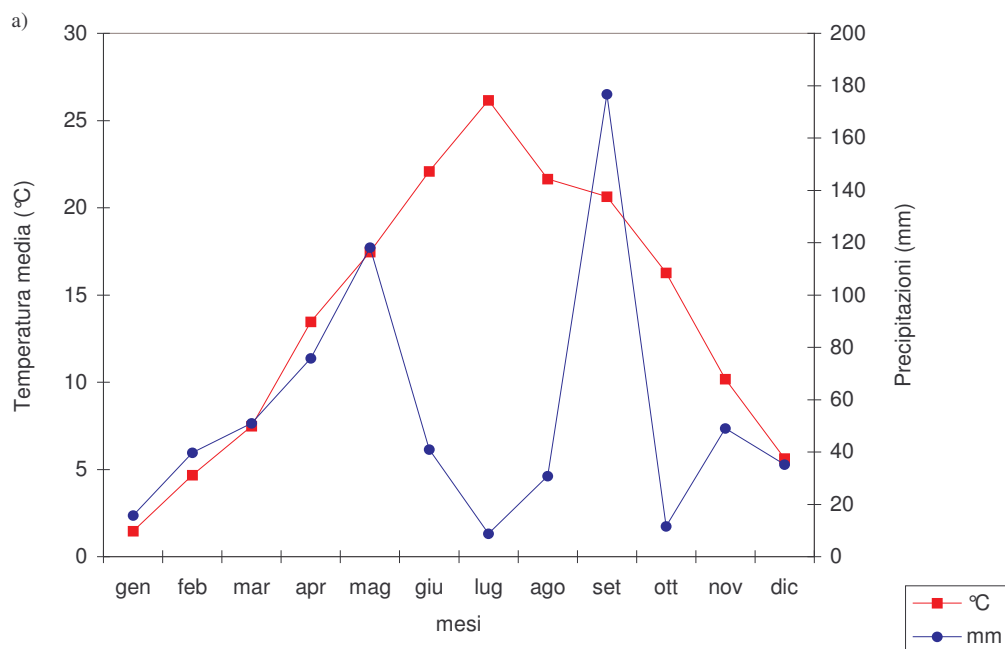
esposizione al sole, hanno favorito lo sviluppo di una grande varietà di specie. Nei versanti meno esposti al sole si incontrano fitti boschi in cui le specie più diffuse sono *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*, *Acer campestre*, *Prunus avium*, *Laburnum anagyroides*, *Sorbus domestica*. Lo strato arbustivo è caratterizzato prevalentemente da *Sorbus torminalis* e *Corylus avellana*, mentre nel sottobosco spiccano le foglie sempreverdi di *Daphne laureola* e *Ruscus aculeatus*. Nei versanti meridionali soleggiate si trovano boschi bassi e radi costituiti prevalentemente da *Quercus pubescens* e da *Fraxinus ornus*, con uno strato arbustivo molto ricco di cui fanno parte *Cytisus scoparius*, *Coronilla emerus*, *Pyrus pyraeaster*, *Viburnum lantana*, *Cornus sanguinea*, *Rosa canina*, *Prunus spinosa* e *Crataegus monogyna*. L'area del parco verso la valle del Setta, dai dintorni di Vado fino al confine meridionale, è caratterizzato invece da un substrato acido che favorisce le specie acidofile, in primis *Castanea sativa*. Infine, sui pendii rocciosi la vegetazione si dirada ed è costituita prevalentemente da comunità con *Artemisia alba*, *Helichrysum italicum* e *Spartium junceum*.

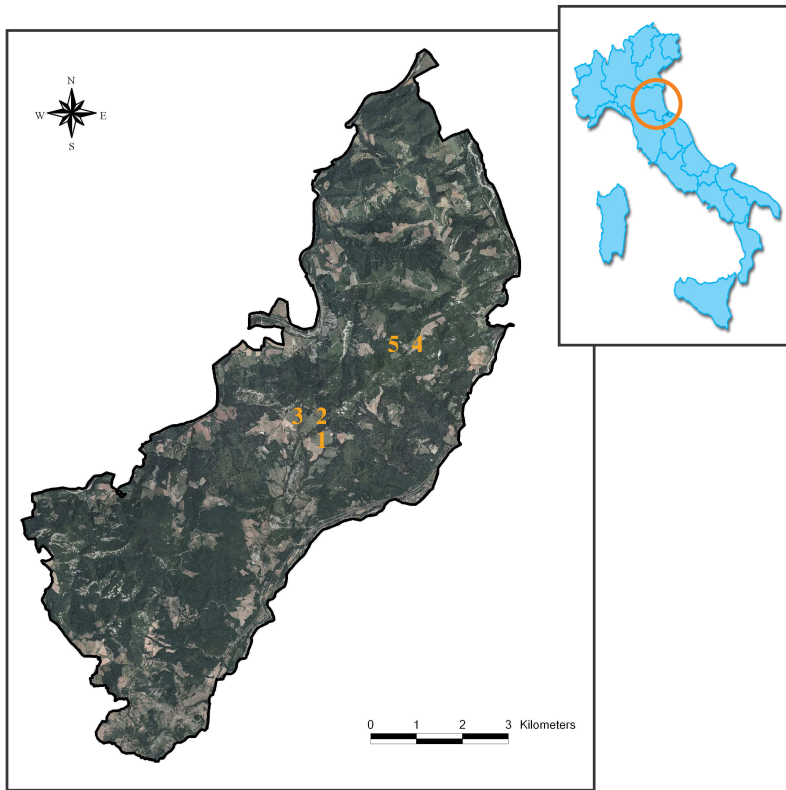
#### **4.1.1.1 I siti**

All'interno del Parco di Monte Sole, sono state selezionate due aree rappresentative, chiamate Zannini e Stanzano, con la stessa altitudine (circa 450 metri s.l.m.), ma differente esposizione (rispettivamente Sud e Sud-Ovest), pendenza (rispettivamente 16° e 25°), composizione del suolo e ricchezza floristica.

Due siti appartenenti alla prima area, chiamati Zannini Sfalcio 1 e Zannini Sfalcio 2, e uno appartenente alla seconda area, chiamato Stanzano Sfalcio, sono stati selezionati in quanto rappresentativi di situazioni di comunità di Mesobrometo a struttura totalmente erbacea, mantenuta con un singolo sfalcio all'anno, generalmente nella seconda metà del mese di giugno. Altri due siti, Zannini NoSfalcio nella prima area e Stanzano NoSfalcio nella seconda, sono stati invece scelti in quanto rappresentativi di una situazione di comunità di Mesobrometo più matura, prevalentemente erbacea, ma con una significativa colonizzazione di specie legnose (Tabella 4.1, Fig. 4.2).

**Fig. 4.1** Andamento termopluviometrico per il Parco di Monte Sole, a) nel 2006, b) nel 2007.  
 Dati ARPA Servizio IdroMeteoClima, Emilia Romagna Emilia Romagna, stazione di Sasso Marconi (Bologna).





1. Zanini Sfalcio 1



2. Zanini Sfalcio 2



3. Zanini NoSfalcio



4. Stanzano Sfalcio



5. Stanzano NoSfalcio

**Fig. 4.2** Siti all'interno dell'area del Parco Monte Sole

**Tabella 4.1** Caratteristiche dei siti del Parco di Monte Sole (Italia)

	Coordinate GPS	Alt. (m)	Esp.	Pend.	Anno di abbandono	Tipologia di vegetazione	Uso del suolo	Proprietà fisiche e chimiche del suolo				
								sabbia (%)	limo (%)	argilla (%)	N (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Zannini Sfalcio 1</b>	44°18'82" N 11°12'72" E	460	S	15°	1960 <sup>1</sup>	prato	sfalcio annuale	43.7	54.0	2.3	1950	9.0
<b>Zannini Sfalcio 2</b>	44°18'85" N 11°12'27" E	475	S	16°	1960 <sup>1</sup>	prato	sfalcio annuale	12.4	84.1	3.5	2120	5.7
<b>Zannini NoSfalcio</b>	44°18'84" N 11°12'26" E	475	S	16°	1960 <sup>1</sup>	prato arbustato	nessuna gestione	9.1	86.4	4.5	1670	7.5
<b>Stanzano Sfalcio</b>	44° 21'78" N 11°14'26" E	440	S O	25°	1990 <sup>1</sup>	prato	sfalcio annuale	12.2	85.7	2.1	1360	5.9
<b>Stanzano NoSfalcio</b>	44°21'75" N 11°14'23"E	440	S O	25°	1990 <sup>1</sup>	prato arbustato	nessuna gestione	12.9	85.1	2.0	1400	12

#### 4.1.2 Area di studio in UK

Lo studio è stato condotto all'interno dell'area naturale delle Chilterns Hills, che si estende tra Goring Gap a sud-est e Hitchin a nord-est, includendo parte delle contee di Oxfordshire, Buckinghamshire, Hertfordshire e Bedfordshire e i distretti di West Berkshire, Reading, Newbury, Windsor e Maidenhead e Wokingham.

Il territorio delle Chilterns Hills si estende per circa 1640 km<sup>2</sup>, a circa 200 metri di altezza sul livello del mare.

Il clima è temperato, con precipitazioni medie annue di circa 760-1.000 mm.

Dal punto di vista geologico, le Chiltern Hills sono formazioni facenti parte di una grande struttura tettonica parzialmente smantellata dall'erosione che prende il nome di anticlinale del Weald. L'anticlinale, formatasi nell'Eocene, piega una successione di formazioni sedimentarie che risalgono al Cretaceo. La stratigrafia di questi depositi vede (dal basso verso l'alto) un orizzonte costituito da termini pelitici (Argille del Weald e Argille di Gault), con al tetto delle arenarie quarzose e, sopra di queste, calcari organogeni a grana fine, friabili, di colore bianco (*Chalk*, che costituisce le Chiltern Hills).

Dal punto di vista paleoambientale, la litologia è rappresentativa di sedimenti di facies costiera e neritica (corrispondenti ad ambiente marino poco profondo di piattaforma continentale). Le arenarie rappresentano i sedimenti sabbiosi costieri del paleoambiente e costituiscono, con le formazioni argillose (che rappresentano invece i depositi di piattaforma), una unità litostratigrafica chiamata Wealden. I calcari, anch'essi di ambiente costiero, sono di origine organica e sono costituiti da minutissimi frammenti di gusci di molluschi marini. La tipologia dei suoli è strettamente connessa con la natura calcarea delle rocce da cui hanno origine, e si tratta di suoli poco profondi e poveri di nutrienti.

Nelle Chilterns Hill si trovano molte ed importanti tipologie di habitat: le rare, frammentate praterie e brughiere calcaree, estese foreste (in particolare faggete), siepi ricche di specie, ed una rete di piccoli stagni, praterie umide e habitat ripari. Alcuni di questi habitat sono riportati nell'Allegato 1 della Direttiva Habitat:

1. Praterie aride semi naturali e aree cespugliate: 34.31 – 34.34 (importanti siti per orchidee). Le praterie naturali o seminaturali sono, da lungo tempo, un elemento importante del paesaggio inglese. Le specie vegetali caratteristiche di questi habitat sono: *Orchis militaris*, *Gentianella anglica*, *Iberis amara*, *Pulsatilla vulgaris*. Inoltre la loro grande biodiversità floristica permette la sopravvivenza di molti invertebrati soprattutto farfalle come *Lysandra bellargus* e *Hesperia comma*.

Le siepi e le aree cespugliate sono state viste da sempre come una componente delle praterie calcaree, ma ultimamente si tende a considerarle come un habitat distinto. Sono

infatti aree estremamente importanti per il nutrimento degli uccelli e per il riparo delle farfalle. Questa tipologia di habitat è in declino all'interno della *Chilterns Natural Area* a causa dell'avanzamento della successione dinamica verso il bosco. Tuttavia nell'area delle Chilterns Hills si trovano ancora importanti aree cespugliate dominate da bosso (*Buxus sempervirens*) e ginepro (*Juniperus communis*). Il bosso si può trovare associato con licheni rari, quali *Fellhanera bouteillii* e *Metzgeria fructiculosa*

2. Faggete con *Ilex* e *Taxus* ricche in epifite (*Ilici-Fagion*) e Faggete su suoli calcarei (*Cephalanteo-Fagion*). Le Chilterns Hills sono una delle aree più boschive d'Inghilterra, la superficie boscata copre infatti una superficie totale di più di 15.000 ha. Molte di queste foreste sono considerate antiche (almeno 400 anni). Si tratta prevalentemente di faggete, associate ad un sottobosco caratterizzato da *Cephanlanthera rubra*, *Corallorhiza trifida* e *Bromus benekenii*.

#### **4.1.2.1 I siti**

All'interno dell'area, sono stati selezionati cinque siti rappresentativi, con differenti caratteristiche (Tabella 4.2):

1. Bradenham Road MaiColtivato: area di cui non ci sono notizie sull'utilizzo a scopi colturali almeno negli ultimi cinquant'anni, con vegetazione forestale e piccole radure prative.
2. Small Dean MaiColtivato: area di cui non ci sono notizie sull'utilizzo a scopi colturali almeno negli ultimi cinquant'anni, con vegetazione arbustiva ben sviluppata.
3. Butterfly Bank (1970): area non più coltivata dal 1970, prateria seminaturale, occasionalmente pascolata.
4. Park Wood (2001): area non più coltivata dal 2001, mantenuta a prato con un singolo sfalcio annuale.
5. Manor Farm: terreno utilizzato per colture erbacee, arato annualmente.

**Tabella 4.2** Caratteristiche dei siti delle Chiltern Hills (UK)

	Coordinate GPS	Anno di abbandono	Tipologia di vegetazione	Uso del Suolo	Proprietà chimiche del suolo	
					N (mg kg <sup>-1</sup> )	P (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Bradenham Road MaiColtivato</b>	51°39'15" N 0°43'57" O	sconosciuto	arborea	nessuna gestione	7200	6
<b>Small Dean MaiColtivato</b>	51°41'01" N 0°43'33" O	sconosciuto	prato arbustato	nessuna gestione	4500	4
<b>Butterfly Bank (1970)</b>	51°40'19" N 0°48'09" O	1970	prato	pascolo occasionale	4900	3
<b>Park Wood (2001)</b>	51°40'08" N 0°48'17" O	2001	prato	sfalcio annuale	3500	14
<b>Manor Farm Coltivato</b>	51°40'22" N 0°48'54" O	-	-	attualmente coltivato	2700	52



## 4.2 Le specie studiate

In Italia, lo studio è stato condotto utilizzando tre specie erbacee perenni, scelte perchè dominanti in praterie semi-naturali dell'Appennino Settentrionale: *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., *Bromus erectus* Hudson e *Dactylis glomerata* L.

In UK, lo studio è stato condotto utilizzando tre specie erbacee perenni, caratteristiche delle *chalk grassland*: *Brachypodium sylvaticum* (Hudson) Beauv., *Dactylis glomerata* L. e *Holcus lanatus* L.

Di seguito è riportata una breve caratterizzazione morfologica per ciascuna delle specie sopra indicate, tratta dalla Flora d'Italia (Pignatti, 1982).

### 4.2.1 Caratterizzazione morfologica di *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv.

Emicriptofita caespitosa, pianta perenne erbacea, altezza 4-7 dm. Rizoma stolonifero lungamente strisciante; pianta generalmente formante popolazioni a tappeto, estese anche per qualche metro; culmo eretto, glabro, liscio, nudo in alto. Foglie con guaina generalmente pubescente e ligula tronca (0.5-1 e fino a 2 mm); lamina piana di 4-6(9) mm, molle, regolarmente incurvata fino alla punta, con l'età tendente ad assumere un colore rosso-bruno; anatomia: in corrispondenza ai fasci principali un pilastro sclerenchimatico continuo, altrimenti soltanto cordoni; mancano coste rilevate; peli generalmente presenti. Spiga eretta o un po' incurvata all'apice con 5-9 spighette di 3x30 mm, 9-11 flore; glume di 5 e 7 mm rispettivamente; lemma di 9 mm con resta apicale di 2-2.5 mm; antere gialle 1x5 mm.

Fioritura da maggio a luglio. Sui prati aridi, boscaglie, scarpate (0-2000 m).

Distribuzione nazionale: spesso su suolo subacido, povero di sali nutritivi (anche su superfici incendiate). Comune in tutto il territorio.

### 4.2.2 Caratterizzazione morfologica di *Bomus erectus* Hudson

Emicriptofita caespitosa, pianta perenne erbacea, altezza 4-6 dm. Culmi ginocchiati alla base, quindi eretti, robusti, generalmente lisci e glabri. Foglie  $\pm$  pubescenti o cigliate sul margine della lamina o delle guaine; ligula breve (< 2 mm), troncata, talora subnulla e ridotta a 2 orecchiette; lamina larga 2-4 mm. Pannocchia  $\pm$  eretta e contratta; spighette variabili, generalmente ispide e spesso screziate di violaceo, 7-9 flore di  $\pm$  30 mm; glume acute, mutiche, poco diseguali di 7 e 9 mm rispettivamente, ma l'inferiore più sottile; lemma di circa 11 mm, all'apice con 2 denti aristiformi tra i quali è inserita la resta di 5-6 mm.

Fioritura da maggio a luglio. Sui prati aridi e pendii soleggiati (0-1600 m).

Distribuzione nazionale: Comune in Italia settentrionale (sui rilievi) e Italia Centrale. Rara in Padania Italia Meridionale, Sardegna e Corsica.

#### **4.2.3 Caratterizzazione morfologica di *Dactylis glomerata* L.**

Pianta perenne erbacea, emicriptofita caespitosa, altezza 5-13 dm. Fusti ascendenti o eretti, alla base compresso-bitaglianti. Foglie con lamina larga (4)6-8 mm, verde-erbacea; ligula tronca, ovviamente ottusa (2 mm). Pannocchia con 1-2 rami basali distanziati, eretto-patenti, nudi su 1-4 cm; spiglette 3-4 flore (7 mm); glume 3-3.5 mm, generalmente violacee, l'infiorescenza 1nervia, la superiore 3nervia, antere violette 2 mm.

Fioritura da maggio a luglio. Prati falciabili, incolti, siepi, spesso anche coltivati, come foraggio (0-2000, max 2500 m).

Distribuzione nazionale: Comune in Italia settentrionale e regione appenninica. Rara nell'area mediterranea

#### **4.2.4 Caratterizzazione morfologica di *Brachypodium sylvaticum* (Hudson) Beauv.**

Pianta silvestre, emicriptofita caespitosa, altezza 3-5 dm. Culmo ascendente, foglioso fino all'infiorescenza, ai nodi (almeno inferiori) con un ciuffo di peli; stoloni mancanti. Foglie con guaina irsuta per peli riflessi o patenti; ligula 1 mm, troncato-sfrangiata; lamina molle, arcuata e con punta pendula, piana, larga 8-11 mm, con peli sparsi; anatomia: in corrispondenza ad ogni fascio un pilastro sclerenchimatico continuo dall'una all'altra epidermide, non formante coste rilevate. Spiga formata da 6-12 spiglette, con apice nutante o pendulo; spiglette 8-15 flore lunghe 2-3 cm; glume di 7-9 e 9-12 mm rispettivamente; lemma 9-12 mm con resta di 10-12 mm; antere 0.5x5 mm.

Fioritura da maggio a luglio. Boschi di latifoglie (querreti, alneti, ecc)

#### **4.2.5 Caratterizzazione morfologica di *Holcus lanatus* L.**

Pianta perenne erbacea, emicriptofita caespitosa, altezza 4-8 dm. Fusti eretti o ginocchiato-ascendenti, glabri, spesso pelosi ai nodi. Foglie mollemente pubescenti (soprattutto sulla guana), con lamina larga 8-13 mm e ligula di 1-2 mm. Pannocchia ampia, densa, bianco-setosa; spiglette generalmente con un fiore ermafrodita inferiore ed un secondo fiore maschile superiore; glume pubescenti sul bordo e la carena; lunghe 3-4 mm, con mucrone di 0.3-0.5 mm; lemma poco più breve delle glume, con resta ricurva ad uncino.

Fioritura da maggio a luglio. Prati stabili, anche umidi e palustri.

### **4.3 Caratterizzazione floristica, di produttività e pedologica dei siti**

#### **4.3.1 Rilievi floristici**

I metodi descrittivi solitamente utilizzati per lo studio della composizione floristica, consistono nel realizzare una lista delle specie presenti alle quali viene attribuito un valore stimato ad “occhio” che corrisponde alla percentuale di terreno ricoperta dalla specie. Il più comune di questi metodi è quello proposto da Braun-Blanquet (1932), con rilievo delle specie tramite una scala di frequenza di valori compresi tra 1-5 e tramite l’attribuzione di un segno “+” alle specie sporadiche e “r” alle specie definite rare. I metodi descrittivi hanno il vantaggio di richiedere ridotti tempi di realizzazione ma peccano per essere molto soggettivi ed influenzati da vari fattori come ad esempio la taglia o la fioritura delle specie che possono ingannare e portare ad attribuire valori maggiori rispetto a quelli reali. In campo pastorale viene comunemente utilizzato il metodo fitoecologico dell’analisi lineare secondo Daget & Poissonet (1969), che prevede rilievi puntuali e non per aree, come avviene invece per i comuni metodi descrittivi.

##### **4.3.1.1 Rilievo floristico delle comunità vegetali**

Il rilievo della vegetazione nei siti in esame, è stato effettuato adottando la metodologia proposta da Daget & Poissonet (1969), denominata analisi lineare. Il metodo dell’analisi lineare prevede il censimento della specie presenti all’interno di un’area definita come una porzione di terreno di estensione contenuta in cui le condizioni ecologiche sono omogenee e caratterizzate da una vegetazione uniforme. Le comunità vegetali presenti sono state rilevate eseguendo in ciascun sito 2 transetti di 25 m, collocati ad una distanza di almeno 10 metri l’uno dall’altro, e con calate di una bacchetta ogni 50 cm (per un totale di 50 punti a linea). Il numero di contatti fra una singola specie e la bacchetta rappresenta la frequenza specifica (FS), parametro che può essere assunto come misura del ricoprimento delle singole specie.

Per acquisire gli elementi necessari all’inquadramento fitosociologico del sito, ciascun rilievo lineare è stato completato da un elenco floristico, secondo un adattamento del rilievo fitosociologico di Braun-Blanquet (1932); tale rilievo è stato eseguito su di un’area di 100 m<sup>2</sup> posta a cavallo della linea utilizzata per il rilievo lineare (25 m x 4 m), annotando, come sola presenza (+), le specie non riscontrate nel corso del rilievo lineare stesso (Bolzan A., dati non pubblicati). Tali rilievi sono stati effettuati due volte nel corso della stagione vegetativa, in primavera (Maggio) e autunno (Ottobre) di ciascun anno di campionamento, in modo da consentire una valutazione più approfondita eventuali variazioni stagionali di composizione floristica.

#### 4.3.1.2 Calcolo del Contributo Specifico (CS) e del Valore Pastorale (VP)

L'abbondanza di ciascuna specie sul transetto è stata stimata dal rapporto della sua Frequenza Specifica (FS) sulla somma totale delle frequenze di tutte le specie riscontrate durante il rilievo, e questa percentuale è stata chiamata Contributo Specifico (CS), calcolata secondo la formula:

$$CS_i = \frac{FS_i}{\sum_{i=1}^n FS_i} \times 100$$

Per semplificare la caratterizzazione vegetazionale dei siti, ogni specie è stata inserita in una delle seguenti categorie: Graminacee (G.), Leguminose (L.) e specie appartenenti alle altre famiglie botaniche (a.f.). In particolare, è stato preso in considerazione per le analisi il Contributo Specifico relativo alle tre specie dominanti *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus* e *Dactylis glomerata*.

A partire dal Contributo Specifico si ottiene il Valore Pastorale (VP), un indice della qualità complessiva della prateria, sia dal punto di vista produttivo che della composizione floristica (Daget & Poissonet, 1969), mediante la seguente formula:

$$VP = \frac{\sum_{i=1}^n CS_i \times IS_i}{5}$$

dove  $IS_i$  è un indice tipico di ogni specie che varia da 0 (specie di nessun interesse foraggero) a 5 (specie ottima per qualità, appetibilità e produttività) (Roggero *et al.*, 2002). Con questa formulazione, il Valore Pastorale può variare da 0 a 100 e sulla base di tale valore le aree prative possono essere classificate in tre categorie: pascoli di scarsa qualità ( $PV \leq 5$ ), media qualità ( $15 < PV < 25$ ), buona qualità ( $PV > 25$ ) (Argenti *et al.*, 2004; Argenti *et al.* 2006).

#### 4.3.2 Fitomassa

Il metodo standard per la determinazione della fitomassa consiste nella pesatura della parte epigea della vegetazione fresca asportata dopo lo sfalcio o più comunemente dopo essiccamento (Schwinning & Weiner, 1998; Cornelissen *et al.*, 2003).

Misurazioni di fitomassa sono alla base del calcolo di produzione primaria netta, velocità di crescita relativa (RGR), plasticità, allometria e locazione delle risorse nelle specie

(Poschlod *et al.*, 2000; Weiner 2004). Tuttavia misurazioni di fitomassa vengono effettuate di rado, e questo parametro comunemente non è incluso neppure nei più recenti *databases* dei caratteri funzionali (Poschlod *et al.*, 2003; Kleyer *et al.*, 2008).

#### **4.3.2.1 Prelievi e determinazione della fitomassa e necromassa**

I prelievi per la determinazione della fitomassa sono stati effettuati scegliendo tre *subplots* il più possibile omogenei, di 1 m<sup>2</sup> ciascuno, in ogni sito. Tali prelievi sono stati effettuati sia in Maggio che in Ottobre, nel 2006 e nel 2007, selezionando di volta in volta nuovi *subplots* collocati nelle immediate vicinanze dei rilievi precedenti. La fitomassa totale relativa a ciascun *subplot* è stata ottenuta asportando le porzioni epigee della vegetazione, con uno sfalcio manuale a circa 1 cm di altezza dal suolo; quindi messa in borse di plastica fino all'arrivo in laboratorio, e successivamente pesata per la determinazione del peso fresco totale. Infine, sono state separate manualmente fitomassa fotosintetizzante e necromassa, e seccate in stufa a 60° per 48 ore. I relativi pesi secchi così ottenuti sono stati utilizzati nelle analisi.

#### **4.3.3 Rilievi e analisi pedologiche**

##### **4.3.3.1 Rilievi e analisi pedologiche in Italia**

Nel corso del 2007, in ciascun sito sono stati prelevati 5 sottocampioni di suolo a circa 20 cm di profondità, uno al centro e 4 a metà delle emidiagonali, in modo da ottenere una mistura il più possibile rappresentativa dell'intera area.

Sui campioni di suolo, previo essiccamento all'aria per circa due settimane e settacciamento (particelle  $0.2 < d < 2$  mm), è stata effettuata l'analisi granulometrica col metodo della pipetta alla temperatura di 20° C.

Sui medesimi campioni di suolo sono state effettuate le analisi chimiche per la determinazione del fosforo assimilabile, secondo il metodo Olsen (Olsen *et al.*, 1954) e dell'azoto totale, secondo il metodo Kjeldahl (MAF, 2000) (Tabella 4.1).

##### **4.3.3.2 Rilievi e analisi pedologiche in UK**

Nel mese di novembre 2007, in ciascun sito sono stati prelevati 5 sottocampioni di suolo a circa 20 cm di profondità, uno al centro e 4 a metà delle emidiagonali, in modo da ottenere una mistura il più possibile rappresentativa dell'intera area.

Sui campioni di suolo così ottenuti, sono state effettuate le analisi chimiche per la determinazione dell'azoto totale secondo il metodo Kjeldahl (MAF, 2000), e del fosforo assimilabile secondo il metodo Olsen (Olsen *et al.*, 1954) (Tabella 4.2).

## 4.4 Caratterizzazione funzionale delle specie

### 4.4.1 Selezione dei caratteri funzionali

La caratterizzazione funzionale si basa sull'analisi dei caratteri funzionali in specie considerate rappresentative della comunità prativa in esame. In particolare, nello studio condotto in Italia, sono stati scelti tre parametri funzionali tra quelli proposti da Garnier *et al.* 2001b, in quanto correlati all'acquisizione e alla conservazione dei nutrienti e sensibili al variare delle condizioni ambientali: la Superficie Fogliare Specifica (*Specific Leaf Area*, SLA), il Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (*Leaf Dry Matter Content*, LDMC), la Concentrazione di Azoto Fogliare (*Leaf Nitrogen Content*, LNC), ed un quarto, direttamente connesso alla composizione strutturale dei tessuti fogliari, il Contenuto in Fibra Fogliare, (*Leaf Fiber Content*, LFC), separato nelle frazioni Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri.

Per quanto riguarda l'esperimento condotto in UK, sono stati selezionati quattro parametri funzionali: la Superficie Fogliare Specifica (*Specific Leaf Area*, SLA), il Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (*Leaf Dry Matter Content*, LDMC), la Massa Radicale Secca (DRM) e la Massa Epigea Secca (DBM).

#### 4.4.1.1 Superficie Fogliare Specifica (SLA)

La Superficie Fogliare Specifica (SLA, *Specific Leaf Area*) è data dal rapporto tra la superficie del lembo fogliare e il suo relativo peso secco, espresso in  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$  (Reich *et al.*, 1997). SLA di una specie è positivamente correlata alla velocità di crescita relativa (RGR) (Muller & Garnier, 1990; Poorter & Remkes, 1990), al rapido *turnover* delle foglie (Reich *et al.*, 1992), alla concentrazione di nutrienti e alle capacità fotosintetiche della pianta stessa (Field & Mooney, 1986; Abrams *et al.*, 1994; Garnier *et al.*, 1997; Reich *et al.*, 1997; Poorter & Evans, 1998; Shipley & Lechowicz, 2000; Wright & Westoby, 2001; Wright *et al.*, 2002; Burns, 2004). Ne consegue che, foglie con elevati valori di SLA, producono un minor numero di apparati fotosintetici per unità di superficie, sono in grado di utilizzare in modo più efficace anche scarse quantità di radiazione diffusa (Niinemets, 2001; Sefton *et al.*, 2002) e manifestano una più elevata velocità di crescita relativa (RGR) anche in condizioni di stress di nutrienti (Lambers & Poorter, 1992; Wright & Westoby, 1999; Shipley, 2002). Al contrario, foglie con bassi valori di SLA, tendono ad essere più efficienti ad alte concentrazioni luminose, e si dimostrano maggiormente tolleranti alla carenza idrica e di nutrienti grazie soprattutto alla loro cuticola più spessa e ad un più lento turnover fogliare (Chapin *et al.*, 1993; Westoby, 1998; Wright & Westoby, 1999; Fonseca *et al.*, 2000; Wright *et al.*, 2002; Cornelissen *et al.*, 2003).

#### **4.4.1.2 Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC)**

Tenore di Sostanza Secca nelle foglie, (LDMC, *Leaf Dry Matter Content*), è dato dal rapporto tra peso secco e relativo peso fresco del lembo fogliare, espresso in  $\text{mg g}^{-1}$ . LDMC è strettamente legato alla densità media dei tessuti fogliari (Garnier & Laurent, 1994; Niinemets, 1999; Wright & Cannon, 2001; Shipley & Vu, 2002; Vile *et al.*, 2005) e tende a crescere al diminuire di SLA (Dijkstra, 1989; Garnier & Laurent, 1994; Cornelissen *et al.*, 1996; Poorter & Evans, 1998; Westoby, 1998). E' stata evidenziata anche una correlazione negativa con la velocità di crescita relativa (RGR) e positiva con la durata di vita delle foglie (LLS) e ritenzione dei nutrienti (Poorter & Garnier, 1999, Ryser & Urbas, 2000). In casi dove la superficie fogliare risulti difficile da misurare, LDMC sembra fornire risultati più significativi di SLA nonostante i due *traits* non interpretino esattamente le stesse funzioni (Garnier *et al.*, 2001b; Cornelissen *et al.*, 2003).

#### **4.4.1.3 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)**

La Concentrazione di Azoto Fogliare, (LNC, *Leaf Nitrogen Content*), è pari alla quantità di azoto totale per unità di massa fogliare secca, espressa in  $\text{g kg}^{-1}$ . LNC è strettamente correlato con la velocità di assimilazione di  $\text{CO}_2$  (Field & Mooney, 1986; Evans *et al.*, 1989) e con la concentrazione dei composti azotati coinvolti nella fotosintesi (in particolare RuBP carbossilasi e clorofilla) (Evans *et al.*, 1989; Cunningam *et al.*, 1999; Niinemets, 1999; Reich *et al.*, 1999; Lamont *et al.*, 2002; Paula & Pausas, 2006). Per questa ragione LNC, unitamente a SLA, potrebbe essere utilizzato nel calcolo dell'efficienza dei processi fotosintetici (Reich *et al.*, 1997; Garnier *et al.*, 1999). Inoltre, la concentrazione di azoto nelle foglie di una data specie sembra essere strettamente legata al variare della disponibilità di azoto presente nell'ambiente (Sabatè *et al.*, 1995).

#### **4.4.1.4 Contenuto in Fibra Fogliare (LFC)**

Il Contenuto in Fibra (*Leaf Fiber Content*, LFC) è stato analizzato separatamente nelle componenti Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri, per unità di massa fogliare secca espressa in  $\text{g kg}^{-1}$ . La struttura dei tessuti è un importante carattere funzionale per evidenziare la variazione delle relative velocità di crescita (RGR) tra le specie (Garnier, 1992; Poorter & Bergkotte, 1992; Garnier & Laurent, 1994). Specie a rapida crescita, tipiche di ambienti produttivi, sono caratterizzate dall'aver foglie spesse, con larghe porzioni di mesofillo, e contenenti un elevato numero di composti citoplasmatici; specie a crescita lenta invece, comunemente presenti in ambienti più poveri di risorse, tendono ad

investire maggiormente in composti secondari (emicellulosa, cellulosa e lignina) presentando consistenti porzioni di parete cellulare e di tessuto sclerenchimatico (Niemann *et al.*, 1992; Garnier & Laurent, 1994; Van Arendonk & Poorter, 1994; Van Arendonk *et al.*, 1997; Tsialtas, 2004).

#### **4.4.1.5 Massa Radicale Secca (DRM)**

La Massa Radicale di una singola pianta, è intesa come la determinazione del peso fresco della biomassa ipogea (*Fresh Root Mass*, FRM), o più comunemente del peso secco corrispondente (*Dried Root Mass*, DRM) (Cornelissen *et al.*, 2003).

La capacità differente di proliferazione del sistema radicale, è indice significativo del grado di adattamento della pianta stessa (Jackson & Caldwell 1996, Grime *et al.* 1997). Specie tipicamente di ambienti produttivi tendono ad allocare minore biomassa nel loro sistema radicale rispetto a specie di ambienti di poveri di risorse (Tilman, 1988). Tuttavia, ci sono piante in grado di concentrare l'accumulo dei nutrienti preferibilmente nel loro apparato radicale, con variazioni adattative nella morfologia e nella lunghezza delle radici stesse (Aerts & Chapin 1999).

#### **4.4.1.6 Massa Epigea Secca (DBM)**

La Massa Epigea di una singola pianta, è intesa come la determinazione del peso fresco della parte epigea (*Fresh Biomass*, FBM) asportata con il taglio (Schwinning & Weiner, 1998; Cornelissen *et al.*, 2003), o più comunemente del peso secco corrispondente (*Dried Biomass*, DBM) (Tackenberg, 2007). Il monitoraggio delle variazioni di Massa Epigea e la sua distribuzione verticale, è essenziale per comprendere la produzione primaria netta, la velocità di crescita relativa (RGR) (Poschlod *et al.*, 2000), la plasticità e l'allometria delle specie (Weiner, 2004), tuttavia richiede un consistente numero di individui, essendo un metodo che ne comporta la distruzione.

### **4.4.2 Prelievi e analisi dei caratteri funzionali**

#### **4.4.2.1 Prelievi e analisi di SLA, LDMC, LNC e LFC in Italia**

Durante ciascun anno, 2006 e 2007, sono stati fatti due rilevamenti, il primo in maggio, in corrispondenza al momento in cui i culmi fioriferi delle specie guida (*Brachypodium rupestre*, *Bromus erectus* e *Dactylis glomerata*) erano in stadio fenologico di avanzata spigatura, con circa il 50% delle spighe uscite secondo l'indice 275 della scala di



Lambertin (1987) e il secondo in ottobre, in corrispondenza al momento di ripresa vegetativa dopo il periodo estivo.

In ogni sito sono stati delimitati tre blocchi di 100 m<sup>2</sup>.

All'interno di ciascun blocco, sono state raccolte 10 foglie completamente sviluppate e perfettamente integre, poste su culmi vegetativi ben illuminati, appartenenti a 10 differenti individui per ciascuna delle tre specie in esame (Reich *et al.*, 1992; Westoby, 1998; Weiter *et al.*, 1999). Di seguito, le foglie sono state rapidamente poste in bottiglie di plastica contenenti acqua distillata e conservate in apposite borse-frigo alla temperatura di 4°C fino all'arrivo in laboratorio, come indicato nel protocollo di Garnier *et al.* 2001b. Le superfici fogliari reidratate, previa asciugatura dell'acqua in eccesso, sono state misurate in laboratorio utilizzando un Li-COR Area Meter modello 3100 (Lincoln, NB, USA), indi pesate, seccate in stufa a 60° C per tre giorni, e pesate nuovamente. Area del lembo fogliare, relativo peso fresco e relativo peso secco sono stati utilizzati per il calcolo della Superficie Fogliare Specifica (SLA) e del Tenore di Sostanza Secca (LDMC).

All'interno dei medesimi blocchi, per ciascuna specie guida, è stato raccolto un ulteriore quantitativo, all'incirca 10g di foglie giovani ma completamente sviluppate. In laboratorio, tali campioni sono stati seccati in stufa a 60°C per tre giorni e successivamente sottoposti ad analisi per la determinazione del contenuto di azoto (LNC) secondo il metodo Kjeldahl (MAF, 2000) e del contenuto in fibra (Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri) secondo il metodo Goering & Van Soest (1970).

#### **4.4.2.2 Prelievi e analisi di SLA, LDMC, DRM e DBM in UK**

I semi di *B. sylvaticum*, *D. glomerata* e *H. lanatus* sono stati prelevati da piante scelte casualmente all'interno di ciascun dei quattro siti, Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970 e Park Wood 2001, durante il mese di novembre 2007. Un *set* di semi delle medesime piante è stato acquistato commercialmente, per condurre la prova test. I semi sono stati conservati in cella frigorifera alla temperatura di 4°C fino all'inizio dell'esperimento, cominciato nel gennaio 2008. I semi sono stati fatti germinare su filtri umidificati in scatole Petri, mantenuti al buio e a temperatura ambiente per circa tre settimane. Durante la prima settimana di febbraio 2008, 8 piantine per ciascuna specie proveniente da ognuno dei 4 siti, e 8 piantine per ciascuna specie ottenute da semi commerciali, sono state piantate in altrettanti vasi. Ogni *set* di 8 vasi conteneva il suolo di uno dei cinque siti in esame (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato). Le piante sono state fatte crescere per tre mesi, in serra, a temperatura di circa 20°C. Da ciascuna pianta è stata prelevata una foglia matura, completamente sviluppata ed è stata misurata la

relativa superficie fogliare, il peso fresco e, previo essiccamento in stufa a 80°C per tre giorni, il peso secco. Area del lembo fogliare, relativo peso fresco e relativo peso secco, sono stati utilizzati per il calcolo della Superficie Fogliare Specifica (SLA) e del Tenore di Sostanza Secca (LDMC).

L'apparato epigeo di ciascuna pianta, reciso a livello della superficie del suolo e l'apparato radicale, accuratamente lavato dalle particelle di suolo, sono stati seccati in stufa a 80°C per tre giorni, per il calcolo della Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM).

## **4.5 Analisi Statistiche**

### **4.5.1 Coefficiente di correlazione di Spearman**

Il coefficiente di correlazione di Spearman ( $r_s$ ) è stato calcolato per valutare se i ranghi delle specie riferiti ai parametri SLA, LDMC e LNC potevano definirsi ripetibili (congruenza) attraverso le stagioni, gli anni e i siti. Il coefficiente di correlazione di Spearman ( $r_s$ ) è stato calcolato utilizzando il software SigmaSTAT 3.0.

### **4.5.2 Coefficiente di correlazione di Pearson**

Il coefficiente di correlazione di Pearson ( $r$ ) è stato calcolato per valutare il grado di correlazione tra i parametri vegetazionali, quali: Contributo Specifico di Graminacee, Leguminose e altre famiglie, Contributo Specifico di *B. pinnatum*, *B. erucus*, e *D. glomerata*, Valore Pastorale, Fitomassa totale e rapporto tra Fitoassa fotosintetizzante/Necromassa, il grado di correlazione tra i caratteri funzionali, quali: SLA, LDMC, LNC, Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri e, in riferimento all'esperimento condotto in UK, il grado di correlazione tra SLA, LDMC, DRM e DBM. Il coefficiente di correlazione di Pearson ( $r$ ) è stato calcolato utilizzando il software SigmaSTAT 3.0.

### **4.5.3 Regressione lineare e regressione Standardized Major Axis (SMA)**

Per un'analisi approfondita della relazione tra SLA, LDMC e LNC, sono state condotte sia una regressione lineare standard che una regressione del tipo Standardized Major Axis (SMA), previa trasformazione dei dati nel loro logaritmo naturale.

Le relazioni interspecifiche tra SLA, LDMC e LNC, sono state analizzate più nel dettaglio utilizzando una Standardised Major Axis (SMA) per il calcolo e il confronto dei parametri di regressione delle equazioni allometriche relative alle tre specie (Wright *et al.*, 2004). L'analisi SMA risulta essere particolarmente adatta quando lo scopo dello studio è descrivere la relazione bivariata tra due variabili X e Y, cui è associata una

variazione dovuta sia all'errore di misura che al campionamento delle specie, essendo inappropriato minimizzare la somma dei quadrati ad un'unica dimensione  $y$  (Sokal & Rohlf, 1995; Aboal *et al.*, 2005; Warton *et al.*, 2006). Una pendenza SMA può essere pensata come l'asse principale (*major*) della nuvola ellittica dei punti ottenuta quando due variabili distribuite normalmente sono disegnate una rispetto all'altra. Confrontando a due a due le nuvole di punti per le tre specie, sono possibili diversi risultati. Le pendenze degli assi principali possono differire tra specie, oppure, se le pendenze sono omogenee, le due nuvole possono: (i) essere completamente sovrapposte (nessuna differenza tra le intercette delle rette SMA) (ii) spostarsi lungo una pendenza comune ad entrambe (nessuna differenza tra pendenze e intercette delle rette SMA); (iii) spostarsi in un'unica dimensione (differenza tra le intercette delle rette SMA).

L'omogenità delle pendenze delle tre rette SMA e il calcolo di una pendenza comune è stato condotto mediante test statistico approssimato ad una distribuzione chi-quadratica con correzione di Barlett (Warton & Werber, 2002). Quando le pendenze sono risultate omogenee, è stata stimata la retta di interpolazione tra i gruppi di specie e i rispettivi intervalli di confidenza (95%) (Pitman, 1939). Infine, sono state esaminate le differenze in elevazione (intercetta) e in *shift* delle medesime rette, lungo un asse comune, mediante test statistico di Wald. I test statistici di comparazione tra pendenze, intercette e *shifts* relativi alle rette SMA, sono stati condotti secondo Warton *et al.* (2006) in R (RDevelopmentCoreTeam 2006) (Ihaka & Gentleman, 1996).

#### **4.5.4 Analisi di Varianza**

Differenze in SLA, LDMC, LNC, Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri tra specie (*B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*), stagioni (primavera e autunno), siti (Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio) sono state analizzate mediante Analisi di Varianza Multivarita (MANOVA) considerando specie, stagioni e siti come fattori principali. I dati sono stati trasformati nel loro logaritmo naturale secondo le assunzioni dell'ANOVA (Sokal & Rohlf, 1981). Le Analisi di Varianza sono state condotte utilizzando il software MINITAB (versione 15 per Windows).

Nell'esperimento condotto in UK, differenze in DRM, DBM, SLA e LDMC per ciascuna specie (*B. sylvaticum*, *D. glomerata* e *H. lanatus*), sono state analizzate mediante Analisi di Varianza Multivariata (MANOVA) considerando la provenienza dei semi e il suolo su cui sono stati fatti crescere, come fattori principali. I dati sono stati trasformati nel loro logaritmo naturale secondo le assunzioni dell'ANOVA (Sokal & Rohlf, 1981). Le

Analisi di Varianza sono state condotte utilizzando il software MINITAB (versione 15 per Windows).

#### 4.5.5 Analisi Canonica

La separazione dei gruppi relativi alle specie e ai siti, utilizzando i caratteri funzionali SLA, LDMC, LNC, Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri, è stata analizzata mediante Analisi Canonica. Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando Statistical Analysis System (SAS Institute 2000, ver.8, Cary, NC, USA) per la procedura dell'Analisi Canonica. I grafici sono stati realizzati utilizzando GenStat® ver.11.

#### 4.5.6 Caratterizzazione “vegetazionale” e “funzionale” dei siti e individuazione di un gradiente tra i siti

Al fine di caratterizzare sinteticamente ogni sito esaminato nell'area di Monte Sole, si sono considerati in modo combinato i parametri che concorrono da una parte alla sua caratterizzazione “vegetazionale” e dall'altra alla sua caratterizzazione “funzionale”.

I parametri utilizzati per la caratterizzazione “vegetazionale” comprendono sia parametri di tipo floristico quali: Contributo Specifico di Graminacee, Contributo Specifico di Leguminose e Contributo Specifico di altre famiglie, Contributo Specifico di *B. pinnatum*, Contributo Specifico di *B. erectus* e Contributo Specifico di *D. glomerata*, che parametri di produttività quali: Valore Pastorale, rapporto Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa). I parametri usati per la caratterizzazione “funzionale” comprendono i seguenti *traits*: Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) delle specie dominanti (*B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*).

