

Università di Pisa

**Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali
Facoltà di Agraria**

Corso di Laurea Interfacoltà in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente
Curriculum Agro-forestale

Laurea specialistica in Gestione e Tutela dell'Ambiente Agro-Forestale

**Andamenti del contenuto in azoto in diversi organi
di tre specie arbustive della macchia Mediterranea
condividenti lo stesso areale**

UNIVERSITÀ DI PISA

RELATORE: *Chiar.mo Prof. Riccardo Gucci*

CORRELATORE: *Dott.ssa Laura Ercoli*

CANDIDATO: *Melissa Messinese*

Anno Accademico 2006/2007

Indice

Pagina

1 Introduzione

1.1 Risposte della vegetazione al clima mediterraneo	4
1.2 Composizione della macchia mediterranea	8
1.3 Caratteristiche fisiologiche della specie rappresentative della macchia prese in esame.....	12
1.4 Strategie adottate dalle specie mediterranee in risposta allo stress idrico	22
1.5 Andamento del contenuto di azoto nei tessuti di specie della macchia mediterranea.....	26
1.6 Obiettivo	32

2 Materiali e Metodi

33

2.1 Clima	36
2.2 Potenziale idrico fogliare e conduttanza stomatica.....	37
2.3 Rilievi di crescita	39
2.4 Campionamento delle radici	39
2.5 Analisi dell'azoto	41

3 Risultati

3.1 Andamento della temperatura e delle precipitazioni	43
3.2 Rilievi di crescita	48
3.4 Andamento del contenuto di azoto.....	52

4 Discussione

57

Bibliografia

Indice figure e tabelle

Ringraziamenti

1. Introduzione

1.1 Risposte della vegetazione al clima mediterraneo

Il clima mediterraneo, è un clima temperato, caratterizzato da estati calde e secche e piogge concentrate nel periodo autunno primaverile. Le estati sono dominate, ad ovest dall'anticiclone delle Azzorre ad est da un sistema di bassa pressione, che si estende dal Medio Oriente al sud ovest asiatico. Gli inverni sono freddi, piuttosto piovosi, causati dal dispiegamento dell'attività ciclonale del nord (Walter e Lieth, 1960). L'esistenza di correnti oceaniche fredde risulta essere il principale fattore determinante le caratteristiche del clima mediterraneo (Canary Current), (Bagnouls e Gausson, 1957; Daget, 1977).

L'aridità estiva è il fattore ecologico che più influenza la vegetazione nell'ecosistema mediterraneo, sebbene rivestano un ruolo importante anche le temperature fredde invernali: non sono rari, infatti, periodi nei quali la temperatura scende sotto zero a diverse latitudini (Specht, 1981). Il periodo siccitoso, può essere persistente o intermittente (Walter e Lieth, 1960); nelle condizioni di pronunciate aridità e radiazione luminosa, la temperatura fogliare può raggiungere i 50 °C in estate, e scendere sotto 0 °C in inverno.

A causa delle condizioni di aridità possono verificarsi situazioni in cui si ha scarsa disponibilità di nutrienti (di Castri *et al.*, 1981). La disponibilità delle risorse è considerata uno dei maggiori determinanti della pressione selettiva negli organismi vegetali (Lambers e Poorter 1992; Poorter e Remkes 1990; Orshan 1989; Mooney e Dunn 1970).

I fattori climatici delle regioni mediterranee, quindi, hanno modellato i processi evolutivi ed etnobotanici delle specie vegetali e regolano la crescita e la diffusione delle specie locali. L'adattamento che più di frequente è stato selezionato nelle specie esposte a climi di tipo mediterraneo, è caratterizzato dalla necessità di preservare la possibilità di approvvigionamento di nutrienti in condizioni di aridità, strettamente correlata alla capacità di limitare la perdita di acqua. La vegetazione mediterranea è quindi prevalentemente dominata da cespugli sempreverdi dalle foglie coriacee ed alberi bassi e con foglie rigide coriacee e spesse, specie generalmente indicate come