Per rapportare ogni parametro “vegetazionale” e “funzionale” ad una stessa scala adimensionale, si è provveduto alla sua normalizzazione secondo la relazione seguente:

$$\frac{x^n}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}}$$

Il Valore Vegetazionale (VV) di ogni sito è stato ottenuto mediante la somma algebrica dei corrispondenti valori medi di ciascuno dei parametri “vegetazionali”: Contributo Specifico di Graminacee, Contributo Specifico di Leguminose, Contributo Specifico di altre famiglie, Contributo Specifico di *B. pinnatum*, Contributo Specifico di *B. erectus*, Contributo Specifico di *D. glomerata*, Valore Pastorale, rapporto Fitomassa

fotosintetizzante/Necromassa. Sono stati considerati di segno positivo i parametri: Contributo Specifico di Leguminose, Contributo Specifico di altre famiglie, in quanto positivamente associati alla diversità specifica. Sono pure stati considerati di segno positivo i parametri: Valore Pastorale e rapporto Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa, in quanto positivamente associati alla produttività dei siti. Sono invece stati considerati di segno negativo i parametri: Contributo Specifico di Graminacee, Contributo Specifico di *B. pinnatum*, Contributo Specifico di *B. erectus*, Contributo Specifico di *D. glomerata*, in quanto parametri negativamente associati alla presenza di altre specie, e quindi di diversità specifica del sito.

Il Valore Funzionale (VF) di ogni sito è pure stato ottenuto mediante la somma algebrica dei corrispondenti valori medi di ciascuno dei parametri “funzionali” (SLA, LDMC e LNC) di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*

Sono stati considerati di segno positivo SLA e LNC e di segno negativo LDMC, in accordo con quanto visto per la caratterizzazione di specie in ambienti fertili e produttivi. Ciascun sito è stato quindi caratterizzato con una coppia di valori che corrispondono rispettivamente al proprio Valore Vegetazionale (VV) e al proprio Valore Funzionale (VF). Tale caratterizzazione è stata effettuata per momenti stagionali diversi, quali: primavera 2006, autunno 2006, primavera 2007, autunno 2007, primavera 2006-2007, autunno 2006-2007, anno 2006 e anno 2007. Per ognuno degli intervalli sopra elencati, è stata calcolata la retta di regressione che interpola la distribuzione dei punti corrispondenti ai siti considerati sul piano cartesiano individuati dagli assi Valore Vegetazionale (VV) e Valore Funzionale (VF).

L'ordinamento dei siti in un particolare intervallo di tempo e secondo un gradiente che tenga conto contemporaneamente del Valore Vegetazionale e del Valore Funzionale di ciascun sito, è stato ottenuto proiettando la posizione di ciascun sito sulla corrispondente retta di regressione. Il gradiente di ordinamento deriva, ovviamente, dall'ordine in cui i siti si succedono nella corrispondente retta di regressione.

In riferimento all'esperimento condotto in UK, non essendo stata possibile una valutazione complessiva dei siti dal punto di vista di ricchezza di specie e produttività, ci si è limitati alla costruzione di un gradiente tra siti, applicando la stessa metodologia, ma utilizzando solo i caratteri funzionali Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC). In particolare, previa normalizzazione con la formula sopra indicata, i caratteri sono stati algebricamente sommati per ottenere un unico Valore Funzionale (VF). In tale somma, sono stati considerati di segno positivo SLA, DRM e DBM, e di segno negativo LDMC.

Quindi, ciascun sito è stato rappresentato secondo proprio Valore Funzionale (VF) complessivo, lungo il gradiente.

## 5. RISULTATI

### 5.1 Parametri vegetazionali

Nelle Tabelle 5.1, 5.2, 5.3 e nelle Tabelle 5.4, 5.5, 5.6 sono presentati i valori medi dei Contributi Specifici di Graminacee (CS G.), Leguminose (CS L.), delle specie appartenenti alle altre famiglie botaniche (CS a.f.), i Contributi Specifici di *Brachypodium pinnatum* (CS B.p.), *Bromus erectus* (CS B.e.) e *Dactylis glomerata* (CS D.g.) e i Valori Pastorali (VP) relativi ai cinque siti (Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, e Stanzano NoSfalcio) in primavera (maggio) e autunno (ottobre) rispettivamente per l'anno 2006 e 2007. Le medie sono state calcolate sui valori ottenuti dai due transetti eseguiti in ciascun sito.

Nelle Tabelle 5.7, 5.8 sono presentati i valori medi di Fitomassa totale e il rapporto Fitomassa fotosintetizzante su Necromassa raccolte in ciascun sito rispettivamente per l'anno 2006 e 2007.

Per verificare la correlazione tra parametri vegetazionali è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson. In Tabella 5.9 sono riportati i valori dei coefficienti di Pearson tra i Contributi Specifici di Graminacee (CS G.), Leguminose (CS L.), delle specie appartenenti alle altre famiglie botaniche (CS a.f.), i Contributi Specifici di *Brachypodium pinnatum* (CS B.p.), *Bromus erectus* (CS B.e.) e *Dactylis glomerata* (CS D.g.), il Valore Pastorale (VP), la Fitomassa totale (Ft) e il rapporto tra Fitomassa fotosintetizzante e Necromassa (F/N).

#### 5.1.1 Correlazione tra i Contributi Specifici di Graminacee, Leguminose e altre famiglie

C'è una forte correlazione negativa tra il Contributo Specifico di Graminacee e il Contributo Specifico di Leguminose (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.933$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 5.1a) e tra il Contributo Specifico di Graminacee e il Contributo Specifico di altre famiglie botaniche (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.826$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 5.1b), ma positiva tra il Contributo Specifico di Leguminose e il Contributo Specifico di altre famiglie botaniche (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.568$ ,  $n = 20$ ,  $P < 0.01$ ) (Fig. 5.1c).

### **5.1.2 Correlazione tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di Graminacee e tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di altre famiglie**

Il rapporto tra Fitomassa fotosintetizzante e Necromassa (F/N) è negativamente correlato con il Contributo Specifico di Graminacee (coefficiente di correlazione di Pearson  $r = -0.583$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.01$ ) (Fig. 5.2a), ma positivamente correlato con il Contributo Specifico di altre famiglie (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.729$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 5.2b). Non risulta significativa la correlazione tra il rapporto Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa (F/N) e il Contributo Specifico di Leguminose (Fig. 5.2c).

### **5.1.3 Correlazioni del Contributo Specifico di *B. pinnatum* con le altre specie**

Il Contributo Specifico di *B. pinnatum* è positivamente correlato con il Contributo Specifico di Graminacee (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.600$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.01$ ) (Fig. 5.3a), ma negativamente correlato con i Contributi Specifici di Leguminose e di altre famiglie (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.582$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.01$  e  $r = -0.459$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.05$ , rispettivamente) (Figg. 5.3b e 5.3c).

Inoltre, il Contributo Specifico di *B. pinnatum* è negativamente correlato con il Contributo Specifico di *B. erectus* (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.542$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.05$ ) (Fig. 5.4).

### **5.1.4 Correlazione tra il Valore Pastorale e i Contributi Specifici di *B. pinnatum* e di *B. erectus***

Significativamente negativa è la correlazione tra il Valore Pastorale e il Contributo Specifico di *B. pinnatum* (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.597$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.01$ ) (Fig. 5.5a), ma positiva tra il Valore Pastorale e il Contributo Specifico di *B. erectus* (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.727$ ,  $n = 20$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 5.5b).



**Tabella 5.1** Valore percentuale medio dei Contributi Specifici di Graminacee (CS G.), Leguminose (CS L.) e altre famiglie (CS a.f.), in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<b>CS G.</b>	63.0%	79.2%	58.3%	72.5%	71.1%	73.1%	74.3%	84.5%	75.1%	78.2%
<b>CS L.</b>	17.8%	13.5%	16.1%	11.8%	18.8%	13.9%	13.5%	9.2%	13.9%	11.7%
<b>CS a.f.</b>	19.2%	7.3%	25.6%	15.6%	10.0%	12.8%	12.2%	6.3%	11.0%	10.0%

**Tabella 5.2** Valore percentuale medio dei Contributi Specifici di *B. pinnatum* (CS B.p.), *B. erectus* (CS B.e.) e *D. glomerata* (CS D.g.), in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<b>CS B.p.</b>	30.4%	19.2%	31.2%	28.8%	13.4%	26.1%	53.3%	62.7%	32.0%	21.8%
<b>CS B.e.</b>	31.9%	52.6%	26.6%	40.6%	57.8%	44.9%	11.3%	14.5%	41.1%	53.6%
<b>CS D.g.</b>	0.4%	1.4%	0.5%	0.6%	0.0%	1.2%	1.6%	0.8%	2.0%	2.2%

**Tabella 5.3** Valore Pastorale medio dei Valori Pastorali (VP) nei siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<b>VP</b>	30.2	34.6	32.5	29.0	33.7	30.1	25.7	25.8	30.5	32.6

**Tabella 5.4** Valore percentuale medio dei Contributi Specifici di Graminacee (CS G.), Leguminose (CS L.) e altre famiglie (CS a.f.), in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2007 (p07) e in autunno 2007 (a07).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<b>CS G.</b>	56.0%	85.0%	53.1%	91.0%	41.2%	62.4%	63.3%	97.2%	61.2%	81.5%
<b>CS L.</b>	23.0%	5.7%	31.8%	4.7%	41.3%	26.2%	23.3%	1.0%	21.6%	14.1%
<b>CS a.f.</b>	21.0%	9.3%	15.0%	4.4%	17.5%	11.4%	13.4%	1.8%	17.3%	4.4%

**Tabella 5.5** Valore percentuale medio dei Contributi Specifici di *B. pinnatum* (CS B.p.), *B. erectus* (CS B.e.) e *D. glomerata* (CS D.g.), in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2007 (p07) e in autunno 2007 (a07).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<b>CS B.p.</b>	18.6%	23.7%	24.8%	38.9%	10.7%	13.7%	40.9%	64.4%	27.7%	44.1%
<b>CS B.e.</b>	31.7%	59.1%	26.1%	52.1%	27.2%	45.3%	19.9%	30.9%	30.0%	37.4%
<b>CS D.g.</b>	0.7%	0.7%	2.2%	0.0%	2.4%	3.4%	0.7%	1.9%	2.2%	0.0%

**Tabella 5.6** Valore Pastorale medio dei Valori Pastorali (VP) nei siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2007 (P07) e in autunno 2007 (A07).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<b>VP</b>	31.2	31.5	26.0	29.6	28.7	31.3	22.7	27.9	26.0	25.4

**Tabella 5.7** Valore medio della Fitomassa totale (Ft) e del rapporto Fitomassa fotosintetizzante su Necromassa (F/N) nei siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<b>Ft (g)</b>	988	1022	643	287	1281	853	605	722	906	1074
<b>F/N</b>	3.06	0.57	2.35	0.83	0.56	0.46	1.49	0.25	0.98	0.32

**Tabella 5.8** Valore medio della Fitomassa totale (Ft) e del rapporto Fitomassa fotosintetizzante su Necromassa (F/N) nei siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio, in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

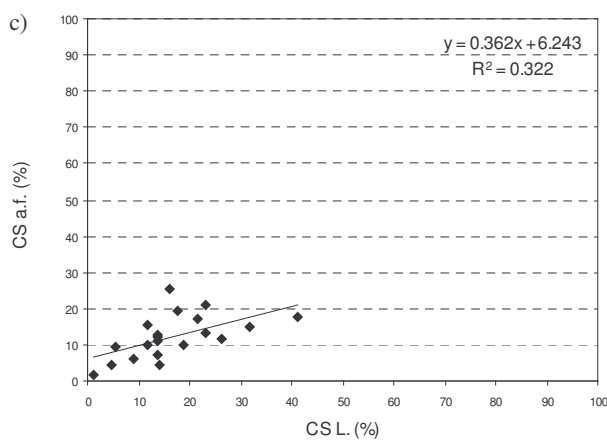
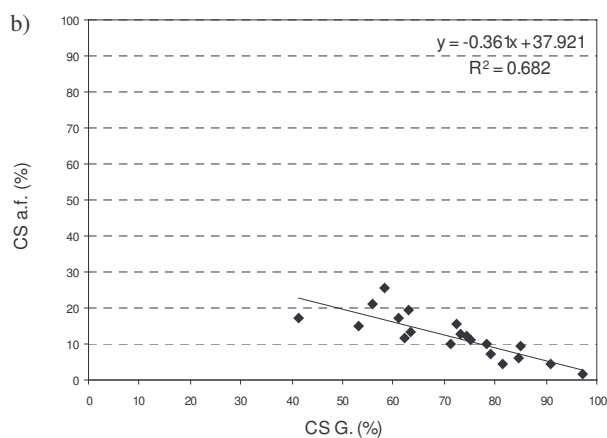
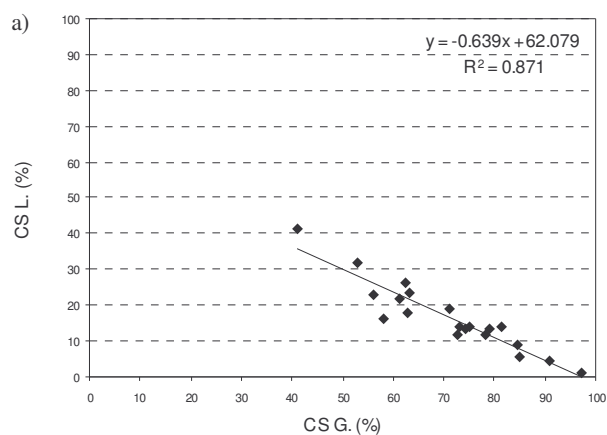
	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<b>Ft (g)</b>	890	386	662	330	1117	949	614	808	768	574
<b>F/N</b>	1.78	0.37	2.82	0.31	0.78	0.20	1.00	0.04	0.67	0.06

**Tabella 5.9** Valori del coefficiente di correlazione di Pearson (r) tra i parametri vegetazionali, calcolato sulle misure effettuate nei cinque siti, nelle due stagioni e nei due anni. Contributo Specifico di *Brachypodium pinnatum* (CS B.p.), Contributo Specifico di *Bromus erectus* (CS B.e.), Contributo Specifico di Graminacee (CS G.), Contributo Specifico di Leguminose (CS L.) Contributo Specifico di altre famiglie (CS a.f.), Valore Pastorale (VP), Fitomassa totale (Ft), Rapporto Fitomassa su Necromassa (F/N) (n = 20).

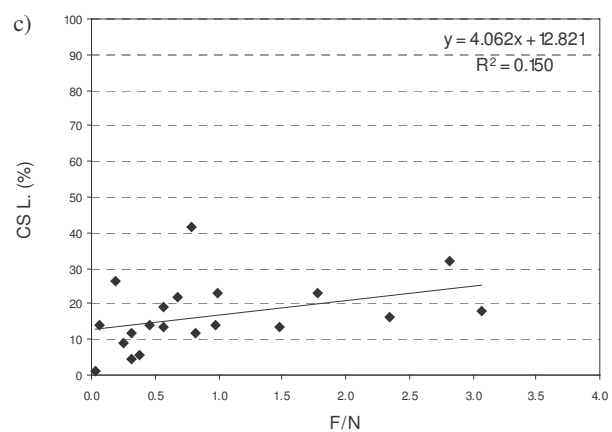
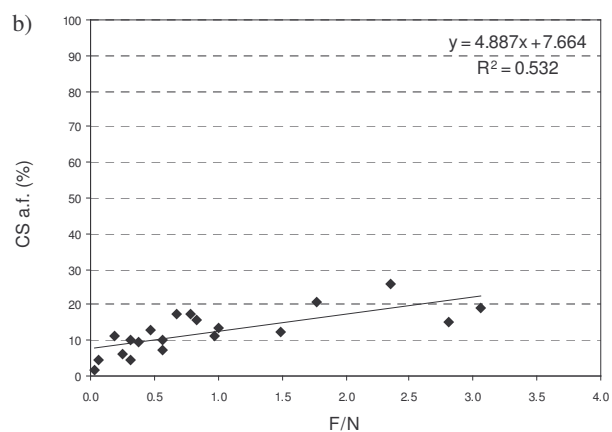
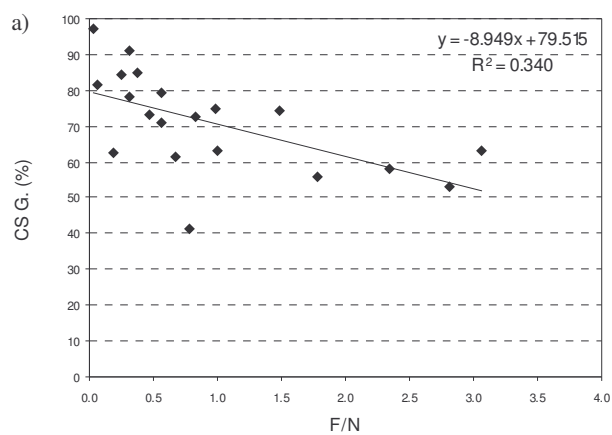
	CS B.e.	CS D.g.	CS G.	CS L.	CS a.f.	VP	Ft	F/N
<b>CS B. p.</b>	-0.542 *	-0.211 ns	0.600 **	-0.582 **	-0.459 *	-0.597 **	-0.416 ns	-0.148 ns
<b>CS B. e.</b>		-0.103 ns	-0.333 ns	-0.288 ns	-0.309 ns	0.727 ***	0.137 ns	-0.406 ns
<b>CS D. g.</b>			-0.283 ns	0.395 ns	0.028 ns	-0.020 ns	0.299 ns	-0.102 ns
<b>CS G.</b>				-0.933 ***	-0.826 ***	0.046 ns	-0.316 ns	-0.583 **
<b>CS L.</b>					0.568 **	-0.139 ns	0.391 ns	0.387 ns
<b>CS a.f.</b>						0.113 ns	0.111 ns	0.729 ***
<b>VP</b>							0.429 ns	-0.023 ns
<b>Ft</b>								0.040 ns

Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

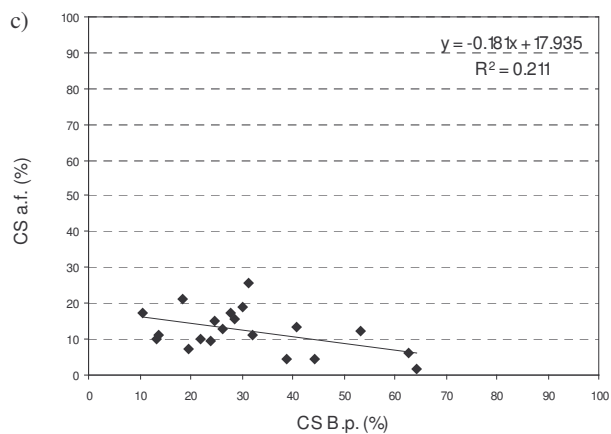
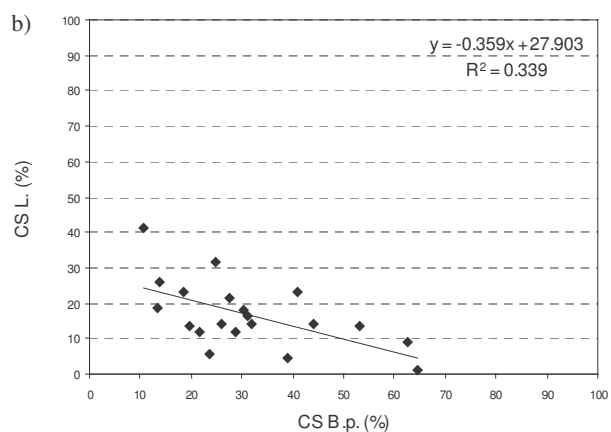
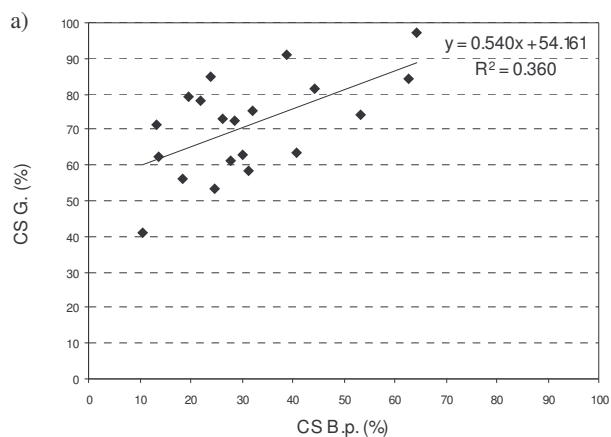
**Fig. 5.1** Relazione tra: a) il Contributo Specifico di Graminacee (CS G.) e il Contributo Specifico di Leguminose (CS L.); b) il Contributo Specifico di Graminacee (CS G.) e il Contributo Specifico di altre famiglie (CS a.f.); c) il Contributo Specifico di Leguminose (CS L.) e il Contributo Specifico di altre famiglie (CS a.f.) per i cinque siti, nelle due stagioni e nei due anni. In figura sono riportate le equazioni delle rette di regressione.



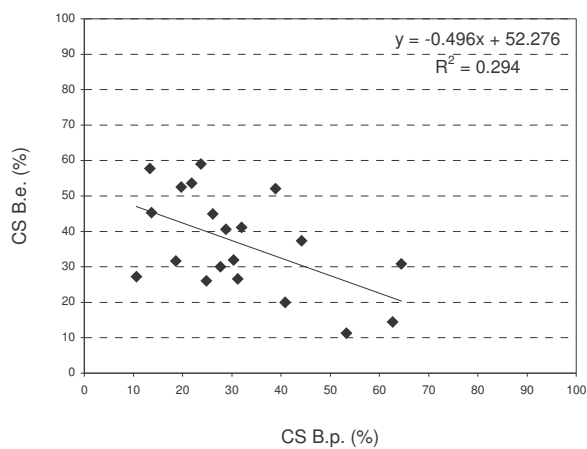
**Fig. 5.2** Relazione tra: a) il rapporto Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa (F/N) e il Contributo Specifico di Graminacee (CS G.); b) il rapporto Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa (F/N) e il Contributo Specifico di altre famiglie (CS a.f.); c) il rapporto Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa (F/N) e il Contributo Specifico di Leguminose (CS L.) per i cinque siti, nelle due stagioni e nei due anni. In figura sono riportate le equazioni delle rette di regressione.



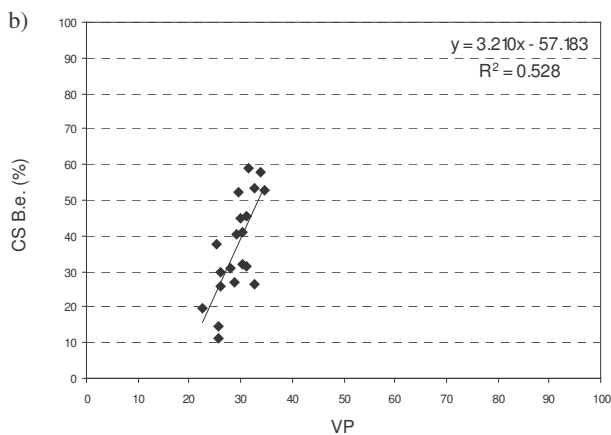
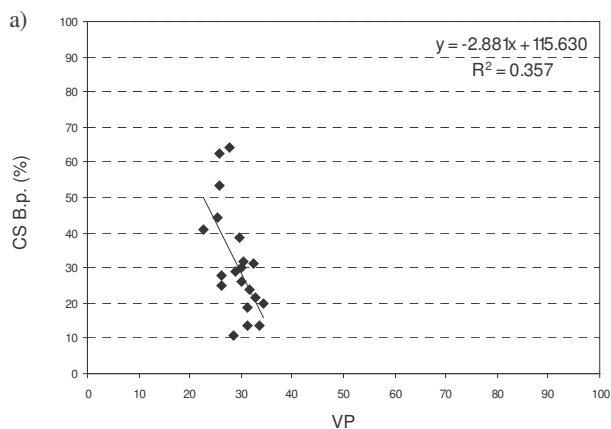
**Fig. 5.3** Relazione tra: a) il Contributo Specifico di *B.pinnatum* (CS B.p.) e il Contributo Specifico di Graminacee (CS G.); b) il Contributo Specifico di *B.pinnatum* (CS B.p.) e il Contributo Specifico di Leguminose (CS L.); c) tra il Contributo Specifico di *B.pinnatum* (CS B.p.) e il Contributo Specifico di altre famiglie (CS a.f.) per i cinque siti, nelle due stagioni e nei due anni. In figura sono riportate le equazioni delle rette di regressione.



**Fig. 5.4** Relazione tra il Contributo Specifico di *B. pinnatum* (CS B.p.) e il Contributo Specifico di *B. erectus* (CS B.e.). In figura è riportata l'equazione della retta di regressione.



**Fig. 5.5** Relazione tra: a) il Contributo Specifico di *B. pinnatum* (CS B.p.) e il Valore Pastorale (VP); b) il Contributo Specifico di *B. erectus* (CS B.e.) e il Valore Pastorale (VP) per i cinque siti, nelle due stagioni e nei due anni. In figura sono riportate le equazioni delle rette di regressione.





## 5.2 Caratteri funzionali (traits) di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*

Nelle Tabelle 5.10, 5.11, 5.12 sono presentati i valori medi e le deviazioni standard per la Superficie Fogliare Specifica (SLA), il Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC), il Contenuto di Azoto Fogliare (LNC) di *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus* e *Dactylis glomerata* campionati nei cinque siti (Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, e Stanzano NoSfalcio), in primavera (maggio) e autunno (ottobre) 2006.

Nelle Tabelle 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 sono presentati i valori medi e le deviazioni standard per Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri nelle foglie di *B. rupestre*, *B. erectus* e *D. glomerata*, campionati nei medesimi siti, in primavera (maggio) e in autunno (ottobre) 2006.

Nelle Tabelle 5.17, 5.18, 5.19 sono presentati i valori medi e le deviazioni standard per la Superficie Fogliare Specifica (SLA), il Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC), il Contenuto di Azoto nelle foglie (LNC) di *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus* e *Dactylis glomerata* campionati nei cinque siti (Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio), in primavera (maggio) e autunno (ottobre) 2007.

### 5.2.1 Analisi della congruenza dei ranghi tra le specie

Il termine “congruenza” si riferisce al fatto che, considerate un certo numero di specie, sia possibile individuare sempre lo stesso tipo di ordinamento reciproco (rango) tra le specie considerate, sulla base dei valori assunti da determinati *traits* al variare delle condizioni ambientali.

Per le tre specie in esame è stata valutata la congruenza di comportamento limitatamente ai caratteri SLA, LDMC e LNC, per i quali si disponeva di osservazioni complete sia per l'anno 2006 che per l'anno 2007.

La congruenza è stata valutata utilizzando il coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman ( $r_s$ ).

Si è considerata la congruenza tra anni (2006 e 2007), tra stagioni (primavera 2006 e 2007 rispetto ad autunno 2006 e 2007) e tra siti (Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio). In questo caso si sono calcolati i valori del coefficiente di correlazione di Spearman ( $r_s$ ) tra tutte le possibili coppie di confronto tra i cinque siti. I risultati dei confronti effettuati sono espressi in forma grafica nelle figure (Figg. 5.6, 5.7 e 5.8). Per ogni campionamento è indicato il valore del coefficiente di correlazione dei ranghi ( $r_s$ ) e la sua significatività.

### 5.2.1.1 Congruenza tra anni

La congruenza dei ranghi tra le specie riferita ai due anni di osservazione, risulta ben conservata per i tre *traits* in esame, essendo i coefficienti  $r_s$  sempre significativamente diversi da zero, con  $P < 0.001$ . Il rango delle specie risulta meglio conservato per LDMC (coefficiente di correlazione di Spearman:  $r_s = 0.817$ ,  $n = 30$ ) (Fig. 5.6a) rispetto a SLA (coefficiente di correlazione di Spearman  $r_s = 0.711$ ,  $n = 30$ ) (Fig. 5.6c) e LNC (coefficiente di correlazione di Spearman:  $r_s = 0.587$ ,  $n = 30$ ) (Fig. 5.6e).

### 5.2.1.2 Congruenza tra stagioni

La congruenza dei ranghi tra le specie, riferita alle stagioni primavera e autunno, risulta ben conservata sia per SLA (coefficiente di correlazione di Spearman:  $r_s = 0.536$ ,  $n = 30$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.6b) che per LDMC (coefficiente di correlazione di Spearman:  $r_s = 0.863$ ,  $n = 30$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.6d), ma non per LNC, forse in relazione ad una diretta dipendenza di questo *trait* con la variabilità interstagionale (coefficiente di correlazione di Spearman:  $r_s = 0.160$ ,  $n = 30$ ,  $P = 0.395$ ) (Fig 5.6f).

### 5.2.1.3 Congruenza tra siti

La congruenza dei ranghi tra i siti, è stata analizzata calcolando un coefficiente di Spearman relativo a ciascuna coppia di siti. Per SLA, 8 coppie su 10 sono significativamente diverse da zero, con  $P < 0.001$ . (Fig. 5.7a,b,c,d,e,h,i,l), mentre 2 su 10 sono significativamente diverse da zero, con  $P < 0.01$  (Fig. 5.7f,g). Per LDMC, i coefficienti di Spearman sono tutti significativi con  $P < 0.001$  (Fig. 5.8a,b,c,d,e,f,g,h,i,l). Per LNC, 7 coppie su 10 sono significativamente diverse da zero, con  $P < 0.001$  (Fig. 5.9a,b,c,d,f,g,i), 2 su 10 significativamente diverse da zero, con  $P < 0.01$  (Fig. 5.9e,l) e 1 non è significativa (Fig. 5.9h).

**Tabella 5.10** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) della Superficie Fogliare Specifica (SLA) per *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio		
	Specie	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatum</i>		21.77 (1.31)	17.71 (0.53)	21.64 (0.96)	22.16 (0.08)	19.95 (2.21)	18.23 (3.57)	18.13 (0.69)	16.35 (0.38)	19.21 (1.14)	16.35 (1.18)
<i>B.erectus</i>		17.39 (1.79)	17.37 (0.73)	16.99 (1.57)	22.47 (0.77)	14.39 (0.45)	17.70 (0.52)	13.39 (1.06)	17.16 (0.92)	12.80 (0.17)	16.88 (0.41)
<i>D.glomerata</i>		23.21 (1.17)	25.07 (3.02)	23.57 (0.50)	26.46 (2.73)	19.60 (1.42)	22.30 (1.51)	18.98 (2.33)	22.02 (0.06)	18.35 (1.19)	21.44 (1.17)

**Tabella 5.11** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) del Tenore di Sostanza Secca (LDMC) per *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

LDMC (mg g <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio		
	Specie	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatum</i>		305.17 (22.75)	352.21 (51.64)	245.71 (17.14)	285.45 (17.18)	269.27 (41.21)	337.32 (61.00)	330.32 (21.38)	366.55 (13.89)	312.10 (52.72)	363.41 (13.53)
<i>B.erectus</i>		264.15 (19.89)	271.93 (35.29)	257.03 (10.31)	216.99 (8.39)	279.58 (8.04)	271.66 (19.09)	299.26 (14.76)	292.57 (6.70)	300.07 (24.57)	284.21 (7.15)
<i>D.glomerata</i>		221.16 (9.69)	224.83 (30.38)	185.48 (13.82)	195.65 (17.89)	235.73 (16.92)	239.80 (14.16)	263.45 (22.73)	250.73 (13.44)	248.80 (45.83)	236.16 (5.89)

**Tabella 5.12** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) della Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) per *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

LNC (g kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio		
	Specie	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatum</i>		1.51 (0.20)	2.16 (0.17)	1.45 (0.09)	2.29 (0.18)	1.49 (0.05)	1.65 (0.19)	1.43 (0.09)	2.05 (0.04)	1.44 (0.05)	1.78 (0.22)
<i>B.erectus</i>		1.43 (0.03)	2.29 (0.12)	1.37 (0.10)	2.10 (0.11)	1.41 (0.00)	2.02 (0.08)	1.32 (0.17)	2.03 (0.02)	1.23 (0.07)	2.04 (0.11)
<i>D.glomerata</i>		1.48 (0.14)	2.63 (0.23)	1.55 (0.11)	2.33 (0.15)	1.51 (0.10)	2.05 (0.22)	1.33 (0.14)	2.26 (0.09)	1.49 (0.05)	2.19 (0.12)

**Tabella 5.13** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) del contenuto di Emicellulosa nelle foglie di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

Emicellulosa (g kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatum</i>	31.54 (0.93)	34.83 (1.66)	32.02 (0.84)	35.93 (1.97)	31.63 (0.47)	31.86 (2.06)	31.96 (0.77)	34.28 (0.49)	32.92 (0.68)	35.70 (1.20)
<i>B.erectus</i>	26.51 (1.12)	27.70 (2.00)	28.55 (0.94)	35.11 (0.45)	24.69 (2.30)	29.91 (1.32)	25.44 (2.15)	31.51 (0.72)	24.42 (0.99)	30.49 (0.83)
<i>D.glomerata</i>	23.87 (0.77)	27.14 (1.59)	26.08 (1.39)	30.54 (2.30)	24.33 (0.51)	25.86 (0.57)	25.79 (1.30)	27.28 (2.44)	23.37 (1.43)	26.22 (0.88)

**Tabella 5.14** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) del contenuto di Cellulosa nelle foglie di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

Cellulosa (g kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatume</i>	27.84 (1.97)	24.31 (1.56)	26.45 (1.87)	25.73 (0.96)	28.42 (1.29)	28.08 (1.22)	27.21 (0.62)	24.78 (1.51)	26.81 (0.60)	27.53 (0.90)
<i>B.erectus</i>	27.05 (2.79)	29.42 (0.68)	27.61 (0.49)	32.64 (1.64)	26.20 (2.21)	29.95 (0.73)	27.94 (2.58)	29.24 (0.54)	28.29 (0.89)	30.57 (0.94)
<i>D.glomerata</i>	26.78 (1.25)	24.82 (1.15)	25.07 (3.54)	27.71 (1.82)	26.33 (0.43)	26.93 (2.39)	25.91 (2.97)	26.94 (1.46)	27.54 (0.66)	28.25 (1.03)

**Tabella 5.15** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) del contenuto di Lignina nelle foglie di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

Lignina (g kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatum</i>	6.94 (0.84)	9.92 (2.66)	7.54 (1.24)	7.19 (0.75)	6.15 (0.98)	6.35 (2.17)	6.32 (1.08)	9.55 (1.16)	7.37 (0.54)	7.55 (1.33)
<i>B.erectus</i>	6.77 (1.87)	6.31 (1.36)	6.08 (0.41)	6.91 (0.68)	5.21 (0.64)	4.42 (0.98)	8.25 (0.48)	7.25 (0.49)	6.19 (0.52)	4.44 (0.20)
<i>D.glomerata</i>	4.89 (0.91)	4.62 (0.87)	7.61 (3.83)	5.60 (1.31)	4.76 (0.38)	3.50 (0.57)	8.98 (4.44)	7.32 (0.74)	6.63 (1.09)	3.54 (0.44)

**Tabella 5.16** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) del contenuto di Ceneri delle foglie di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2006 (p06) e in autunno 2006 (a06).

Ceneri (g kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06	p06	a06
<i>B.pinnatum</i>	3.76 (1.37)	5.34 (0.88)	4.26 (1.02)	3.00 (0.45)	3.50 (0.88)	2.17 (0.44)	3.87 (1.07)	5.84 (0.88)	4.31 (0.33)	3.30 (0.48)
<i>B.erectus</i>	3.79 (1.81)	2.01 (0.58)	3.17 (0.50)	2.25 (0.34)	2.33 (0.47)	1.04 (0.08)	5.36 (0.25)	3.76 (0.23)	2.98 (0.83)	1.66 (0.14)
<i>D.glomerata</i>	2.33 (0.71)	1.94 (0.49)	2.55 (0.70)	1.34 (0.26)	2.35 (0.34)	0.80 (0.23)	5.11 (2.27)	2.74 (0.51)	3.82 (0.91)	1.44 (0.29)

**Tabella 5.17** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) della Superficie Fogliare Specifica (SLA) per *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2007 (p07) e in autunno 2007 (a07).

SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<i>B.pinnatum</i>	21.07 (0.18)	17.26 (1.09)	20.59 (0.44)	16.59 (2.55)	19.62 (1.06)	16.84 (1.90)	17.10 (0.23)	18.60 (0.58)	18.06 (0.31)	16.71 (0.72)
<i>B.erectus</i>	16.55 (1.39)	16.00 (1.54)	16.44 (1.20)	15.74 (1.06)	16.43 (1.49)	13.51 (1.31)	14.34 (0.76)	16.33 (0.35)	14.19 (0.89)	16.42 (1.92)
<i>D.glomerata</i>	21.05 (1.60)	20.26 (0.50)	20.63 (1.39)	20.97 (0.82)	19.95 (1.50)	22.46 (0.64)	19.07 (2.03)	20.41 (1.73)	18.92 (0.09)	25.65 (0.07)

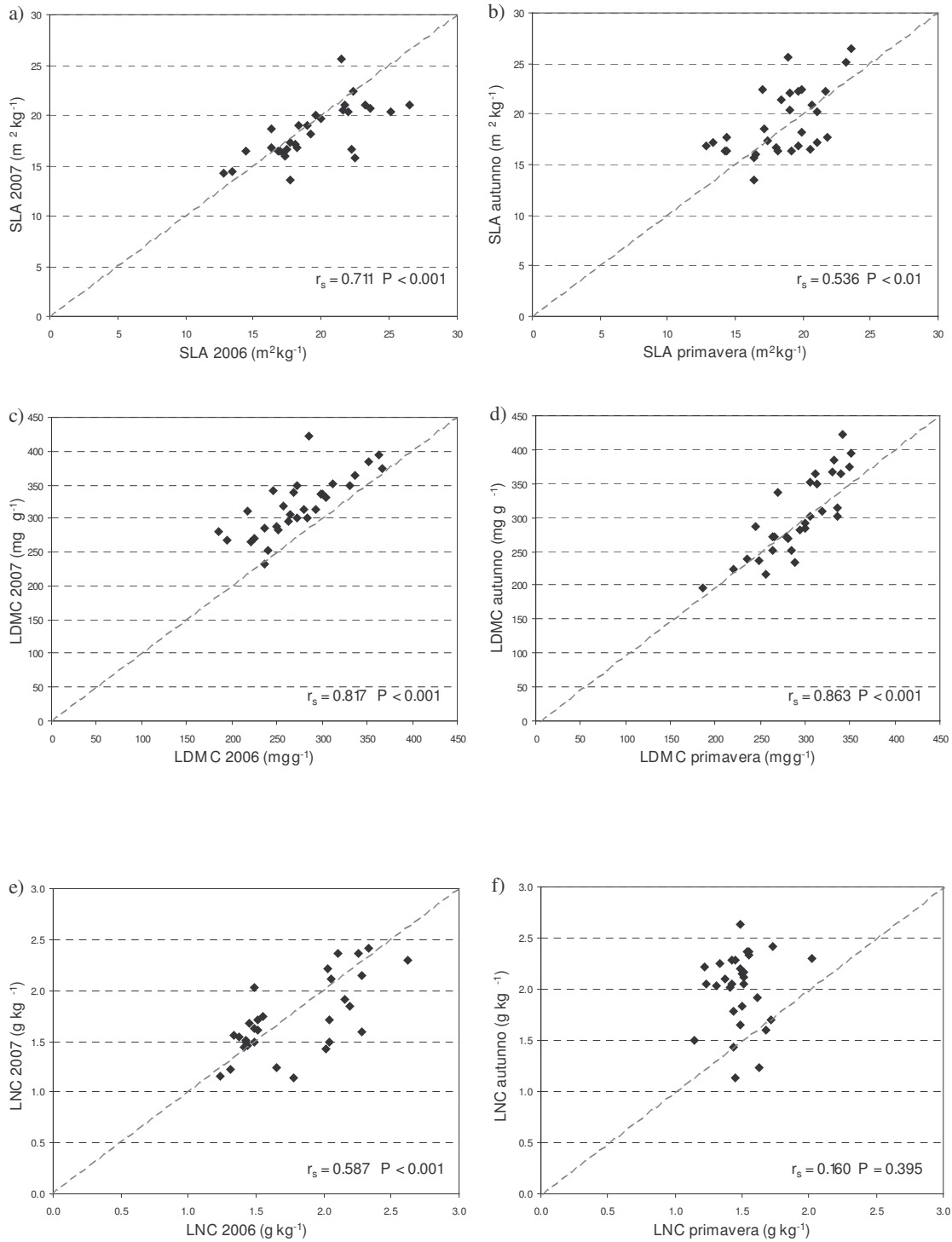
**Tabella 5.18** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) del Tenore in Sostanza Secca (LDMC) per *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2007 (p07) e in autunno 2007 (a07).

LDMC (mg g <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<i>B.pinnatum</i>	331.75 (32.66)	384.43 (5.24)	340.84 (9.87)	423.10 (35.75)	339.96 (6.96)	364.21 (8.43)	350.10 (5.17)	373.63 (12.00)	350.91 (2.49)	393.68 (12.57)
<i>B.erectus</i>	304.81 (31.25)	301.20 (29.47)	318.18 (8.85)	310.03 (24.13)	313.72 (26.13)	349.87 (23.93)	336.15 (7.72)	314.46 (19.81)	336.37 (20.22)	300.54 (20.67)
<i>D.glomerata</i>	266.20 (14.97)	270.89 (11.34)	280.22 (3.65)	268.26 (3.88)	285.53 (17.36)	252.51 (16.90)	294.93 (21.28)	281.95 (14.79)	287.83 (6.29)	233.30 (5.82)

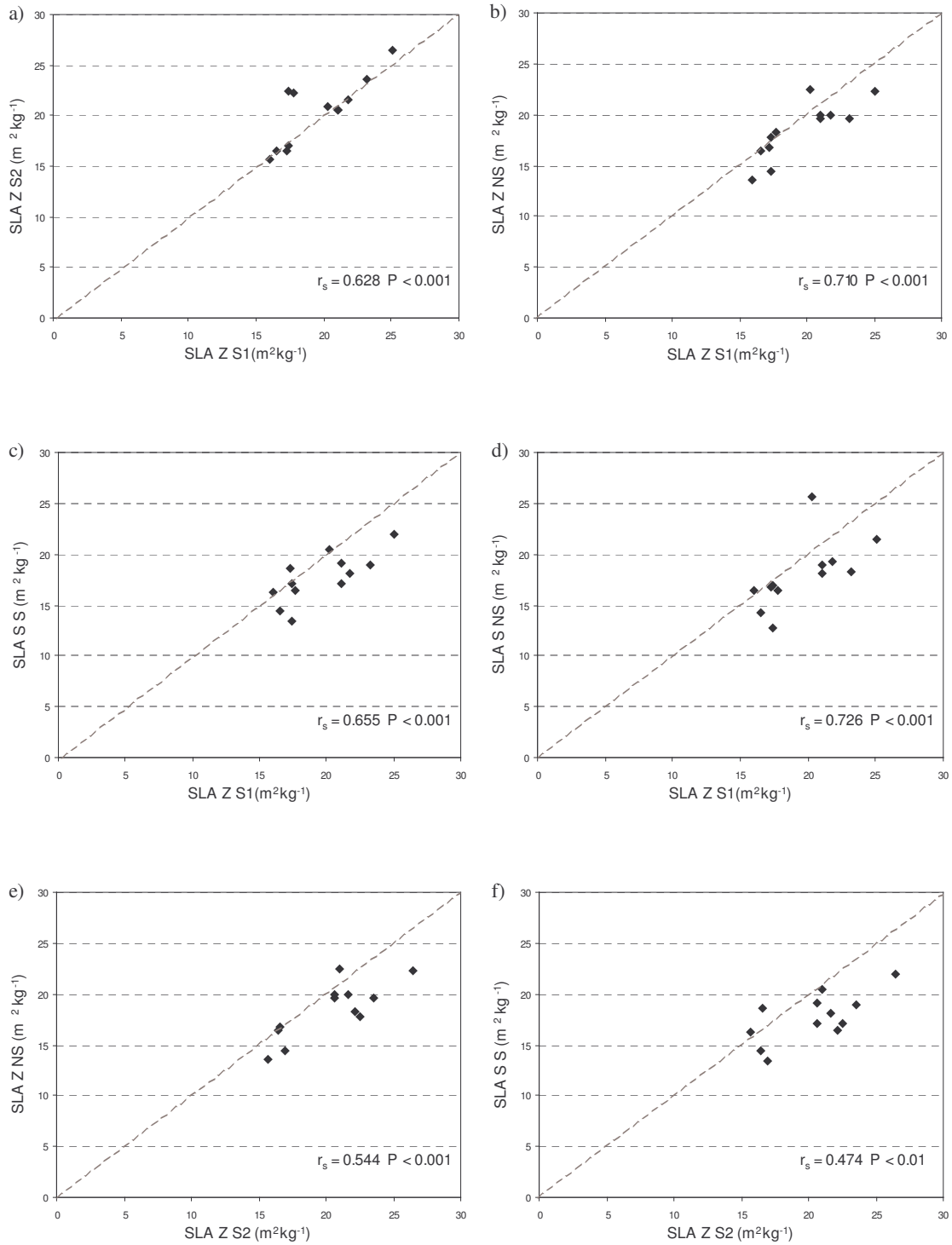
**Tabella 5.19** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) della Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) per *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, Stanzano Sfalcio, Stanzano NoSfalcio in primavera 2007 (p07) e in autunno 2007 (a07).