sclerofille. Beard (1983), ha ipotizzato che in alcune aree del continente australiano la presenza di tali forme scleromorfe, sia una risposta alla limitazione di nutrienti. L'accumulo di nitrati e dell'azoto ammoniacale decresce durante lo stress idrico (Nilsen e Orcutt, 1996). Il flusso di azoto dalle radici alle foglie diminuisce e alte concentrazioni di nitrati e azoto ammoniacale, vengono accumulati nelle radici sottoposte a stress idrico (Nilsen e Muller, 1981). Le alte concentrazioni di ioni di composti azotati nelle radici di piante sottoposte a stress idrico, inibiscono l'accumulo di azoto dal suolo. Quindi la riduzione dell'accumulo di azoto non è dovuta ad un effetto specifico dello stress sul trasporto delle proteine o sui meccanismi di accumulo, ma i cambiamenti nell'utilizzo di azoto e nel suo movimento all'interno della pianta sono dovuti a condizioni della stessa che inibiscono le cinetiche di assorbimento (Nilsen e Orcutt, 1996).

Dal punto di vista anatomico, le piante superiori, evolute negli ambienti del clima mediterraneo hanno presentato adattamenti convergenti, particolarmente evidenti, quali: cuticole spesse, cellule a palizzata del mesofillo ben sviluppate, piccoli stomi per unità di area stomale per foglia e inclusioni degli stomi dentro piccoli pozzi o solchi detti cripte spesso parzialmente occluse da tubuli cerosi e peli (Margaris e Mooney, 1981). Queste modificazioni si pensa consentano un certo risparmio idrico, la resistenza alla pressione negativa di turgore e per quanto riguarda la tomentosità, la protezione dagli attacchi degli erbivori (Salleo e Nardini, 2000).

In condizioni di prolungata siccità, la dominanza è assunta da specie legnose semi-decidue, stagionalmente dimorfiche, semi-succulente, o succulente (Specht *et al.*, 1983). Nelle zone più piovose, la crescita degli alberi, aumenta, e le terre cespugliose si uniscono in foreste di sempreverdi legnose, mentre all'altro estremo, nelle zone meno piovose, le aree cespugliose si fondono in zone aride (più aperte e sparse) segnando i confini dei deserti caldi (di Castri *et al.*, 1981). Piante che possiedono foglie sempreverdi, possono sembrare sfavorite in un clima caldo e secco, in quanto la perdita delle foglie durante la stagione secca, potrebbe preservare dalla potenziale perdita d'acqua dalla superficie fogliare. In realtà mantenendo le foglie durante la stagione sfavorevole, le sempreverdi

possono riprendere l'attività vegetativa più velocemente rispetto alle decidue, nel momento in cui i fattori limitanti non sono più tali. Le specie sempreverdi tendono così a dominare i siti dove le risorse sono difficili da ottenere (Tretiach, 1993; Damesin *et al.*, 1998).

A livello di specie, una grande proporzione delle piante mediterranee mostra una marcata variazione intraspecifica con molte sottospecie ed ecotipi (Blondel e Aronson, 1995). La vegetazione mediterranea in generale può considerarsi intermedia tra le caratteristiche del sud Africa - Australia e Cile-California (di Castri, 1990).

Nel clima mediterraneo troviamo dunque, due distinte soluzioni adattative nei confronti dell'aridità, da un lato troviamo l'*avoidance*, strategia applicata ad esempio con la perdita delle foglie, dall'altro troviamo la strategia della *tolleranza* adottata in particolare dalle sempreverdi, che continuano a crescere anche durante la stagione secca (de Lillis e Fontanella, 1992), (Nardini *et al.*, 1999 studi su *Quercus suber* e *Quercus cerris*).

In autunno, quando iniziano le prime piogge, la lunga siccità estiva è interrotta inizialmente negli strati superficiali del suolo. In questo momento inizia il ciclo di crescita delle erbe perenni e dei cespugli con radici superficiali. La crescita delle radici più profonde dei cespugli sempreverdi invece non ha inizio fino a primavera, quando, il rischio di danno, causato dalle basse temperature ai nuovi tessuti è ridotto (Mooney e Kummerow, 1981).