LNC (g kg <sup>-1</sup> )	Zannini Sfalcio 1		Zannini Sfalcio 2		Zannini NoSfalcio		Stanzano Sfalcio		Stanzano NoSfalcio	
	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07	p07	a07
<i>B.pinnatum</i>	1.61 (0.05)	1.91 (0.19)	1.68 (0.07)	1.60 (0.06)	1.63 (0.18)	1.24 (0.11)	1.51 (0.06)	2.12 (0.07)	1.45 (0.10)	1.14 (0.04)
<i>B.erectus</i>	1.50 (0.23)	2.15 (0.15)	1.54 (0.06)	2.37 (0.13)	1.44 (0.07)	1.43 (0.11)	1.22 (0.04)	2.22 (0.26)	1.15 (0.06)	1.49 (0.10)
<i>D.glomerata</i>	2.03 (0.14)	2.30 (0.22)	1.73 (0.07)	2.41 (0.08)	1.71 (0.11)	1.70 (0.11)	1.55 (0.04)	2.36 (0.31)	1.50 (0.07)	1.84 (0.26)

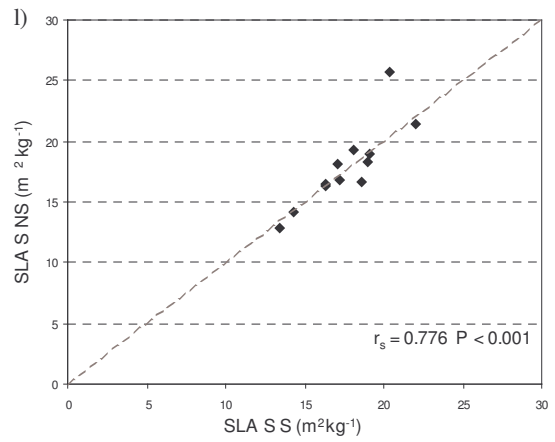
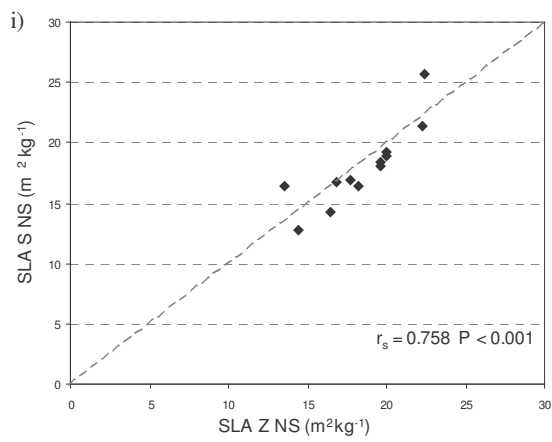
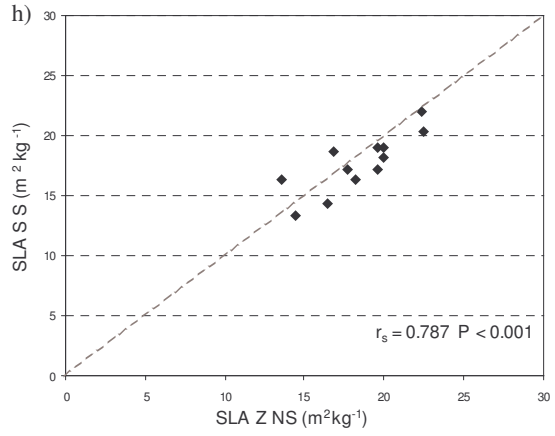
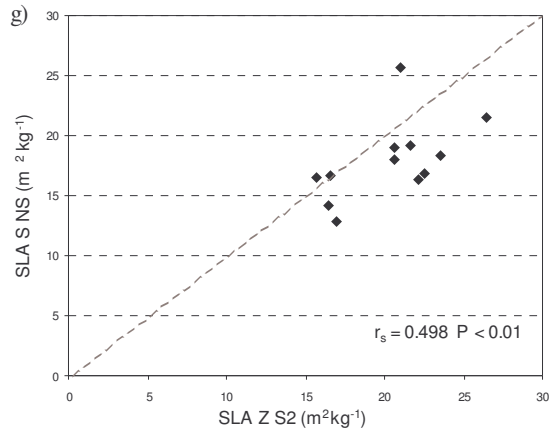
**Fig. 5.6** Relazione tra i valori medi di Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca LDMC), e Contenuto di Azoto Fogliare (LNC) negli anni 2006 e 2007 (a, c, e) e nella primavera e autunno (b, d, f), per le tre specie nei cinque siti. Per ogni distribuzione di punti è riportato il valore del corrispondente coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman ( $r_s$ ) e la sua significatività.



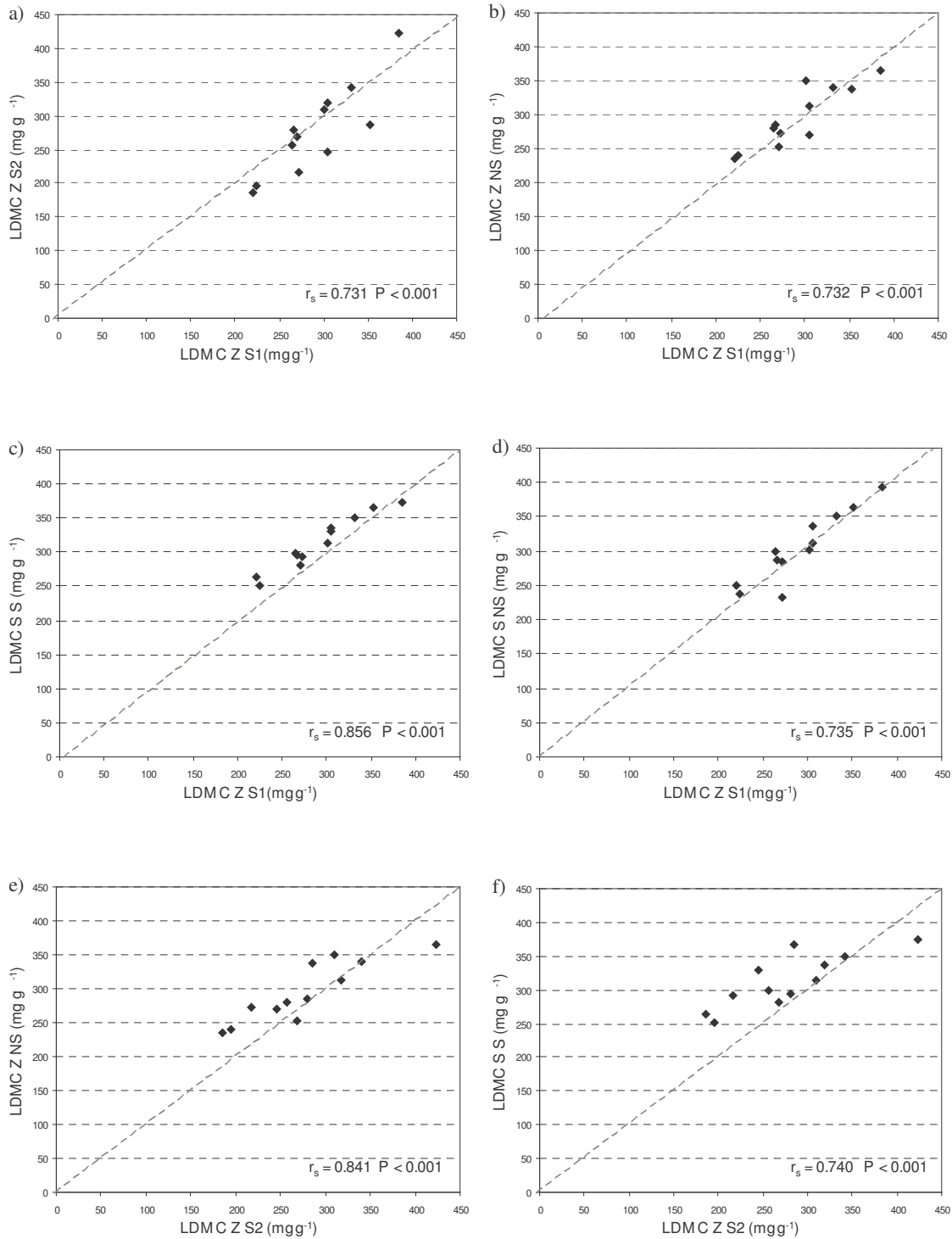
**Fig. 5.7** Relazione tra i valori medi di Superficie Fogliare Specifica (SLA) nei cinque siti , combinati a due a due. Per ogni distribuzione di punti è riportato il valore del corrispondente coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman ( $r_s$ ) e la sua significatività.

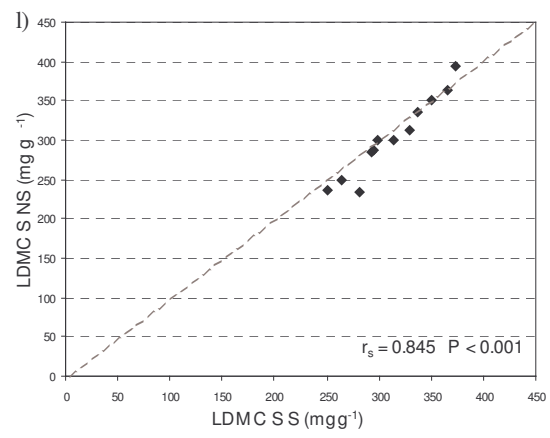
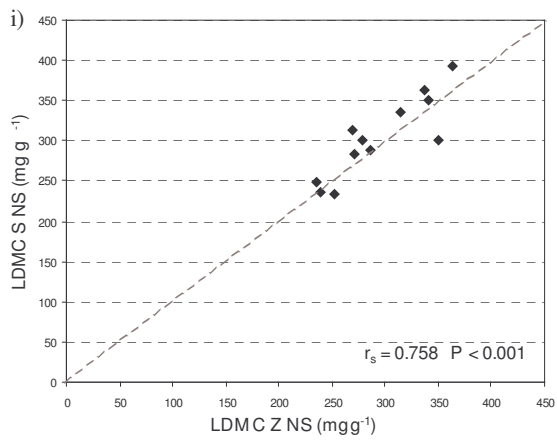
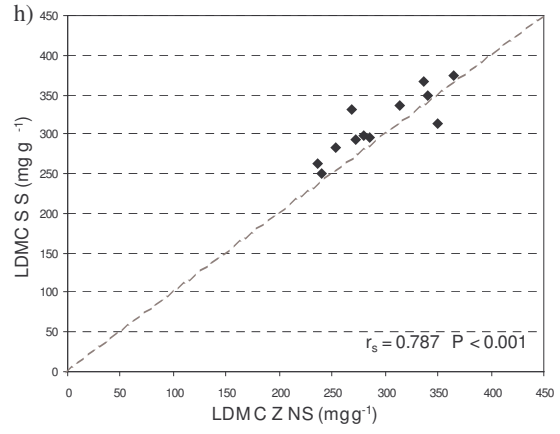
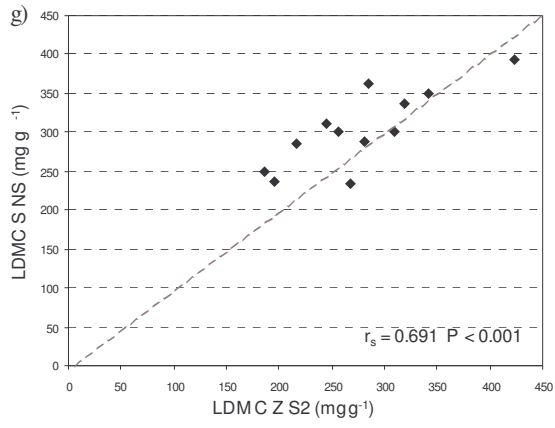




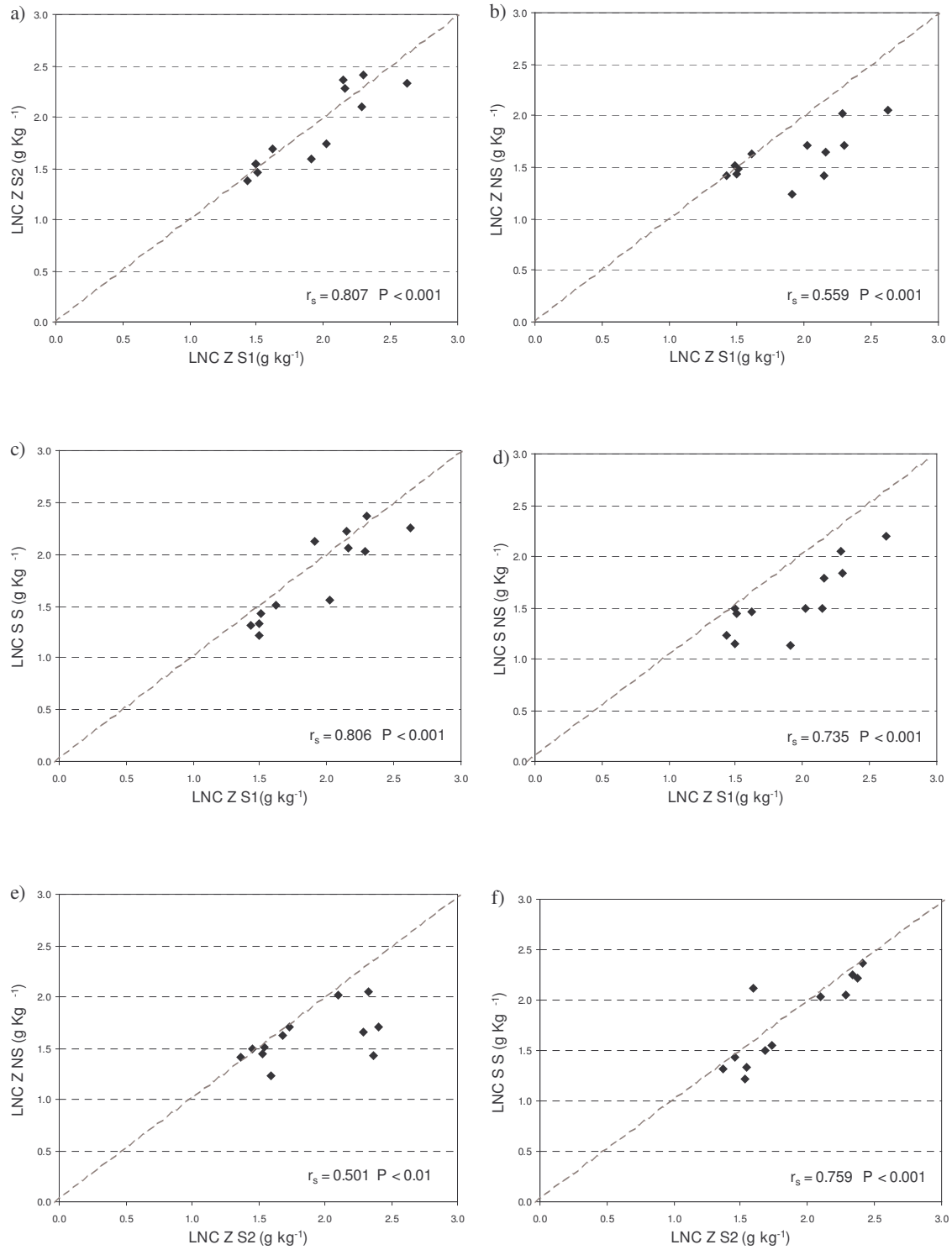


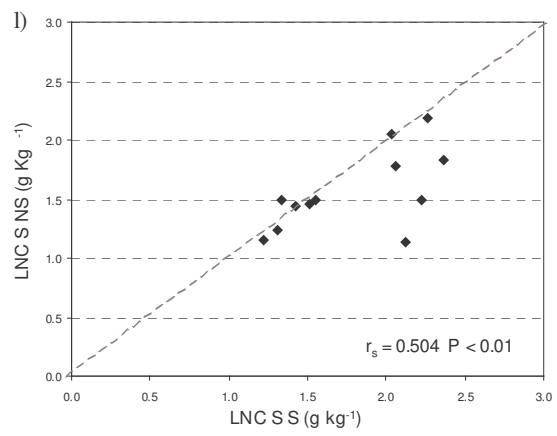
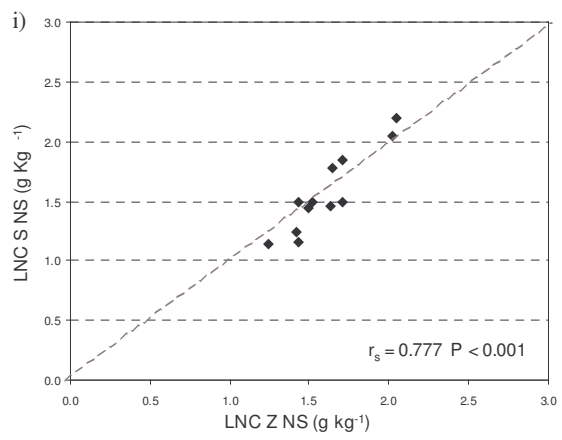
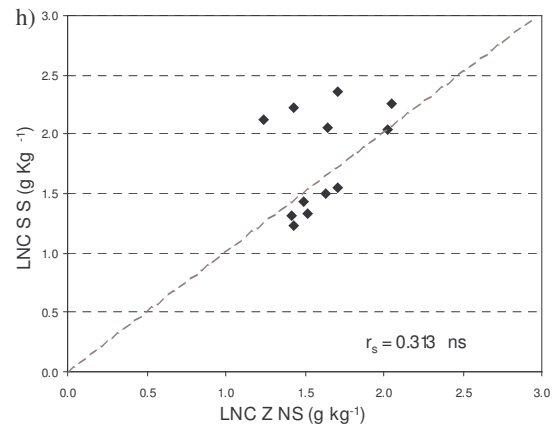
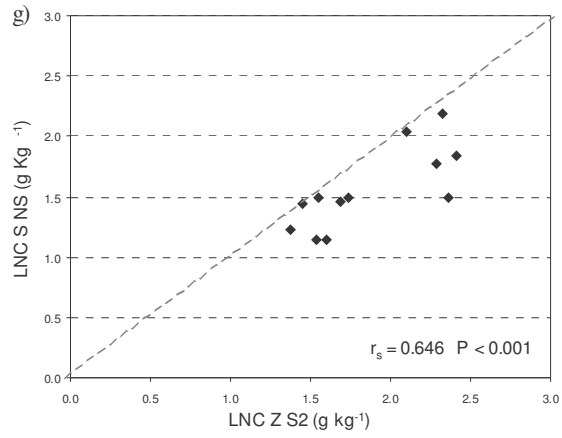
**Fig. 5.8** Relazione tra i valori medi di Tenore di Sostanza Secca (LDMC) nei cinque siti , combinati a due a due. Per ogni distribuzione di punti è riportato il valore del corrispondente coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman ( $r_s$ ) e la sua significatività.





**Fig. 5.9** Relazione tra i valori medi di Contenuto di Azoto Fogliare (LNC) nei cinque siti , combinati a due a due. Per ogni distribuzione di punti è riportato il valore del corrispondente coefficiente di correlazione dei ranghi di Spearman ( $r_s$ ) e la sua significatività.





### 5.2.2 Analisi della correlazione tra *traits*

Per verificare la correlazione tra *traits* è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson. In Tabella 5.20 sono riportati i valori dei coefficienti di Pearson tra Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Contenuto di Azoto Fogliare (LNC), Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri. I coefficienti sono stati calcolati utilizzando come *sets* di dati le medie di tre repliche per ogni carattere, misurati in ciascuno dei cinque siti, per ciascuna delle tre specie, e nelle due stagioni (primavera e autunno) del 2006 e del 2007 per SLA, LDMC e LNC, e limitatamente al 2006 per Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri.

La relazione più forte, non sorprende, è tra Tenore di Sostanza Secca (LDMC) e Superficie Fogliare Specifica (SLA) (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.626$ ,  $n = 60$ ,  $P < 0.001$ ). Un aumento in SLA risulta quindi strettamente associato ad una diminuzione in LDMC. Positiva risulta invece la correlazione tra Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Contenuto di Azoto Fogliare (LNC) (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.380$ ,  $n = 60$ ,  $P < 0.01$ ). Di rilievo, la correlazione positiva tra il Tenore in Sostanza Secca (LDMC) con le componenti della fibra, Emicellulosa, (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.517$ ,  $n = 30$ ,  $P < 0.01$ ) Lignina (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.479$ ,  $n = 30$ ,  $P < 0.01$ ) e Ceneri (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.546$ ,  $n = 30$ ,  $P < 0.01$ ) ma non con Cellulosa.

Infine, da segnalare la forte correlazione positiva di Ceneri con Lignina (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.867$ ,  $n = 30$ ,  $P < 0.001$ ), ma negativa con SLA ( $P < 0.05$ ) e con Cellulosa ( $P < 0.05$ ).

Ulteriori analisi, maggiormente appropriate riguardanti la relazione tra caratteri funzionali, sono state limitate ai *traits* SLA, LDMC, LNC, trattando contemporaneamente i dati (medie di tre repliche per ogni carattere, misurati in ciascuno dei cinque siti, per ciascuna delle tre specie e nelle due stagioni) dell'anno 2006 e 2007.

#### 5.2.2.1 Tenore di Sostanza Secca (LDMC) *versus* Superficie Fogliare Specifica (SLA)

L'equazione della regressione lineare, tra Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC), è stata calcolata essere:  $\ln(\text{SLA}) = -0.587 \ln(\text{LDMC}) + 6.250$ . Si è utilizzata una regressione del tipo Standardized Major Axis (SMA) per stimare l'equazione lineare che meglio interpola la dispersione bivariata della coppia di *traits* considerata. Per ciascuna delle tre specie sono state costruite le equazioni SMA. Le pendenze SMA di ciascuna equazione non sono significativamente diverse (Test di probabilità di Barlett per la pendenza: 3.423,  $P = 0.180$ ) e la pendenza comune della retta SMA di interpolazione è stata calcolata essere  $-0.902$  (Intervallo di Confidenza del 95%:  $-1.093$ ,  $-0.746$ ). Ci sono differenze significative sia per quanto riguarda le relative intercette (Test statistico di Wald per uno spostamento lungo un asse comune: 101.080,  $P < 0.001$ ) con intercetta comune della retta SMA di interpolazione pari a

6.849 (Intervallo di Confidenza del 95%: 6.218, 7.481), sia per quanto riguarda lo *shift* lungo un asse SMA comune (Test statistico di Wald per uno spostamento lungo un asse comune: 50.393,  $P < 0.001$ ). In Fig. 5.10a sono riportate l'equazione della retta di regressione e l'equazione empirica della retta di regressione proposta da Garnier *et al.* (200b),  $\ln(\text{SLA}) = 11.64 - 1.58 \ln(\text{LDMC})$  per le specie *Kickxia spuria*, *Psoralea bituminosa* e *Phyllirea latifolia*.

Per una più accurata valutazione delle distribuzioni interspecifiche relative alle variazioni in LDMC e SLA, le equazioni delle rette di regressione SMA di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, sono state confrontate a due a due. Per tutte le combinazioni di coppie, ci sono differenze significative per quanto riguarda le intercette (Test di Tuckey per le elevazioni:  $P < 0.001$ ), ma non per le pendenze. Allo stesso modo, il confronto tra i relativi *shifts* lungo un asse SMA comune, ha messo in luce differenze significative tra *B. pinnatum* e *D. glomerata* ( $P < 0.001$ ) e tra *B. erectus* e *D. glomerata* ( $P < 0.001$ ). La nuvola ellittica che racchiude la distribuzione dei punti relativi a LDMC *versus* SLA di *D. glomerata*, subisce una duplice traslazione rispetto a quelle di *B. pinnatum* e *B. erectus*, interpretabile nel modello come uno spostamento in elevazione e nello *shift* lungo un asse comune, ossia, aumentano i valori di SLA e corrispondentemente diminuiscono quelli di LDMC. La nuvola ellittica rappresentativa dei punti di *B. erectus* rispetto a quella di *B. pinnatum*, subisce invece un unico spostamento in elevazione, ossia, ad un fissato valore di LDMC, i relativi valori di SLA tendono ad aumentare (Fig. 5.10b).

#### 5.2.2.2 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) *versus* Superficie Fogliare Specifica (SLA)

L'equazione della regressione lineare, tra Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) e Superficie Fogliare Specifica (SLA), considerando tutti i dati relativi alle specie riuniti insieme è stata calcolata essere:  $\ln(\text{SLA}) = 0.338 \ln(\text{LNC}) + 2.739$  (Fig. 5.10c).

Per ciascuna delle tre specie sono state costruite le equazioni SMA. Le pendenze SMA di ciascuna equazione, non sono significativamente diverse (Test di probabilità di Barlett per la pendenza: 0.079,  $P = 0.961$ ) e la pendenza comune della retta SMA di interpolazione è stata calcolata essere 1.886 (Intervallo di Confidenza del 95%: 1.481, 2.401). Ci sono differenze significative sia per quanto riguarda le relative intercette (Test statistico di Wald per uno spostamento lungo un asse comune: 20.984,  $P < 0.001$ ) con intercetta comune della retta SMA di interpolazione pari a 2.929 (Intervallo di Confidenza del 95%: 3.867, 1.991) ,sia per quanto riguarda lo *shift* lungo un asse SMA comune (Test statistico di Wald per uno spostamento lungo un asse comune: 24.186,  $P < 0.001$ ). Per una più accurata valutazione delle distribuzioni interspecifiche relative alle variazioni in LNC e SLA, le equazioni delle rette di regressione SMA di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, sono state confrontate a due a due. Per tutte le combinazioni di coppie non ci sono differenze significative tra le pendenze, ma ci sono per quanto riguarda le intercette tra *B. erectus* e *B. pinnatum* e tra *B. erectus* e *D. glomerata* ( $P <$

0.001). Allo stesso modo, il confronto tra i relativi *shifts* lungo un asse SMA comune, ha evidenziato differenze significative tra *B. pinnatum* e *B. erectus*, tra *B. pinnatum* e *D. glomerata* ( $P < 0.001$ ) e tra *B. erectus* e *D. glomerata* ( $P < 0.05$ ) (Fig. 5.10d).

### 5.2.2.3 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) versus Tenore di Sostanza Secca (LDMC)

L'equazione della regressione lineare, tra Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) e Tenore in Sostanza Secca (LDMC), considerando tutti i dati relativi alle specie riuniti insieme è stata calcolata essere:  $\ln(\text{LDMC}) = -0.222\ln(\text{LNC}) + 5.795$  (Fig. 5.10e).

Per ciascuna delle tre specie sono state costruite le equazioni SMA. Le pendenze SMA di ciascuna equazione, non sono significativamente diverse (Test di probabilità di Barlett per la pendenza: 1.926,  $P = 1.926$ ) e la pendenza comune della retta SMA di interpolazione è stata calcolata essere -1.733 (Intervallo di Confidenza del 95%: -2.272, -1.320). Ci sono differenze significative sia per quanto riguarda le relative intercette (Test statistico di Wald per uno spostamento lungo un asse comune: 11.834,  $P = 0.003$ ) con intercetta comune della retta SMA di interpolazione pari a 7.882 (Intervallo di Confidenza del 95%: 5.869, 9.895), sia per quanto riguarda lo *shift* lungo un asse SMA comune (Test statistico di Wald per uno spostamento lungo un asse comune: 31.551  $P < 0.001$ ). Per una più accurata valutazione delle distribuzioni interspecifiche relative alle variazioni in LNC e LDMC, le equazioni delle rette di regressione SMA di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, sono state confrontate a due a due. Per tutte le combinazioni di coppie non ci sono differenze significative tra le pendenze. Per quanto riguarda le intercette, ci sono differenze significative tra *B. pinnatum* e *B. erectus* ( $P < 0.001$ ), tra *B. pinnatum* e *D. glomerata* ( $P < 0.01$ ), e tra *B. erectus* e *D. glomerata* ( $P < 0.05$ ). Allo stesso modo, il confronto tra i relativi *shifts* lungo un asse SMA comune, ha evidenziato differenze significative e tra *B. pinnatum* e *D. glomerata*, tra *B. erectus* e *D. glomerata* ( $P < 0.001$ ) e tra *B. pinnatum* e *B. erectus* ( $P < 0.05$ ) (Fig. 5.10f).



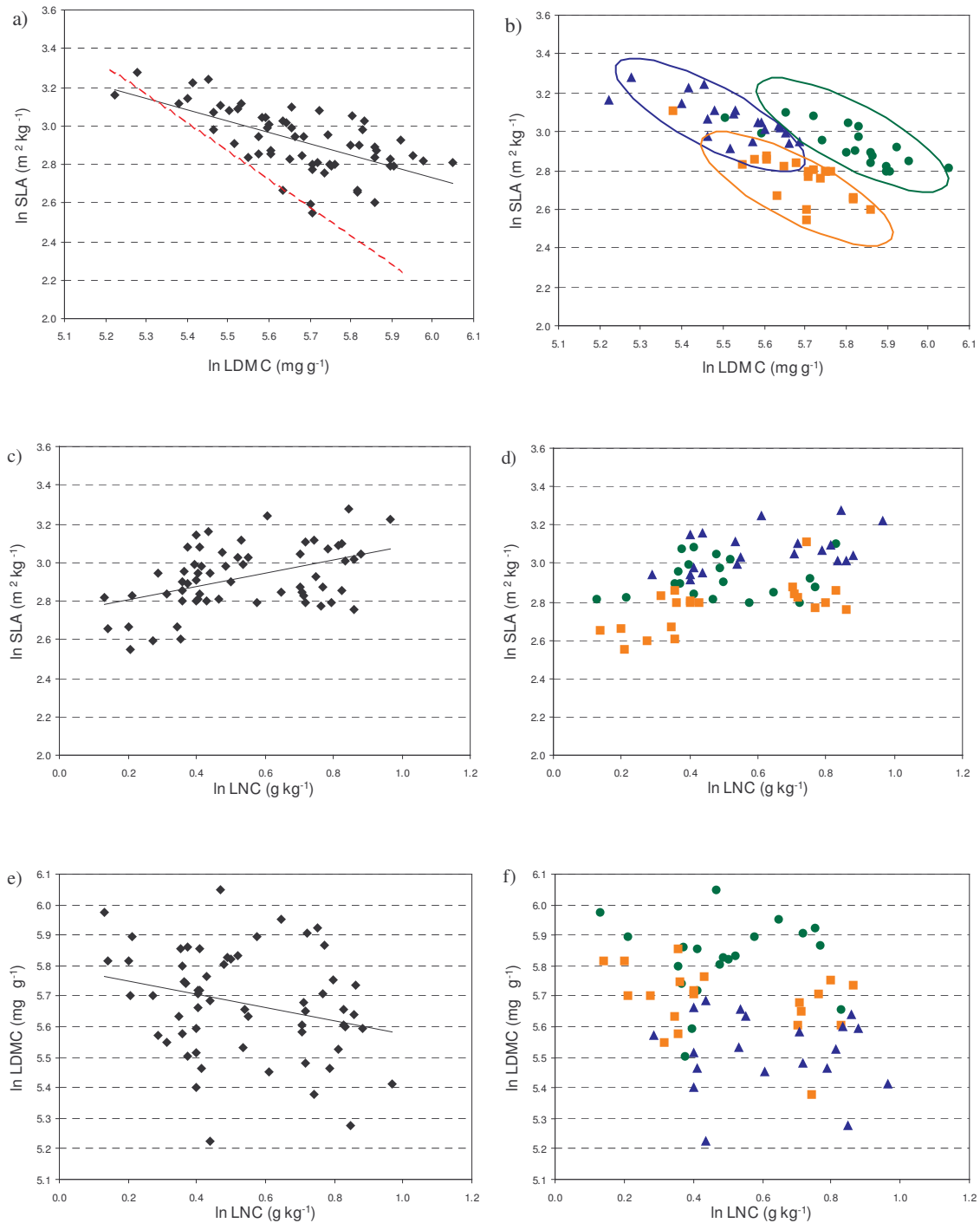
**Tabella 5.20** Valori del coefficiente di correlazione di Pearson (r) calcolato tra Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), contenuto fogliare di Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri.

I coefficienti sono stati calcolati su tutti i dati relativi alle tre specie, ai cinque siti e alle due stagioni (primavera e autunno) del 2006 e del 2007 per SLA, LDMC e LNC (n = 60), e solo del 2006 per Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri (n = 30).

	<b>LDMC</b>	<b>LNC</b>	<b>Emicellulosa</b>	<b>Cellulosa</b>	<b>Lignina</b>	<b>Ceneri</b>
<b>SLA</b>	-0.626 ***	0.380 **	0.0680 ns	-0.145 ns	-0.248 ns	-0.400 *
<b>LDMC</b>		-0.234 ns	0.517 **	-0.111 ns	0.479 **	0.546 **
<b>LNC</b>			0.269 ns	-0.065 ns	-0.077 ns	-0.322 ns
<b>Emicellulosa</b>				0.111 ns	0.422 *	0.249 ns
<b>Cellulosa</b>					-0.338 ns	-0.395 *
<b>Lignina</b>						0.867 ***

*Livello di significatività: ns, non significativo; \*, P < 0.05; \*\*, P < 0.01; \*\*\*, P < 0.001.*

**Fig. 5.10** Relazione tra i valori medi di Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca LDMC), e Contenuto di Azoto Fogliare (LNC), per le tre specie, nei cinque siti, nelle due stagioni e nei due anni. Nelle figure a,c,d, sono evidenziate le rette di regressione lineare (linea continua) e in figura a la retta individuata da Garnier *et al.* (2001) (linea tratteggiata). Nelle figure b, d, f sono evidenziate con simboli diversi i punti relativi a *B. pinnatum* (tondi verdi), *B. erectus* (quadrati arancioni) e *D. glomerata* (triangoli blu).



### 5.2.3 Analisi di Varianza

Gli effetti tra stagioni, specie e siti sono stati analizzati mediante Analisi di Varianza Multivariata (MANOVA), sui dati relativi a Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), Emicellulosa (Emi), Cellulosa (Cel), Lignina (Lig) e Ceneri (Cen), raccolti nel 2006 e, separatamente, sui dati relativi a Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC) e Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), raccolti nel 2007. I dati sono stati trasformati nel loro logaritmo naturale secondo le assunzioni dell'ANOVA.

#### 5.2.3.1 Analisi di Varianza per Specie, Stagioni e Siti nel 2006

In Tabella 5.21 sono riportati i risultati di un'Analisi di Varianza Multivariata (MANOVA) condotta per valutare gli effetti delle stagioni, delle specie e dei siti per Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), Emicellulosa (Emi), Cellulosa (Cel), Lignina (Lig) e Ceneri (Cen), relativi ai dati del 2006.

##### 5.2.3.1.1 Superficie Fogliare Specifica (SLA)

Per la Superficie Fogliare Specifica (SLA) si osservano forti effetti relativi ai siti, alle specie e alle stagioni ( $P < 0.001$ ). Anche gli effetti stagionali sulle specie sono significativi (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 35.18$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.11a). In particolare, in primavera, i valori medi di SLA di *B. pinnatum* ( $20.14 \pm 1.57 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) sono simili a quelli di *D. glomerata* ( $20.74 \pm 2.46 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) e significativamente più alti di quelli di *B. erectus* ( $14.99 \pm 2.09 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ), mentre in autunno sono simili a *B. erectus* (rispettivamente  $18.16 \pm 2.39 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  per *B. pinnatum* e  $18.32 \pm 2.34 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  per *B. erectus*), ma più bassi di *D. glomerata* ( $23.46 \pm 2.19 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ). Le caratteristiche dei siti non interagiscono significativamente nel determinare differenze in SLA tra specie o tra stagioni (Figg. 5.12a e 5.13a).

##### 5.2.3.1.2 Tenore di Sostanza Secca (LDMC)

Per il Tenore di sostanza Secca (LDMC) si osservano forti effetti sia dei siti che delle specie ( $P < 0.001$ ), ma non delle stagioni. Anche le interazioni tra specie e stagioni sono significative (MANOVA:  $F_{2,1} = 9.88$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig 5.11b). *B. pinnatum* presenta valori più bassi in primavera rispetto all'autunno (rispettivamente  $292.51 \pm 34.29 \text{ mg g}^{-1}$  e  $340.99 \pm 33.09 \text{ mg g}^{-1}$ ), contrariamente a quanto succede per *B. erectus* ( $280.02 \pm 19.70 \text{ mg g}^{-1}$  in primavera e  $267.47 \pm 29.56 \text{ mg g}^{-1}$  in autunno), mentre *D. glomerata* resta approssimativamente costante ( $230.92 \pm 29.84 \text{ mg g}^{-1}$  in primavera e  $229.43 \pm 21.03 \text{ mg g}^{-1}$  in autunno). Le caratteristiche dei siti non interagiscono significativamente nel determinare differenze in LDMC tra specie o tra stagioni (Figg. 5.12b e 5.13c).

#### 5.2.3.1.3 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)

Per la Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) si osservano effetti significativi relativi alle stagioni, alle specie ( $P < 0.001$ ) e ai siti ( $P < 0.05$ ). In particolare, le stagioni hanno un forte effetto nel caratterizzare sia le specie (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 13.22$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.11c) che i siti (MANOVA stagioni x siti:  $F_{1,4} = 8.72$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.13c). *D. glomerata* risulta essere la specie con concentrazioni di azoto fogliare superiori rispetto alle altre due, sia in primavera ( $1.48 \pm 0.08$  g kg<sup>-1</sup> per *D. glomera*,  $1.46 \pm 0.03$  g kg<sup>-1</sup> per *B. pinnatum* e  $1.35 \pm 0.08$  g kg<sup>-1</sup> per *B. erectus*) così come in autunno ( $2.29 \pm 0.21$  g kg<sup>-1</sup> per *D. glomerata*,  $2.10 \pm 0.11$  g kg<sup>-1</sup> per *B. rupestre* e  $1.99 \pm 0.26$  g kg<sup>-1</sup> per *B. erectus*). Le caratteristiche dei siti non interagiscono significativamente nel determinare differenze in LNC tra specie (Fig. 5.12c). Gli effetti stagioni x specie x siti risultano significativamente diversi da zero, con  $P < 0.05$ .

#### 5.2.3.1.4 Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri

Per Emicellulosa, Lignina e Ceneri, si osservano forti effetti relativi alle stagioni, alle specie e siti ( $P < 0.001$ ). Per Cellulosa invece, sono significativi solo gli effetti dovuti alle specie ( $P < 0.001$ ). Le interazioni delle stagioni sulle specie sono significative sia per Emicellulosa (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 4.03$ ,  $P < 0.05$ ) (Fig. 5.11d) che per Cellulosa (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 7.74$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.11e), ma non ci sono interazioni con i siti (Figg. 5.12d e 5.13d, Figg. 5.12e e 5.13e). In media, i valori di Emicellulosa e Cellulosa per tutte e tre le specie, aumentano gradualmente dalla primavera all'autunno (ad eccezione di Cellulosa in *B. pinnatum*). Le interazioni tra stagioni, specie e siti sono tutte significative sia per Lignina (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 60.32$ ,  $P < 0.001$ ; specie x siti:  $F_{2,4} = 15.40$ ,  $P < 0.001$ ; stagioni x siti  $F_{1,4} = 20.42$ ,  $P < 0.001$ ) (Figg. 5.11f, 5.12f, 5.13f) che per Ceneri (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 146.13$ ,  $P < 0.001$ ; specie x siti:  $F_{2,4} = 20.38$ ,  $P < 0.001$ ; stagioni x siti  $F_{1,4} = 64.59$ ,  $P < 0.001$ ) (Figg. 5.11g, 5.12g, 5.13g). In media, i valori di Lignina e Ceneri di tutte e tre le specie, diminuiscono gradualmente dalla primavera all'autunno (ad eccezione di Lignina in *B. pinnatum*). Le interazioni tra siti evidenziano valori significativamente più bassi in Zannini NoSfalcio rispetto agli altri. Gli effetti stagioni x specie x siti risultano significativamente diversi da zero, con  $P < 0.001$ .

#### 5.2.3.2 Analisi di Varianza per Specie, Stagioni e Siti nel 2007

In Tabella 5.22 sono riportati i risultati di un'Analisi di Varianza Multivariata, condotta per valutare gli effetti delle stagioni, delle specie e dei siti per Superficie Fogliare Specifica (SLA),

Tenore di Sostanza Secca (LDMC) e Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), relativi ai dati del 2007.

#### 5.2.3.2.1 Superficie Fogliare Specifica (SLA)

Per la Superficie Fogliare Specifica (SLA), si osservano forti effetti solo tra le specie ( $P < 0.001$ ). Risultano significativi anche gli effetti stagionali sulle specie (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 14.53$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.14a). In particolare, come per il 2006, in primavera i valori di SLA di *B. pinnatum* sono simili a quelli di *D. glomerata* (rispettivamente  $19.29 \pm 1.68 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  e  $19.92 \pm 0.94 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ), ma tendono a diminuire in autunno ( $17.20 \pm 0.82 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ), a differenza di quanto succede per *D. glomerata* ( $21.95 \pm 2.24 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ). SLA in *B. erectus* resta mediamente costante ( $15.59 \pm 1.21 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  in primavera e  $15.60 \pm 1.20 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  in autunno). Le caratteristiche dei siti non interagiscono significativamente nel determinare differenze in SLA tra specie (Fig. 5.15a). Infine, gli effetti tra stagioni e siti risultano significativi e ben si distinguono due *patterns* di distribuzione inversi, con valori medi di SLA più alti in primavera rispetto all'autunno in Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2 e in Zannini NoSfalcio, e, viceversa, più alti in autunno rispetto alla primavera in Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio (Fig. 5.16a).

#### 5.2.3.2.2 Tenore di Sostanza Secca (LDMC)

Per Tenore di Sostanza Secca (LDMC), si osservano forti effetti solo tra le specie ( $P < 0.001$ ). Sono significativi anche gli effetti delle stagioni sulle specie, (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 26.70$ ,  $P < 0.001$ ). In accordo col fatto che LDMC è inversamente correlato a SLA, *B. pinnatum* presenta valori medi di LDMC più bassi in primavera ( $342.71 \pm 7.95 \text{ mg g}^{-1}$ ) rispetto all'autunno ( $387.81 \pm 22.63 \text{ mg g}^{-1}$ ), e viceversa *D. glomerata* ( $282.94 \pm 10.75 \text{ mg g}^{-1}$  in primavera e  $261.38 \pm 18.89 \text{ mg g}^{-1}$  in autunno), mentre *B. erectus* resta mediamente costante ( $321.85 \pm 14.01 \text{ mg g}^{-1}$  in primavera e  $315.22 \pm 20.25 \text{ mg g}^{-1}$  in autunno) (Fig. 5.14b). Sono inoltre significative sia le interazioni tra specie e siti (MANOVA specie x siti:  $F_{2,4} = 26.70$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.15b) sia tra stagioni e siti (MANOVA stagioni x siti:  $F_{1,4} = 3.70$ ,  $P < 0.01$ ) (Fig. 5.16b) così come tra stagioni, specie e siti (MANOVA stagioni x specie x siti:  $F_{1,2,4} = 2.57$ ,  $P < 0.05$ ).

#### 5.2.3.2.3 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)

Per la Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) si osservano forti effetti relativi ai siti, alle specie e alle stagioni ( $P < 0.001$ ). Sono significativi sia gli effetti tra stagioni e specie (MANOVA stagioni x specie:  $F_{1,2} = 37.89$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.14c), sia tra specie e siti (MANOVA specie x siti:  $F_{2,4} = 2.64$ ,  $P < 0.05$ ) (Fig. 5.15c), sia tra stagioni e siti (MANOVA stagioni x siti:  $F_{1,4} = 30.95$ ,  $P < 0.001$ ) (Fig. 5.16c), così come tra stagioni, specie e siti (MANOVA stagioni x specie x siti:  $F_{1,2,4} = 2.97$ ,  $P < 0.01$ ). I valori medi di LNC di *B. erectus* e *D. glomerata* sono

significativamente più bassi in primavera (rispettivamente  $1.37 \pm 0.17 \text{ mg g}^{-1}$  e  $1.70 \pm 0.21 \text{ mg g}^{-1}$ ) che in autunno (rispettivamente  $1.93 \pm 0.44 \text{ mg g}^{-1}$  e  $2.12 \pm 0.33 \text{ mg g}^{-1}$ ), mentre *B. pinnatum*, a differenza di quanto avviene nel 2006, resta approssimativamente costante ( $1.58 \pm 0.09 \text{ mg g}^{-1}$  in primavera e  $1.60 \pm 0.42 \text{ mg g}^{-1}$  in autunno).

**Tabella 5.21** Valori di F risultati da un'Analisi di Varianza Multivariata (Specie x Stagioni x Siti) per Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), contenuto fogliare di Emicellulosa (Emi), Cellulosa (Cel), Lignina (Lig) e Ceneri (Cen) per l'anno 2006.

	SLA	LDMC	LNC	Emi	Cel	Lig	Cen
<b>Siti</b> g.l. = 4	43.90 ***	21.28 ***	3.46	18.46 ***	1.36 ns	9.74 ***	26.76 ***
<b>Specie</b> g.l. = 2	109.57 ***	85.30 ***	17.49	83.37 ***	11.13 ***	130.20 ***	452.16 ***
<b>Stagioni</b> g.l. = 1	21.47 ***	3.07 ns	897.22 ***	55.30 ***	2.69 ns	25.76 ***	715.86 ***
<b>Specie x Stagioni</b> g.l. = 2	35.18 ***	9.88 ***	13.22	4.03 *	7.74 ***	60.32 ***	146.13 ***
<b>Specie x Siti</b> g.l. = 8	0.74 ns	0.69 ns	1.87	1.27 ns	0.94 ns	15.40 ***	20.38 ***
<b>Stagioni x Siti</b> g.l. = 4	3.76 ns	0.38 ns	8.72	0.83 ns	1.84 ns	20.42 ***	64.59 ***
<b>Specie x Stagioni x Siti</b> g.l. = 8	1.03 ns	0.55 ns	2.45	0.77 ns	0.49 ns	5.92 ***	14.71 ***

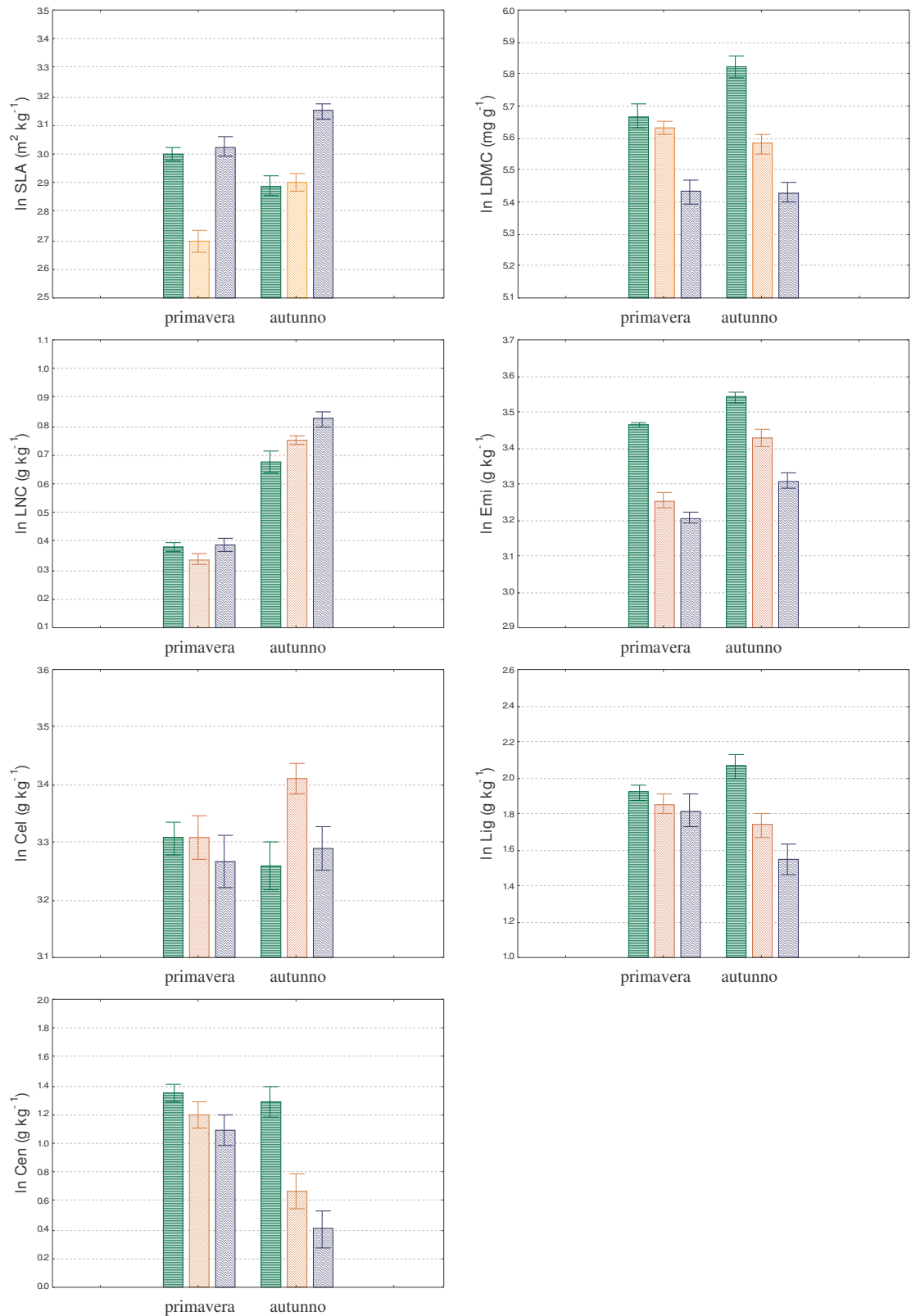
Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

**Tabella 5.22** Valori di F risultati da un'Analisi di Varianza Multivariata (Specie x Stagioni x Siti) per Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) per l'anno 2007.