Studi sui meccanismi fisiologici di controllo responsabili della cessazione della crescita del fusto in estate e la ricrescita nella stagione fredda, hanno stabilito che probabilmente non è soltanto la diminuzione dell'umidità del suolo a porre fine alla crescita. Esiste, infatti, un periodo di acclimatazione nel quale i tassi di crescita diminuiscono e si verifica una maggiore chiusura stomatica. Lo stress idrico, può non essere il solo fattore coinvolto, studi sul corbezzolo hanno, infatti, messo in evidenza come a periodi di massima intensità di luce possano essere correlati processi di fotoinibizione. Similitudini nella struttura della vegetazione in analoghi gradienti climatici sono descritti da Mooney *et al.* (1970). Inoltre da un punto di vista metabolico, le foglie delle sclerofille sempreverdi, sono atte a tollerare l'aridità relativamente bene e la loro struttura morfologica risulta avere alti livelli di resistenza del mesofillo fogliare il che determina bassi rates di massimo

fotosintetico. Le foglie delle specie decidue hanno un massimo fotosintetico che è approssimativamente il doppio di quello delle sclerofille sempreverdi, queste foglie sensibili all'aridità rimangono vitali circa per metà dell'anno. (Mooney e Dunn, 1970). La produttività annuale dei cespugli sempreverdi è dipendente dalla temperatura stagionale e dalla disponibilità di umidità. I cespugli decidui sono dipendenti da un terzo fattore, la radiazione fotosinteticamente attiva: PAR (Photosintetic Active Radiation). La dominanza di cespugli sempreverdi in California e Cile ad altezze medie è spiegata da un regime mesoclimatico sfavorevole per la lunga ritenzione delle foglie decidue. La produttività delle decidue, è limitata dalla caduta delle foglie tardo primaverili dovuta alle fredde temperature invernali e alla abscissione tardo primaverile delle foglie quando inizia l'aridità estiva (Miller, 1979). A basse altezze le strategie delle decidue sono favorite dalla precoce *initiation* delle foglie e dalla lunga aridità estiva sfavorevole per le sempreverdi.

Sebbene questa interpretazione fotosintetica delle forme fogliari sia sostanzialmente corretta, in generale non permette di spiegare diverse interessanti anomalie nella struttura delle comunità cespugliose.

Nelle zone temperate mediterranee la veloce crescita e la produzione di biomassa, sono messe in relazione con l'incremento dei nutrienti, con la disponibilità di acqua e l'accumulo dei fotosintetati nelle foglie e nei tessuti riproduttivi (de Lillis e Fontanella, 1992). L'andamento di crescita di diverse specie presenti nelle regioni mediterranee può essere spiegato con la profondità delle radici. Infatti, a seconda della profondità di queste ultime e le caratteristiche del suolo, cambia la quantità d'acqua disponibile (Mooney e Kummerow, 1981). In accordo con Grime's C-R-S model (Grime, 1988) le piante con strategia di crescita veloce possono essere definite *competitrici*, quelle con strategie di crescita lenta possono essere definite *stress tolleranti*. Quindi prendendo in esame ad esempio condizioni di stress quali una bassa frequenza di fuoco o pressione di pascolo, queste permettono l'insediamento di sempreverdi sclerofille definibili *competitrici* come *A. unedo* e *E. arborea*. Al contrario condizioni opposte possono portare ad una comunità di piante *stress tolleranti* come *P. latifolia* (Paraskevopoulos *et al.*, 1994).

A livello ecologico le previsioni riguardo ai livelli di acqua e nutrienti minerali negli ecosistemi Mediterranei sono piuttosto carenti, benché questo tipo di

previsioni risulti di particolare importanza, poiché le fluttuazioni stagionali dell'umidità del suolo, come detto in precedenza, sono considerate fattori limitanti per la crescita e la produttività delle specie Mediterranee (Specht, 1981; Gucci *et al.*, 1999).

La competizione per i nutrienti nei suoli poveri è riconosciuta come un importante fattore ecologico. Poca importanza è stata invece data al significato della competizione interspecifica per i nutrienti essenziali nella determinazione della forma strutturale della comunità di piante.

1.2 Composizione della macchia mediterranea

“La macchia mediterranea, nell’accezione più comune, è una formazione costituita da fusti policormici dove le componenti più qualificanti della vegetazione mediterranea sopravvivono alle ceduzioni o ad incendi” (Bernetti, 1995).

Le sclerofille del genere *Quercus* e altre specie affini determinano nella macchia una mescolanza piuttosto complessa arricchita da alcune specie caducifoglie. Intervengono, inoltre, le specie mediterranee cespugliose. Queste ultime aumentano di frequenza con l’aumento delle condizioni associate all’aridità del terreno fino a diventare dei cespugli di degradazione estrema, come il *Cistus spp.* (Bernetti, 1995).

Nelle consociazioni reciproche con querce, le filliree, il corbezzolo, il lentisco, il mirto e l’alaterno, sono le specie più comuni.

Quercus ilex (Leccio, fig. 1) per la sua frequenza la sua statura ed il suo potere di dominanza è la specie chiave della vegetazione del Mediterraneo occidentale (Bernetti, 1995).

L’areale principale del leccio è mediterraneo - occidentale, ovvero in: Marocco, Algeria, Tunisia, Portogallo, Spagna, Francia e Italia (Seigue, 1985), con appendice di areale comprendente stazioni più disperse sulla costa della Dalmazia, Albania, Grecia e Turchia occidentale (Bernetti, 1995).

Quercus ilex si colloca nella fascia termo-mediterranea dove si localizza in stazioni più piovose o in esposizioni più fresche. Nella fascia meso-mediterranea ha il massimo di frequenza ed infine nella fascia sopra-mediterranea (dominio delle caducifoglie); il leccio ha una notevole estensione, sfrutta, infatti, stazioni o climi locali più caldi, risultando così la

sclerofilla con limiti geografici più settentrionali e con limiti altimetrici più elevati (Pignatti, 1982).

L'inventario forestale nazionale del 1985 attribuisce ai cedui di leccio e sughera 137.700 ettari ed agli arbusteti di leccio e alle formazioni rupestri 235.800 ettari. Per quanto riguarda l'ecologia, *Quercus ilex*, si presenta come un albero a foglie semplici alterne per lo più caduche (Baroni, 1969).

L'anatomia fogliare è nettamente sclerofilla e sempreverde con foglie che in condizioni normali durano fino a 4- 5 anni.

Il leccio ha ritmo di accrescimento policiclico, il getto primaverile è predeterminato e si verifica sempre sia pure con un'intensità diversa secondo la piovosità dell'annata. La pausa estiva dovuta all'aridità può essere interrotta da getti prolettici stimolati dal ritorno delle piogge. Il getto prolettico più significativo, e più frequente è quello autunnale ma estati piovose od inverni miti possono determinare ulteriori chiusure di gemme rispettivamente anticipate o ritardate (Bernetti, 1995). In annate con primavera siccitosa seguita da stagioni favorevoli la somma degli accrescimenti prolettici supera la lunghezza del getto primaverile (Giovannini *et al.*, 1992). La dendrologia mostra che gli anelli annuali sono poco distinti tra loro nonostante le pause estive ed invernali dell'attività cambiale. Queste manifestazioni di atavismo tropicale, di gran significato adattativo in ambiente mediterraneo, non trovano riscontro nella biologia di riproduzione che segue invece ritmi di tipo medio europeo. Pur essendo la sclerofilla più resistente al gelo (i danni alle foglie intervengono a -15 °C ed i danni al cambio del fusto a - 28 °C) l'optimum di vegetazione rispetto alle temperature dipende dalla fotosintesi invernale che si riduce rispetto a quella estiva dell'80% nei climi della fascia meso-mediterranea, zona del *Lauretum*, mentre scende a meno del 50% nelle condizioni di fascia sopra-mediterranea: zona del *Castanetum* anche per le leccete a 1000 m di altitudine della Sardegna (Larcher, 1992).