	SLA	LDMC	LNC
<b>Siti</b> g.l. = 4	1.17 ns	2.16 ns	62.42 ***
<b>Specie</b> g.l. = 2	115.43 ***	208.5 ***	51.95 ***
<b>Stagioni</b> g.l. = 1	0.16 ns	0.30 ns	117.18 ***
<b>Specie x Stagioni</b> g.l. = 2	14.53 ***	26.70 ***	37.89 ***
<b>Specie x Siti</b> g.l. = 8	1.47 ns	2.39 *	2.64 *
<b>Stagioni x Siti</b> g.l. = 4	8.97 ***	3.70 **	30.95 ***
<b>Specie x Stagioni x Siti</b> g.l. = 8	2.51 *	2.57 *	2.97 **

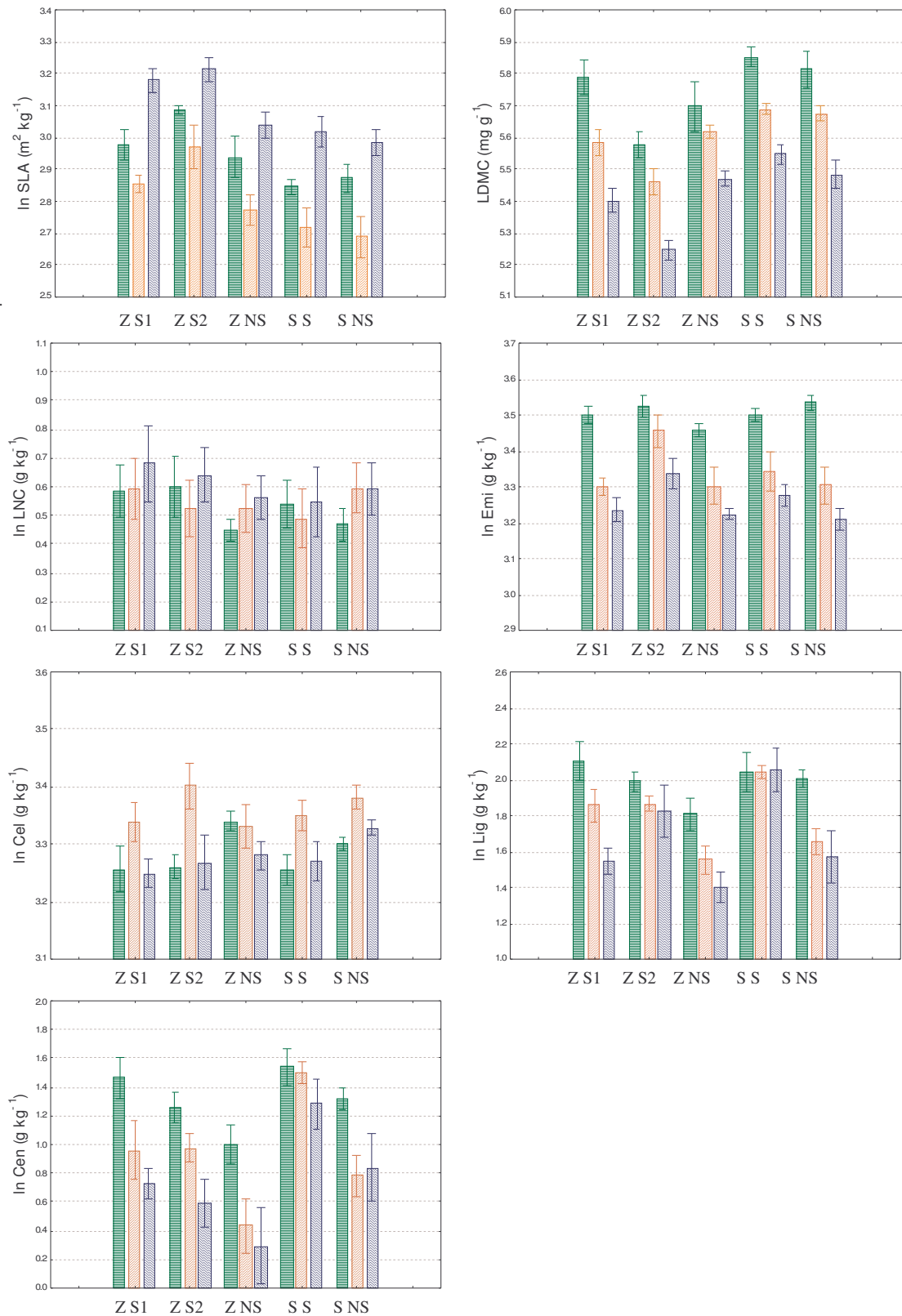
Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

**Fig. 5.11** Effetto delle stagioni (primavera e autunno) e delle specie (*B. pinnatum* (verde), *B. erectus* (arancione) *D. glomerata* (blu)) per: a) Superficie Fogliare Specifica (SLA), b) Tenore in Sostanza Secca (LDMC), c) Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), d) Emicellulosa (Emi), e) Cellulosa (Cel), f) Lignina (Lig) e g) Ceneri (Cen) per l'anno 2006. In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 30).

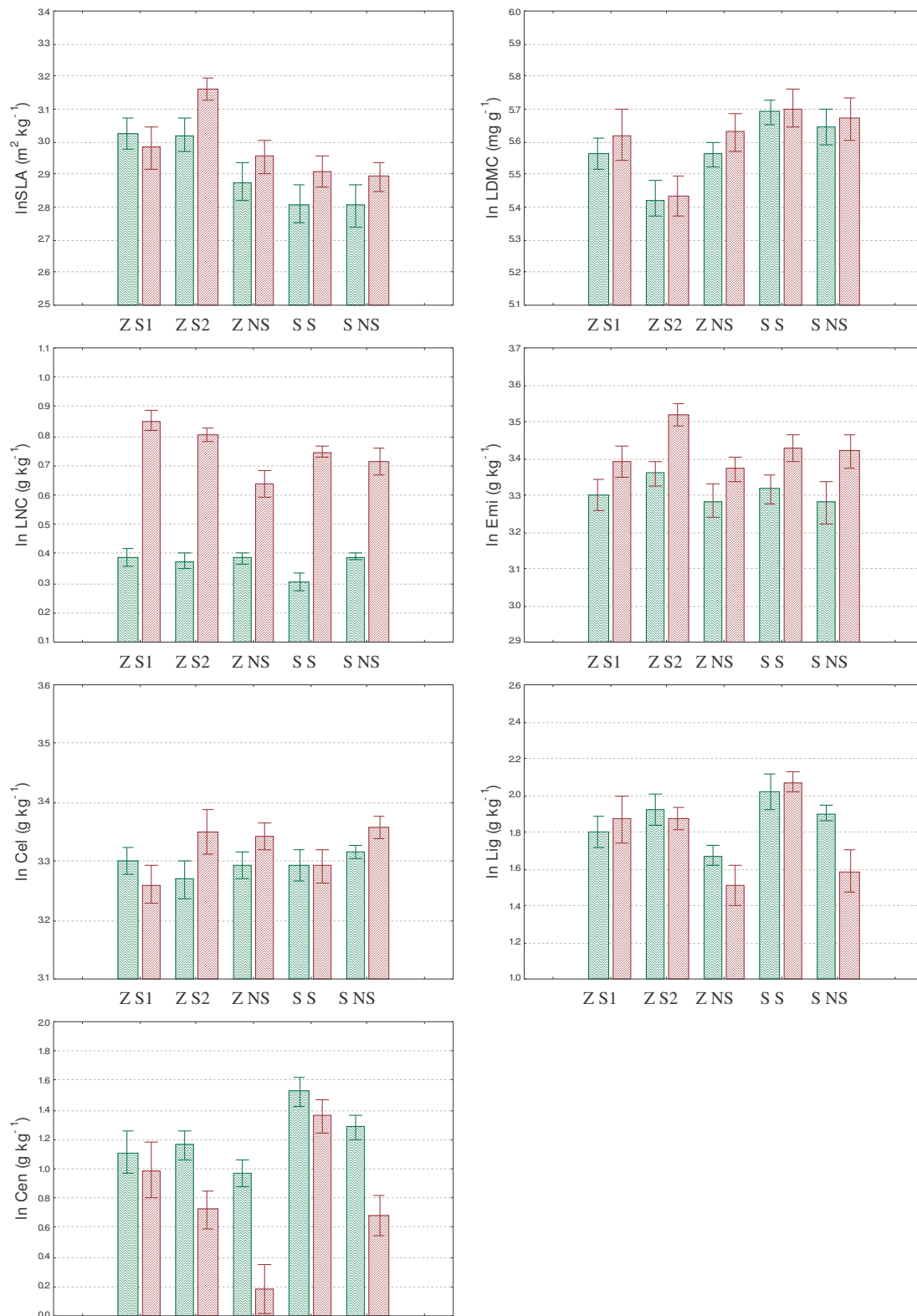




**Fig. 5.12** Effetto dei siti (Zannini Sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS) e delle specie (*B. pinnatum* (verde), *B. erectus* (arancione) *D. glomerata* (blu)) per a) Superficie Fogliare Specifica (SLA), b) Tenore di Sostanza Secca (LDMC), c) Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), d) Emicellulosa (Emi), e) Cellulosa (Cel), f) Lignina (Lig) e g) Ceneri (Cen) per l'anno 2006. In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 6).

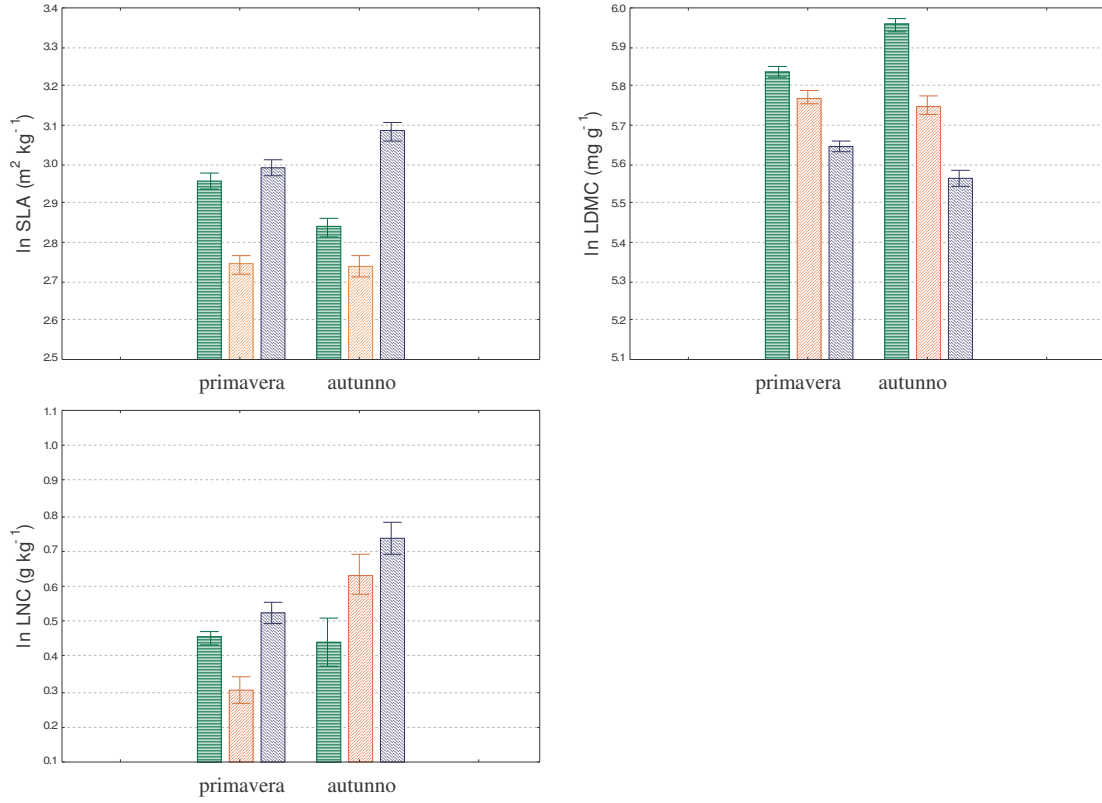


**Fig. 5.13** Effetto delle stagioni (primavera (verde) e autunno (marrone)) e dei siti (Zannini Sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS), per: a) Superficie Fogliare Specifica (SLA), b) Tenore in Sostanza Secca (LDMC), c) Contenuto di Azoto Fogliare (LNC), d) Emicellulosa (Emi), e) Cellulosa (Cel), f) Lignina (Lig) e g) Ceneri (Cen). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 45).

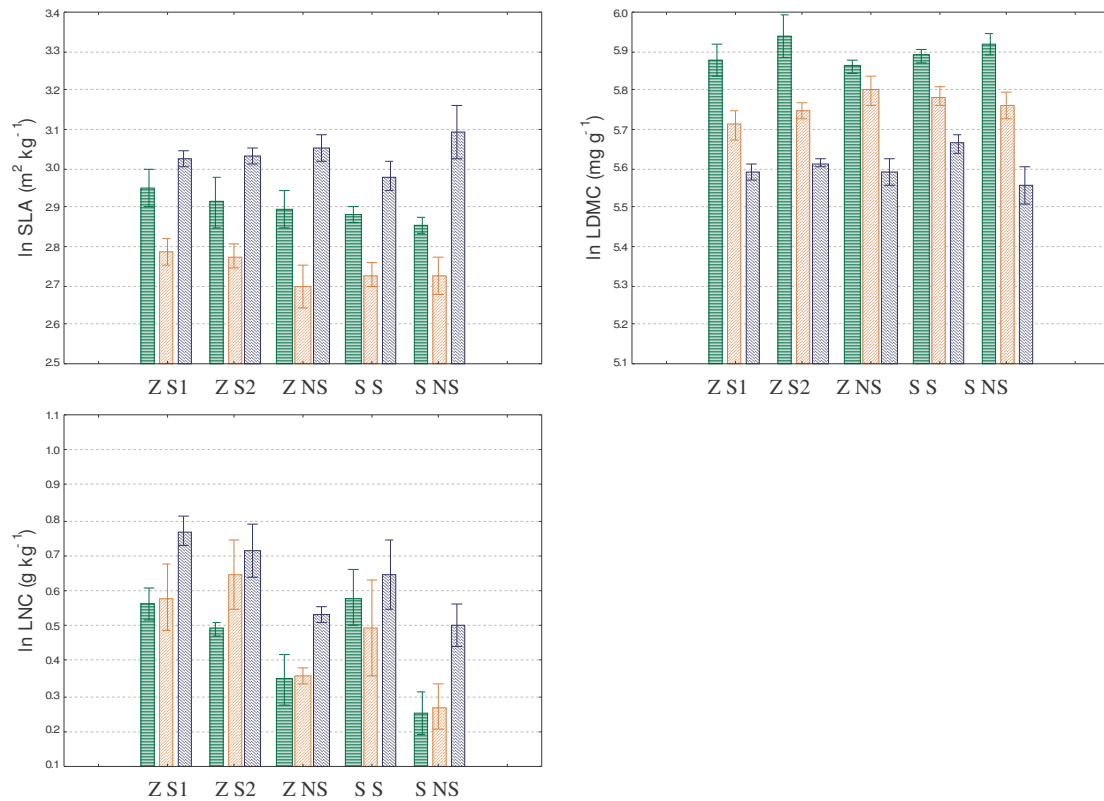


Z S1 Z S2 Z NS S S S NS

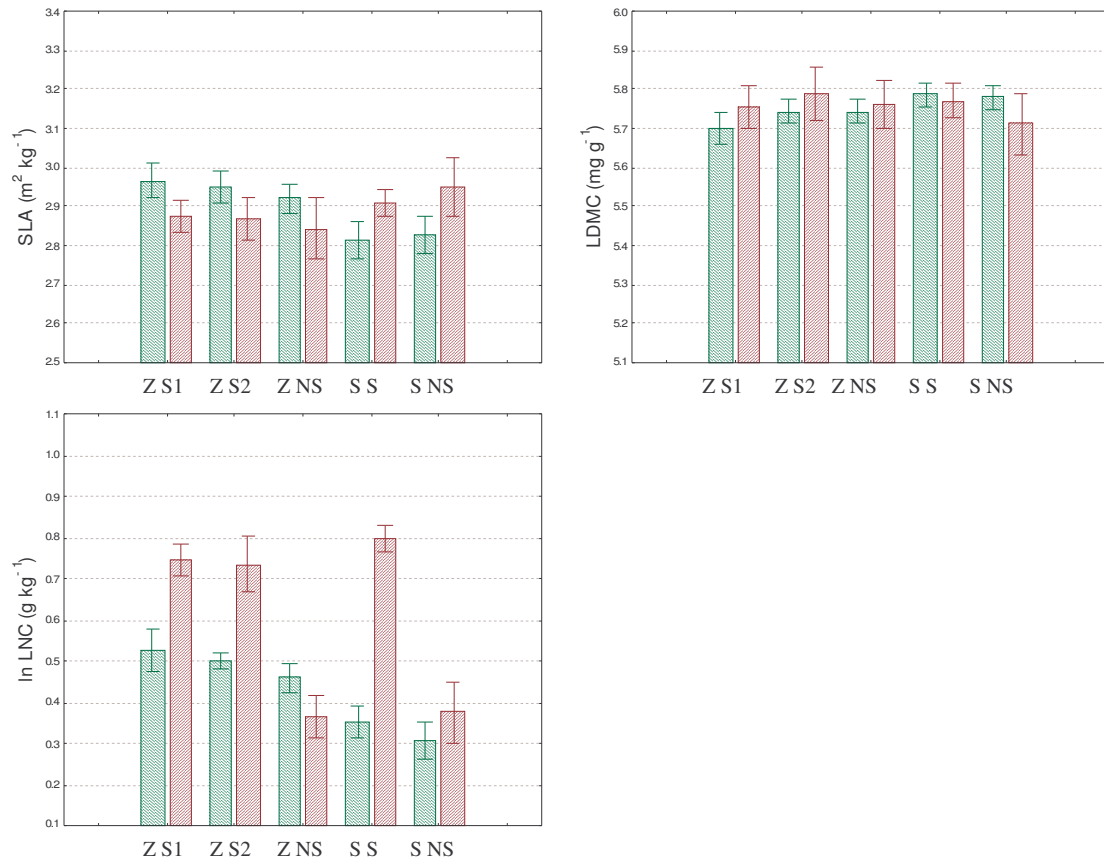
**Fig. 5.14** Effetto delle stagioni (primavera e autunno) e delle specie (*B. pinnatum* (verde), *B. erectus* (arancione) *D. glomerata* (blu)) per: a) Superficie Fogliare Specifica (SLA), b) Tenore di Sostanza Secca (LDMC), c) Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), d) Emicellulosa (Emi), e) Cellulosa (Cel), f) Lignina (Lig) e g) Ceneri (Cen) per l'anno 2007. In figura è riportati il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 30).



**Fig. 5.15** Effetto dei siti (Zannini Sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS) e delle specie (*B. pinnatum* (verde), *B. erectus* (arancione) *D. glomerata* (blu)) per: a) Superficie Fogliare Specifica (SLA), b) Tenore di Sostanza Secca (LDMC), c) Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), d) Emicellulosa (Emi), e) Cellulosa (Cel), f) Lignina (Lig) e g) Ceneri (Cen) per l'anno 2007. In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 6).



**Fig. 5.16** Effetto delle stagioni (primavera (verde) e autunno (marrone)) e dei siti (Zannini Sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS), per: a) Superficie Fogliare Specifica (SLA), b) Tenore di Sostanza Secca (LDMC), c) Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), d) Emicellulosa (Emi), e) Cellulosa (Cel), f) Lignina (Lig) e g) Ceneri (Cen) per l'anno 2007. In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 45).



## 5.2.4 Analisi Canonica

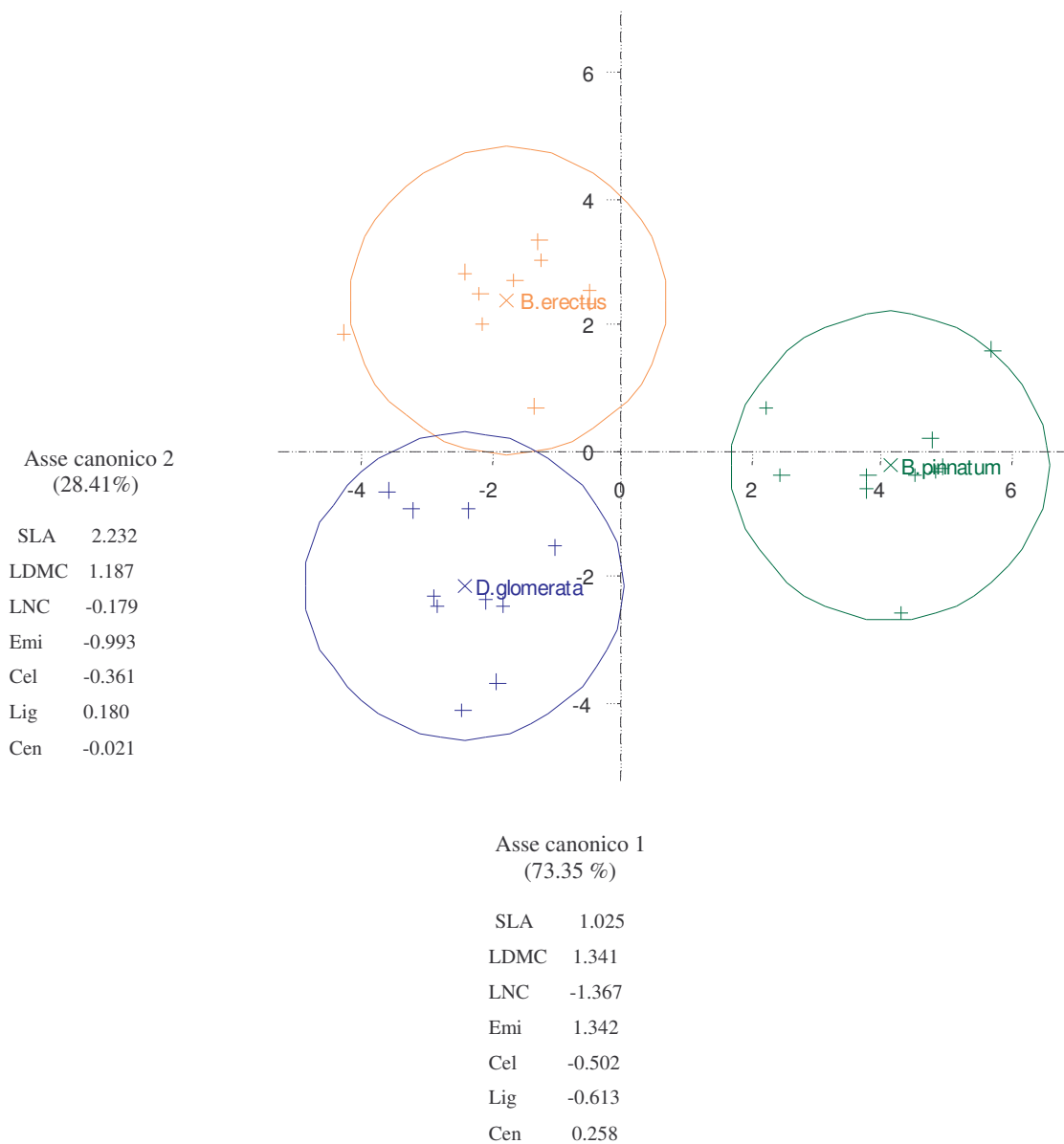
### 5.2.4.1 Analisi Canonica dei *traits* per le specie

Sulla base dei caratteri funzionali, quali Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), Emicellulosa (Emi), Cellulosa (Cel), Lignina (Lig) e Ceneri (Cen), relativi ai dati del 2006, è stata condotta un'Analisi Canonica al fine di separare le specie in base alle loro caratteristiche funzionali, e capire il grado di importanza di questi caratteri nel determinare tale separazione (Fig. 5.17). Le prime due variabili canoniche spiegano rispettivamente il 73.35% e il 26.65% della variabilità totale, e i centroidi relativi ai tre gruppi di punti relativi alle tre specie, proiettati sul primo asse, evidenziano una netta separazione tra *B. erectus* e *D. glomerata* da un lato e *B. pinnatum* dall'altro. I coefficienti canonici, riportati in Fig. 5.17, indicano come SLA e LDMC siano sostanzialmente importanti per localizzare le specie rispetto ad entrambi gli assi, mentre LNC e Emicellulosa lo sono solo per quanto riguarda il primo asse.

### 5.2.4.2 Analisi Canonica dei *traits* per i siti

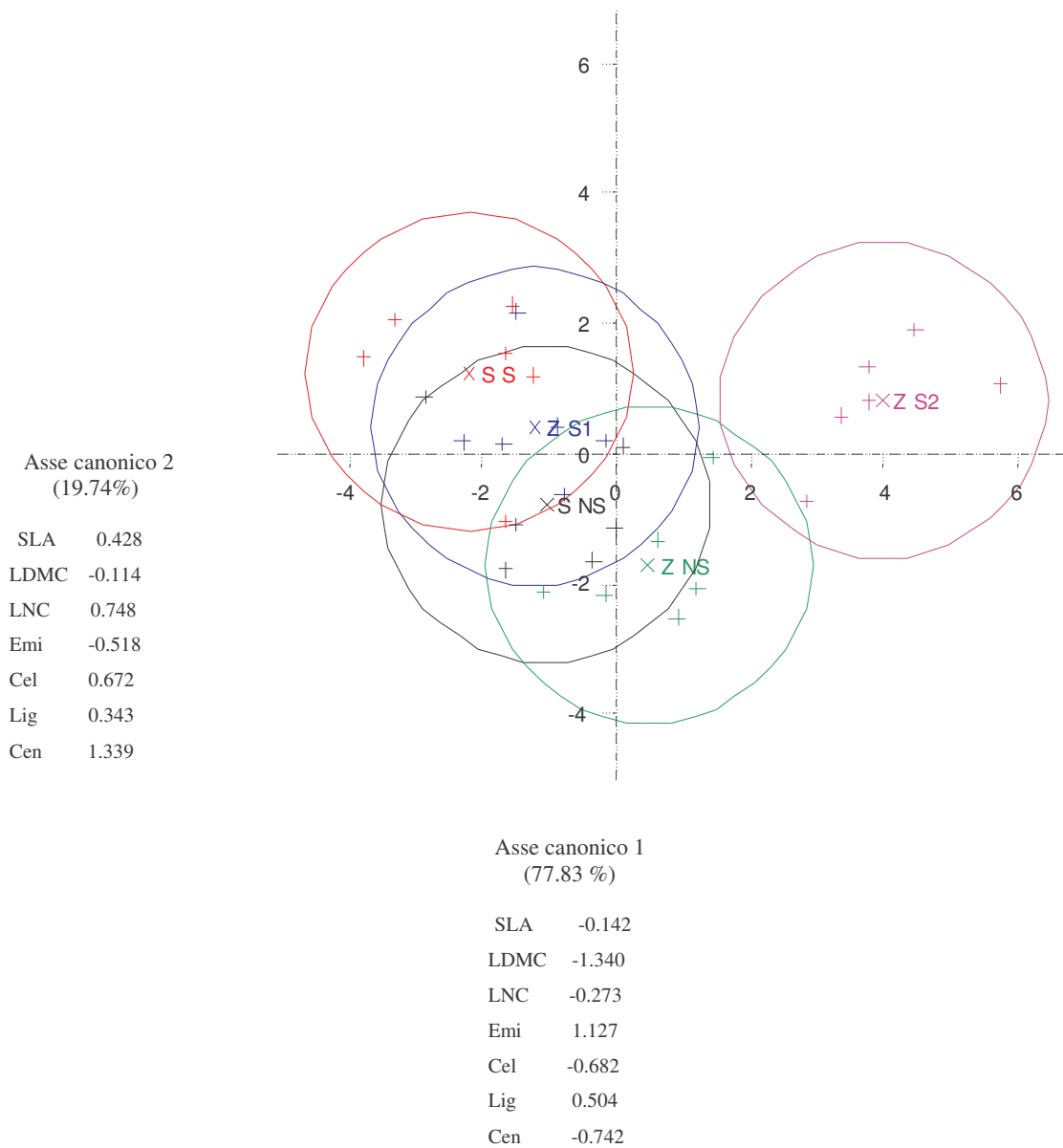
La caratterizzazione dei siti mediante Analisi Canonica, è stata condotta selezionando alcuni caratteri, quali Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), Emicellulosa (Emi) e Cellulosa (Cel) relativi ai dati del 2006 (Fig. 5.18). Le prime due variabili canoniche spiegano rispettivamente il 77.83% e il 19.74% della variabilità totale. I coefficienti canonici di maggior rilievo nel determinare la posizione dei siti lungo il primo asse, sono LDMC ed Emicellulosa. Il centroide del sito Zannini Sfalcio 2, si localizza ad una sostanziale distanza rispetto agli altri siti.

**Fig. 5.17** Distribuzione sul piano individuata dai primi due assi canonici per le specie *B. pinnatum* (verde), *B. erectus* (arancione) e *D. glomerata* (blu) secondo i risultati di un'analisi canonica eseguita sui valori medi dei seguenti caratteri: Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC), Contenuto di Emicellulosa (Emi), Cellulosa (Cel), Lignina (Lig) e Ceneri (Cen). (n = 10). In figura sono riportate le percentuali di variazione spiegate da ognuno dei due assi e i coefficienti canonici standardizzati relativi alle variabili utilizzate nell'analisi.



**Fig. 5.18** Distribuzione sul piano individuata dai primi due assi canonici per i siti Zannini Sfalcio 1 (Z S1, blu), Zannini Sfalcio 2 (Z S2, viola), Zannini NoSfalcio (Z NS, verde), Stanzano Sfalcio (S S, rosso), Stanzano NoSfalcio (S NS, nero) secondo i risultati di un'analisi canonica eseguita sui valori medi dei seguenti caratteri: Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Concentrazione di Azoto (LNC), Emicellulosa (Emi), Cellulosa (Cel), Lignina (Lig) e Ceneri (Cen) (n = 6).

In figura sono riportate le percentuali di variazione spiegate da ognuno dei due assi e i coefficienti canonici standardizzati relativi alle variabili utilizzate nell'analisi.





### **5.3 Analisi dei Valori Vegetazionali, dei Valori Funzionali e costruzione di un gradiente tra siti**

In Fig. 5.19 sono riportate le rappresentazioni dei siti, secondo la combinazione del rispettivo Valore Vegetazionale e Valore funzionale, in primavera 2006, autunno 2006, primavera 2007, autunno 2007, primavera 2006-2007, autunno 2006-2007, anno 2006 ed anno 2007.

Per quanto riguarda sia le stagioni che gli anni considerati, i siti Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio presentano Valore Vegetazionale negativo, al contrario dei siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2, Zannini NoSfalcio, caratterizzati dall'aver sempre Valore Vegetazionale positivo.

Per quanto riguarda primavera 2006, primavera 2007 ed autunno 2006, i siti Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio presentano Valore Vegetazionale negativo e Valore Funzionale più basso rispetto ai siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2 e Zannini NoSfalcio (Fig 5.19a,b,c).

Invece, in autunno 2007, i siti Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio presentano Valore Vegetazionale negativo, e Valore Funzionale più alto rispetto ai siti Zannini Sfalcio 1, Zannini Sfalcio 2 e Zannini NoSfalcio (Fig 5.19d).

Confrontando le stagioni all'interno dell'anno 2006, si può vedere come, in relazione al Valore Vegetazionale, il sito Zannini Sfalcio 1 presenti differenze in assoluto più alte, passando da 0.840 in primavera a 0.098 in autunno. Il valore Funzionale si mantiene pressoché costanti per tutti i siti (Fig 5.19a,b).

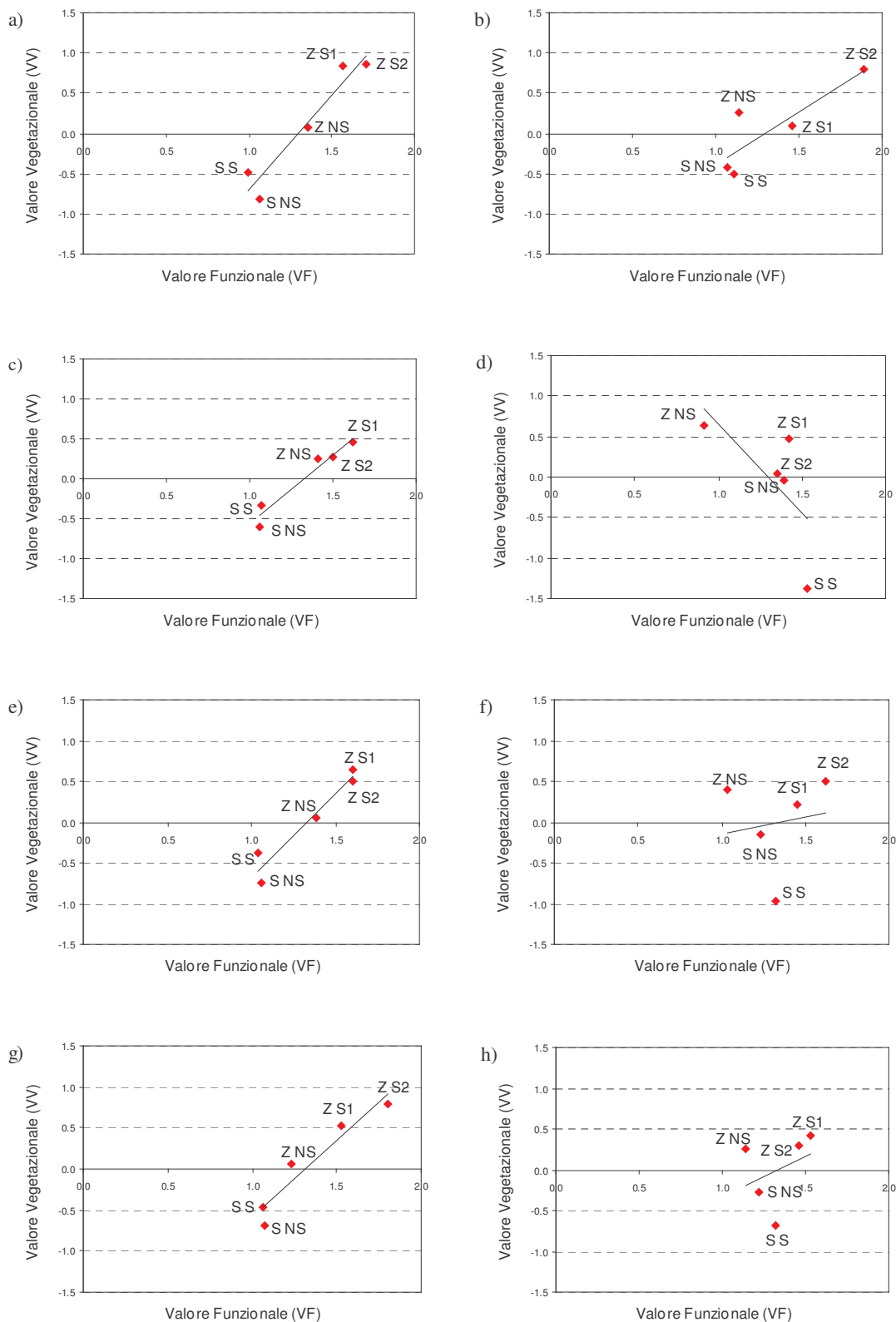
Confrontando le stagioni all'interno dell'anno 2007, il Valore Vegetazionale è negativamente correlato con il Valore Funzionale. I siti Zannini Sfalcio e Zannini Sfalcio 2 restano pressoché invariati; in Zannini NoSfalcio si ha una diminuzione del Valore Funzionale da 1.409 a 0.919, mentre aumenta il Valore Vegetazionale passando da 0.234 a 0.639. Stanzano Sfalcio presenta un aumento nel Valore Funzionale da 1.068 in primavera a 1.530 in autunno ed una diminuzione nel Valore Vegetazionale da -0.331 a -1.367. Stanzano NoSfalcio presenta contemporaneamente un aumento nel valore Vegetazionale (rispettivamente: primavera -0.607; autunno -0.047), sia un aumento nel Valore Funzionale (rispettivamente: primavera 1.058; autunno 1.391) (Fig 5.19c,d).

Per ordinare i siti secondo un gradiente, la combinazione del Valore Vegetazionale e del Valore Funzionale di ciascun sito è stata proiettata sulla retta di interpolazione. Questo gradiente è stato costruito per le stagioni: primavera 2006 (Fig 5.20a); autunno 2006 (Fig 5.20b). primavera 2007, (Fig 5.20c).autunno 2007 (Fig 5.20d), primavera 2006 e 2007 insieme (Fig 5.21a); autunno 2006 e 2007 insieme (Fig 5.21b). anno 2006 (Fig 5.21c) e anno 2007 (Fig 5.21d). L'ordine dei siti lungo il gradiente rimane ben definito sia nel corso delle stagioni che nel corso degli anni. In particolare: i siti Zannini Sfalcio 1 e Zannini Sfalcio 2 mantengono sempre una

posizione avanzata rispetto agli altri, seguiti da Zannini NoSfalcio e, in coda, dai siti dell'area Stanzano.

Di particolare interesse è il gradiente costruito combinando gli autunni di entrambi gli anni, in quanto si può notare un forte ravvicinamento reciproco dei siti non sfalciati Stanzano NoSfalcio e Zannini NoSfalcio, fino quasi a sovrapporsi (Fig 5.20b).

**Fig. 5.19** Localizzazione di ciascun sito (Zannini sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS) in base alla combinazione del Valore Vegetazionale (VV) e del Valore Funzionale (VF) in: a) primavera 2006; b) autunno 2006; c) primavera 2007; d) autunno 2007; e) primavera 2006 e 2007; f) autunno 2006 e 2007; g) anno 2006; h) anno 2007.



**Fig. 5.20** Ordinamento dei siti (Zannini Sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS) lungo un gradiente individuato dalla combinazione del rispettivo Valore Funzionale (VF) e Valore Vegetazionale (VV) proiettata sulla retta di regressione, per: a) primavera 2006; b) autunno 2006; c) primavera 2007; d) autunno 2007.

a) primavera 2006



b) autunno 2006



c) primavera 2007



d) autunno 2007



**Fig. 5.21** Ordinamento dei siti (Zannini Sfalcio 1: Z S1, Zannini Sfalcio 2: Z S2, Zannini NoSfalcio: Z NS, Stanzano Sfalcio: S S, Stanzano NoSfalcio: S NS) lungo un gradiente individuato dalla combinazione del rispettivo Valore Funzionale (VF) e Valore Vegetazionale (VV) proiettata sulla retta di regressione, per: a) primavera 2006-2007; b) autunno 2006-2007; c) anno 2006; d) anno 2007.

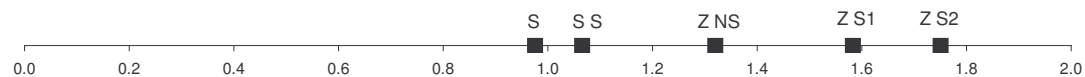
e) primavera 2006-2007



f) autunno 2006-2007



g) anno 2006



h) anno 2007



#### 5.4 Caratteri funzionali (traits) di *B. sylvaticum*, *D. glomerata* e *H. lanatus*

Nelle Tabelle 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27 sono presentati i valori medi e le deviazioni standard per la Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC) di individui di *Brachypodium sylvaticum*, provenienti da quattro siti (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001) e un campione Test acquistato commercialmente, fatti crescere nei suoli dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato).

Nelle Tabelle 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32 sono presentati i valori medi e le deviazioni standard per la Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC) di individui di *Dactylis glomerata* provenienti da quattro siti (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001) e un campione Test acquistato commercialmente, fatti crescere nei suoli dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato).

Nelle Tabelle 5.33, 5.34, 5.35, 5.36 sono presentati i valori medi e le deviazioni standard per la Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca nelle foglie (LDMC) di individui di *Holcus lanatus*, provenienti da quattro siti (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001) e un campione Test acquistato commercialmente, fatti crescere nei suoli dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato).

##### 5.4.1 Analisi della correlazione tra *traits*

Per verificare la correlazione tra *traits* è stato calcolato il coefficiente di correlazione di Pearson. In Tabella 5.37 sono riportati i valori dei coefficienti di Pearson tra Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM). I coefficienti sono stati calcolati utilizzando come *sets* di dati i valori medi dell'insieme dei suddetti caratteri su otto foglie, ciascuna foglia appartenente ad una pianta dello stesso trattamento (provenienza x suolo). La relazione più forte, non sorprende, è tra Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM) (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = 0.916$ ,  $n = 70$ ,  $P < 0.001$ ). Un aumento in DRM comporta un corrispondente aumento in DBM. Come atteso, Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) risultano negativamente correlate (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.351$ ,  $n = 70$ ,  $P < 0.01$ ). L'equazione della regressione lineare tra SLA e LDMC, è stata calcolata essere:  $\ln(\text{LDMC}) = -0.262 \ln(\text{SLA}) + 5.0947$  (Fig. 5.21a). E' evidente che *B. sylvaticum*, si differenzia

da *D. glomerata* e *H. lanatus*, presentando valori di LDMC più alti in corrispondenza degli stessi valori di SLA delle altre due specie (Fig. 5.21b). Di rilievo, la correlazione positiva tra Superficie Fogliare Specifica (SLA) con Massa Radicale Secca (DRM) (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.236$ ,  $n = 70$ ,  $P < 0.05$ ) e Massa Epigea Secca (DBM) (coefficiente di correlazione di Pearson:  $r = -0.281$ ,  $n = 70$ ,  $P < 0.05$ ).

#### **5.4.2 Analisi di Varianza**

Nelle Tabelle 5.38, 5.39, 5.40 sono riportati i risultati di un'Analisi di Varianza Multivariata condotta per valutare gli effetti della provenienza dei semi di *B. sylvaticum*, *D. glomerata* e *H. lanatus*, e dei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato, Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato, per Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC), considerando ciascuna specie separatamente.

##### **5.4.2.1 *B. sylvaticum***

###### **5.4.2.1.1 Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM)**

Per la Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM), si osservano forti effetti dovuti sia alla provenienza dei semi, sia al suolo dei siti ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi (MANOVA provenienza x suolo per DRM:  $F_{4,4} = 20.53$ ,  $P < 0.001$  e MANOVA provenienza x suolo per DBM:  $F_{4,4} = 13.92$ ,  $P < 0.001$ ). I valori medi di DRM e DBM per tutte le popolazioni di *B. sylvaticum*, compresa la popolazione Test, sono più bassi in individui cresciuti nel suolo del sito Bradenham Road MaiColtivato, e tendono ad essere più alti in individui cresciuti nel suolo dei siti più giovani di Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato (Figg. 5.22 e 5.23).

###### **5.4.2.1.2 Superficie Fogliare Secca (SLA)**

Per la Superficie Fogliare Specifica (SLA), si osservano effetti significativi dovuti sia alla provenienza dei semi, sia al tipo di suolo ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi (MANOVA provenienza x suolo:  $F_{4,4} = 6.59$ ,  $P < 0.001$ ). I valori medi di SLA di *B. sylvaticum* proveniente dai siti Bradenham Road MaiColtivato e Small Dean MaiColtivato sono più alti in individui cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato e più bassi in individui cresciuti nel suolo di Butterfly Bank 1970 (Fig. 5.24a,b). Invece, per quanto riguarda semi provenienti dai siti Butterfly Bank 1970 e Park Wood 2001, valori medi di SLA tendenzialmente più alti caratterizzano individui cresciuti nei suoli dei tre siti più vecchi, mentre valori medi di SLA più bassi caratterizzano individui cresciuti nei suoli dei siti più giovani, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato (Fig. 5.24c,d). Infine, SLA di *B. sylvaticum* Test risulta significativamente

maggiore in individui cresciuti nel suolo del sito Butterfly Bank 1970 ( $40.76 \pm 3.51 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) e minore in individui cresciuti nel suolo del sito Park Wood 2001 ( $34.19 \pm 3.05 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) (Fig. 5.24e).

#### **5.4.2.1.3 Tenore di Sostanza Secca (LDMC)**

Per il Tenore di Sostanza Secca (LDMC), si osservano forti effetti dovuti sia alla provenienza dei semi, sia al suolo ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi i fattori (MANOVA provenienza x suolo:  $F_{4,4} = 5.98$ ,  $P < 0.001$ ). I valori medi di LDMC di *B. sylvaticum* proveniente dai siti Bradenham Road MaiColtivato e Small Dean MaiColtivato sono significativamente più bassi in individui cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato rispetto agli individui cresciuti negli altri siti (Fig. 5.25a,b). Invece, per quanto riguarda semi provenienti da Butterfly Bank 1970, Park Wood 2001 e i semi del Test, questi generano individui con LDMC mediamente minore nei siti più vecchi e assai più alto nei siti giovani di Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato (Fig. 5.25c,d,e).