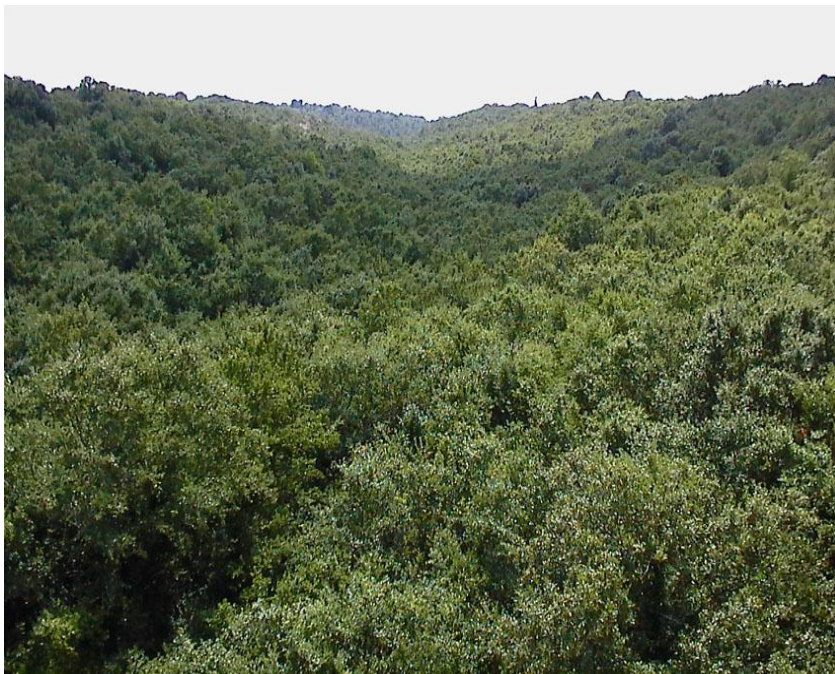


Figura 1. *Quercus ilex*: Macchia mista a leccio, panoramica delle colline livornesi (2002).

L'optimum di vegetazione rispetto all'umidità si colloca in climi con almeno 800 mm di pioggia all'anno; in climi più aridi il leccio si accantona in stazioni più fresche. Cespugli di leccio sopravvivono in molte situazioni di macchia degradata e non mancano garighe o steppe cespugliate o alberate in cui il leccio è l'unica specie legnosa che sopravvive, ma in queste condizioni la produzione di ghianda è scarsa (Pignatti, 1982).

Le sclerofille più comuni con cui si associa sono le filliree, il mirto e il lentisco mentre il maggiore addensamento di viburno-timo è indice di fertilità e di più facile evoluzione a lecceta.

Sui suoli silicatici intervengono il corbezzolo e l'erica arborea sui suoli carbonatici più caratterizzati invece, spesso si hanno composizioni a leccio quasi puro (Bernetti, 1995).

Tra le specie più rappresentative della macchia possiamo trovare, prevalentemente, *Arbutus unedo*, *Phyllirea latifolia*, *Myrtus communis*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, unite poi alle ginestre e agli arbusti aromatici.

1.3 Caratteristiche fisiologiche delle specie maggiormente rappresentative della Macchia mediterranea.

- *Arbutus Unedo*, (Corbezzolo, fig. 2a),

L'areale del corbezzolo è sia atlantico che mediterraneo occidentale e si estende fino alla Grecia, in Italia è frequente in tutta l'area delle sclerofille (Pignatti, 1982); appartiene alle *Ericales*, è una pianta arborea che può raggiungere i 12 m di altezza, la fioritura è annuale e contemporanea alla maturazione dei frutti dell'anno precedente (Baroni, 1969);

A. unedo ha un flusso principale di accrescimento in primavera e sporadicamente un debole flusso di allungamento in autunno. Secondo studi condotti da Larcher, (1992) presenta un elevato tasso fotosintetico invernale in confronto alle altre sclerofille ed è mediamente resistente al gelo, anche le temperature eccessive risultano sfavorevoli allo sviluppo; (Tenuhen *et al.*, 1981).