#### **5.4.2.2 *Datylis glomerata***

##### **5.4.2.2.1 Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM)**

Per la Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM), si osservano effetti significativi dovuti sia alla provenienza dei semi ( $P < 0.05$  per DRM e  $P < 0.01$  per DBM), sia al suolo dei siti ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi questi fattori (MANOVA provenienza x suolo per DRM:  $F_{4,4} = 3.39$ ,  $P < 0.001$  e MANOVA provenienza x suolo per DBM:  $F_{4,4} = 4.83$ ,  $P < 0.001$ ). Come per *B. sylvaticum*, anche i valori medi di DRM e DBM per tutte le popolazioni di *D. glomerata* sono più bassi in individui cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato, e aumentano progressivamente, tendendo ad essere più alti in individui cresciuti nei suoli dei siti più giovani di Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato (Fig. 5.26 e Fig.5.27).

##### **5.4.2.2.2 Superficie Fogliare Specifica (SLA)**

Per la Superficie Fogliare Specifica (SLA), si osservano forti effetti dovuti sia alla provenienza dei semi, sia al tipo di suolo ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi (MANOVA provenienza x suolo:  $F_{4,4} = 8.88$ ,  $P < 0.001$ ). I valori medi di SLA di *D. glomerata* proveniente da Bradenham Road MaiColtivato e da Small Dean MaiColtivato sono più alti in individui cresciuti nel suolo di Small Dean MaiColtivato (rispettivamente  $42.82 \pm 5.40 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ,  $43.85 \pm 1.76 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ), ma nettamente più bassi in individui cresciuti nel suolo del sito Park Wood 2001 (rispettivamente  $26.81 \pm 1.72 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ,  $22.82 \pm 2.19 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) (Fig. 5.28a,b). Invece, per quanto riguarda semi provenienti da Butterfly Bank 1970 e Park Wood 2001, questi generano individui



con valori medi di SLA tendenzialmente maggiori se cresciuti nel suolo di Butterfly Bank 1970, e minori se cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato (Fig. 5.28c,d). Infine, SLA di *D. glomerata* Test, risulta mediamente inferiore in individui cresciuti nel suolo di Park Wood 2001 rispetto agli altri siti (Fig. 5.28e).

#### **5.4.2.2.3 Tenore di Sostanza Secca (LDMC)**

Per il Tenore di Sostanza Secca (LDMC), si osservano forti effetti dovuti sia alla provenienza dei semi, sia al tipo di suolo dei siti ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi (MANOVA provenienza x suolo:  $F_{4,4} = 4.35$ ,  $P < 0.001$ ). Il valore medio di LDMC di *D. glomerata* proveniente dal sito Bradenham Road MaiColtivato è significativamente più alto in individui cresciuti nel suolo di Manor Farm Coltivato rispetto agli individui cresciuti negli altri siti ( $262.48 \pm 38.43 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) (Fig. 5.29a). All'opposto, in questo stesso sito, gli individui cresciuti dai semi provenienti da Small Dean MaiColtivato, presentano LDMC notevolmente più basso ( $182.75 \pm 14.243 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) (Fig. 5.29b). Per quanto riguarda i semi di Butterfly Bank 1970 e Park Wood 2001, questi generano individui caratterizzati da valori medi di LDMC più alti se cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato, e più bassi se cresciuti nel suolo di Butterfly Bank 1970 (Fig. 5.29c,d). Infine, LDMC di *D. glomerata* Test, risulta mediamente più alto in individui cresciuti nel suolo di Park Wood 2001 e più basso in individui cresciuti nel suolo di Small Dean MaiColtivato (Fig. 5.29e).

#### **5.4.2.3 *Holcus lanatus***

##### **5.4.2.3.1 Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM)**

Per la Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM), si osservano effetti significativi dovuti sia alla provenienza dei semi ( $P < 0.01$ ), sia al suolo dei siti ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi i fattori (MANOVA provenienza x suolo per DRM:  $F_{4,4} = 2.58$ ,  $P < 0.01$  e MANOVA provenienza x suolo per DBM:  $F_{4,4} = 4.11$ ,  $P < 0.001$ ). Come già visto per le altre due specie in esame, anche i valori medi di DRM e DBM per le popolazioni di *H. lanatus*, sono più bassi in individui cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato, e sono più alti in individui cresciuti nel suolo dei siti più giovani di Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato (Fig. 5.30 e Fig. 5.31).

##### **5.4.2.3.2 Superficie Fogliare Secca (SLA)**

Per la Superficie Fogliare Specifica (SLA), si osservano forti effetti dovuti sia alla provenienza dei semi, sia al suolo ( $P < 0.001$ ), sia all'interazione di entrambi (MANOVA provenienza x suolo:  $F_{4,4} = 6.91$ ,  $P < 0.001$ ). I valori medi di SLA per le popolazioni naturali di *H. lanatus* sono significativamente più bassi in individui cresciuti nel suolo di Bradenham Road

MaiColtivato e più alti in individui cresciuti nel suolo di Small Dean MaiColtivato (Fig. 5.32a,b,c,d). Anche valori medi di SLA per *H. lanatus* Test, risultano più bassi in individui cresciuti nel suolo del sito Bradenham Road MaiColtivato (Fig. 5.32e).

#### 5.4.2.3.3 Tenore di Sostanza Secca (LDMC)

Per la Tenore di Sostanza Secca (LDMC), si osservano effetti dovuti sia alla provenienza dei semi ( $P < 0.001$ ), sia al tipo di suolo ( $P < 0.01$ ), sia all'interazione di entrambi i fattori (MANOVA provenienza x suolo:  $F_{4,4} = 4.07$ ,  $P < 0.001$ ). Sembrano esserci poche somiglianze di comportamento tra le popolazioni di *H. lanatus* in esame. Per semi provenienti da Small Dean MaiColtivato, i valori medi di LDMC più alti si registrano in individui cresciuti nel suolo di Bradenham Road MaiColtivato ( $202.31 \pm 22.93 \text{ mg g}^{-1}$ ) e i più bassi in individui cresciuti nel suolo di Small Dean MaiColtivato ( $175.59 \pm 22.55 \text{ mg g}^{-1}$ ) (Fig. 5.33a). Per semi provenienti da Butterfly Bank 1970, i valori medi di LDMC più alti caratterizzano individui cresciuti nel suolo dei due siti più giovani, Park Wood 2001 ( $218.63 \pm 24.68 \text{ mg g}^{-1}$ ) e Manor Farm Coltivato ( $219.44 \pm 10.54 \text{ mg g}^{-1}$ ), e i più bassi ad individui cresciuti nel suolo del sito Small Dean MaiColtivato ( $174.05 \pm 46.39 \text{ mg g}^{-1}$ ) (Fig. 5.33b). Per semi provenienti da Park Wood 2001, non sembrano esserci sostanziali differenze tra suoli, ma, analogamente agli altri siti, i valori di LDMC mediamente più bassi si trovano in corrispondenza di Small Dean MaiColtivato (Fig. 5.33c). Infine, per semi di *H. lanatus* Test, LDMC più alto si registra in corrispondenza del sito Park Wood 2001 ( $258.82 \pm 60.93 \text{ mg g}^{-1}$ ), e più basso in Butterfly Bank 1970 ( $173.43 \pm 18.17 \text{ mg g}^{-1}$ ) (Fig. 5.33d).

**Tabella 5.23** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *B. sylvaticum* proveniente da Bradenham Road MaiColtivato (BRMC) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>B. sylvaticum</i> (BRMC)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	15.20 (3.51)	22.53 (4.80)	41.09 (1.60)	295.92 (20.70)
<b>SDMC</b>	24.43 (5.36)	36.69 (6.65)	35.85 (2.87)	333.06 (36.42)
<b>BB70</b>	56.13 (27.36)	79.31 (43.94)	33.68 (1.66)	354.73 (18.13)
<b>PW01</b>	134.44 (31.28)	108.80 (25.96)	35.42 (2.08)	345.50 (14.09)
<b>MFC</b>	107.09 (29.46)	107.60 (43.61)	38.37 (2.40)	331.50 (15.48)

**Tabella 5.24** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *B. sylvaticum* proveniente da Small Dean MaiColtivato (SDMC) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>B. sylvaticum</i> (SDMC)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	9.63 (3.03)	14.55 (4.94)	42.91 (3.83)	294.99 (20.40)
<b>SDMC</b>	30.30 (8.50)	39.03 (10.48)	38.41 (2.45)	328.50 (17.10)
<b>BB70</b>	42.33 (24.67)	61.19 (37.99)	38.25 (2.93)	317.91 (34.65)
<b>PW01</b>	97.24 (31.78)	75.18 (18.60)	38.79 (3.53)	340.75 (29.69)
<b>MFC</b>	63.86 (35.25)	51.58 (26.92)	41.69 (2.37)	321.26 (24.16)

**Tabella 5.25** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *B. sylvaticum* proveniente da Butterfly Bank 1970 (BB70) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>B. sylvaticum</i> (BB70)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	12.59 (4.19)	19.09 (6.10)	38.90 (1.60)	309.39 (16.32)
<b>SDMC</b>	32.39 (9.02)	45.21 (12.04)	39.34 (1.33)	332.70 (20.17)
<b>BB70</b>	59.81 (33.91)	101.64 (54.53)	37.48 (3.24)	311.51 (43.10)
<b>PW01</b>	114.75 (27.83)	147.06 (35.54)	32.10 (1.55)	388.41 (16.44)
<b>MFC</b>	94.15 (22.58)	115.75 (34.72)	33.47 (1.97)	394.13 (23.42)

**Tabella 5.26** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *B. sylvaticum* proveniente da Park Wood 2001 (PW01) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>B. sylvaticum</i> (PW01)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	17.91 (5.34)	25.61 (5.31)	43.39 (0.94)	289.47 (17.22)
<b>SDMC</b>	39.46 (8.40)	64.19 (18.21)	41.36 (1.24)	311.27 (9.73)
<b>BB70</b>	24.79 (2.86)	41.36 (8.42)	41.59 (3.73)	306.82 (23.24)
<b>PW01</b>	128.38 (50.96)	186.98 (78.82)	35.40 (1.64)	363.46 (23.79)
<b>MFC</b>	117.96 (23.08)	118.73 (11.95)	33.59 (2.13)	354.78 (19.04)

**Tabella 5.27** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *B. sylvaticum* Test (T) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>B. sylvaticum</i> (T)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	19.14 (6.53)	25.69 (9.61)	36.82 (1.51)	326.14 (24.02)
<b>SDMC</b>	20.26 (7.98)	29.49 (13.53)	38.43 (2.57)	323.15 (43.10)
<b>BB70</b>	25.40 (12.29)	38.36 (19.78)	40.76 (3.51)	292.07 (30.88)
<b>PW 01</b>	75.21 (27.94)	81.63 (32.38)	36.11 (1.34)	339.31 (12.85)
<b>MFC</b>	60.64 (33.52)	68.31 (45.81)	34.19 (3.05)	368.59 (36.26)

**Tabella 5.28** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *D. glomerata* proveniente da Bradenham Road MaiColtivato (BRMC) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>D. glomerata</i> (BRMC)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	30.99 (19.14)	35.36 (22.16)	35.65 (3.35)	220.47 (18.27)
<b>SDMC</b>	47.25 (40.18)	50.29 (46.52)	42.82 (5.40)	204.25 (30.35)
<b>BB70</b>	64.54 (16.53)	101.75 (41.46)	36.13 (2.38)	233.46 (18.29)
<b>PW01</b>	107.23 (29.62)	84.66 (19.49)	26.81 (1.72)	203.59 (14.83)
<b>MFC</b>	171.89 (36.55)	183.36 (47.95)	34.06 (3.89)	262.48 (38.43)

**Tabella 5.29** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *D. glomerata* proveniente da Small Dean MaiColtivato (SDMC) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>D. glomerata</i> (SDMC)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	11.91 (7.75)	17.90 (14.99)	34.34 (4.54)	236.56 (32.02)
<b>SDMC</b>	29.25 (8.61)	33.56 (11.21)	43.85 (1.76)	208.65 (9.59)
<b>BB70</b>	46.95 (25.18)	57.64 (38.98)	38.92 (4.18)	226.61 (26.39)
<b>PW01</b>	129.75 (20.66)	106.01 (15.03)	22.82 (2.19)	237.11 (12.41)
<b>MFC</b>	110.08 (30.32)	73.04 (17.68)	39.66 (2.65)	182.75 (14.24)

**Tabella 5.30** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *D. glomerata* proveniente da Butterfly Bank 1970 (BB70) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>D. glomerata</i> (BB70)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	10.91 (3.64)	11.39 (3.26)	26.04 (3.81)	247.39 (25.23)
<b>SDMC</b>	26.60 (13.30)	34.39 (18.56)	33.11 (2.55)	236.92 (9.10)
<b>BB70</b>	56.20 (13.73)	86.63 (24.51)	36.78 (5.85)	221.05 (28.80)
<b>PW01</b>	140.40 (27.62)	163.01 (49.65)	35.63 (5.13)	238.23 (29.81)
<b>MFC</b>	131.40 (27.71)	159.24 (33.00)	32.20 (3.99)	234.63 (26.65)

**Tabella 5.31** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *D. glomerata* proveniente da Park Wood 2001 (PW01) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>D. glomerata</i> (PW01)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	20.38 (13.77)	20.91 (11.27)	32.83 (2.78)	246.98 (20.18)
<b>SDMC</b>	30.71 (14.97)	35.85 (18.89)	42.01 (3.71)	206.60 (21.41)
<b>BB70</b>	43.60 (25.45)	71.73 (56.15)	42.28 (3.61)	204.91 (13.49)
<b>PW01</b>	218.31 (27.54)	347.69 (40.48)	35.26 (3.85)	232.70 (27.27)
<b>MFC</b>	121.21 (34.69)	127.53 (43.76)	33.25 (4.60)	222.51 (24.83)

**Tabella 5.32** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *D. glomerata* Test (T) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>D. glomerata</i> (T)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRNC</b>	27.20 (27.91)	29.59 (35.45)	35.49 (4.59)	238.08 (22.61)
<b>SDNC</b>	33.85 (8.04)	38.51 (11.08)	38.66 (4.39)	218.32 (21.55)
<b>BB70</b>	23.34 (8.87)	27.85 (9.53)	38.24 (4.24)	227.51 (26.80)
<b>PW01</b>	151.29 (40.20)	156.19 (47.97)	33.36 (3.42)	242.93 (16.77)
<b>MFC</b>	139.50 (20.83)	148.14 (23.73)	36.96 (5.11)	230.85 (29.25)

**Tabella 5.33** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *H. lanatus* proveniente da Small Dean MaiColtivato (SDMC) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>H. lanatus</i> (SDMC)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	8.40 (4.12)	6.11 (2.67)	32.62 (5.81)	202.31 (22.93)
<b>SDMC</b>	27.86 (9.66)	25.98 (8.73)	58.93 (9.47)	175.59 (22.55)
<b>BB70</b>	24.16 (17.87)	23.53 (17.63)	57.34 (7.32)	187.10 (18.14)
<b>PW01</b>	73.08 (36.06)	48.83 (18.03)	53.97 (4.48)	183.69 (35.48)
<b>MFC</b>	112.91 (27.04)	65.56 (6.94)	49.48 (3.67)	201.51 (23.78)

**Tabella 5.34** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *H. lanatus* proveniente da Butterfly Bank 1970 (BB70) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>H. lanatus</i> (BB70)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	12.18 (4.59)	12.76 (6.73)	46.23 (4.46)	182.92 (30.69)
<b>SDMC</b>	31.70 (16.45)	33.73 (17.00)	56.89 (11.02)	174.05 (46.39)
<b>BB70</b>	23.01 (13.92)	27.96 (16.25)	51.97 (5.70)	199.92 (23.43)
<b>PW01</b>	113.94 (21.38)	79.06 (15.41)	46.88 (3.75)	218.63 (24.68)
<b>MFC</b>	104.11 (27.73)	67.46 (37.11)	41.12 (7.20)	219.44 (10.54)



**Tabella 5.35** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *H. lanatus* proveniente da Park Wood 2001 (PW01) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>H. lanatus</i> (PW01)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	9.00 (6.13)	8.23 (5.35)	40.33 (2.51)	215.29 (23.33)
<b>SDMC</b>	14.94 (8.85)	16.94 (14.06)	50.19 (4.89)	204.90 (25.38)
<b>BB70</b>	17.54 (12.94)	19.61 (12.60)	47.39 (3.43)	211.82 (17.83)
<b>PW01</b>	47.08 (21.92)	33.15 (12.59)	45.77 (3.59)	214.21 (15.89)
<b>MFC</b>	155.23 (32.48)	153.09 (44.34)	44.23 (3.75)	230.14 (21.02)

**Tabella 5.36** Valore medio e deviazione standard (tra parentesi) di Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) in *H. lanatus* Test (t) e fatto crescere nei suoli dei siti Bradenham Road MaiColtivato (BRMC), Small Dean MaiColtivato (SDMC), Butterfly Bank 1970 (BB70), Park Wood 2001 (PW01) e Manor Farm Coltivato (MFC). Le medie sono calcolate sui valori dei caratteri misurati su otto diversi individui per ogni esperimento.

<i>H. lanatus</i> (T)	DRM (mg)	DBM (mg)	SLA (m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> )	LDMC (mg g <sup>-1</sup> )
<b>BRMC</b>	17.23 (13.97)	14.90 (15.10)	24.62 (5.62)	231.73 (26.05)
<b>SDMC</b>	21.34 (12.72)	22.55 (16.81)	35.39 (2.57)	227.28 (25.19)
<b>BB70</b>	25.59 (14.91)	24.81 (18.78)	32.23 (2.70)	173.43 (18.17)
<b>PW01</b>	129.10 (29.48)	123.34 (29.47)	35.90 (7.19)	258.82 (60.93)
<b>MFC</b>	137.83 (20.89)	120.41 (11.79)	41.06 (2.75)	217.88 (9.41)

**Tabella 5.37** Valori del coefficiente di correlazione di Pearson (r) calcolato tra Superficie Fogliare Specifica (SLA), Tenore di Sostanza Secca (LDMC), Massa Radicale Secca (DRM) e Massa Epigea Secca (DBM). I coefficienti sono stati calcolati utilizzando i dati misurati sulle tre specie per ciascuna delle cinque provenienze e per ciascuno dei cinque tipi di suolo (n = 70).

	<b>LDMC</b>	<b>DRM</b>	<b>DBM</b>
<b>SLA</b>	-0.391 ***	-0.251 *	-0.290 *
<b>LDMC</b>		0.0994 ns	0.191 ns
<b>DRM</b>			0.923 ***

*Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .*

**Tabella 5.38** Valori di F risultati da un'Analisi di Varianza Multivariata (Suolo x Provenienza) per Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) per *Brachypodium sylvaticum*.

	DRM	DBM	SLA	LDMC
<b>Provenienza</b> g.l. = 4	9.16 ***	14.83 ***	16.93 ***	5.45 ***
<b>Suolo</b> g.l. = 4	132.56 ***	80.90 **	28.89 ***	32.57 ***
<b>Provenienza x Suolo</b> g.l. = 16	3.23 ***	2.82 ***	9.90 ***	4.75 ***

Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

**Tabella 5.39** Valori di F risultati da un'Analisi di Varianza Multivariata (Suolo x Provenienza) per Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) per *Dactylis glomerata*.

	DRM	DBM	SLA	LDMC
<b>Provenienza</b> g.l. = 4	3.51 **	5.44 ***	8.66 ***	3.67 **
<b>Suolo</b> g.l. = 4	171.64 ***	131.25 ***	42.96 ***	5.34 ***
<b>Provenienza x Suolo</b> g.l. = 16	3.36 ***	5.18 ***	11.19 ***	4.67 ***

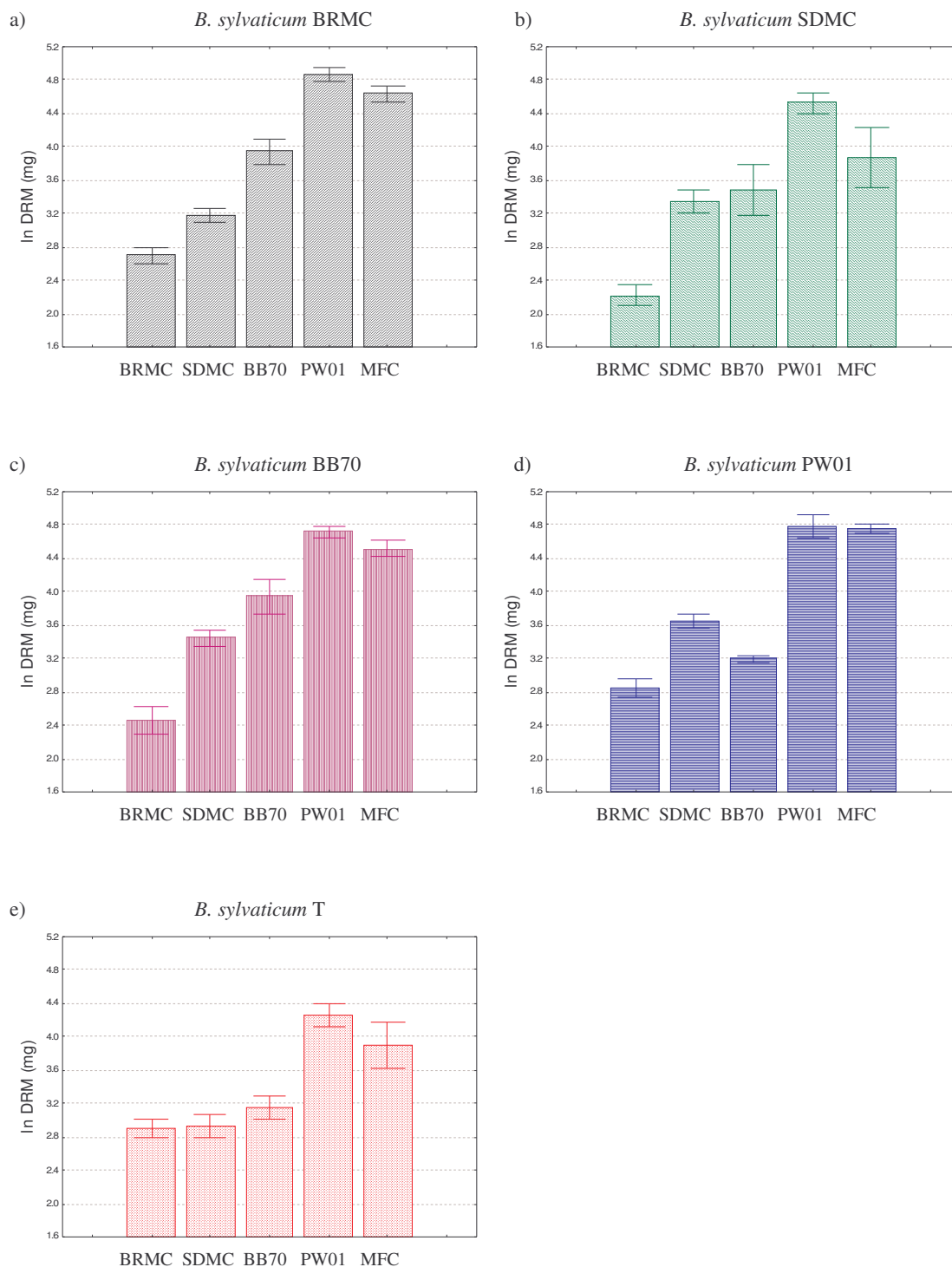
Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

**Tabella 5.40** Valori di F risultati da un'Analisi di Varianza Multivariata (Suolo x Provenienza) per Massa Radicale Secca (DRM), Massa Epigea Secca (DBM), Superficie Fogliare Specifica (SLA) e Tenore di Sostanza Secca (LDMC) per *Holcus lanatus*.

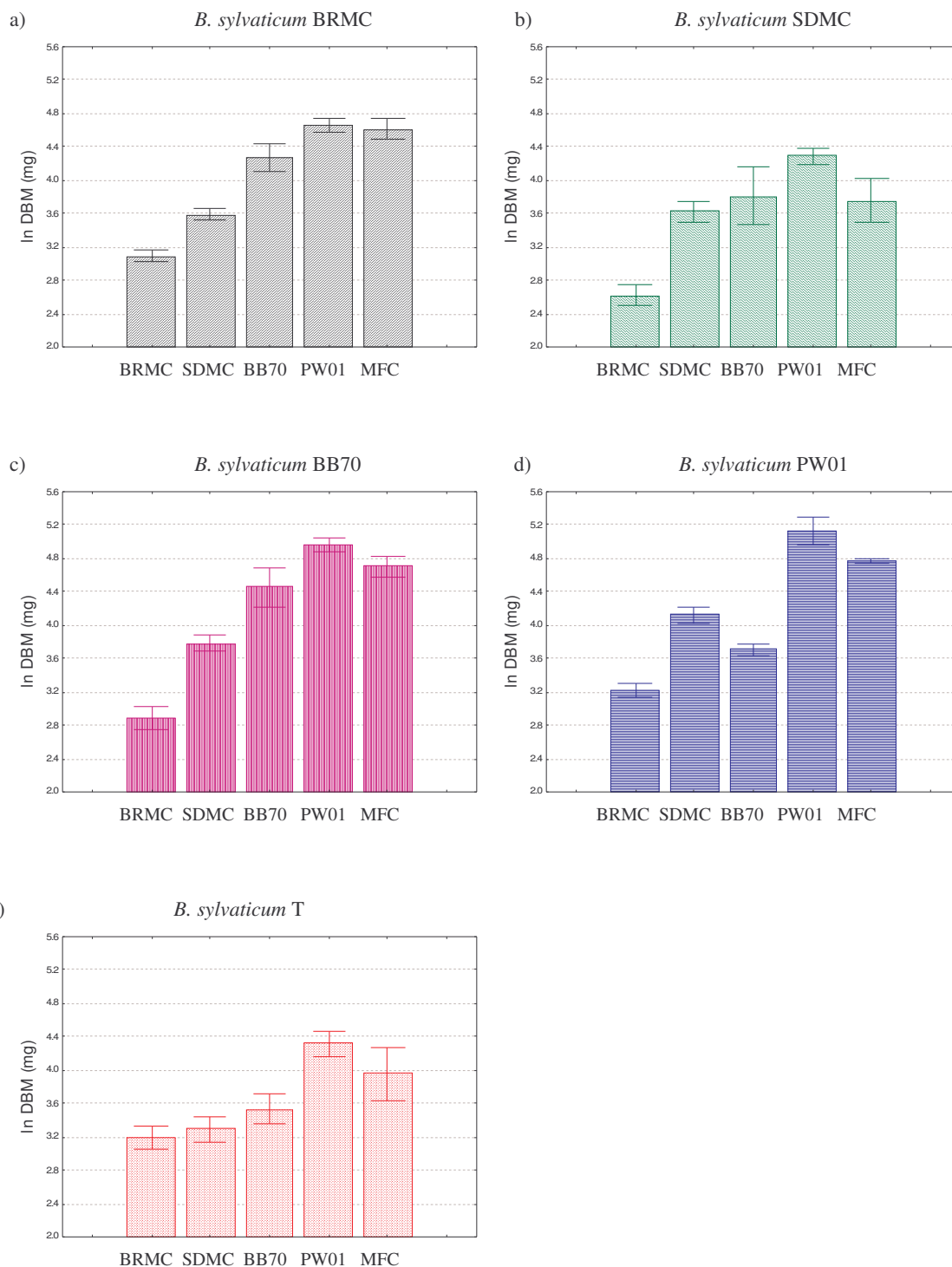
	DRM	DBM	SLA	LDMC
<b>Provenienza</b> g.l. = 4	7.47 ***	6.83 ***	74.63 ***	10.47 ***
<b>Suolo</b> g.l. = 4	140.76 ***	104.11 ***	31.35 ***	5.71 ***
<b>Provenienza x Suolo</b> g.l. = 16	2.45 **	4.15 ***	7.46 ***	3.55 ***

Livello di significatività: ns, non significativo; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

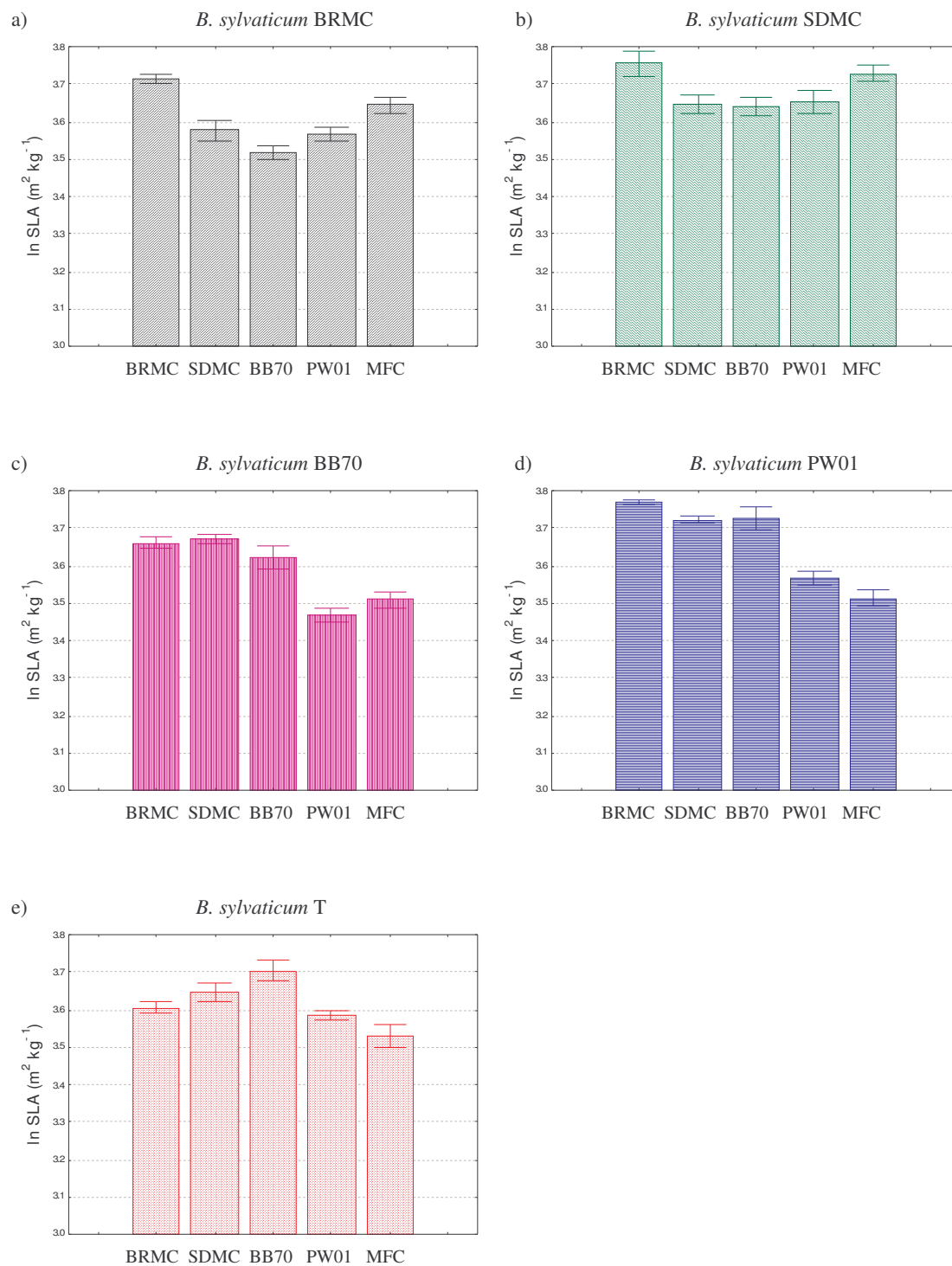
**Fig. 5.21** Effetto della provenienza di *B. sylvaticum* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterflay Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterflay Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Massa Radicale Secca (DRM). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



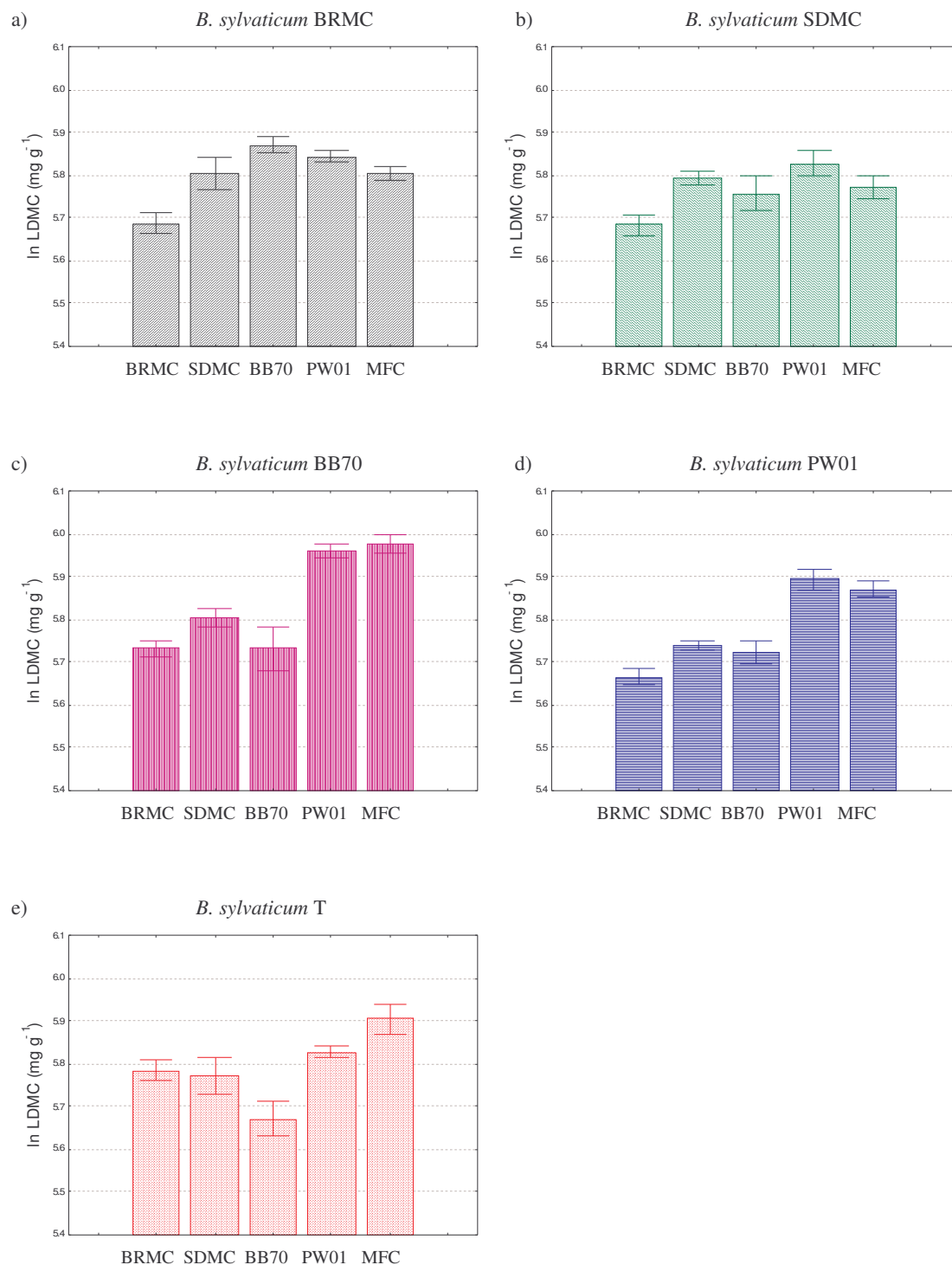
**Fig. 5.22** Effetto della provenienza di *B. sylvaticum* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Massa Epigea Secca (DFM). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



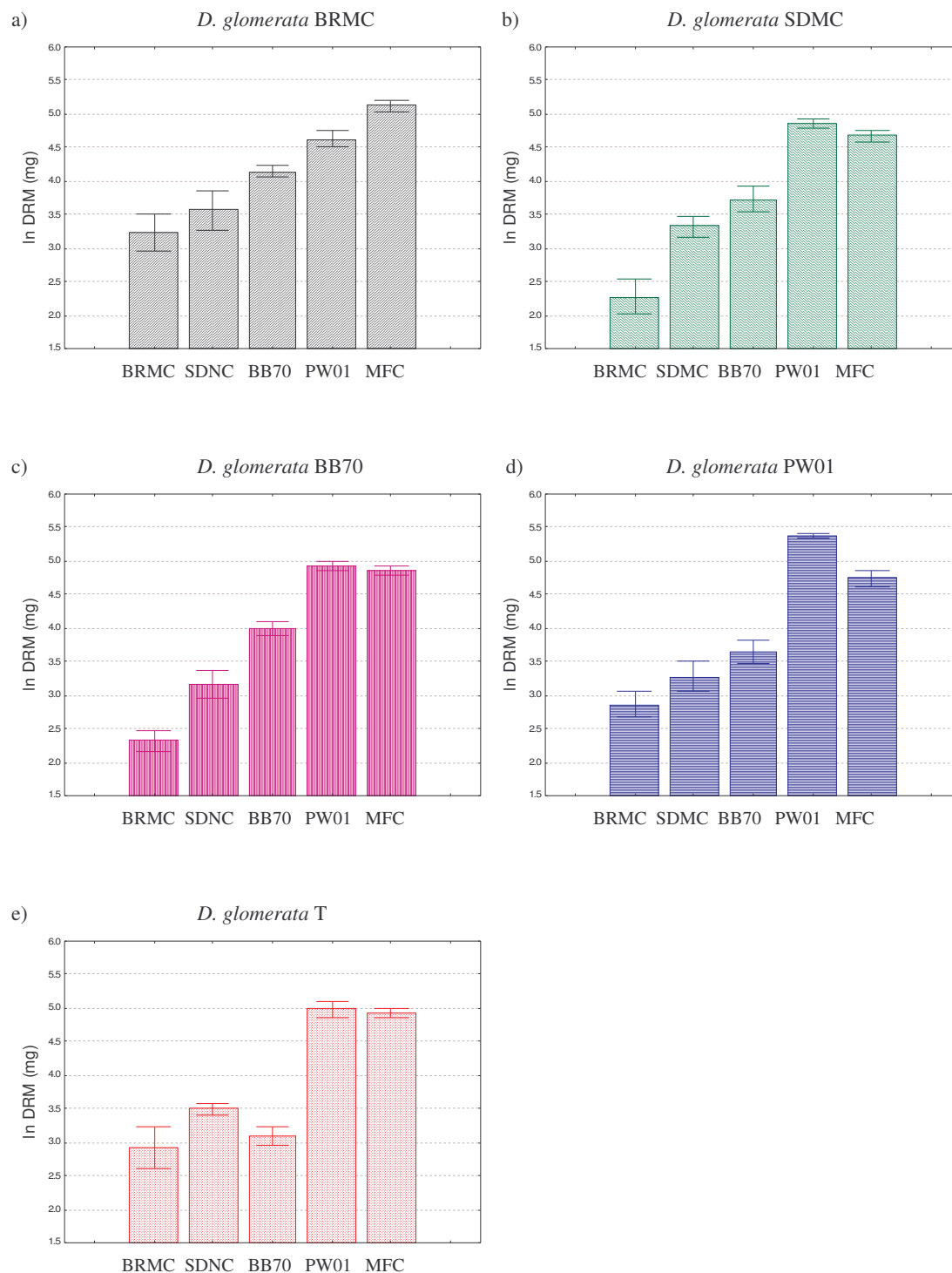
**Fig. 5.23** Effetto della provenienza di *B. sylvaticum* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Superficie Fogliare Specifica (SLA). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



**Fig. 5.24** Effetto della provenienza di *B. sylvaticum* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Tenore di Sostanza Secca (LDMC). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).

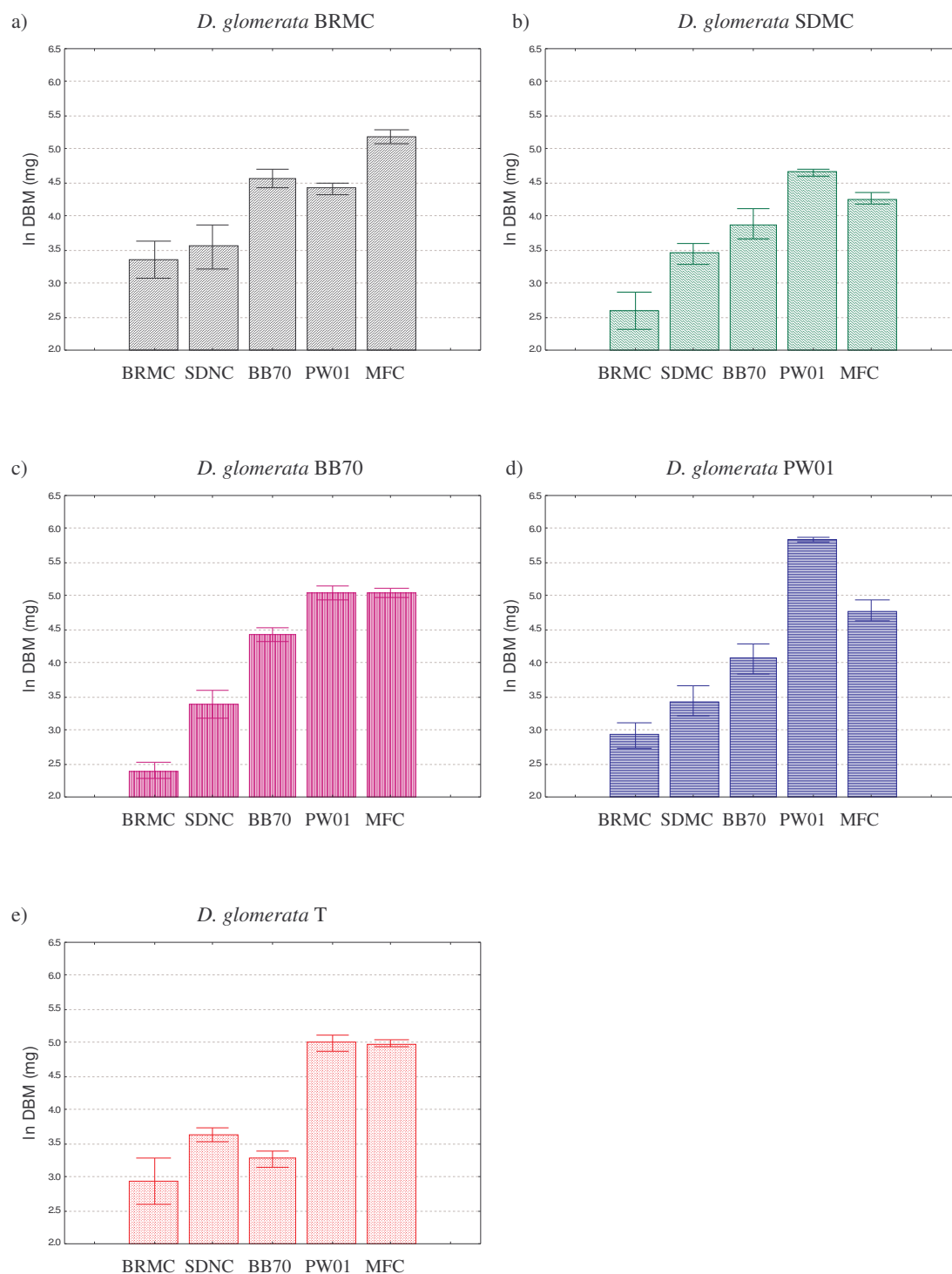


**Fig. 5.25** Effetto della provenienza di *D. glomerata* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Massa Radicale Secca (DRM). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).

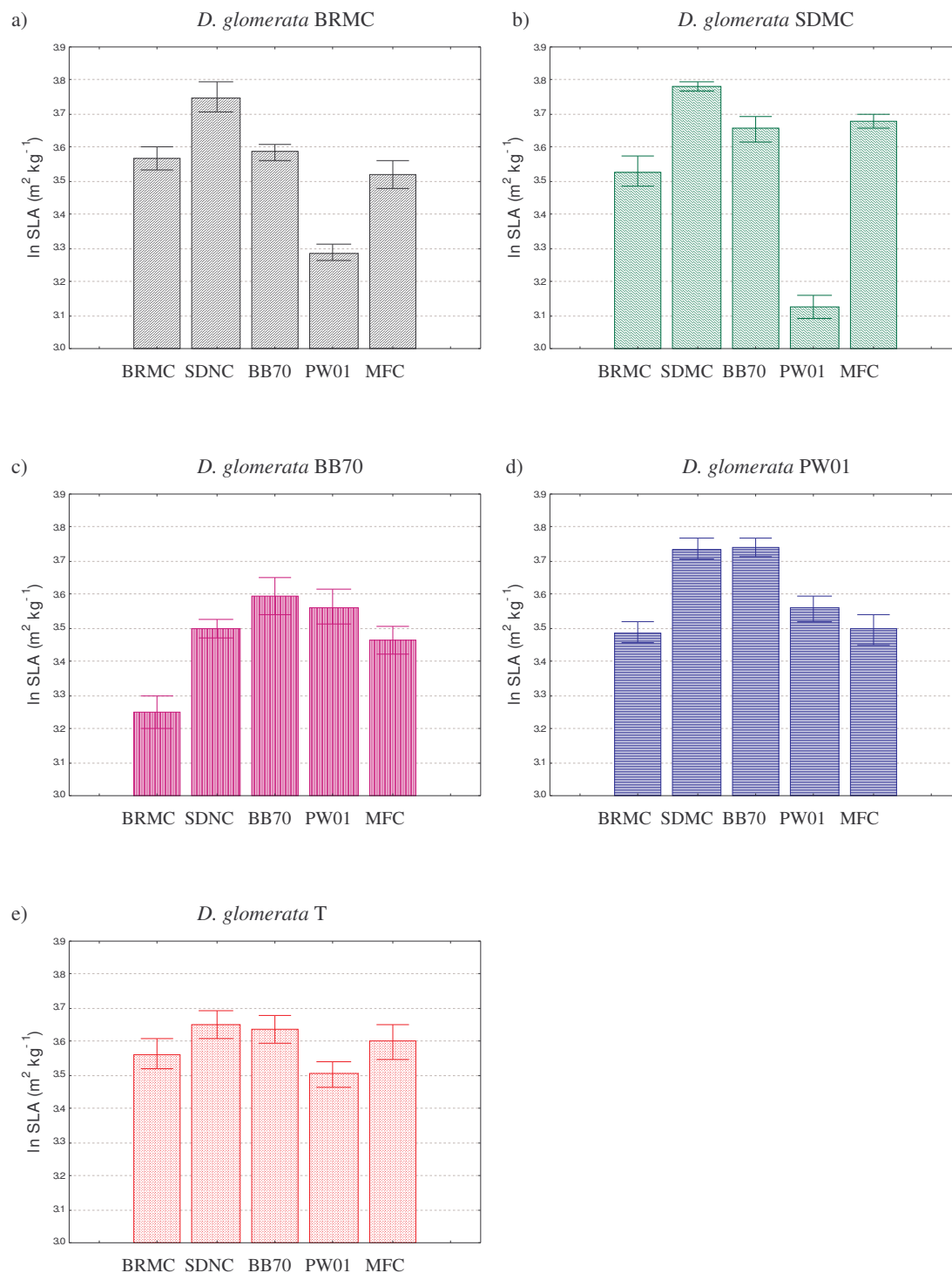




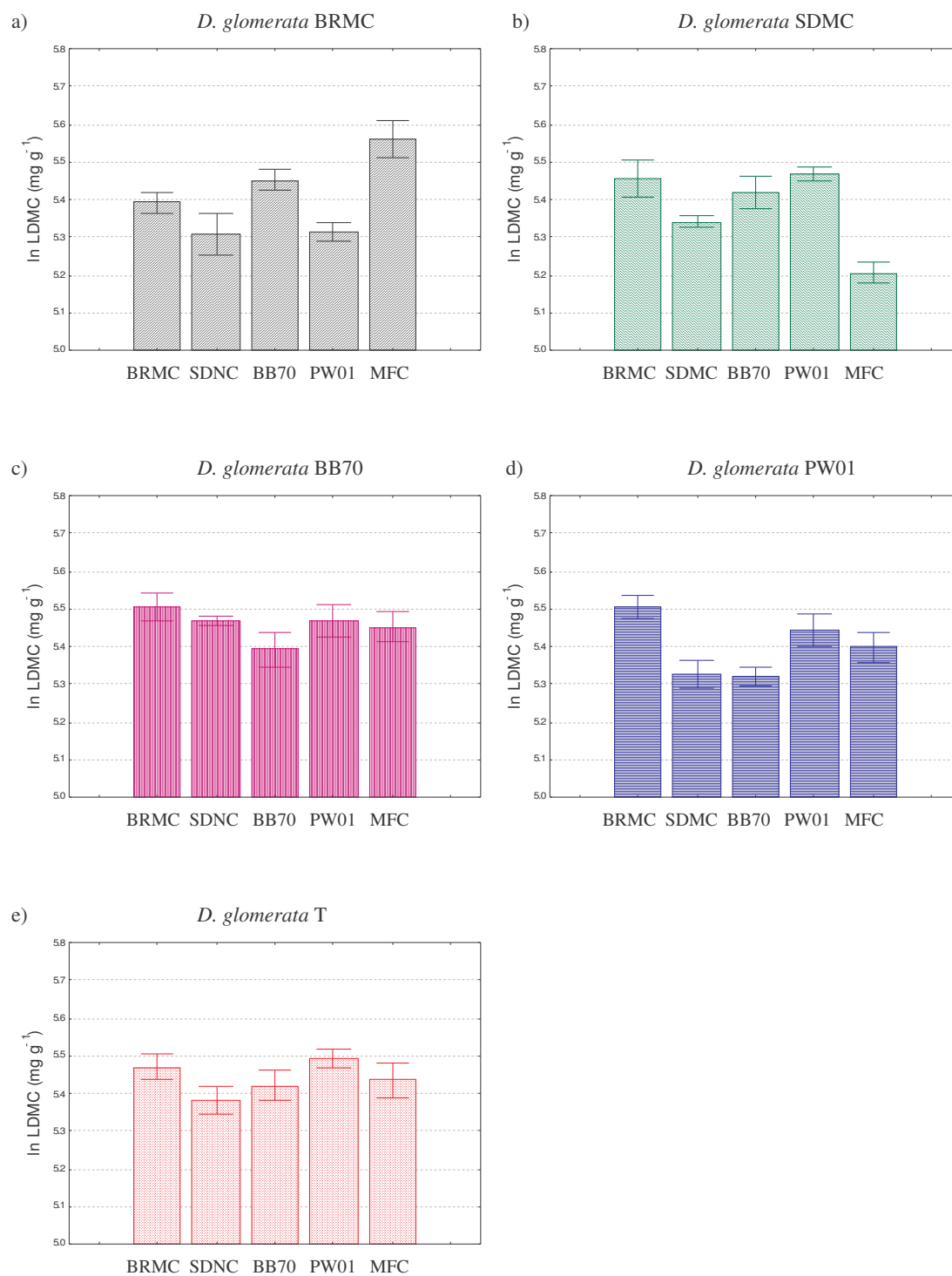
**Fig. 5.26** Effetto della provenienza di *D. glomerata* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Massa Epigea Secca (DBM). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



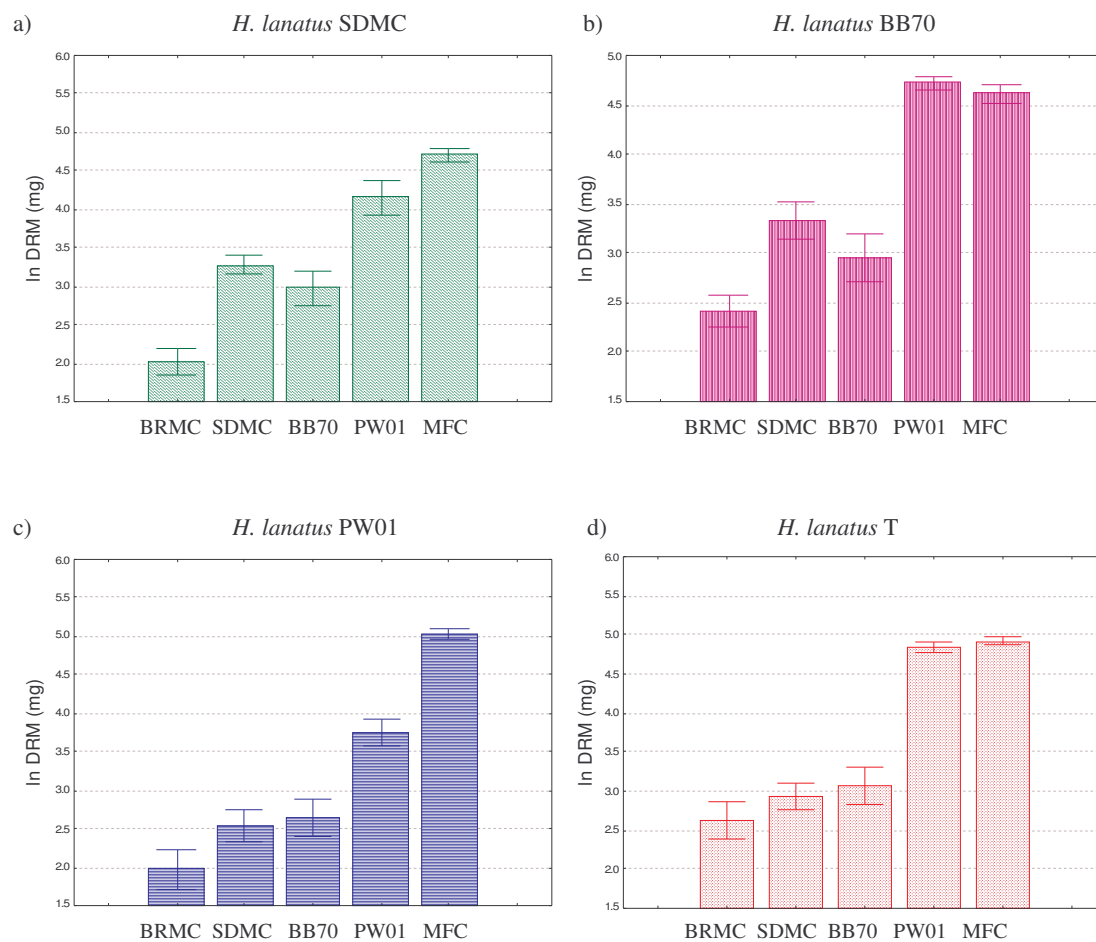
**Fig. 5.27** Effetto della provenienza di *D. glomerata* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Superficie Fogliare Specifica (SLA). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



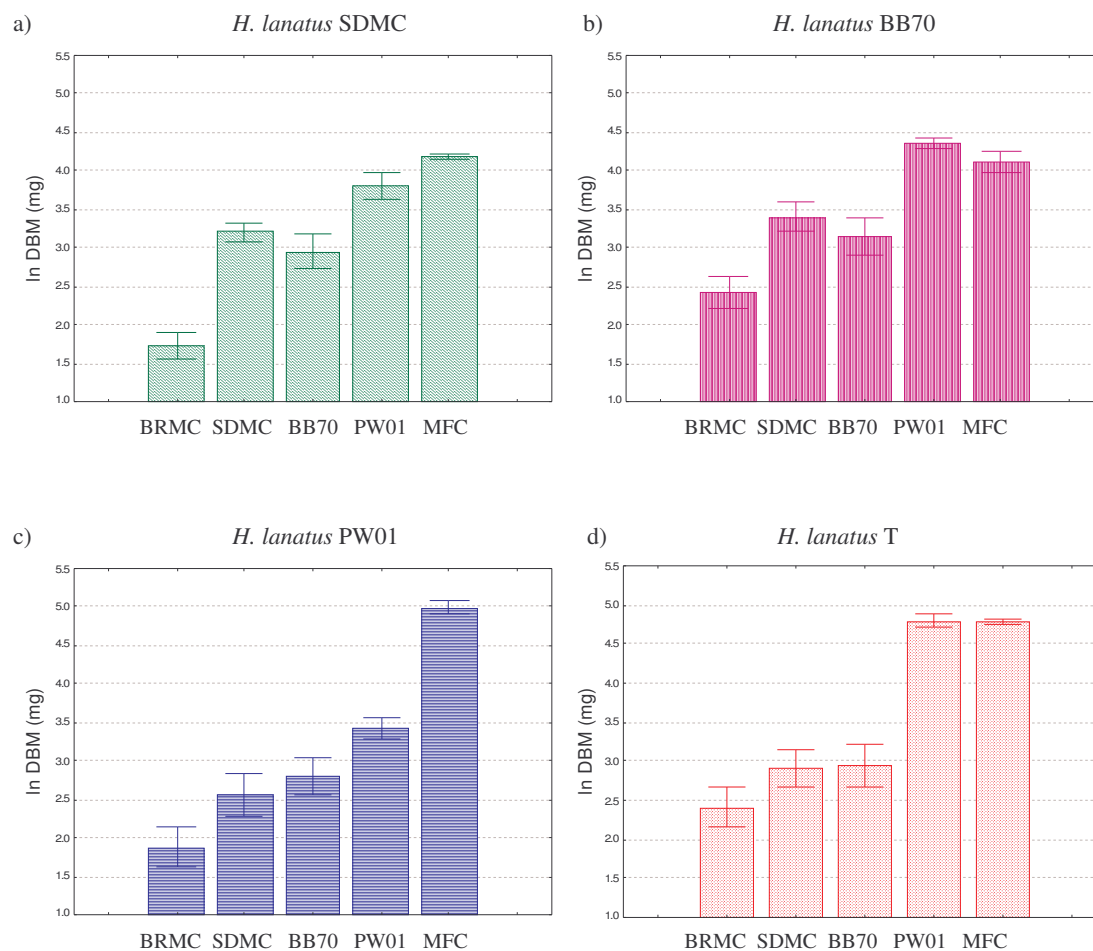
**Fig. 5.28** Effetto della provenienza di *D. glomerata* ( a) Bradenham Road MaiColtivato: BRNC; b) Small Dean MaiColtivato: SDMC; c) Butterfly Bank 1970: BB70; d) Park Wood 2001: PW01; e) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Tenore di Sostanza Secca (LDMC). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



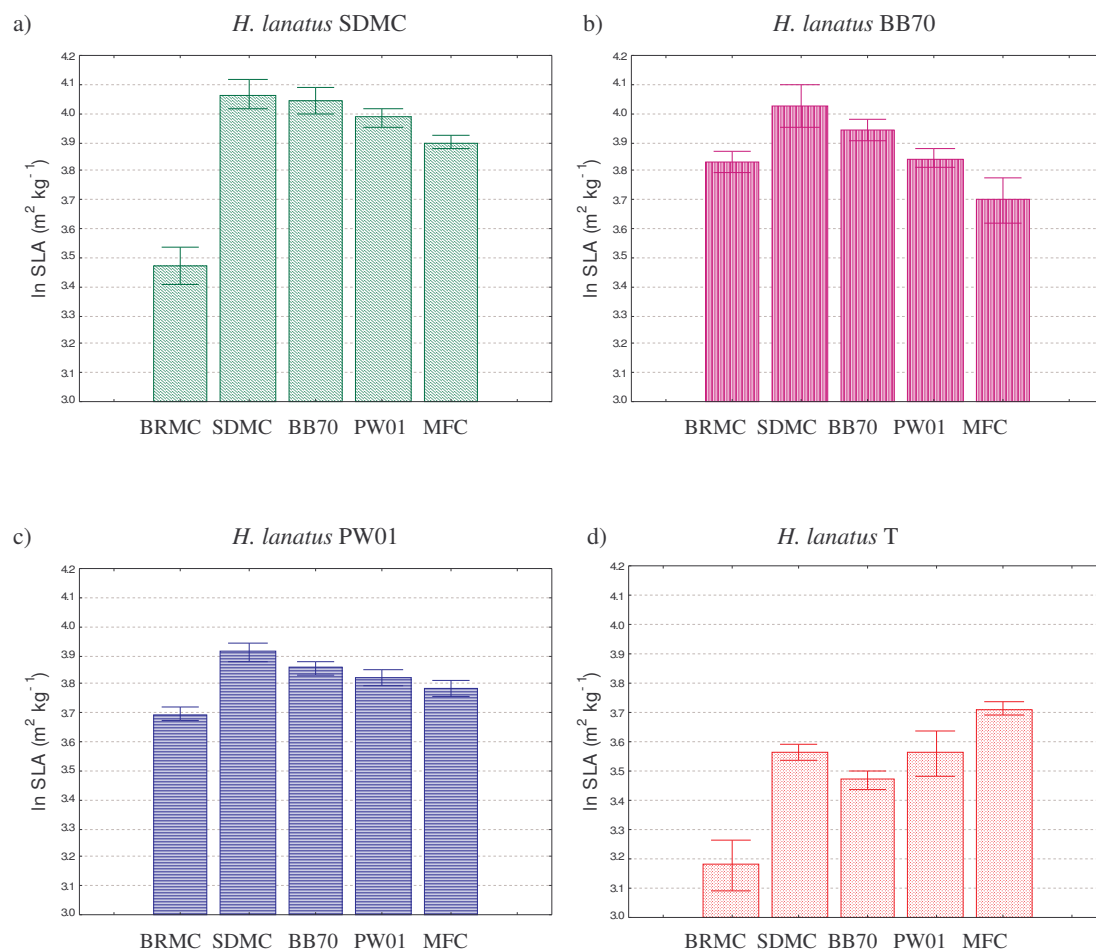
**Fig. 5.29** Effetto della provenienza di *H. lanatus* ( a) Small Dean MaiColtivato: SDMC; b) Butterfly Bank 1970: BB70; c) Park Wood 2001: PW01; d) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Massa Radicale Secca (DRM). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



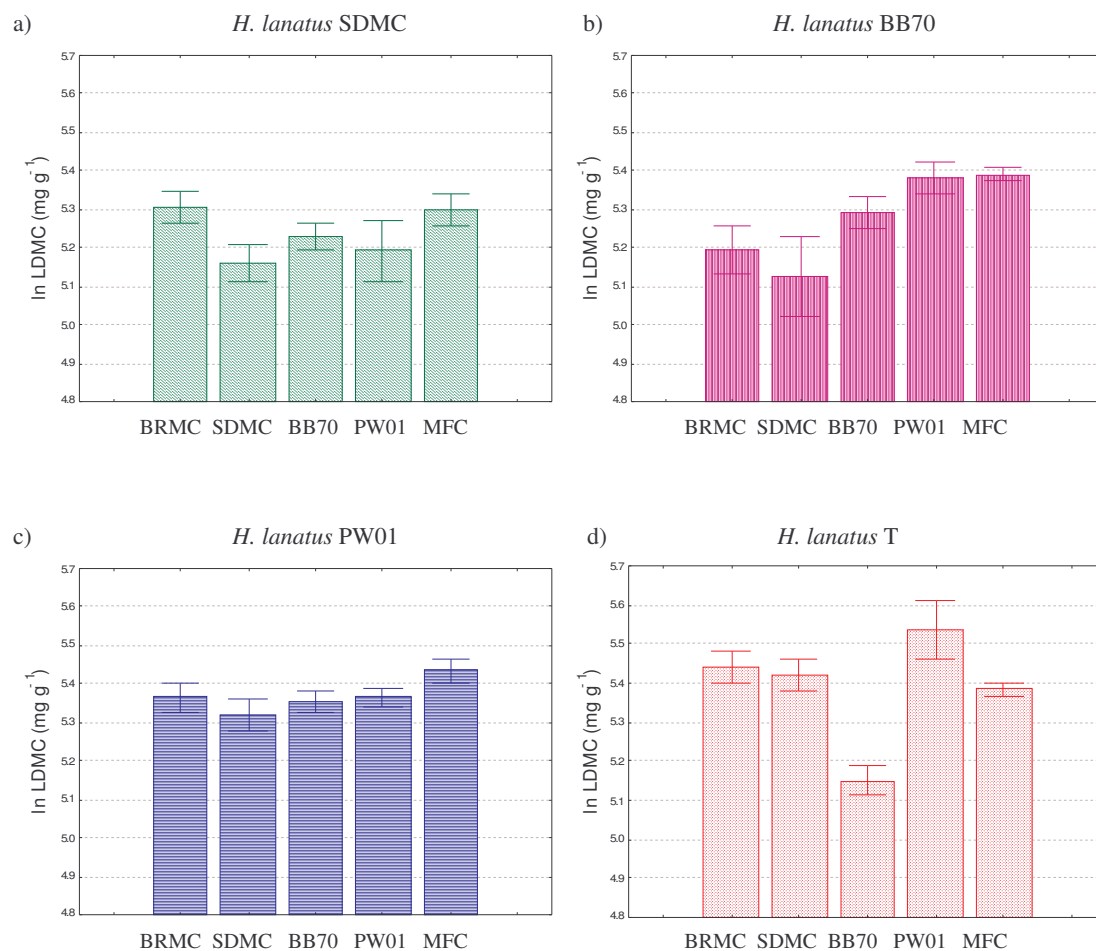
**Fig. 5.30** Effetto della provenienza di *H. lanatus* ( a) Small Dean MaiColtivato: SDMC; b) Butterfly Bank 1970: BB70; c) Park Wood 2001: PW01; d) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Massa Epigea Secca (DBM). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



**Fig. 5.31** Effetto della provenienza di *H. lanatus* ( a) Small Dean MaiColtivato: SDMC; b) Butterfly Bank 1970: BB70; c) Park Wood 2001: PW01; d) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Superficie Fogliare Specifica (SLA). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).



**Fig. 5.32** Effetto della provenienza di *H. lanatus* ( a) Small Dean MaiColtivato: SDMC; b) Butterfly Bank 1970: BB70; c) Park Wood 2001: PW01; d) Test: T) e del suolo dei cinque siti (Bradenham Road MaiColtivato: BRMC, Small Dean MaiColtivato: SDMC, Butterfly Bank 1970: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm Coltivato: MFC) per Tenore di Sostanza Secca (LDMC). In figura è riportato il logaritmo naturale delle medie  $\pm$  ES (n = 40).

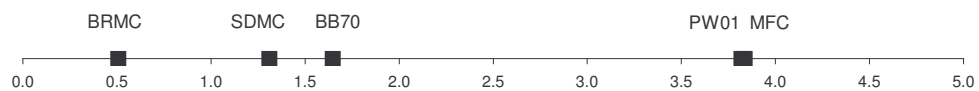


### **5.5 Costruzione del gradiente tra siti**

L'ordine dei siti lungo il gradiente definisce chiaramente due gruppi: i siti più giovani, Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato, in posizione nettamente avanzata, quasi a sovrapporsi l'un l'altro, e, in posizione retrograda nettamente distaccata, i tre siti più vecchi, Butterflay Bank 1970 seguito a breve da Small Dean MaiColtivato, e, a chiudere, da Bradenham Road MaiColtivato (Fig 5.34).



**Fig. 5.33** Ordinamento dei siti (Bradenham Road: BRMC, Small Dean: SDMC, Butterflay Bank: BB70, Park Wood: PW01, Manor Farm: MFC) lungo un gradiente individuato dal rispettivo Valore Funzionale (VF).



## 6. DISCUSSIONE

### 6.1 Parametri vegetazionali

#### 6.1.1 Correlazione tra i Contributi Specifici di Graminacee, Leguminose e di altre famiglie

In tutti i siti, ad un aumento del Contributo Specifico di Graminacee, corrisponde una marcata diminuzione sia del Contributo Specifico di Leguminose, che del Contributo Specifico di altre famiglie. *B. pinnatum* e *B. erectus* svolgono una parte da protagonista in questa caratterizzazione, essendo circa il 90% delle Graminacee presenti. Inoltre, in tutti e cinque i siti, indipendentemente dal tipo di gestione, il Contributo Specifico di Graminacee è nettamente dominante rispetto a quello delle altre specie, in contrasto con i risultati ottenuti da Willems (1983), dove, in siti gestiti a sfalcio o a pascolo, dopo dieci anni dall'inizio dell'esperimento, la percentuale di specie erbacee raggiungeva circa il 60% rispetto alle Graminacee, mentre nei siti completamente abbandonati, scendeva al di sotto del 20%.

#### 6.1.2 Correlazione tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di Graminacee e tra Fitomassa fotosintetizzante/Necromassa e Contributo Specifico di altre famiglie

Un rapporto fitomassa su necromassa piccolo si può avere sia nei siti non sfalciati, a causa di una consistente presenza di necromassa stabile, sia in autunno nei siti sfalciati, a causa dell'asportazione della fitomassa avvenuta durante lo sfalcio estivo. Si è visto che in concomitanza alla riduzione del valore di tale rapporto, il Contributo Specifico di Graminacee tende ad aumentare, mentre quello delle altre famiglie diminuisce. Pare quindi che l'aumento di necromassa sia positivamente correlato alla presenza delle Graminacee e in particolare di *B. pinnatum* e di *B. erectus* che sono le specie dominanti. Anche studi precedenti hanno già fatto notare come l'aumento di necromassa e lettiera siano strettamente legati alla presenza di queste specie, e in particolare di *B. pinnatum* (Bobbinks & Willems, 1987; Hurst & John, 1999). Willems (1983) ha rilevato che circa dieci anni dopo l'abbandono, la lettiera di *B. pinnatum*, rappresenta il 60% della fitomassa totale durante il periodo estivo. Wells (1974) ha osservato questo fenomeno anche per *B. erectus* in praterie calcaree della Gran Bretagna, dove sette anni dopo l'abbandono circa il 70% del materiale vegetale era lettiera.

Il fatto che non ci siano sostanziali differenze dal punto di vista vegetazionale, tra i siti gestiti a sfalcio e quelli invece dove lo sfalcio non avviene, potrebbe essere legato ancora alla presenza della necromassa. Lo spesso strato formato dal materiale senescente di *B. pinnatum*, impedirebbe il germinare e l'instaurarsi anche di specie arbustive ed arboree.

### 6.1.3 Correlazione del Contributo Specifico di *B. pinnatum* con le altre specie

Non sorprende che l'incremento del Contributo Specifico di *B. pinnatum* sia negativamente associato al Contributo Specifico di Leguminose e al Contributo Specifico di altre famiglie. Diversi ecologi hanno già fatto notare in precedenza come la presenza di *B. pinnatum*, che tende a diventare dominante al cessare delle pratiche gestionali in aree prative abbandonate, sia un problema per la coesistenza con le altre specie (Ratcliffe, 1984; Willems, 1990; Bobbink & Willems, 1991, 1993; Hurst & John, 1999). In solo 10-15 anni, *B. pinnatum* può raggiungere il 90% della fitomassa totale, causando un drammatico declino della diversità e numero di specie (Bobbink & Willems, 1987). In un esperimento condotto da Willems (1980) sullo studio della vegetazione nella riserva naturale di Gererndal (Olanda) in aree abbandonate intorno agli anni '70, si poteva vedere chiaramente, a distanza di dieci anni, un incremento della copertura di *B. pinnatum* pari all'80%, e un decremento della diversità di specie del 40%, con una perdita di circa il 20% del numero di specie rispetto alla situazione iniziale. Il successo di *B. pinnatum* è probabilmente associato sia alla sua capacità di espansione con rizomi, sia alla sua alta produzione di semi vitali (Buckland *et al.*, 2001). Sembra inoltre che la sua diffusione possa essere favorita anche da varie tipologie di disturbo, come il pascolamento, gli incendi (Moog *et al.*, 2005) o l'incremento delle concentrazioni di azoto atmosferico (Bobbink, 1991; Bobbink *et al.*, 1987). Nelle aree dove diventa dominante, soprattutto se non avviene lo sfalcio, questa specie genera uno spesso strato di lettiera, riducendo in questo modo la capacità di penetrazione della luce a scapito di specie di più bassa statura e impedendo in modo meccanico la germinazione dei semi e la crescita dei germogli delle altre piante (Grime, 1979; Bobbink *et al.*, 1987; Bobbink & Willems, 1991, 1993).

Dai risultati ottenuti, sembra che *B. pinnatum* e *B. erectus*, siano specie competitive tra loro, e all'aumentare del Contributo Specifico dell'una, corrisponde la diminuzione del Contributo Specifico dell'altra. In media comunque, *B. erectus* è, tra le due, la specie dominante in quasi tutti i siti, ad eccezione di Stanzano Sfalcio. Probabilmente, le ampie zone di suolo scoperto, la forte pendenza e la gestione a sfalcio con l'asportazione totale della copertura erbacea che caratterizzano questo sito, favoriscono il dilavamento, ostacolando la penetrazione delle radici di *B. erectus*, ma non l'apparato di rizomi del *B. pinnatum*.

### 6.1.4. Correlazione tra il Valore Pastorale e i Contributi Specifici di *B. pinnatum* e di *B. erectus*

In generale, l'aumentare della dominanza di *B. pinnatum* comporta un declino del Valore Pastorale della prateria, dovuto non solo al suo basso Indice Specifico di Valore Pastorale, ma soprattutto al conseguente decremento delle altre specie, come confermato anche da studi condotti da Hurst *et al.* (1999) sulle praterie calcaree dell'Inghilterra Meridionale. La

dominanza di *B. pinnatum*, quindi, potrebbe essere favorita anche dalla sua scarsa palatabilità per gli erbivori che preferiscono altre specie (Grime, 1996; Hjältén *et al.*, 1993).

*B. erectus*, a differenza di *B. pinnatum*, sembra invece incidere positivamente nella determinazione del Valore Pastorale dei siti.

## **6.2 Caratteri funzionali (traits) di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata***

### **6.2.1 Analisi della congruenza dei ranghi tra le specie**

I caratteri funzionali sono spesso utilizzati per comparare studi tra specie e comunità, ma raramente viene testata la loro congruenza (Weiher *et al.*, 1999; Garnier *et al.* 2001a). Basandosi su studi condotti precedentemente, è stata verificata con un coefficiente di Spearman, la congruenza tra ranghi di tre *traits* rappresentativi del comportamento ecologico delle specie in questione – Superficie Fogliare Specifica, SLA, Tenore di Sostanza Secca, LDMC e Concentrazione di Azoto Fogliare, LNC - per i quali si avevano a disposizione *sets* completi di dati per le due stagioni, primavera e autunno, e per entrambi gli anni di campionamento, 2006 e 2007. La stabilità dei ranghi tra specie per un dato carattere dipende sia dalla direzione della risposta del *trait* alle variazioni ambientali, che dalle relative variabilità intra- e interspecifiche per questo carattere. Il rango della specie rimane stabile se i *traits* non variano, o variano mantenendo le reciproche relazioni; oppure quando i *traits* mostrano diversa plasticità in relazione all'ambiente, ma la differenza nella risposta a tale variazione resta comunque più bassa rispetto alla loro differenza iniziale. In tutti gli altri casi, la congruenza del rango delle specie non è mantenuta (Garnier *et al.* 2000a). Se si è certi della riproducibilità del carattere in questione attraverso il tempo e lo spazio, questo può essere utilizzato significativamente nel cogliere eventuali differenze biologiche ed ecologiche nel confronto tra le specie (Roche *et al.* 2004). Piante della stessa specie, raccolte in siti diversi, sono probabilmente geneticamente diverse, ma piante raccolte nello stesso sito in stagioni o anni differenti, appartengono alla stessa popolazione. La maggior parte delle variazioni temporali nei caratteri funzionali potrebbe allora essere attribuita alla plasticità fenotipica, mentre per le variazioni spaziali, ovviamente entrano in gioco anche i fattori legati a differenze genotipiche. Il coefficiente di Spearman calcolato tra anni indica che la congruenza tra ranghi è ben preservata per tutti i *traits* esaminati, in particolare per LDMC e SLA, rispetto a LNC. Anche tra stagioni, il rango delle specie è ben mantenuto sia per SLA che per LDMC, ma non lo è per LNC. Questo significa che la variabilità stagionale di LNC può condizionare la consistenza della classificazione funzionale, in quanto sembrano esserci forti interazioni tra specie, condizioni ambientali e fenologia delle specie stesse, riferite a questo carattere.

E' stato inoltre rilevato che, sempre tra stagioni, il coefficiente dei ranghi di Spearman è meglio conservato per LDMC rispetto a SLA, in contraddizione con quanto osservato in studi

precedenti (Jurik, 1986; Gratani & Crescente, 1997; Cunningam *et al.*, 1999; Poorter & De Long, 1999; Wilson *et al.*, 1999; Garnier *et al.*, 2001a; Roche, 2004). Anche tra siti, LNC manifesta un più basso grado di ripetibilità rispetto agli altri due *traits*.

Considerazioni sulla congruenza tra ranghi delle specie basata su LDMC e SLA rispetto a LNC, confermano quanto già intuito da Hevia *et al.* (1999) e Garnier (2001a), e cioè che una classificazione basata sui caratteri legati alla struttura e morfologia della foglia è più affidabile rispetto ad una classificazione basata sui caratteri legati alla composizione biochimica della foglia. Questo porta a tralasciare a priori la verifica di una eventuale congruenza dei ranghi anche per quei caratteri funzionali relativi al Contenuto in Fibra Fogliare (Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri) per i quali, non avendo potuto completare il *sets* di dati per entrambi gli anni, non è stato possibile calcolare direttamente il coefficiente di Spearman.

Sembra dunque che LDMC, in accordo con quanto trovato anche in studi precedenti (Poorter & De Jong, 1999; Wilson *et al.* 1999, Cunningham *et al.*, 1999; Garnier *et al.*, 2001a, Al Haj Khaled *et al.*, 2005), grazie alla sua maggior ripetibilità intertemporale e interspaziale rispetto a SLA e LNC, possa essere il *functional trait* migliore per caratterizzare le specie.

### 6.2.2 Analisi della correlazione tra *traits*

I risultati ottenuti confermano le correlazioni già trovate tra SLA, LDMC e LNC (Wilson *et al.*, 1999; Wright *et al.*, 2004; Shipley *et al.*, 2005; Pontes *et al.*, 2007).

LDMC inoltre è risultato positivamente correlato con Emicellulosa, Lignina e Ceneri. Questo non sorprende, in quanto LDMC dipende dalla densità della foglia e dalla sua anatomia (Garnier & Laurent, 1994; Shipley & Vu, 2002; Niinemets & Kull, 2003), e più precisamente riflette la somma del mesofillo sui composti strutturali della foglia. Alti valori di LDMC corrispondono a una bassa porzione di mesofillo ed epidermide e ad un'alta porzione di tessuti vascolari e sclerenchima (Dijkstra, 1989; Niemann, 1996; Kazakou *et al.*, 2006). In termini di composizione chimica, questo significa foglie ricche di emicellulosa, zuccheri insolubili e lignina (Poorter & Bergkotte, 1992). Dalle analisi condotte ( cfr. Tabelle 5.11, 5.13, 5.15 e 5.1) *B. pinnatum* risulta essere la specie con valori di LDMC, Emicellulosa, Lignina e Ceneri più alti, seguita da *B. erectus* e infine da *D. glomerata*. La più alta percentuale di tessuti sclerenchimatici in *B. pinnatum*, suggerisce che le sue foglie siano più longeve, resistenti ai danni fisici e agli erbivori (Wright & Illius, 1995) con più lento *turn-over* (Pammenter *et al.*, 1986; Van Arendonk & Poorter, 1994) e tempi più lunghi di decomposizione. Per questo, *B. pinnatum*, potrebbe essere la specie che incide maggiormente nella formazione dello strato di necromassa e lettiera, soprattutto nei siti dove non avviene lo sfalcio. La trasformazione delle foglie verdi in lettiera è stato studiato da Gillon *et al.* (1999) sui composti instabili [composti instabili = materia organica – emicellulosa + cellulosa + lignina] di 12 specie usando una spettroscopia a raggi

infrarossi. I composti instabili risultavano significativamente correlati con LDMC, con la velocità relativa di crescita (RGR) e con la decomposizione della lettiera. Specie con un'elevata produzione di biomassa (alto RGR e basso LDMC), producevano una lettiera più ricca di composti instabili e quindi decomponibile più velocemente. Le caratteristiche fisiche della foglia sembrano dunque determinanti nell'interpretare i processi di decomposizione (Gallardo & Merino, 1993; Gillon *et al.*, 1994; Cornelissen & Thompson, 1997), e, viste le correlazioni ottenute, queste proprietà possono essere bene rappresentate da LDMC. Il Tenore di Sostanza Secca quindi, risulta essere non solo un carattere funzionale facilmente misurabile in grado di esprimere le proprietà ecologiche delle singole specie, come già dimostrato in numerosi studi precedenti (Wilson *et al.*, 1999; Vendramini *et al.*, 2002; Garnier *et al.*, 2004), ma anche un indice diretto delle caratteristiche della lettiera, ossia del ciclo di decomposizione della materia organica, e più in generale del funzionamento dell'ecosistema in esame.

#### **6.2.2.1 Tenore di Sostanza Secca (LDMC) versus Superficie Fogliare Specifica (SLA)**

Un consistente numero di studi è stato condotto per determinare la relazione tra SLA e LDMC (Wilson *et al.*, 1999; Garnier *et al.*, 2001b; Shipley & Vu, 2002). In generale, un incremento di SLA è associato a un decremento di LDMC. In uno studio condotto da Garnier *et al.* (2001b) la correlazione tra SLA e LDMC è stata trovata essere  $-0.96$ . Le specie selezionate nell'esperimento di Garnier *et al.* erano *Kickxia spuria* (Scrofulariacea, con bassi valori di LDMC e alti di SLA), *Psoralea bituminosa* (Leguminosa, con valori intermedi di SLA e LDMC) e *Phyllirea latifolia* (Oleacea, con alti valori di LDMC e bassi di SLA). La relazione relativa ai dati di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata*, è in accordo con tali risultati, ma con coefficiente di correlazione inferiore, pari a  $-0.67$ .

Approfondendo le relazioni che intercorrono tra le rette di regressione Standardized Major Axis (SMA) che interpolano i punti relativi a ciascuna specie, sono emersi comportamenti diversi. Nel primo, che caratterizza *D. glomerata*, valori mediamente più alti di SLA sono associati ai valori di LDMC più bassi. Questa combinazione determina una risposta positiva alla disponibilità di nutrienti, permettendo a *D. glomerata* di compensare gli effetti dovuti ad un eventuale disturbo con una rapida velocità di crescita (Poorter *et al.*, 1990; Ryser & Lambers, 1995; Fynn *et al.*, 2005; Loualt *et al.*, 2005; Gross *et al.*, 2006). Specie con queste caratteristiche aumentano le loro capacità competitive in praterie fertili, anche sfalciate o mediamente pascolate (MacDougall & Turkington, 2004), ma risultano svantaggiate qualora vi sia un cambiamento delle condizioni ambientali, soprattutto a causa di deficit idrico (Liancourt *et al.*, 2005). Nei siti in esame, *D. glomerata* codomina con due specie cosiddette a crescita lenta, *B. pinnatum* e *B. erectus*, caratteristiche di *habitat* poco produttivi, che presentano valori di LDMC significativamente più elevati. Questi valori sembrano essere legati al fatto di avere

foglie più spesse, condizione di vantaggio in caso di siccità, poichè è noto che uno strato consistente di mesofillo permette una massimizzazione dell'acqua all'interno e una migliore dispersione della luce captata, mantenendo comunque temperature più basse (Knapp *et al.*, 1988; Backer & Bowyer, 1994; Smith *et al.*, 1998). Tuttavia, nonostante sia *B. pinnatum* che *B. erectus* siano entrambe specie tipicamente adattate ad ambienti poveri di risorse, presentano comportamenti diversi. I risultati ottenuti evidenziano che, in corrispondenza degli stessi valori di LDMC, *B. pinnatum* presenta valori di SLA più elevati rispetto a *B. erectus*. Questo potrebbe essere correlato alle differenze nella misura di superficie fogliare che caratterizzano queste due specie: il peso secco della foglia, infatti, tende ad aumentare più rapidamente dell'area fogliare, il che rende SLA una funzione decrescente della massa fogliare, come già discusso da Shipley (1995) in uno studio condotto su 34 specie erbacee. Valori più alti di SLA per *B. pinnatum* rispetto a *B. erectus* potrebbero quindi essere una conseguenza del fatto di avere foglie più larghe e più sottili, tipico di specie che tollerano anche condizioni di media luminosità (Wilson *et al.*, 1999).

Invece, bassi valori di SLA e bassi valori di LDMC, associati a *B. erectus*, potrebbero essere l'espressione di un'adattativa in risposta allo stress dovuto all'esposizione ad intense luminosità e alla carenza d'acqua, che promuove foglie piccole, spesse, sclerofille, tendenzialmente cilindriche (Ehleringer & Cooper, 1992; Smith *et al.*, 1998), rendendo questa specie particolarmente tollerante in caso di condizioni ambientali sfavorevoli, come confermato anche da studi precedenti (Grime *et al.*, 1996; Liancourt *et al.*, 2005). Questo è perfettamente in accordo con quanto già discusso da Körner (2003), per cui le condizioni ambientali non sono mai fattori di stress per quelle specie che normalmente vivono in una data situazione. Lo potrebbero essere invece per quelle specie, come in questo caso *D. glomerata*, che non presentano tali adattamenti.

#### **6.2.2.2 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) versus Superficie Fogliare Specifica (SLA)**

In accordo a quanto sostenuto da un consistente numero di studi precedenti (Kull & Niinemets, 1993; Garnier & Freijssen, 1994; Reich & Walters, 1994; Reich *et al.*, 1998; Garnier *et al.*, 1999), anche per le tre specie in questione è stata trovata un'associazione positiva tra SLA e concentrazione di azoto. Entrambi sono parametri coinvolti nei processi fotosintetici, poichè SLA, essendo direttamente correlato alla superficie fogliare, esprime un indice di cattura della luce, mentre LNC dipende dalla concentrazione dei complessi fotosintetici per unità di massa (Evans & Seemann, 1989). La Superficie Fogliare Specifica inoltre, è inversamente correlata alla densità e/o allo spessore della foglia stessa (Witkowski & Lamont, 1991; Abrams *et al.*, 1994; Garnier & Laurent, 1994). Garnier e Laurent (1994), confrontando specie perenni e annuali, hanno trovato una maggiore densità fogliare per le prime rispetto alle seconde, in

relazione alla presenza di una più alta porzione di sclerenchima e tessuti vascolari. L'aumento delle componenti strutturali è in grado di determinare una riduzione degli apparati fotosintetici e del potenziale di diffusione della luce e dell'anidride carbonica all'interno della cellula, rallentando l'efficienza fotosintetica (Van Arendonik & Poorter, 1994). La relazione tra SLA e LNC è in grado, quindi, di dare una buona idea dell'efficienza fotosintetica delle diverse specie (Reich *et al.*, 1998).

Garnier *et al.* (1997) non ritengono che i valori di SLA trovati per *B. erectus* e *D. glomerata* (rispettivamente 17.0 e 20.4 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>) e LNC (rispettivamente 1.31 e 1.53 mg g<sup>-1</sup>) possano essere sufficientemente grandi per caratterizzare differenze di densità fogliare tra queste due specie. Tuttavia, le variazioni in intercetta e *shift* trovate tra le rette di regressione Standardized Major Axis (SMA) di *B. erectus* rispetto a *B. pinnatum*, e di *B. erectus* rispetto a *D. glomerata*, portano comunque a credere che ci sia una differenziazione morfologica e funzionale significativa di questa specie rispetto alle altre due. Il comportamento di *B. pinnatum* invece, sembra sostanzialmente simile a *D. glomerata*, confermato anche dal fatto che non ci sono differenze significative tra le intercette delle rette SMA per queste due specie. Tendenzialmente, ad una data concentrazione di azoto, le foglie con valori di SLA inferiori sono quelle di *B. erectus*, mentre le foglie con valori superiori sono quelle di *B. pinnatum* e di *D. glomerata*. Il motivo di queste variazioni sembra essere legato a differenze strategiche e strutturali tra le specie cosiddette a crescita rapida, come *D. glomerata*, con concentrazioni di azoto più elevate, e specie a crescita lenta, come *B. erectus* (Poorter & Berkotte 1992, Van Der Werf *et al.*, 1993, Garnier & Vancaeyzeele 1994).

### **6.2.2.3 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC) versus Tenore di Sostanza Secca (LDMC)**

In accordo con quanto trovato da Pontes *et al.* (2007), la regressione tra LNC e LDMC ha un più basso r<sup>2</sup> rispetto alle precedenti e non è significativa. E' stato comunque dimostrato in altri studi precedenti, che foglie con alte concentrazioni di azoto tendono ad avere generalmente anche alte concentrazioni di amido e composti secondari (Waring *et al.*, 1985; Niemann *et al.*, 1992) che ne aumentano la densità fogliare e quindi LDMC.

## **6.2.3 Analisi di Varianza**

### **6.2.3.1 Superficie Fogliare Specifica (SLA)**

In ambienti mediterranei e sub-mediterranei, la produzione di superficie fogliare avviene soprattutto in concomitanza dei periodi di massima produttività, ossia in primavera e autunno, mentre è limitata da due fattori principali: le basse temperature durante la stagione invernale, e il periodo di siccità durante la stagione estiva (Roy, 1982; Garnier & Roy, 1988). Il fatto che in entrambi gli anni di campionamento, in primavera, si siano osservati per *D. glomerata* e *B.*



*pinnatum* valori di SLA simili e mediamente maggiori rispetto a *B. erectus*, suggerisce che queste due specie siano meno sensibili alle basse temperature invernali rispetto a *B. erectus*, in accordo anche con quanto trovato da Garnier & Roy (1988) per *B. erectus* e *D. glomerata*.

*B. pinnatum* presenta sempre valori di SLA più alti in primavera rispetto all'autunno, contrariamente a quanto succede per *B. erectus* e *D. glomerata*. Questi risultati, potrebbero essere dovuti alla scarsa tolleranza di *B. pinnatum* alla carenza d'acqua durante l'estate. Studi precedenti condotti da Corcket *et al.* (2003) hanno dimostrato infatti, come questa specie sia sensibile al deficit idrico, molto più di quanto non lo sia *B. erectus*.

Le stagioni non incidono significativamente sul comportamento delle specie nei cinque siti, tuttavia è possibile cogliere degli andamenti comuni in relazione alle variazioni delle precipitazioni stagionali. Vari studi precedenti infatti, indicano che la disponibilità d'acqua può indurre variabilità nei *traits* (Cunningam *et al.*, 1999; Vendramini *et al.*, 2002). La densità dei tessuti fogliari, per esempio, diminuisce all'aumentare della concentrazione d'acqua all'interno della foglia e di conseguenza SLA aumenta (Shypley, 1995; Meziane & Shypley, 1998; Cunningam *et al.*, 1999; Pyankov *et al.*, 1999; Wilson *et al.* 1999). In accordo con i dati meteorologici per l'anno 2006 (cfr. Fig. 4.1a), valori di SLA mediamente più alti in autunno rispetto alla primavera, potrebbero essere in relazione all'alta piovosità registrata soprattutto nel mese di settembre e precedente all'inizio del campionamento. Unica eccezione si ha nel sito Zannini Sfalcio 1, dove i valori di SLA risultano leggermente superiori in primavera rispetto all'autunno. Una spiegazione potrebbe essere data dalla tessitura del suolo di questo sito (Bolzan *et al.*, 2008). Si tratta infatti di un suolo caratterizzato da una consistente percentuale di sabbia (43.69%) rispetto agli altri (cfr. Tabella 4.1). L'assestamento spaziale delle particelle fa sì che a parità di condizioni, i terreni sabbiosi abbiano un maggiore volume di spazi vuoti rispetto a terreni argillosi e limosi, per cui l'acqua tende a defluire più rapidamente. Probabilmente in Zannini Sfalcio 1, il terreno che ha una notevole componente sabbiosa, non ha di fatto trattenuto la più abbondante acqua di precipitazione disponibile nell'autunno 2006, per cui non ci sono state differenze di risposta nelle foglie delle specie in questione e quindi nei valori di SLA.

L'anno 2007, invece, è stato particolarmente secco, con 1/5 delle precipitazioni in settembre 2007, rispetto alle precipitazioni del medesimo mese nell'anno 2006 (cfr. Fig. 4.1b). Nei siti dell'area Zannini, valori più alti di SLA si sono registrati in primavera rispetto all'autunno, viceversa è successo nei siti dell'area Stanzano. Dunque le piante nell'area Zannini sembrano aver risentito maggiormente del lungo periodo di aridità protrattosi oltre il normale, rispondendo con valori di SLA in autunno più bassi del consueto. Ciò non è successo per le specie nell'area Stanzano, che probabilmente sono già adattate a situazioni generalmente più secche per via delle specifiche condizioni della stazione, caratterizzata da una maggior pendenza e quindi anche da una minor disponibilità di acqua nel suolo.

Infine, da notare che nel 2007, *B. erectus* mantiene valori di SLA pressochè costanti tra primavera e autunno, mentre *D. glomerata*, ricalca il medesimo comportamento del 2006, con valori di SLA minori in autunno. Sembra quindi che *D. glomerata* abbia maggior successo nella ripresa vegetativa dopo un periodo di forte siccità estiva rispetto a *B. erectus*, in accordo con quanto riportato in uno studio condotto da Roy *et al.* (1987).

### **6.2.3.2 Tenore di Sostanza Secca (LDMC)**

Molti autori hanno sottolineato che il Tenore di Sostanza Secca è molto meno variabile rispetto agli altri caratteri funzionali, anche rispetto ad SLA (Witkowski & Lamont, 1991; Garnier *et al.*, 1997; Westoby *et al.*, 1998; Wilson *et al.*, 1999), in quanto è indipendente dallo spessore della foglia e dalle caratteristiche dei tessuti, e può quindi rappresentare una valida chiave di lettura per interpretare l'allocatione e l'utilizzo delle risorse da parte delle piante (Garnier *et al.*, 2001a). Foglie con elevati valori di LDMC sono proprie di specie a crescita lenta e si adattano bene in ambienti poveri di risorse, tendono ad essere particolarmente spesse, resistenti ai danni sia fisici che meccanici (Cornelissen *et al.*, 2003) e piuttosto longeve. Infine LDMC sembra essere anche un buon indicatore della decomponibilità e digestibilità della lamina, con la quale è negativamente correlato (Al Hay Khaled *et al.*, 2005; Louault *et al.*, 2005). Come atteso dalla relazione inversa che lega SLA e LDMC, *D. glomerata*, che presenta valori di SLA maggiori rispetto *B. pinnatum* e *B. erectus*, è la specie con valori di LDMC più bassi. Questo in accordo anche con quanto trovato da Gross *et al.* (2007), per cui *D. glomerata* risulta essere una specie tipica di situazioni fertili, che compensa gli effetti arrecati dal disturbo con una rapida velocità di crescita. Tuttavia, mentre i valori di SLA più bassi si registrano per *B. erectus*, seguiti da *B. pinnatum*, non c'è la stessa corrispondenza inversa per LDMC, e i valori di LDMC più alti sono quelli di *B. pinnatum* rispetto a *B. erectus*. Questo potrebbe essere attribuito agli effetti causati dallo spessore particolarmente notevole delle foglie del *B. erectus* nella determinazione di SLA. Infine, *B. erectus* e *D. glomerata* non presentano grandi differenze tra i valori di LDMC medi primaverili e quelli autunnali, sia nel 2006 che nel 2007, mentre quelli di *B. pinnatum* in primavera sono sempre inferiori rispetto all'autunno. E' evidente che tra le tre specie, *B. pinnatum* è senza dubbio quella che risente maggiormente del periodo di siccità durante l'estate, rispondendo allo stress idrico con un aumento di densità e sclerificazione dei tessuti fogliari, a conferma di quanto già visto in precedenza per SLA.

Per quanto riguarda i valori di LDMC delle tre specie, non ci sono significative differenze tra siti durante il 2006. Tuttavia si può notare che tendenzialmente, il sito Zannini Sfalcio 2 presenta sempre valori di LDMC più bassi rispetto agli altri. Valori di LDMC più alti, sono stati descritti per ambienti con scarsa disponibilità di risorse (Cunningham *et al.*, 1999, Cruz *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2002). Sembra quindi possibile distinguere per la maggiore fertilità e

produttività, il sito Zannini Sfalcio 2 rispetto agli altri. I motivi di questa differenza restano tuttavia ancora da chiarire. Diversa è la situazione nel 2007, dove *B. pinnatum* presenta valori di LDMC particolarmente elevati in corrispondenza del sito Zannini Sfalcio 2. Analizzando più in dettaglio questo sito, si vede come, per *B. pinnatum*, ci sia stato un aumento notevole dei valori di LDMC dalla primavera all'autunno (rispettivamente  $340.84 \pm 9.87 \text{ mg g}^{-1}$  e  $423.10 \pm 35.75 \text{ mg g}^{-1}$ ) rispetto a quanto successo negli altri quattro siti, dove si è registrato sempre un aumento, ma non negli stessi termini (cfr. Tabella 5.18). Probabilmente, come *B. erectus* e *D. glomerata*, anche *B. pinnatum* risponde in genere alle condizioni di maggior fertilità del sito Zannini Sfalcio 2, con bassi valori di LDMC. Però, la particolare sensibilità di *B. pinnatum* alla disponibilità d'acqua, ha reso la popolazione di questo sito, la più colpita dalle condizioni di stress idrico durante il periodo estivo, rispetto alle popolazioni della medesima specie appartenenti agli altri siti.

Infine, per quanto riguarda gli effetti delle stagioni sui siti, anche i valori di LDMC, confermano quanto già osservato per SLA in relazione al fatto che, i siti dell'area Zannini presentano valori di LDMC in autunno superiori alla primavera, e viceversa succede per i siti dell'area Stanzano.

### 6.2.3.3 Concentrazione di Azoto Fogliare (LNC)

*B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata* riflettono ancora una volta *trends* adattativi differenti. Le concentrazioni di azoto fogliare in *D. glomerata* sono sempre mediamente maggiori rispetto a quelle delle altre due specie. Il ciclo dell'azoto all'interno della pianta infatti rallenta in specie con una strategia più conservativa, come *B. pinnatum* e *B. erectus*, trattenendo i nutrienti e producendo foglie più longeve (Chapman *et al.*, 2006). A differenza di quanto avviene per *B. erectus* e *D. glomerata*, che presentano concentrazioni di azoto minori in primavera e maggiori in autunno, sia nel 2006 che nel 2007, la concentrazione di N nelle foglie di *B. pinnatum* tende a rimanere pressoché costante nel 2007. In accordo a quanto visto in precedenza, questa specie sembra essere particolarmente sensibile al deficit idrico, per cui, in risposta ad un periodo particolarmente secco come l'estate del 2007, investe maggiormente in composti della parete cellulare piuttosto che in composti fotosintetici (Lambers & Poorter, 1992). Particolare è la situazione per quanto riguarda la concentrazione di azoto fogliare nelle tre specie, in relazione alla diversa gestione dei siti in questione. Studi precedenti hanno dimostrato come lo sfalcio e il pascolo accelerino il ciclo dell'azoto, incoraggiando la crescita di biomassa fogliare e radicale delle piante stesse (Bardgett *et al.*, 1998; Leriche *et al.*, 2001; Lipson & Schmidt, 2004), e determinino un aumento nella concentrazione di nutrienti (N e P) nelle foglie di piante sia annuali che perenni (Holland *et al.*, 1992; Hiernaux & Turner, 1996).

Questa risposta sembra essere dovuta sia a meccanismi fisiologici in seguito alla defogliazione dovuta allo sfalcio o al pascolo (Bardgett *et al.*, 1998), sia ad un'augmentata capacità

nell'acquisizione di nutrienti del suolo da parte dell'apparato radicale (Wallace & Macko, 1993). I risultati ottenuti relativi al comportamento di tutte e tre specie nel 2006, non sembrano però rilevare particolari differenze tra siti gestiti a sfalcio e siti non sfalciati. Diversa appare invece la situazione nel 2007, dove, nei siti Zannini NoSfalcio e Stanzano NoSfalcio, le concentrazioni di azoto in autunno sono significativamente inferiori rispetto ai siti sfalciati. Sembra quindi che lo sfalcio estivo abbia contribuito a mantenere invariati i livelli di azoto nelle foglie in autunno, ma queste differenze sono emerse solo in concomitanza a condizioni particolarmente sfavorevoli dovute al prolungato stress idrico dell'estate 2007.

#### **6.2.3.4 Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri**

Studi precedenti hanno già evidenziato come specie a crescita lenta e adattate ad ambienti con scarse risorse idriche, siano maggiormente ricche di parete cellulare e relativamente povere di composti citoplasmatici e vacuolari (Brendse, 1994; Van Arendonk & Poorter, 1994). Sembra infatti che la sclerificazione dei tessuti fogliari, primariamente associata ai fasci e guaine vascolari, sia strettamente legata più alla disponibilità d'acqua che non dei nutrienti nel suolo (Garnier & Laurent, 1994; Cunningham *et al.*, 1999). Valori di Emicellulosa e Lignina mediamente più alti in *B. pinnatum* e *B. erectus* rispetto a *D. glomerata*, che corrispondono ad una maggior concentrazione di tessuti sclerenchimatici nelle foglie, rispecchiano questo adattamento (Van Arendonk & Poorter, 1994; Poorter & Bergkotte, 1992; Aerts, 1999). Come conseguenza si può pensare che *B. pinnatum* e *B. erectus*, che sono le specie dominanti, produrranno nei siti dove non avviene lo sfalcio, una lettiera di lenta decomposizione, con uno scarso rilascio di nutrienti e alte concentrazioni di composti secondari. Tuttavia, proprio in Zannini NoSfalcio e Stanzano NoSfalcio, le tre specie tendono ad avere valori di Lignina mediamente più bassi rispetto agli altri siti. Forse, in questo caso, la presenza costante di uno strato di vegetazione senescente che ricopre la vegetazione, trattenendo più efficacemente l'umidità, crea una sorta di microambiente particolare, in grado di rallentare l'evaporazione e di trattenere più acqua nei tessuti fogliari.

### **6.3 Analisi dei Valori Vegetazionali, dei Valori Funzionali e costruzione di un gradiente tra siti**

In letteratura non si trovano molti esempi di uso combinato di indici che descrivono ricchezza di specie, produttività e ricchezza funzionale dei siti contemporaneamente. Spesso, la diversità di specie, intesa semplicemente come numero di specie coesistenti, sembra essere un parametro sufficiente per quantificare anche la diversità funzionale e sono stati proposti vari indici di dominanza e/o diversità, come l'indice di Shannon (Shannon & Weaver, 1949) o l'indice di Simpson (Simpson, 1949), per il calcolo del numero delle specie e delle loro proporzioni (Diaz

& Cabido, 2001; Loreau *et al.*, 2003). Recentemente, altri metodi sono stati discussi per calcolare la diversità funzionale di una comunità (Mason *et al.*, 2003, 2005; Botta-Dukàt, 2005; De Bello *et al.*, 2006; Leps *et al.*, 2006). Tra questi l'utilizzo del coefficiente di Rao, sembra essere uno strumento valido in quanto si tratta di una generalizzazione dell'indice di Simpson della diversità, e può essere utilizzato sia per un singolo carattere, che per molti (Botta-Dukàt, 2005; Ricotta, 2005; Petchey & Gaston, 2006). Tuttavia, le decisioni metodologiche principali riguardano ancora come misurare la differenza funzionale tra le specie e come caratterizzare le comunità. Le differenze funzionali tra specie dipendono soprattutto dalle strategie di cattura e conservazione delle risorse e dalle capacità competitive e di adattamento agli stress ambientali (Grime, 2001). L'utilizzo di *functional traits* facilmente misurabili riferiti alle specie dominanti della comunità in esame, si è rivelato un soddisfacente strumento per questo tipo di caratterizzazione (Garnier *et al.*, 2004). Per comprendere a fondo la diversità funzionale di un sito quindi, è necessario decidere quali specie considerare per descrivere la comunità, quanti e quali parametri utilizzare, come pesarli, come combinarli insieme (Leps *et al.*, 2006).

L'approccio nuovo qui presentato, si propone di rappresentare i siti in esame contemporaneamente sotto più punti di vista, combinando ricchezza di specie e ricchezza funzionale insieme, per cogliere, le risposte della comunità prativa alle variazioni ambientali.

Applicando il metodo proposto, è possibile caratterizzare i siti dell'area Zannini come migliori dal punto di vista vegetazionale e funzionale rispetto a quelli dell'area Stanzano, sia nelle primavere 2006 e 2007 che nell'autunno 2006. Invece, nell'autunno 2007, si possono vedere risposte differenti tra i siti, a seguito del prolungato periodo di siccità estivo protrattosi oltre il normale. Dal punto di vista funzionale, i siti sfalciati dell'area Zannini non manifestano particolari variazioni. Invece, i siti Stanzano Sfalcio e Stanzano NoSfalcio aumentano il loro Valore Funzionale, probabilmente in relazione al fatto che le specie vegetali presenti, già adattate a condizioni ambientali più difficili che caratterizzano questi stessi siti, sono in grado di rispondere in maniera più efficace in caso di periodi di stress idrico prolungato. Zannini NoSfalcio si comporta come i siti dell'area Stanzano. Probabilmente tale comportamento è dato dal diverso tipo di gestione, e l'assenza di uno sfalcio annuale rende questa comunità prativa funzionalmente più simile ai siti dell'area Stanzano anziché a quelli dell'area Zannini di appartenenza. Inoltre, i siti gestiti con sfalcio presentano un Valore Vegetazionale che tende a diminuire o a rimanere costante dalla primavera all'autunno, mentre nei siti non sfalciati tale valore aumenta. Questo potrebbe essere dovuto alla presenza di una maggior quantità sia di biomassa che necromassa non asportate con lo sfalcio, e quindi in grado di proteggere il suolo e le piante presenti da un'eccessiva perdita d'acqua durante il periodo secco, permettendo così la sopravvivenza anche di specie maggiormente sensibili a stress idrico.

La costruzione di un gradiente relativo tra siti, basato sui Valori Vegetazionali e Funzionali, permette di valutare le risposte stagionali ed annuali dei siti stessi. In primavera, l'ordinamento dei siti lungo il gradiente evidenzia tre gruppi distinti lungo il gradiente: in posizione avanzata il gruppo dell'area Zannini gestiti a sfalcio, segue in posizione isolata e centrale Zannini NoSfalcio, e infine, chiude il gruppo dell'area Stanzano. In autunno quest'ordine non viene rispettato: i siti Zannini Sfalcio 1 e Zannini Sfalcio 2, pur mantenendosi in posizione avanzata, si allontanano tra di loro, Zannini NoSfalcio e Stanzano NoSfalcio si avvicinano, fino quasi a sovrapporsi, mentre Stanzano Sfalcio si porta in posizione terminale. Durante il periodo estivo sembra quindi che le comunità prative rispondano in due modi diversi sia allo sfalcio che al prolungato periodo di siccità. Da un lato, entrambi questi fattori, se considerati singolarmente, tendono a differenziare i siti anche all'interno della stessa area, dall'altro, disponibilità d'acqua e presenza/assenza di sfalcio insieme, portano ad un annullamento delle differenze, indipendentemente dall'area di appartenenza.

#### **6.4 Caratteri funzionali in ambienti naturali e in ambienti controllati**

Diversi studi precedenti hanno dimostrato che ci possono essere significative differenze tra i caratteri funzionali di specie che crescono in condizioni naturali e di specie che crescono in condizioni controllate (Ryser & Lambers, 1995; Shypley & Almeida-Cortez, 2003). Questa variabilità dei *traits* potrebbe dunque limitarne l'applicazione diretta su piante coltivate sperimentalmente, e, soprattutto, non permettere una caratterizzazione della specie con il mediante l'uso dei *traits* (Monkany & Ash, 2008). Per molti caratteri chiave comunque, sembra esserci una concordanza nel comportamento reciproco di specie diverse tra condizioni di campo e condizioni sperimentali (Garnier & Freijssen, 1994; Garnier *et al.*, 1997, Poorter & De Jong, 1999; Cornelissen *et al.*, 2003; Monkany & Ash, 2008). Uno studio condotto da Mokany & Ash (2008), per determinare se i caratteri misurati in piante cresciute in vaso possano essere rappresentativi di quelli propri di piante cresciute in condizioni naturali, ha evidenziato che viene mantenuta una certa consistenza dei ranghi per i caratteri legati alla foglia, ma non si può dire altrettanto per i caratteri riferiti all'intera pianta, come ad esempio il rapporto tra massa fogliare e radicale. Questo sembra essere legato al fatto che ci vuole più tempo per strutturare l'intera biomassa di piante che crescono in condizioni controllate per assomigliare a piante di comunità naturali. Essi affermano inoltre che tali piante potrebbero riflettere *patterns* di allocazione della biomassa di piante cresciute in campo, solo se mantenute in condizioni sperimentali per un periodo sufficientemente lungo e disponendo di abbastanza spazio per la crescita. Quindi, con riferimento all'esperimento condotto, sebbene non sia stato possibile verificare se i valori assoluti dei *traits* misurati sulle piante cresciute in serra riflettessero effettivamente i valori reali dei *traits* delle piante in campo, si è ragionevolmente ipotizzato che

i ranghi delle specie per quei *traits* potessero comunque essere applicati per interpretare le risposte adattative delle specie in questione al variare delle condizioni del suolo.

#### **6.4.1 Analisi della correlazione tra *traits***

##### **6.4.1.1 Tenore di Sostanza Secca (LDMC) versus Superficie Fogliare Specifica (SLA)**

*D. glomerata* e *H. lanatus*, entrambe specie considerate a crescita rapida tipiche di ambienti produttivi, sembrano essere più efficienti nell'acquisizione e uso delle risorse, rispetto a *B. sylvaticum*. La minor densità dei tessuti permette di avere alti valori di SLA e contemporaneamente bassi valori LDMC, indice di una più efficace capacità di assorbimento e una più alta velocità di crescita (RGR), indipendentemente dall'apporto di nutrienti (Ryser & Lambers, 1995). *B. sylvaticum* invece, in corrispondenza degli stessi valori di SLA, presenta LDMC più alto rispetto alle altre due specie. Sembra dunque che *B. sylvaticum*, essendo una specie tipicamente adattabile a situazioni di scarsa luminosità, abbia sviluppato una serie di risposte morfologiche specifiche, in grado di massimizzare l'efficienza della luce utilizzata (Packham & Willis 1977; Walter & Field, 1987; Davies & Long, 1991). Per questo motivo, in accordo anche con uno studio condotto da Al Haj Khaled *et al.* (2005), SLA risulta non essere un indicatore sufficiente per caratterizzare le specie, soprattutto se queste sono tipiche di ambienti con scarsa luminosità e quindi possono presentare forti variazioni nello spessore fogliare (Wilson *et al.*, 1999).

##### **6.4.1.2 Massa Radicale Secca (DRM) versus Massa Epigea Secca (DBM)**

Numerosi studi precedenti hanno suggerito che ci possa essere un legame tra i caratteri riferiti alla parte epigea della pianta (ad esempio i caratteri fogliari) e quelli, più difficili da misurare, riferiti alla parte ipogea (ad esempio la massa dell'apparato radicale) (Whal & Ryser, 2000; Craine & Lee, 2003; Roumet *et al.*, 2006). Nel presente studio, la massa dell'apparato radicale appare direttamente legata alla massa epigea, e l'aumentare dell'una corrisponde ad un proporzionale aumento dell'altra, indice di un generale equilibrio tra acquisizione e conservazione delle risorse per tutte e tre le specie. Sembra dunque che, nelle condizioni controllate in cui sono stati fatti crescere gli individui, e in assenza di competizione, non si manifestino differenze tra lo sviluppo dell'apparato epigeo ed ipogeo, sia per specie come *B. sylvaticum*, caratterizzate da una lenta velocità di crescita (RGR) (Ryser & Lambers, 1995), che per specie come *D. glomerata* e *H. lanatus*, caratterizzate tendenzialmente da uno sviluppo maggiore e più rapido della massa fogliare e radicale (Poorter & Remkes, 1990).

### **6.4.1.3 Superficie Fogliare Specifica (SLA) versus Massa Radicale Secca (DRM) e Superficie Fogliare Specifica (SLA) versus Massa Epigea Secca (DRM)**

Sono state identificate relazioni tra massa fogliare e radicale con i caratteri funzionali delle foglie, quali concentrazione di azoto, densità dei tessuti (Craine *et al.*, 2001), longevità e velocità di respirazione (Tjoelker *et al.*, 2005). In particolare, nell'esperimento qui condotto, questi legami sembrano essere confermati dalla presenza di una relazione negativa tra Superficie Fogliare Specifica (SLA) sia con la Massa Radicale Secca (DRM) che con la Massa Epigea Secca (DBM). SLA si rivela dunque, un carattere funzionale utile anche per un'eventuale misurazione e interpretazione indiretta dello sviluppo dell'apparato radicale.

### **6.4.2 Analisi di Varianza**

Sia per *B. sylvaticum*, che per *D. glomerata*, che per *H. lanatus*, ci sono state risposte significativamente differenti tra individui appartenenti a popolazioni della stessa specie ma con diversa provenienza, se fatti crescere in suoli diversi, in accordo a quanto trovato da Bischoff *et al.* (2006), in un esperimento simile condotto con semi di *Holcus. lanatus*, *Lotus corniculatus* e *Plantago lanceolata*.

Tutte e tre le specie in esame presentano, in genere, Massa Radicale Secca e Massa Epigea Secca maggiore nei siti Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato, rispetto agli altri. Si tratta dei due siti più giovani, caratterizzati da suoli con le più alte concentrazioni di P (rispettivamente 14 mg/kg e 52 mg/kg), ma più basse di N (cfr. Tabella 4.2). La crescita e lo sviluppo sia dell'apparato radicale che fogliare, per le tre specie, sembra essere legato alla presenza di P, più che N, in accordo con quanto trovato da Ryser & Lambers (1995) per *D. glomerata*. Inoltre, le popolazioni di *B. sylvaticum*, *D. glomerata* e *H. lanatus*, non presentano valori di SLA più alti e valori di LDMC più bassi, in funzione dei propri siti di provenienza, se non in pochi casi. Non sembra quindi esserci stata una differenziazione genotipica locale tra popolazioni e le variazioni fenotipiche rilevate sembrano essere legate esclusivamente alla presenza di nutrienti nel suolo. Tuttavia, per quanto riguarda *B. sylvaticum*, si può intuire una certa somiglianza tra gli individui ottenuti da semi dei siti Butterfly Bank 1970 e Park Wood 2001, e, anche se in modo meno marcato, anche con gli individui dei semi acquistati commercialmente, in quanto presentano valori più bassi di SLA e più alti di LDMC in corrispondenza dei suoli Park Wood 2001 e Manor Farm Coltivato. Sembra quindi che il *B. sylvaticum* dei siti più giovani, si adatti meglio a crescere in suoli di siti più vecchi. Qui, probabilmente, la presenza di *B. sylvaticum*, già consolidata nel tempo, ha creato delle condizioni ottimali di crescita per questa specie, come per esempio una maggiore disponibilità di N nell'ambiente.



E' noto, da numerosi studi precedenti, che le abilità competitive del genere *Brachypodium*, migliorano all'aumentare delle concentrazioni di azoto nel suolo (Bobbink *et al.*, 1988; Bobbink, 1991; Willems *et al.*, 1993; Hurst & John, 1999).

In particolare, con riferimento al *B. pinnatum*, numerosi studi precedenti, hanno sottolineato come questa specie sia in grado di catturare l'azoto dall'ambiente esterno e di traslocarlo al suo interno attraverso i rizomi (Bobbink *et al.*, 1989). Si è visto inoltre che, la redistribuzione dei nutrienti dai rizomi alle foglie prima della senescenza, produce una lettiera con un alto rapporto C:N (Bobbink *et al.*, 1989) che, nonostante la lenta velocità di decomposizione (Vinton & Burke, 1995), sembra determinante nel promuovere la mineralizzazione dell'azoto e accelerare il ciclo dei nutrienti (Wedin & Tilman, 1990; Hobbie, 1992; Wedin & Pastor, 1993; Vinton & Burke, 1995). La presenza di un'elevata disponibilità di N determina quindi un aumento nelle capacità di crescita e competitive di *B. pinnatum* (Bobbink, 1991).

Si può ragionevolmente pensare che, quanto è stato detto riguardo al comportamento di *B. pinnatum*, possa essere valido anche per *B. sylvaticum*. In particolare, per quanto riguarda tutte e quattro le popolazioni naturali di *B. sylvaticum*, sono stati misurati, in genere, valori più alti di SLA e valori più bassi di LDMC in piante cresciute nel suolo del sito Bradenham Road MaiColtivato, che è propriamente un bosco. Inoltre, questi stessi individui, presentano Massa Radicale Secca e Massa Epigea Secca, minore rispetto a quelli cresciuti negli altri suoli. Ci si aspetterebbe che, per foglie più leggere, anche i rispettivi valori di SLA siano più bassi, in quanto si tratta di un carattere funzionale legato all'espansione della lamina fogliare (Schipper *et al.*, 1999). Invece, i valori di SLA di *B. sylvaticum*, sono più alti proprio corrispondenza del sito Bradenham Road MaiColtivato. Confrontando le analisi del suolo (cfr. Tabella 4.2), si vede come questo sito sia caratterizzato da concentrazioni di azoto decisamente superiori rispetto agli altri ( $7200 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Sembra quindi che l'efficienza fotosintetica di *B. sylvaticum* sia legata alla presenza di questo nutriente, e tutte le popolazioni rispondono positivamente allo stesso modo indipendentemente da eventuali differenziazioni genotipiche o fenotipiche che potrebbero esserci, legate alla provenienza.

Relativamente a SLA e LDMC, anche per quanto riguarda *D. glomerata* si può intuire una certa somiglianza tra gli individui ottenuti da semi dei siti Butterfly Bank 1970 e Park Wood 2001, ma, a differenza di *B. sylvaticum*, questi presentano valori più bassi di SLA e più alti di LDMC in corrispondenza del suolo del sito più vecchio, ossia Bradenham Road MaiColtivato. Del resto, questa è una specie che, pur coesistendo con *B. sylvaticum*, è tipica di situazioni aperte e fertili (Buckland *et al.*, 2001). Sembra quindi che le popolazioni di *D. glomerata* provenienti dai siti più giovani non siano particolarmente adatte a crescere in suoli caratterizzati da condizioni di stadi successionali avanzati. Questo, in linea generale, si verifica anche per *H. lanatus*, dove i

valori di SLA più bassi per tutte le popolazioni in esame si trovano proprio in corrispondenza del suolo Bradenham Road MaiColtivato, sito peraltro, dove lo stesso *H. lanatus* non è presente.

### **6.5 Costruzione del gradiente tra siti**

Anche in questo caso, è stato applicato lo stesso metodo di costruzione di un gradiente per valutare se è possibile caratterizzare i siti, l'uno rispetto all'altro, pur disponendo di un numero assai limitato di caratteri. La individuazione di tale gradiente, con solo quattro caratteri funzionali (SLA, LDMC, DRM e DBM), permette ugualmente di cogliere se ci sono somiglianze o divergenze tra i siti stessi. Netta appare la distinzione tra i siti più giovani, Manor Farm Coltivato e Park Wood 2001, che si discostano da Bradenham Road MaiColtivato, Small Dean MaiColtivato e Butterfly Bank 1970. Tale differenza sembra ragionevolmente imputabile all'età dei siti. Perfezionare questo schema, disponendo di altri siti con diverse età di abbandono da disporre lungo tale gradiente, potrebbe significare restringere il *range* in cui si rende manifesto questo passaggio e identificare le condizioni del cambiamento.

## 7. CONCLUSIONI

In funzione agli scopi che ci si è prefissi di raggiungere nel presente studio, si possono trarre le seguenti conclusioni:

1) Caratterizzazione floristica. L'analisi floristica relativa ai Contributi Specifici di Graminacee, Leguminose e altre famiglie, nonché dei Contributi Specifici di *B. pinnatum*, *B. erectus* e *D. glomerata* rappresenta un primo approccio alla conoscenza del funzionamento delle comunità prative, in grado di mettere in evidenza ruoli diversi di gruppi di specie o di singole specie. Si veda a questo proposito la correlazione negativa tra il Contributo Specifico di Graminacee rispetto al Contributo Specifico di Leguminose e di altre famiglie. Anche la dominanza di *B. pinnatum* e, in minor misura di *B. erectus*, comporta un effetto negativo sulla presenza di altre specie, determinando una riduzione della ricchezza floristica. Questo è dovuto sia alle notevoli capacità competitive, sia alla produzione, soprattutto ad opera di *B. pinnatum*, di uno spesso strato di fitomassa e di necromassa, che impedisce l'insediamento e la crescita delle altre specie.

2) Caratterizzazione produttiva. L'analisi riguardante la produttività e i Valori Pastorali dei siti, completano il quadro delineato dall'analisi floristica, evidenziando come la dominanza delle Graminacee, e in particolare di *B. pinnatum*, determini non solo una diminuzione di diversità floristica, ma anche una sorta di degrado della produttività e della qualità pastorale della prateria.

3) Caratterizzazione funzionale. L'analisi dei caratteri funzionali per queste specie ed eventuali correlazioni tra i caratteri stessi, si sono rivelate utili strumenti interpretativi per approfondire strategie competitive, di dominanza e di adattamento all'interno delle comunità esaminate. In particolare, il Tenore di Sostanza Secca, LDMC, è risultato positivamente correlato con le componenti della fibra, Emicellulosa, Lignina e Ceneri. Foglie con alti valori di LDMC, come quelle di *B. pinnatum*, risultano quindi determinanti nella composizione della necromassa e lettiera, in quanto presentano una più alta percentuale di tessuti vascolari e sclerenchimatici che ne rallentano i tempi di decomposizione. Dal confronto tra le correlazioni ottenute di Superficie Fogliare Specifica, Tenore di Sostanza Secca e Contenuto di Azoto Fogliare, sono emerse chiare differenze adattative per le specie in questione. In particolare, valori di SLA e LNC più elevati e corrispondentemente valori di LDMC più bassi, caratterizzano *D. glomerata* e *H. lanatus*, come specie tipicamente di ambienti più fertili e produttivi, dotate di un'alta efficienza fotosintetica e velocità di crescita. Di contro, valori di SLA più bassi e di LDMC più alti, caratterizzano *B. pinnatum*, *B. erectus* e *B. sylvaticum*, come specie a crescita lenta, tipiche di ambienti poco produttivi. Tuttavia, per quanto riguarda *B. pinnatum* in Italia e *B. sylvaticum* in UK, è emerso che entrambe queste specie, a parità di valori di LDMC rispetto alle altre specie, presentano

valori di SLA proporzionalmente più elevati. Questo significa avere foglie tipicamente più larghe e sottili, che le rendono particolarmente adatte a crescere anche in ambienti poco luminosi, in quanto la minor densità dei tessuti permette una massimizzazione dell'efficienza della luce utilizzata. Per quanto riguarda *B. erectus*, invece, bassi valori di SLA e, viceversa, alti valori di LDMC, sono espressione di una risposta adattativa delle foglie a condizioni di intensa luminosità e siccità, che rendono questa specie più resistente rispetto alle altre in caso di persistente deficit idrico durante il periodo estivo.

Interpretando le variazioni dei *traits* considerati in relazione alla diversa strategia adattativa di ciascuna specie, è stato possibile descrivere come i siti in esame rispondano a variazioni ambientali di carattere stagionale o alle diverse modalità di gestione in atto.

Si è valutato quindi, quali, tra i *functional traits* esaminati, possano considerarsi migliori per interpretare i processi adattativi attuati dalle specie considerate. LNC è risultato essere un carattere fortemente legato alla variabilità stagionale, mentre SLA, non sembra un indicatore attendibile per specie come *B. pinnatum* e *B. sylvaticum* che possono presentare alterazioni nello spessore fogliare. L'analisi di Emicellulosa, Cellulosa, Lignina e Ceneri, risulta essere piuttosto dispendiosa, soprattutto per alti quantitativi di campioni e, come anche l'analisi del contenuto d'azoto nelle foglie, necessita di apparecchiature e strutture specifiche. LDMC invece, potrebbe essere proposto come il *trait* migliore per caratterizzare le specie. Risulta essere il meno variabile, facilmente misurabile, e in più è direttamente correlato con altri *traits* come SLA e le componenti della fibra.

4) Alcuni *functional traits* sono stati utilizzati per valutare eventuali cambiamenti fenotipici delle specie scelte come indicatori, in relazione alle diverse condizioni ecologiche e ambientali dei siti presi in esame. I risultati ottenuti dall'esperimento condotto in condizioni controllate in UK, hanno evidenziato che ci sono significative differenze adattative tra le popolazioni di una stessa specie ma con diversa provenienza, e tra individui appartenenti alla stessa popolazione se fatti crescere in suoli diversi. Questo significa che non ci sono sostanziali differenze genotipiche tra popolazioni in relazione al fatto che ci sia stato, nel corso del tempo, uno specifico adattamento ad un determinato ambiente. Sembra piuttosto che le differenze riscontrate siano dovute principalmente a plasticità fenotipica come risposta immediata alla disponibilità di nutrienti nel suolo. Si può pensare quindi che, le variazioni dei *traits*, anche in riferimento all'esperimento condotto in Italia, possano effettivamente essere considerate come espressione di variazioni delle condizioni ambientali, in quanto dovute principalmente ad adattamenti fenotipici degli individui, e solo in misura marginale, ad eventuali differenze genotipiche della popolazione stessa.

La crescita di piante in condizioni controllate inoltre, può essere particolarmente utile per quantificare caratteri relativi all'apparato radicale, come la Massa Radicale Secca, difficilmente

misurabili in individui che crescono in comunità naturali. Si è visto che l'analisi di *traits* come SLA o Massa Epigea Secca, essendo correlati con la Massa Radicale Secca, potrebbero permettere uno studio completo riguardo al *trade-off* dei nutrienti all'interno della pianta stessa. Resta comunque da valutare in che misura queste correlazioni tra caratteri riferiti a piante cresciute in condizioni controllate, possano essere proposte anche per piante che crescono in condizioni naturali.

5) Rappresentazione dei siti utilizzando una combinazione di parametri floristici, produttivi e di caratteri funzionali.

La costruzione di un indice come quello qui proposto può rivelarsi uno strumento utile per la programmazione della gestione delle praterie. Questo metodo infatti, ordina i siti in esame lungo un gradiente che combina aspetti legati alla ricchezza specifica, alla produttività dei siti, alla strategia delle specie dominanti e più in generale alle caratteristiche funzionali della comunità presente, mediante alcuni *traits* chiave. La conoscenza della posizione di tali siti nel gradiente e la valutazione del *range* di cambiamento lungo questo stesso gradiente, può essere utilizzata per ottimizzare le pratiche di gestione delle praterie. Viceversa, dovrebbe essere possibile proporre e definire un valore agronomico *target* per la prateria, comprensivo di tutti questi aspetti, in modo tale da programmare le pratiche di gestione, come lo sfalcio o il pascolamento, in funzione dei cambiamenti stagionali in atto. L'uso di tale gradiente, potrebbe essere utile anche per monitorare variazioni nelle comunità prative a seguito di un disturbo, di una variazione o di un ripristino delle pratiche gestionali. Non da ultimo, disporre di un indice che potrebbe rivelarsi uno strumento di previsione delle tendenze evolutive in atto, potrebbe essere di notevole interesse qualora si voglia esercitare un efficace controllo sullo svolgersi della serie dinamica, arrestandola o rallentandola ad un determinato stadio, prima che raggiunga effetti non desiderati.

Tuttavia, molti aspetti restano ancora da perfezionare. Lo scarso numero di siti a disposizione, e il limitato *range* di situazioni considerate, non hanno permesso di testare la validità e l'applicabilità di questo indice su vasta scala. L'analisi di una più grande varietà di situazioni potrebbe consentire la validazione di tale indice nell'interpretare i cambiamenti dei processi evolutivi in atto, anche per altre formazioni, a partire dalle cenosi di invasione di superficie abbandonate dall'agricoltura e dall'attività pastorale.

Inoltre, resta ancora aperta la questione relativa alla selezione di quali e quanti caratteri inserire per la costruzione di questo indice. Nel presente lavoro ne sono stati proposti alcuni che potessero cogliere aspetti differenti, sia a livello vegetativo e produttivo che funzionale, e sono stati considerati incidere con il medesimo peso nella costruzione di tale indice. Rimane però aperta la questione se invece non si possa effettuare un altro tipo di selezione dei caratteri, in

base al diverso grado di importanza che questi possono avere nella valutazione delle condizioni del sito stesso.

## RINGRAZIAMENTI

*Un grazie a tutti quanti hanno reso possibile questo lavoro.*

*Grazie alla Prof. Maria Speranza e al Dr. Simon Mortimer.*

*Grazie al Prof. Mauro Vecchietini, per l'umana disponibilità di sempre.*

*Grazie alle dott. Roberta Piccaglia e Silvia Grandi per l'assistenza in laboratorio. Grazie alle dott. Cristina Mariani e Giulia Villani, per il grande supporto nei campi di Monte Sole. Grazie alla Prof. Maria Corinna Sanguineti, per il prezioso aiuto con la statistica.*

*Grazie agli amici del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali dell'Università di Bologna, in particolare: al dott. Alessandro Zatta, per aver creduto di poter vincere con una donna in campo, a Stefano Piana, perchè l'unica Panda che funziona è la sua, alla dott. Elisa Baruffa per i caffè sorseggiati all'ombra di un bosco, e alla Dr. Francesca Ventura.*

*Special thanks are also due to the staff of the Centre for AgriEnvironmental Research of Reading University. Thanks to Dr. Duncun Westbury for teaching me about seeds and good English manners and thanks to Dr. Malcolm Nicoll, my "third" supervisor. Thanks to Claire Brittain, for letting me feel home in England, and Ariane Kehlbacher, my German twin.*

*Grazie agli "international friends" per tener sempre desta la mia attenzione sul mondo!*

*Un grazie di cuore alle due persone che mi hanno aiutato nel compimento di questa fatica finale.*

*Grazie alla Dr. Lucia Ferroni. Grazie per esser stata con me, sempre, al lavoro, a casa, sotto la pioggia. Grazie per non essersi mai stancata di ascoltare le sbrodolature logorriche e monotematiche della mia vita. Grazie per ogni attimo condiviso.*

*Grazie perchè nessun altro avrebbe resistito!*

*Grazie a Paul Chatfield per la sua rassicurante pazienza con la statistica e con me. Grazie al tempo furtivamente rubato al suo agendino, "time of peace for my restless mind"!*

*Infine un grazie illimitato alla mia famiglia.*

*Ai miei genitori, perchè ci sono sempre e appoggiano le mie scelte.*

*A mia sorella Sabina, che mi apre la strada. E a Tiziano, perchè, alla fine, all'alba, mi ci deve accompagnare lui...*

*Grazie a Leonardo e a Federica, my treasures, che porto sempre con me, ovunque, nel mondo...*

*Mi ringraziano: la macchinetta del caffè, per averci lasciato uno stipendio, l'unica Panda rimasta al DiSTA, perchè ora è al sicuro, il corridoio del dipartimento, per averlo liberato dalla polvere...*

## 8.BIBLIOGRAFIA

- Abrams M.D., Kubiske M.E., Mostoller S.A., 1994. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. *Ecology*, 75: 123-133.
- Aboal J.R., Arevalo J.R., Fernandez A., 2005. Allometric relationship of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). *Flora*, 200(3): 264-274.
- Ackerly D.D., 2004. Functional traits of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. *Ecol. Monogr.* 74: 25-44.
- Aerts R., Boot R.G.A., Van Der Aart P.J.M., 1991. The relation between above- and below ground biomass allocation patterns and competitive ability. *Oecologia* 87: 551-559.
- Aerts R., 1999. Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs and plant-soil feedbacks. *Journal of Experimental Botany*, 50(330): 29-37.
- Aerts R. & Chapin III F.S., 1999. The mineral nutrition of wild plant revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research* 30: 1-67.
- Al Haj Khaled R., Duru M., Theau J.P., Plantureux S., Cruz P., 2005. Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species. *Journal of Vegetation Science*, 16: 391-398.
- Al Haj Khaled R., Duru M., Decruyenaere V., 2006. Using leaf traits to rank native grasses according to their nutritive value. *Rangeland Ecology & Management*, 59(6): 648-654.
- Argenti G., Bianchetto E., Ferretti F., Staglianò N., 2006. Proposta di un metodo semplificato di rilevamento pastorale nei piani di gestione forestale. *Forest@*, 3(2): 275-280.
- Argenti G., Bartoletti C., Staglianò N., Albertosi A., Bianchetto E., 2004. Confronto tra metodologie di campionamento delle risorse pastorali in un'area delle Alpi orientali. *Forest@*, 1(2): 141-147.
- Armas C., Pugnaire F.I., 2005. Plant interactions govern population dynamics in a semi-arid plant community. *Journal of Ecology*, 93(5): 978-989.
- Backer N.R., Bowyer J.R., 1994. Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanism to the field. BIOS Scientific Publisher, Oxford, UK.
- Bagella S., 2001. Valore pastorale delle associazioni vegetali: un esempio di applicazione nell'Appennino umbro-marchigiano. *Fitosociologia*, 38(1): 153-165.
- Bakker J.P., 1989. Nature management by grazing and cutting. Geobotany, 14. Kluwer, Dordrecht.
- Bakker J.P., Van Andel J., Van Der Maarel E., 1998. Plant species diversity and restoration ecology - Introduction. *Applied Vegetation Science*, 1: 5-8.
- Baldoni R., Giardini G., 2002. Coltivazioni erbacee: foraggiere e tappeti erbosi. Bologna, 217-238.
- Bagella S., 2001. Valore pastorale delle associazioni vegetali: un esempio di applicazione nell'Appennino umbro-marchigiano. *Fitosociologia*, 38(1): 153-165.



- Bardgett R.D., Wardle D.A., Yeates G.W., 1998. Linking above-ground and below-ground interactions: Growth plant responses to foliar herbivory influence soil organism. *Soil Biology & Biochemistry*, 30: 1867-1878.
- Baruch Z., Goldstein G., 1999. Leaf construction cost, nutrient concentration, and net CO<sub>2</sub> assimilation of native and invasive species in Hawaii. *Oecologia*, 121(2): 183-192.
- Biondi E., Balelli S., 1995. La praterie del Monte Coscerno e Monte Civitella (Appennino umbro-marchigiano, Italia centrale). *Fitosociologia*, 30: 91-121.
- Biondi E., Balelli S., Allegrezza M., Zuccarello V., 1995. La vegetazione dell'ordine Brometalia erecti Br.-Bl. 1936 nell'Appennino (Italia). *Fitosociologia*, 30: 3-45.
- Bischoff A., Cremieux L., Smilauerova M., 2006. Detecting local adaptation in widespread grassland species – the importance of scale and local plant community. *Journal of Ecology*, 94(6): 1130-1142.
- Blackwood J.W., Tubbs C.R., 1970. A quantitative survey of chalk grassland in England. *Biological Conservation*, 3: 1-5.
- Bobbink R., 1991. Effect of nutrient enrichment in Dutch chalk grassland. *Journal of Applied Ecology*, 28: 2157-2165.
- Bobbink R., Willems J.H., 1988. Effects of management and nutrient availability on vegetation structure of chalk grassland. In During H.J., Werger M.J.A., Willems J.H., (Eds.), *Diversity and Pattern in Plant Communities*. SPB Academic Publishers, The Hague, 123-132.
- Bobbink R., Willems J.H., 1987. Increasing dominance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. In chalk grasslands: a threat to species-rich ecosystem. *Biological Conservation*, 40: 301-14.
- Bobbink R., During H.J., Schreurs J., Willems J.H., Zielman R., 1987. Effects of selective clipping and different mowing time on species diversity in chalk grassland. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 22: 363-376.
- Bobbink R., Den Dubbelden K., Willems J.H., 1989. Seasonal dynamics of phytomass and nutrients in chalk grassland. *Oikos*, 55: 216-224.
- Bobbink R., Willems J.H., 1991. Impact of different cutting regimes on the performance of *Brachypodium pinnatum* in Dutch chalk grassland. *Biological Conservation*, 56: 1-21.
- Bobbink R., Willems J.H., 1993. Restoration management of abandoned chalk grassland in the Netherlands. *Biodiversity and Conservation* 2: 616-626.
- Bolzan A., Ferroni L., Vecchietini M., Speranza M., 2008. Leaf functional traits in *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv., *Bromus erectus* Hudson and *Dactylis glomerata* L. as indicators of resource availability in grassland communities. *Grassland Science in Europe*, 13: 218-220.
- Bond W.J., Midgley J.J., 1995. Kill the neighbour: an individualistic argument for the evolution of flammability. *Oikos*, 73: 79-85.
- Bonser S.P., Aarssen L.W., 1996. Meristem allocation: a new classification theory for adaptive strategies in herbaceous plant. *Oikos*, 77: 347-352.
- Bornard A., Dubost M., 1992. Diagnostic agro-écologique de la végétation des alpages laitiers des Alpes du Nord humides: établissement et utilisation d'une typologie simplifiée. *Agronomie*, 12: 581-588.
- Bornard A., & Bassignana M., 2001. Typologie agro-écologique des végétations d'alpages en zone intra-alpine des Alpes du Nord Occidentales. Cemagref, Grenoble.

- Botta-Dukàt Z., 2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science*, 16: 533-540.
- Braun-Blanquet J., 1932. Plant sociology: The study of plant communities. McGraw-Hill, New York.
- Brendse F., 1994. Litter decomposability – a neglected component of plant fitness. *Journal of Ecology*, 82: 187-190.
- Brooker R.W., & Callaghan T.V., 1998. The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: A model. *Oikos*, 81: 197-207.
- Brooker R.W., Kikvidze Z., Pugnaire F.I., Callaway R.M., Choler P., Lortie C.J., Michalet R., 2005. The importance of importance. *Oikos*, 109: 63-70.
- Bruun H.H., 2000. Patterns of species richness in dry grassland patches in an agricultural landscape. *Ecography*, 23: 641-650.
- Buckland S.M., Thompson K., Hodgson J.G., Grime J.P., 2001. Grassland invasion: effects of manipulations of climate and management. *Journal of Applied Ecology*, 38: 301-309.
- Burns K.C., 2004. Patterns in specific leaf area and the structure of a temperate heath community. *Diversity and Distributions*, 10(2): 105-112.
- Calow P., 1987. Towards a definition of functional ecology. *Functional Ecology*, 1: 57-61.
- Campbell B.D., Grime J.P., 1992. An experimental test of plant strategy theory. *Ecology* 73:15.29.
- Cavallero A., Bassignana M., Iuliano G., Reyneri A., 1997. Sistemi foraggeri semi intensivi e pastorali per l'Italia settentrionale: analisi delle risultanze sperimentali e dello stato attuale dell'alpicoltura. *Rivista di Agronomia*, 31 (2): 482-504.
- Cavallero A., Reyneri A., Lombardi G., 2000. Impiego di diverse specie e carichi animali per la conservazione di pascoli subalpini invasi da arbusti. *Rivista di Agronomia*, 34, 1(suppl.): 174-177.
- Cereti C.F., Rossigni F., Scoppola A., Casciato M., 2000a. Caratterizzazione e utilizzazione delle risorse foraggere in tre malghe del Tesino (TN). 2. Aspetti floristici. *Rivista di Agronomia*, 34, 1(suppl.): 114-119.
- Cereti C.F., Rossigni F., Scoppola A., Casciato M., 2000b. Caratterizzazione e utilizzazione delle risorse foraggere in tre malghe del Tesino (TN). 2. Aspetti foraggeri. *Rivista di Agronomia*, 34, 1(suppl.): 114-119.
- Chapin F.S. III, 1993. Functional role of growth forms in ecosystem and global processes. In Ehleringer J.R., Field, C.B., (Eds), *Scaling physiological processes. Leaf to globe*. Academic Press Inc, 287-312.
- Chapin F.S. III, Autumn K., Pugnaire F., 1993. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *American Naturalist*, 142: 578-592.
- Chapin F.S. III, Reynolds H.L., D'Antonio C.M., Eckhart V.M., 1996. The functional role of species in terrestrial ecosystems. In Walker B., Steffen W., (Eds) *Global Change and Terrestrial Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, 403-428.
- Chapin III F.S., Zavaleta E. S., Eviners V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C., Diaz S., 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405: 234-242.

- Chapman S.K., Langley J.A., Harr S.C., Koch G.W., 2006. Plants actively control nitrogen cycling: uncorcking the microbial bottleneck. *New Phytologist*, 169: 27-34.
- Clements F.E., 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Carnegie Institute of Washington, Washington.
- Connell J.H., Slatyer R.O., 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American naturalist*, 111: 1119-1144.
- Corcket E., Liancourt P., Callaway R.M., Michalet R., 2003. The relative importance of competition for two dominant grass species, as affected by environmental manipulations in the field. *Ecoscience*, 10: 186-194.
- Cornelissen, J.H.C., Thompson K., 1997. Functional leaf attributes predict litter decomposition rate in herbaceous plants. *New Phytologist*, 135: 109-114.
- Cornelissen J.H.C., Castro- Diez P., Hunt R., 1996. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *Journal of Ecology*, 84: 755-765.
- Cornelissen J.H.C., Aerts R., Cerabolini B., Werger M.J.A., Van der Heijed M.G.A., 2001. Carbon cycling traits of plant species and linked with mycorrhizal strategy. *Oecologia*, 134: 471-478.
- Cornelissen J.H.C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D.E., Reich P.B., ter Steege H., Morgan H.D., van der Heijden M.G.A., Pausas J.G., Poorter H., 2003. A hand book of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51: 335-380.
- Craine J.M., Froehle J., Tilman D.G., 2001. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos*, 93(2): 274-285.
- Craine J.M., Lee W.G., 2003. Covariation in leaf and root traits for native and non native grasses along an altitudinal gradient in New Zeland. *Oecologia*, 134(4): 471-478.
- Craine J.M., Fargione J., Sugita S., 2005. Supply pre-emption, not concentration reduction, is the mechanism of competition for nutrients. *New Phytologist*, 166: 933-940
- Cramer W., 1997. Using plant functional types in a global vegetation model. In Smith T.M., Shugart H.H., Woodward F.I., (Eds), *Plant Functional Types*. Cambridge University Press, Cambridge, 271-288.
- Crawley M.J. Brown S.L., Heard M.S., 1999. Invasion-resistance in experimental grassland communities: species richness or species identity? *Ecology Letters* 2 (3):140-148.
- Cruz P., Duru M., Therond O., 2002. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages*, 172 311-322.
- Cruz P., *et al.*, 2005. Leaf dry matter content of native grassland species under contrasting N and P supply. ICG, Dublin.
- Cunningam S.A., Summerhayes B., Westoby M., 1999. Evolutionary divergences in leaf structure and chemistry, comparing rainfall and soil nutrient gradients. *Ecological monographs*, 69: 569-588.
- Daget P., Poissonnet J., 1969. Analyse phytologique des prairies. CNRS, Cepe de Montpellier, document n.50.
- Darwin C., 1859. On the origin of species. John Murray.

- Davies M.S., Long G.L., 1991. Performance of two contrasting morphs of *Brachypodium sylvaticum* transplanted into shaded and unshaded sites. *Journal of Ecology*, 79: 505-517.
- De Bello F., Lepš J., Sebastià M.T., 2006. Variations in species and functional plant diversity along climatic and grazing gradients. *Ecography*, 29(6): 801-810.
- Delpech R., 2000. Apports de la phytosociologie comparés à ceux d'autres disciplines pour la gestion des peuplements prairiaux. *Fitosociologia*, 37 (2): 3-12.
- De Mera A.G., Alonso R.M., Orellana J.A.V., 2000. Pasture communities linked to ovine stock. A synthesis of the *Poetea bulbosae* class in the Western Mediterranean Region. *Phytocoenologia*, 30: 223-267.
- Diaz S., Cabido M., Casanoves F., 1999. Functional implication of trait-environment linkages in plant communities. *Ecological Assembly Rules – Perspectives. Advances, Retreats*, eds Weiher E., P. Keddy P., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 338-362.
- Diaz S., Cabido M., 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 16: 646-655.
- Diaz S., Noy-Meir I., Cabido M., 2001. Can grazing response of herbaceous plant be predicted from simple vegetative traits? *Journal of Applied Ecology*, 38: 97-113.
- Diamond J.M., 1975. Assembly of species communities. In Cody M.L., Diamond J.M., (Eds), *Ecology and Evolution of Communities*, Harvard University Press, Cambridge Massachusetts, 342-444.
- Dijkstra P., 1989. Cause and consequence of variation in growth rate and productivity of higher plants. In Lambers H., Camblidge M.L., Konigs H., Pons T.L., (Eds) SPB Academic Publishers, The Hague, The Netherlands, 125-140.
- Duru M., Tallowin J., Cruz P., 2005. Functional diversity in low-input grassland farming system: characterisation, effect and management. *Agronomy Research*, 3(2): 125-138.
- Ehleringer J.R., Forseth I.N., 1989. On the role of orientation in reducing photoinhibitory damage in photosynthetic-twig desert shrubs. *Plant Cell and Environment*, 15: 301-306.
- Ehleringer J. R., Cooper T.A., 1992. On the role of orientation in reducing photoinhibitory damage in photosynthetic Twig Desert shrubs. *Plant Cell and Environment*, 15(3): 301-306.
- Escarré J., Houssard C., Debussche M., 1983. Evolution de la végétation et du sol après abandon cultural en région méditerranéenne: étude de succession dans le Garrigues du Montpelliérais (France). *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, 4: 221-239.
- European Commission, 1991. EUR 12587 – CORINE biotopes manual – A method to identify and describe consistently sites of major importance for nature conservation. Data specification, Vol. 3, Luxembourg.
- Evans J.R., Seemann J.R., 1989. The allocation of protein nitrogen in the photosynthetic apparatus: costs, consequences, and control. In: Briggs WR, (Eds) *Photosynthesis*. New York, USA: Alan R. Liss, Inc., 183-205.
- Eviner V.T., 2004. Plant traits that influence ecosystem processes vary independently among species. *Ecology*, 85: 2215-2229.
- Field C., Mooney H.A., 1986. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In Givinish T.J., (Eds) *On the economy of plant form and function*. Cambridge University Press, Cambridge, 493-523.

- Fonseca C.R., Overton J.M., Collins B., Westoby M., 2000. Shifts in traits-combination along rainfall and phosphorus gradients. *Journal of Ecology*, 88: 964-977.
- Fowler N.L., 1990. The effects of competition and environmental heterogeneity on three coexisting grasses. *J. Ecol.* 78:389-402.
- Fynn R.W.S., Morris C.D., Kirkman K.P., 2005. Plant strategies and trade-offs influence trends in competitive ability along gradients of soil fertility and disturbance. *Journal of Ecology*, 93: 384-394.
- Gallardo A., Merino J., 1993. Leaf decomposition in two mediterranean ecosystem in southern Spain: influence of substrate quality. *Ecology*, 74(1): 152-161.
- Ganade G., Brown V.K., 2002. Succession in old pastures of central Amazonia: Role of soil fertility and plant litter. *Ecology*, 83:743-754.
- Garnier E., 1992. Growth analysis of congeneric annual and perennial grass species. *Journal of Ecology*, 80: 665-675.
- Garnier E., Roy J., 1988. Modular and demographic analysis of plant leaf area in sward and woodland populations of *Dactylis glomerata* and *Bromus erectus*. *Journal of Ecology* 76: 729-743.
- Garnier E., Freijssen A., 1994. On ecological inference from laboratory experiments conducted under optimum conditions. In: Roy J., Garnier E., (Eds.) *A whole plant prospective on carbon-nitrogen interactions*. SPB Academic, The Hague, 267-292.
- Garnier E., Laurent G., 1994. Leaf anatomy, specific mass and water content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytologist*, 128, 725-736.
- Garnier E., Vancaeyzeele S., 1994. Carbon and nitrogen-content of congeneric annual and perennial grass species – relationship with growth. *Plant Cell and Environment*, 17(4): 399-407.
- Garnier E., Cordonnier P., Guillermin J.L., 1997. Specific leaf area and leaf nitrogen concentration in annual and perennial grass species growing in Mediterranean old-fields. *Oecologia*, 111(4): 490-498.
- Garnier E., Aronson J., 1998. Nitrogen use efficiency from leaf to stand level: clarifying the concept. In Lambers H., Poorter H., Van Vuuren M.M.I., (Eds) *Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences*. Backhuys Publishers: Leiden, 515-538.
- Garnier E., Salager J.L., Laurent G., Sonié L., 1999. Relationships between photosynthesis, nitrogen and leaf structure in 14 grass species and their dependence on the basis of expression. *New Phytologist*, 143: 119-129.
- Garnier E., Laurent G., Bellman A., Debain S., Berthelot P., Ducout B., Roumet C., Navas M.L., 2001a. Consistency of species ranking based on functional traits. *New Phytologist*, 152: 69-83.
- Garnier E., Shipley B., Roumet C., Laurent G., 2001b. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, 15: 688-695.
- Garnier E., Cortez J., Billes G., Navas M.L., 2004. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85:2630-2637.
- Gaucherand S., 2005. Effets des pratiques pastorales sur la biodiversité et sa dynamique dans les prairies des alpages des Alpes du Nord. Apport des traits fonctionnels des plants. Thèse de Doctorat, Cemagref de Grenoble, Grenoble.

- Gerola F., Gerola P.D., 1986. Botanica. UTET, Torino.
- Gillon D., Joffre R., Ibrahima A., 1994. Initial litter properties and decay rate: a microcosm experiment on Mediterranean species. *Canadian Journal of Botany*, 72: 946-953.
- Gillon D., Joffre R., Ibrahima A., 1999. Can litter decomposability be predicted by near infrared reflectance spectroscopy? *Ecology*, 80: 175-186.
- Gitay H., Noble I.R., 1997. What are functional types and how we should seek them ? In Smith T., Shugart H.H., Woodward F.I., (Eds) *Plant Functional Types: Their relevance to Ecosystem Properties and Global Change*. Cambridge University Press, 3-19.
- Goering H.K., Van Soest P.J., 1970. Forage fibre analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). U.S. Dep. Agric., *Agriculture Handbook*, 379: 20-21.
- Goldberg D.E., 1990. Components of resource competition in plants communities. In J. Grace J., D. Tilman D. (Eds) *Perspective on plant competition*. San Diego, Academic Press, 27-49.
- Goldberg D.E., Barton A.M., 1992. Patterns and consequences of interspecific competition in natural communities: A review of field experiments with plants. *American Naturalist*, 139: 771-801.
- Goldberg D.E., Rajaniemi T., Gurevitch J., Stewartoaten A., 1999. Empirical approaches to quantifying interaction intensity: Competition and facilitation along productivity gradients. *Ecology*, 80: 409-418.
- Golberg D.E., 1996. Competitive ability: difinition, contingency and correlate traits. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Biology Science*, 351: 1377-1385.
- Gori Montanelli L., 1950. Selvicoltura e apicoltura. II ed., Fratelli Lega, Faenza, 327.
- Grace J.B., 1991. A clarification of the debate between Grime and Tilman. *Functional Ecology*, 5: 583-587.
- Grace J.B., 1995. On measurement of plant competition intensity. *Ecology*, 76: 305-308.
- Gratani L., Crescente M.F., 1997. Phenology and leaf adaptive strategies of Mediterranean maquis plants. *Ecologia Mediterranea*, 23: 11-19.
- Grime J.P., 1974. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, 250: 26-31.
- Grime J.P., 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American naturalist*, 111.
- Grime J.P., 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. J. Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Grime J.P., Thompson K., Hunt R., Hodgson J.R., Cornelissen J.H.C., Rorison I.H., Hendry G.A.F., Aschenden T.W., Askew A.P., Band S.R., Booth R.E., Bossard C.C., Campbell B.D., Cooper J.E.L., Davison A.W, Gupta P.L., Hall W., Hand D.W., Hannah M,A., Hillier S.H., Hodgkinson D.J., Jalili A., Liu Z., Mackey J.M.L., Matthews N., Mowforth M.A., Neal A.M., Reader R.J., Reiling K., RossFraser W., Spencer R.E., Sutton F., Tasker D.E., Thorpe P.C., Whitehouse J., 1997. Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants. *Oikos*, 79:259-281.
- Grime J.P., 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *J. Ecol.*, 86: 902-910.
- Grime J. P., 2001. *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. Second edition. John Wiley and Sons, Chichester, UK.

- Grime J.P., Hodgson J.G., Hunt R., 1996. Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. Unwin Hyman, London, UK.
- Gross N., Suding K.N., Lavorel S., 2006. Leaf dry matter content and lateral spread predict response to land use for six subalpine grassland species *Journal of Vegetation Science*, 18: 289-300.
- Hansson M., Fogelfors H., 2000. Management of semi-natural grassland; results from a 15-year-old experiment in southern Sweden. *Journal of Vegetation Science*, 11: 31-38.
- Hevia F., Minoletti M.L., Decker K.L.M., Boerner R.E.J., 1999. Foliar nitrogen and phosphorus dynamics of three Chilean Nothofagus (Fagaceae) species in relation to leaf lifespan. *American Journal of Botany*, 86: 447-455.
- Hiernaux P., Turner M.D., 1996. The effect of clipping on growth and nutrient uptake of Sahelian annual rangelands. *Journal of Applied Ecology*, 2: 275-279.
- Hjalten J., Danell K., Lundberg P., Herbivore avoidance by association – Vole and hare utilization of woody-plants. *Oikos*, 68(1): 125-131.
- Hillier S.H., Walton D.W.H., Wells D.A., 1990. Calcareous grassland - Ecology and management. Bluntisham Books, Bluntisham, Huntingdon, 193.
- Hobbie S.E., 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. *Trends in Ecology and Evolutions*, 7: 336-339.
- Hodgson D.A., Rastetter E.B., Shaver G.R., Agren G.I., 1999. Effects of plant growth characteristics on biogeochemistry and community composition in a changing climate. *Ecosystem*, 2: 367-382.
- Holland E.A., Parton W.J., Detling J.K., Coppock D.L., 1992. Physiological responses of plant populations to herbivory and their consequences for ecosystem nutrient flow. *American Naturalist*, 140: 685-706.
- Holub J. *et al.*, 1967, Übersicht der höheren Vegetationseinheiten der Tschechoslowakei, *Rozpr. Čs. Acad. Sci.*, Praha, 77/3: 1-75.
- Hurst A., John E., 1999. The biotic and abiotic changes associated with *Brachypodium pinnatum* dominance in chalk grassland in south-east England. *Biological Conservation*, 88: 75-84.
- Huston M.A., 1994. Biological diversity. Cambridge University Press, Cambridge 681-682.
- Huston M.A. Aarsenn L.W., Austin M.P., 2000. No consistent effect of plant diversity on productivity. *Science* 289: 1255a.
- Ihaka R., Gentleman R., 1996. R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5: 299-314.
- Jackson R.B., Caldwell M.M., 1996. Integrating resource heterogeneity and plant plasticity modelling nitrate and phosphate uptake in a patchy soil environment. *Journal of Ecology*, 84: 891-903.
- Johnson K.H., Vogt K.A., Clark H.J., Schmitz O.J., Vogt D.J., 1996. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 11(9): 372-377.
- Jurik T.W., 1986. Temporal and spatial patterns of specific leaf weight in successional northern hardwood tree species. *American Journal of Botany*, 73: 1083-1092.
- Kahmen S., Poschlod P., 2004. Plant functional trait response to grassland succession over 25 years. *Journal of vegetation Science*, 15(1): 21-32.

- Kazakou E., Vile D., Shipley B., Garnier E., 2006. Co variation in litter decomposition, leaf traits and plant growth in species from a Mediterranean old-field succession. *Functional Ecology*, 20(1): 21-30.
- Keddy P.A., 1989. Competitive hierarchies and centrifugal organization in plant communities. In D.T.J. Grace (Eds), *Perspectives on Plant Competition*. San Diego, California, 265-290.
- Keddy P.A. & Shipley B., 1989. Competitive hierarchies in herbaceous plant communities. *Oikos*, 54: 234-241.
- Keddy P.A., 1992. A pragmatic approach to Functional Ecology. *Functional Ecology*, 6 (6): 621-626.
- Kleyer M., Bekker R.M., Bakker J., Knevel I.C., Thompson K., Sonnenschein M., 2008. The LEDA Traitbase: a database of plant life-history traits of North West Europe. *Journal of Ecology*, 96(6): 1266-1274.
- Knapp A.K., Vogelmann T.C., McClean T.M., Smith W.K., 1988. Light and chlorophyll gradients within *Cucurbita* cotyledons. *Plant, Cell and Environment*, 11: 257-263.
- Körner C., Diemer M., 1987. *In situ* photosynthetic responses to light, temperature and carbon dioxide in herbaceous plants from low and high altitude. *Functional Ecology*, 1: 179-194.
- Körner C., 1989. The nutritional status of plants from high altitudes. A worldwide comparison. *Oecologia*, 81: 379-391.
- Körner C., 2003. Limitation and stress – always or never? *Journal of Vegetation Science*, 14: 141-143.
- Kramberger B., Gselman A., 2000. Changes in productivity and botanical composition of semi-natural grassland as a consequence of cutting frequency. *Rostlinna Vyroba*, 46: 325-330.
- Kull O., Niimets U., 1993. Variations in leaf morphology and nitrogen concentration in *Betula pendula* Roth, *Corylus avellana* L., and *Lonicera xylosteum* L.. *Tree Physiology*, 12(3): 311-318.
- Laincourt P., Callaway R.M., Michalet R., 2005. Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology*, 86(6): 1611-1618.
- Lambers H., Poorter H., 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. *Adv. Ecol. Res.*, 23: 187-261.
- Lambertin M., 1987. *Les écosystèmes d'altitude et le pâturage ovin. Eléments pour la gestion d'un alpage*. Thèse de Doctorat. Université USTL, Montpellier, 159-160.
- Lamont B.B., Groom P.K., Cowling R.M., 2002. High leaf mass per area of related species assemblages may reflect low rainfall can carbon isotope discrimination rather than low phosphorus and nitrogen concentration. *Functional Ecology*, 16: 403-412.
- La Peyre M.K.G., Grace J.B., Hahn E., Mendelssohn I.A., 2001. The importance of competition in regulating plant species abundance along a salinity gradient. *Ecology*, 82: 62-69.
- Lavorel S., McIntyre S., Landsberg J., Forbes T.D.A., 1997. Plant functional classification: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trend in Ecology and Evolution*, 12: 474-478.
- Lavorel S., *et al.*, 1999. Functional groups for response to disturbance in Mediterranean old fields. *Oikos*, 84:480-498.



- Lavorel S., Garnier E., 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16: 545-556.
- Leishman M.R., Westoby M., 1992. Classifying plants into groups on the basis of associations of individual traits – evidence from Australian semi-arid woodlands. *Journal of Ecology*, 8: 205-214.
- Leps J., De Bello F., Lavorel S., Berman S., 2006. Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations. *Preslia*, 78: 481-501.
- Leriche H.X., Le Roux J., Gignoux A., Tuzet H., Fritz L., Abbadie M., 2001. Which functional processes control the short-term effect of grazing on net primary production in grassland? *Oecologia*, 129: 114-124.
- Liancourt P., Callaway R.M., Michalet R., 2005. Stress tolerance and competitive-response ability determine the outcome of biotic interactions. *Ecology*, 86(6): 1611-1618.
- Lipson D.A., Schmit S.K., Monson R.K., 1999. Links between microbial population dynamics and nitrogen availability in an alpine ecosystem. *Ecology*, 80: 1623-1631.
- Lipson D.A., Schmidt S.K., 2004. Seasonal changes in an alpine soil bacterial community in the Colorado Rocky Mountains. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(5): 2867-2879.
- Lombardi G., Cavallero A., 2000. Gestione e vegetazione delle radure pascolive della media montagna della Val Pellice. *Rivista di Agronomia*, 34 (1): 178-181.
- Loreau M., 2000. Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos*, 91 (1): 3-17.
- Loreau M., Mouquet N., Gonzalez A., 2003. Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes. *Proc Nat. Acad. Sci.* 22: 12765-12770.
- Loualt F., Pillar V.D., Aufrere J., Garnier E., Sousanna J.F., 2005. Plant traits and functional types in response to reduced disturbance in a semi-natural grassland. *Journal of Vegetation Science*, 16: 151-160.
- MAF-Ministero Agricoltura e Foreste, 1985. Inventario Forestale Nazionale. Roma.
- MAF- Ministero Agricoltura e Foreste, 2000. *Metodi di Analisi Chimica del Suolo*. A cura dell'Osservatorio Nazionale Podologico. Franco Angeli (Ed), Milano.
- Martinasso B., 2003. I tipi pastorali delle alpi umide piemontesi. Università degli studi di Torino, Torino.
- Mason N.W.H., MacGillivray K., Steel J.B., Wilson J.B., 2003. An index of functional diversity. *Journal of Vegetation Science*, 14: 571-578.
- Mason N.W.H., Mouillot D., Lee W.G., Wilson J.B. 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111: 112-118.
- McCook L.J., 1994. Understanding ecological community succession-causal models and theories, a review. *Vegetatio*, 110:115-147.
- MacDougall A.S., Turkington R., 2004. Relative importance of suppression – based and tolerance – based competition in an invaded oak savanna. *Journal of Ecology*, 92(3): 422-434.
- McGill B.J., *et al.*, 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends Ecol. Evol.*, 21: 178-184.

- McGillivray C.W., Grime J.P., 1995. Genome size predicts frost resistance in British herbaceous plant: implication for rates of vegetation response to global warming. *Functional Ecology*, 9: 320-325.
- McIntyre S., Lavorel S., Landsberg J., Forbes T.D.A., 1999. Disturbance response in vegetation – towards a global perspective on functional traits. *Journal of Vegetation Science*, 10: 621-630.
- McIntyre S., Lavorel S., 2001. Livestock grazing in subtropical pastures: steps in the analysis of attribute response and plant functional types. *Journal of Ecology*, 89: 209-226.
- Meziane D., Shipley B., 1999. Interacting components of interspecific relative growth rate: constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply. *Functional Ecology*, 13: 611-622.
- Monkany K., Ash J., 2008. Are traits measured on pot grown plants representative of those in natural communities? *Journal of Vegetation Science*, 19: 119-126.
- Moog D., Kahmen S., Poschod P., 2005. Application of CRG and LHS strategies for the distinction of differently managed grasslands. *Basic and Applied Ecology*, 6(2): 133-143.
- Mortimer S.R., Van der Putten W.H., Brown V.K., 1999. Insect and nematode herbivory below ground interaction and the role in vegetation succession. *Herbivores: Between Plant and Predators*, 205-238.
- Mortimer S.R., Booth R.G., Harris S.J., 2002. Effect of initial site management on the Coleoptera assemblages colonising newly established chalk grassland on ex-arable land. *Biological Conservation*, 104(3): 301-313.
- Mucina L., Rodwell J.S., Schaminee J.H.J., Dierschke H., 1993. European vegetation survey – Current state of some national programs, 1993. *J. Veg. Science*, 4(3): 429-438.
- Muller B., Garnier E., 1990. Components of relative growth rate and sensitivity to nitrogen availability in annual and perennial species of *Bromus*. *Oecologia*, 84(4): 513-518.
- Nagy G., 2002. The multifunctionality of grasslands in rural development in an European context. *Acta Agronomica Hungarica*, 50 (2): 209-222.
- Navas M.L., Moreau-Richard J., 2005. Can traits predict the competitive response of herbaceous Mediterranean species? *Journal of Ecology*, 27(2): 107-114.
- Newman E.I., 1973. Competition and diversity in herbaceous vegetation. *Nature*, 244: 310-311.
- Niemann G.J., Pureveen J.B.M., Eijkel G.B., Poorter H., Boon J.J., 1992. Differences in relative growth rate of 11 grasses correlate with differences in chemical composition as determined by pyrolysis mass spectrometry. *Oecologia*, 89: 567-573.
- Niinemets Ü., 1999. Components of leaf dry mass per area – thickness and density – after leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *New Phytologist*, 144: 35-47.
- Niinemets Ü., 2001. Global – scale climatic controls of leaf dry mass per area, density and thickness in trees and shrubs. *Ecology*, 82: 453-469.
- Niinemets Ü., Kull K., 2003. Leaf structure vs. nutrient relationships vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. *Acta Oecologia*, 24: 209-219.
- Oberdorfer E., 1978. *Siiddeutsche Pflanzengesellschaften*. Jena.

- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., Dean L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939, US Government Printing Office, Washington, DC.
- Packham J.R., Willis A.J., 1977. The effects of shading on *Oxalis acetosella*. *Journal of Ecology*, 65: 619-642.
- Padilla F.M., Pugnaire F.I., 2006. The role of nurse plant in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(4): 196-202.
- Pammenter N.W., Drennan P.M., Smith V.R., 1986. Physiological and anatomical aspects of photosynthesis of two *Agrostis* species at a sub-antarctic island. *New Phytologist*, 102: 143-160.
- Pardini A., Argenti G., Bianchetto E., Sabatini S., Staglianò N., Talamucci P., 2004. Grassland multiple use to develop naturalistic tourism in Mediterranean Italy. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 62: 453-456.
- Paula S., Pausas J.G., 2006. Leaf traits and resprouting ability in the Mediterranean basin. *Functional Ecology*, 20(6): 941-947.
- Pavon N., Hernandez-Trejo H., Rico-Gray V., 2000. Distribution of plant litter forms along an altitude gradient in the semi arid valley of Zapoltitlan, Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 11:39-42.
- Petchey O.L., Gaston K.J., 2006. Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecological Letters*, 5: 847-857.
- Pignatti S., 2002. *Flora d'Italia*. Edagricole, Bologna.
- Pitman E.T.G., 1939. A note on normal correlation. *Biometrika* 31: 9-12.
- Poldini L., Oriolo G., 1995. La vegetazione dei prati da sfalcio e dei pascoli intensivi (*Arrhenatheretalia* e *Poo-Trisetalia*) in Friuli (NE Italia). *Studia Geobotanica*, 14 (1): 3-48.
- Pontes da S. L., Soussana J.F., Louault F., Andueza D., Carrère P., 2007. Leaf traits affect the above-ground productivity and quality of pasture grasses. *Functional Ecology*, 21: 844-853.
- Poorter H., Remkes C., 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia*, 83: 553-559.
- Poorter H., Remkes C., Lambers H., 1990. Carbon and Nitrogen economy of 24 wild-species differing in relative growth rate. *Plant Physiology*, 94(2): 621-627.
- Poorter H., Bergkotte M., 1992. Chemical composition of 24 wild species differing in relative growth rate. *Plant Cell and Environment*, 15: 221-229.
- Poorter H., Roumet C., Campbell B.D., 1996. Interspecific variation in the growth response of plants to elevated CO<sub>2</sub>: a search for functional types. In Korner C., Bazzaz F.A. (Eds), *Carbon Dioxide, Populations and Communities*. Academic Press. San Diego, CA, 375-412.
- Poorter H., Evans J.R., 1998. Photosynthetic nitrogen –use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area. *Oecologia*, 116, 1-2: 26-37.
- Poorter H., De Jong R., 1999. A comparison of specific area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist*, 143: 163-176.

- Poorter H., Garnier E., 1999. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. In Pugnaire F.I., Valladares F. (Eds.), *HandBook of Functional Plant Ecology*. Marcel Dekker, New York, 81-120.
- Poschlod P., Kiefer S., Trankle U., Fischer S., Bonn S., 1998. Plant species richness in calcareous grasslands as affected by dispersability in space and time. *Applied Vegetation Science*, 1: 75-90.
- Poschlod P., Kleyer M., Tackenberg O., 2000. Databases of life history traits as a tool for risk assessment in plant species. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz*, 9:3-18.
- Poschlod P., Kleyer M., Jackel A.K., Dannemann A., Tackenberg O., 2003. BIOPOP – a database of plant traits and Internet application for nature conservation. *Folia Geobotanica*, 38: 263–271.
- Pringle H.J.R., 1995. Pastoralism, nature conservation and ecological sustainability in Western-Australia southern shrubland rangelands. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2: 26-44.
- Pyankov V.I., Kondratchuk A.V., Shipley B., 1999. Leaf structure and specific leaf mass: the alpine desert plants of the Eastern Pamirs, Tadjikistan. *New Phytologist*, 143: 131-142.
- Ratcliffe D.A., 1984. Post-medieval and recent changes in british vegetation: the culmination of human influence. *New Phytologist*, 98, 73-100.
- Raunkiaer, C., 1934. The life forms and statistical geography. Clarendon, Oxford.
- Reader R.J., 1993. Controll of seedling emergence by ground-cover and seed predation in relation to seed size for some old field species. *J. Ecol.*, 81: 169-175.
- Reich, P.B., Walters M.B., Ellsworth D.S., 1991. Leaf age and season influence the relationships between leaf nitrogen, leaf mass per area and photosynthesis in maple and oak trees. *Plant Cell. Environ.*, 14: 251-259.
- Reich P.B., Walters M.B., Ellsworth D.S., 1992. Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs*, 62, 365-392.
- Reich P.B., Walters M.B., 1994. Photosynthesis-nitrogen relations in Amazonian tree species. II. Variation in nitrogen vis-à-vis specific leaf area influences mass- and area- based expressions. *Oecologia*, 97: 73-81.
- Reich P.B., Walters M.B., Ellsworth D.S., 1997. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proc. Natl Acad. Sci.*, USA 94: 13730–13734.
- Reich P.B., Tjoelker M.G., Walters M.B., Vanderklein D.W., Buschera C., 1998. Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low lighth. *Functional Ecology*, 12: 337-338.
- Reich P.B., Ellsworth D.S., Walters M.B., Vose J.M., Gresham C., Volin J.C., Bowman W.D., 1999. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology*, 80: 1955-1969.
- Ricotta C., 2005. A note on functional diversity measures. *Basic Applied. Ecology*, 6: 479-486.
- Roche P., Diaz-Burlinson N., Gachet S., 2004. Congruency analysis of species ranking based on leaf traits: which traits are more reliable? *Plant ecology*, 174: 37-48.
- Roggero P.P., Bagella S., Farina R., 2002. Un archivio dati di Indici specifici per la valutazione integrata del valore pastorale. *Rivista di Agronomia*, 36: 149-156.

- Roume, C., Urcelay C., Diaz S., 2006. Suites of roots traits differ between annual and perennial species growing in the field. *New Phytologist*, 170(2): 357-368.
- Roy J., 1982. Intraspecific variation in the physiological characteristics of perennial grasses of the Mediterranean region. *Ecologia Mediterranea*, 8: 435-448.
- Roy J., Garnier E., Jackson L. E., 1987. Response of two perennial grasses to water availability in different habitats related to successional change under Mediterranean climate conditions. In Terhunen J. D., Catarino F. M., Lange O. L., Oechel W. C., (Eds), *Plant responses to stress: functional analysis in Mediterranean ecosystems*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 175–190.
- Ryser P., 1996. The importance of tissue density for growth and life span of leaves and roots: a comparison of five ecologically contrasting grasses. *Functional Ecology*, 10: 717-723.
- Ryser P., Lambers H., 1995. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. *Plant and Soil*, 170: 251-265.
- Ryser P., Urbas P., 2000. Ecological significance of leaf life span among Central European grass species. *Oikos*, 91: 41-50.
- Sabate S., Sala A., Gracia C.A., 1995. Nutrient content in *Quercus ilex* canopies – Seasonal and spatial variation within a catchment. *Plant and Soil*, 168: 297-304.
- Sburlino G., Bini C., Buffa G., Zuccarello V., Gamper U., Ghirelli L., Bracco F., 1999. Le praterie e i suoli della Valfredda (Falcade-Belluno, NE-Italia). *Fitosociologia*, 36 (1): 23-60.
- Schippers P., Snoeiijing I., Kropff M.J., 1999. Competition under high and low nutrient level among three grassland species occupying different positions in a successional sequence. *New Phytologist*, 143(3): 547-559.
- Schmid B., Joshi J., Schläpfer F., 2002. Empirical evidence for biodiversity–ecosystem functioning relationships. In: Kinzig A, Tilman D., Pacala S., (eds). *Functional Consequences of Biodiversity: Experimental Progress and Theoretical Extensions*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 120–150.
- Schwartz M.W., Brigham C.A., Hocksema J.D., Kyons K.G., 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia*, 122: 297-305.
- Schwinning S., Weiner J., 1998. Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia* 13: 447-455.
- Shannon C.E., Weaver W., 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Illinois: University of Illinois.
- Shipley B., 1995. Structured interspecific determinants of specific leaf area in 34 species of herbaceous angiosperms. *Functional Ecology*, 9: 312-319.
- Shipley B., 2002. Tradeoffs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. *Functional Ecology*, 16: 682–689.
- Shipley B., Lechowicz M.J., 2000. The functional co-ordination of leaf morphology, nitrogen concentration, and gas exchange in 40 wetland species. *Ecoscience*, 7(2): 183-194.
- Shipley B., Vu T.T., 2002. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*, 153: 359-364.
- Shipley B., Almeida-Cortez J., 2003. Interspecific consistency and intraspecific variability of specific leaf area with respect to irradiance and nutrient availability. *Ecoscience*, 10: 74-79.

- Shipley B., Vile D., Garnier E., 2005. Functional linkages between leaf traits and net photosynthetic rate: reconciling empirical and mechanistic models. *Functional Ecology*, 19(4): 602-615.
- Silverton J., Franco M., Pisanty I., Mendoza A., 1993. Comparative plant demography – relative importance of life-cycle components to the finite rate of increase in woody and erbaceous perennials. *Journal of Ecology*, 81: 465-476.
- Simpson E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- Smith T.M., Huston M., 1989. A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetatio* 83: 49-69.
- Smith T.M., Shugart H.H., Woodward F.I., 1997. Plant Functional Types, Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Smith W.H., Bell D.T., Shepherd K.A., 1998. Associations between leaf structure, orientation, and sunlight exposure in five Western Australian communities. *American Journal of Botany*, 85: 56-73.
- Sokal R.R., Rohlf F.J., 1995. Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research, 3rd ed. W.H. Freeman, New York.
- Solbrig O.T., 1993. Plant traits and adaptative strategies: their role in ecosystem function. In Schulze E.D., Mooney H.A (Eds.), *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer-Verlag, Berlin, 97-116.
- Sefton C.A., Montagu K.D., Atwell B.J., 2002. Anatomical variation in juvenile eucalypt leaves accounts for differences in specific leaf area and CO<sub>2</sub> assimilation rates. *Australian Journal of Botany*, 50(3): 301-310.
- Talamucci P., 1996. Combinazione delle risorse pascolive nei sistemi foraggeri e loro ruolo nei sistemi multiuso. *Rivista di Agronomia*, 31(1):101-107.
- Tackenberg O., 2007. A new method for non-destructive measurement of biomass, growth rates, vertical biomass distribution, dry matter content based on digital image analysis. *Annals of Botany*, 99: 777-783.
- Tilman D., 1982. Resource Competition and Community Structure. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Tilman D., 1985. The resource-ratio hypothesis of plant succession. *American Naturalist*, 125: 827-852.
- Tilman D., 1987. On the meaning of competition and the mechanism of competitive superiority. *Functional Ecology*, 1: 304-315.
- Tilman D., 1988. Plant Strategies and the Dynamic and Structure of Plant Communities. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Tilman D., 1999. Ecology – Diversity and production in European grassland. *Science*, 286
- Tilman D., Cowan M.L., 1989. Growth of old field herbs on a nitrogen gradient, *Functional Ecology*, 3: 425-438.
- Tilman D., Knops J., Wedin D., Reich P., Ritchie M., Siemann E., 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330): 1300-1302.
- Thompson K., Grime J.P., 1988,. Competition reconsidered - a reply to Tilman. *Functional Ecology*, 1: 114-116.

- Tjoelker M.G., Craine J.M., Wedin D., 2005. Linking leaf and root trait syndromes among 39 grassland and savannah species. *New Phytologist*, 167(2): 493-508.
- Tonioli M., Cinti F., Grandi S., Piccaglia R., Ubaldi D., Speranza M., 2004. Grazing value of grasslands communities in Apennine protected areas (Italy). *Grassland Science in Europe*, 9: 204-206.
- Tsialtas, J.T., Pritsa, T.S., Veresoglou D.S., 2004. Leaf physiological traits and their importance for species success in a Mediterranean grassland. *Photosynthetica*, 42(3): 371-376.
- Ubaldi D., Canotti A.L., Corticelli S., 1990. Un'associazione di prateria supramediterranea falciata nell'Appennino settentrionale (Salvio-Dactyletum *ass.nova*). *Archivio Botanico e Biogeografico Italiano*, 65 (3/4): 154-165.
- Van Arendonk J.J.C.M., Poorter H., 1994. The chemical composition and anatomical structure of leaves of grass species differing in relative growth rate. *Plant, Cell and Environment*, 17: 963-970.
- Van Arendonk J.J.C.M., Niemann G.J., Boon J.J., 1997. Effects of nitrogen supply on the anatomy and chemical composition of leaves of four grass species belonging to the genus *Poa*, as determined by image-processing analysis and pyrolysis mass spectrometry. *Plant Cell and Environment*, 20(7): 881-897.
- Van der Werf A., Visser A.J., Schieving F., Lambers H., 1993. Evidence for optimal partitioning of biomass and nitrogen at a range of nitrogen availabilities for a fast- and slow-growing species. *Functional Ecology*, 7: 63-74.
- Vandvik V., & Birks H.J.B., 2004. Mountain summer farms in Roldal, western Norway – vegetation classification and patterns in species turnover and richness. *Plant Ecology*, 170: 203-222.
- Van Jaarsveldt A.S., Ferguson J.W.H., Bredenkamp G.J., 1998. The Goenvally grassland fragmentation experiment: design and initiation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 68: 139-150.
- Van der Putten W.H., Mortimer S.R., Hedlund K., 2000. Plant species diversity as a driver of early succession in abandoned fields: a multi-site approach. *Oecologia*, 124(1): 91-99.
- Van der Putten W.H., 2003. Plant defense belowground and spatio temporal process in natural vegetation. *Ecology*, 84(9): 2269-2280.
- Vazzana C., 1998. *Ecologia vegetale agraria*. Bologna, 139-153.
- Vendramini F., Diaz S., Gurvich D.E., Wilson P.J., Thompson K., Hodgson J.G., 2002. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*, 154: 147-157.
- Vesk P.A., 2004. Simple traits do not predict grazing response in Australian dry shrublands and woodlands. *Journal of Applied Ecology*, 41, 22-31.
- Vile D., Garner E., Shipley B., Laurent G., Navas M.L., Roumet C., Lavorel S., Diaz S., Hodgson J.G., Lloret F., Midgley G.F., Poorter H., Rutherford M.C., Wilson P.J., Wriath I.J., 2005. Specific Leaf Area and Dry Matter Content Estimate Thickness in Laminar Leaves. *Annals of Botany*, 96:1129-1136.
- Vinton M.A., & Burke I.C., 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology*, 76(4): 1116-1133.
- Violle C., Navas M.L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E., 2007. Let the concept of trait be functional ! *Oikos*, 116: 882-892.

- Wardle D.A., Bonner K.I., Barker G.M., 1999. Plant removals in perennial grassland: vegetation dynamics, decomposers, soil biodiversity, and ecosystem properties. *Ecological Monographs*, 69: 535-568.
- Walker B.H., 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*, 6:18-23.
- Walker B; Kinzig A; Langridge J. 1999. Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function. The nature and significance of dominant and minor species. *Ecosystems*, 2(2): 95-113.
- Wallace L.L., Macko S.A., 1993. Nutrient acquisition by clipped plants as a measure of competitive success: The effects of compensation. *Functional Ecology*, 7: 326-331.
- Wallis De Vries M.F., Poshlod P., Willems J.H., 2002. Challenges for the conservation of calcareous grassland in northwestern Europe: integrating the requirements of flora and fauna. *Biological Conservation*, 104, 265-273.
- Walters M.B., Field C.B., 1987. Photosynthetic light acclimation in two rainforest Piper species with different ecological amplitudes. *Oecologia*, 72: 449-456.
- Waring R.H., McDonald A.J.S., Laarson T., Ericsson T., Wiren A., Arwidsson E., Ericsson A., Lohammer T., 1985. Differences in chemical composition of plant grown at constant relative growth rates with stable mineral nutrition. *Oecologia*, 66: 157-160.
- Warton D.I., Weber N.C., 2001. Common slope tests for bivariate errors-in-variables. *Biometrical Journal*, 44:161-174.
- Warton D.I., Wright I.L., Falster D.S., Westoby M., 2006. Bivariate line-fitting methods for allometry. *Biological Reviews*, 91: 259-291.
- Wedin D.A., Tilman D., 1990. Species effects on nitrogen cycling: a test with perennial grasses. *Oecologia*, 84: 433-441.
- Wedin D.A., Pastor J., 1993. Nitrogen mineralisation dynamics in grass monocultures. *Oecologia*, 96: 186-192.
- Weiner J., 2004. Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, 6: 207-215.
- Weierher E., Van der Werf A., Thompson K., Roderick M., Garnier E., Eriksson O., 1999. Challenging Theophrastus: a common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science*, 10: 1296-1299.
- Welden C.W., Slauson W.L., 1986. The intensity of competition versus its importance – an overlooked distinction and some implications. *Quarterly Review of Biology*, 61:23-44.
- Wells T.C.E., 1974. Some concepts of grassland management. In Duffey E., Morris M.G., Sheail J., Ward L.K., Wells D.A., Wells T.C.E. (Eds) *Grassland Ecology and Wildlife managements*. Chapman & Hall, London, 163-164.
- Werk K.S., Ehleringer J., Forseth I.N., Cook C.S., 1983. Photosynthetic characteristics of Sonoran Desert winter annuals. *Oecologia*, 59: 101-105.
- Westoby M., 1998. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, 199: 213-227.
- Westoby M., Falster D.S., Moles A.T., Vesk P.A., Wright I.J., 2002. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 125-159.
- Wahl S., Ryser P., 2000. Root tissue structure is linked to ecological strategies of grasses. *New Phytologist*, 148(3): 459-471.



- Willems J.H., 1980. An experimental approach to the study of species diversity and above ground biomass in chalk grassland. *Proc. K. Ned. Akad. Wet. Series C*, 83: 279-306.
- Willems J.H., 1983. Species composition and above ground phytomass in chalk grassland with different management. *Vegetatio*, 52: 171-180.
- Willems J.H., 1990. Calcareous grasslands in continental Europe. In Hillier S.R., Walton D.W.H., Wells D.A., (Eds). *Calcareous grassland – Ecology and Management*. Bluntisham: Bluntisham Books, 3-10.
- Willems J.H., Peet R.K., Bik L., 1993. Changes in chalk-grassland structure and species richness resulting from selective nutrient additions. *Journal of Vegetation Science*, 4: 203-212.
- Wilson S.D., Shay J.M., 1990. Competition fire and nutrients in a mixed-grass prairie. *Ecology* 71:1959-1967.
- Wilson S.D., Tilman D., 1991. Components of plant competition along experimental gradient of nitrogen availability. *Ecology* 72, 1050-1065.
- Wilson J.R., 1993. Organization of forage plant tissue. In Young H.J., Buxton D.R., Hatfield R.D., Ralph J., (Eds), *Forage cell wall structure and digestibility*. ASA, Madison, 1-32.
- Wilson P., Thompson K., Hodgson J., 1999. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 143: 155-162.
- Witkowski F., Lamont B., 1991. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, 88: 155-162.
- Woodward F.I., Diament A.D., 1991. Functional approaches to predicting the Ecological Effects of Global Change. *Functional Ecology*, 5, 2: 202-212.
- Woodward F.I. Cramer W., 1996. Plant functional types and climatic changes: Introduction. *Journal of Vegetation Science*, 7(3):306-308.
- Woodward F.I. Beerling D.J., 1997. The dynamics of vegetation change: health warnings for equilibrium “dodo” models. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6(6): 413-418.
- Wright W., Illius A.W., 1995. A comparative study of the fracture properties of five grasses. *Functional Ecology*, 9: 269-278
- Wright I.J., Westoby M., 1999. Differences in seedling growth behaviour among species: traits correlation across species: and trait shift along nutrient compared to rainfall gradient. *Journal of Ecology*, 87: 85-87.
- Wright I.J., Cannon K., 2001. Relationship between leaf life span and structural defences in a low nutrient , sclerophyll flora. *Functional Ecology*, 15: 351-359.
- Wright I.J., Westoby M., 2002. Leaves at low versus high rainfall: coordination of structure, life span and physiology. *New Phytologist*, 155: 403-416.
- Wright I.J., Westoby M., Reich P.B., 2002. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient poor habitats has different consequences for leaf life span. *Journal of Ecology*, 90: 534-543.
- Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin F.S., Cornelissen J.H.C., Diemer M, Flexas J., Ganier E., Groom P.K., Giulias J., Hikosaka K., Lamont B.B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J.J., Navas M-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomaas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E., Villar, R., 2004. The world-wide leaf economics spectrum. *Nature*, 428: 821-827.

Zanotti A.L., Ubaldi D., Puppi G., Sirotti M., 1998. Osservazioni fitosociologiche sulle praterie montane dell'area del Monte Nero (Appennino Ligure-Emiliano). *Archivio Geobotanico*, 4 (2): 181-192.