Il corbezzolo è silicicolo e quindi particolarmente consociato alla sughera, pino marittimo e alle grandi eriche; si distingue dalle altre sclerofille per una certa attitudine al pionierismo da catastrofe, esercita una scarsa copertura perché le sue foglie durano solo un anno, elude però la concorrenza con lo sviluppo giovanile particolarmente rapido e soprattutto con la capacità di emettere polloni radicali che scaturiscono da ligno tuberli distinti dalla pianta e sufficientemente profondi da scampare al fuoco, (Bernetti, 1995). Tuttavia non ha gli adattamenti completi di una pianta pirofila, sebbene le piante e la lettiera siano poco infiammabili (Valette, 1990), non si propaga per seme dopo gli incendi e tende a scomparire quando gli incendi ripetuti incidono sulla profondità del suolo (Bernetti, 1995).

- *Mirtus communis* L. (Mirto, fig. 2 b),

È invece il più piccolo fra gli arbusti sclerofilli di macchia non assume forme di albero monocormico, non supera, infatti, i 4-5 m di altezza ed appare per lo più come un cespuglio.

L'areale è circummediterraneo il massimo di frequenza e l'optimum di vigore aumentano in senso caldo; la sua frequenza risulta più scarsa su suoli calcarei e si colloca soprattutto ai margini e nelle radure delle macchie a sclerofille; può sopravvivere come sottobosco di leccete (Hermann e Pollini, 1990). Le radici di *Mirtus communis* sono larghe e ampiamente estese e profonde, molti germogli cercano in profondità il livello freatico (Amato e Sarnatero, 1999).



a)



b)

Figura 2. a) *Arbutus Unedo*: Pianta con frutti, Parco delle colline livornesi (Ottobre-Novembre; 2007); **b)** *Mirtus communis*: Particolare del fiore e frutti. (2003).

○ *Phyllirea latifolia* (Fillirea, fig. 3)

La fillirea appartiene alle *Oleaceae*, è un arbusto cespuglioso sempreverde a foglie coriacee opposte indivise con fiori bianchi e odorosi disposti in brevi racemi (Baroni, 1969). L'areale di distribuzione è completamente circum-mediterraneo. L'accrescimento intermittente, con flussi di allungamento e di accrescimento diametrico in qualsiasi periodo favorevole dell'anno, determinano dal punto di vista dendrologico, la mancanza di differenziazione dell'anello annuale in zona primaticcia e tardiva (Marano, 1953).

La fioritura si prolunga da febbraio ad aprile e la maturazione di frutti da luglio ad ottobre (Baroni, 1969). La resistenza all'aridità è garantita da marcati caratteri di sclerofillia (Bernetti, 1995), e dall'apparato radicale moderatamente profondo che raggiunge circa 130 cm di profondità. Queste radici sono sempre strettamente associate con le radici di *Myrtus communis* a livello corticale e tramite anastomizzazioni (Amato e Sarnatero, 1999). Studi sulle radici di *P. latifolia* esposte a diversi trattamenti d'irrigazione mostrano molte differenze nell'anatomia descrittiva (Aronne *et al.*, 1999). L'aumento della disponibilità di acqua causa apparentemente un allargamento del diametro delle radici e transizioni da una struttura regolare ad un'irregolare. Le cellule corticali degli esemplari di controllo mostrano, invece, una sezione a forma rotonda. Le radici degli esemplari mediamente stressati d'altra parte, esibiscono una crescente perdita di rotondità, in quelli sottoposti a stress più intenso, le radici si restringono molto e si angolano. Lacune corticali dovute alla rottura della corteccia si hanno nelle radici stressate e aumentano in larghezza secondo il decrescere della disponibilità di acqua (Aronne *et al.*, 1999).

In accordo con queste considerazioni, le radici di *P. latifolia* esposte a costante rifornimento d'acqua non mostrano cambiamenti nelle caratteristiche anatomiche lungo i giovani segmenti differenziati. Le caratteristiche anatomiche dunque, generalmente, si mantengono costanti internamente ai segmenti radiali con struttura primaria, se questi si sviluppano in condizioni invariate. In virtù di questo, è sufficiente una singola sezione per avere informazioni su tutta la struttura (Aronne *et al.*, 1999).

Comunque, poiché differenze significative tra i gruppi non sono state trovate in nessuna delle osservazioni, è stato possibile concludere che le taglie delle

cellule corticali e degli spazi inter-cellulari non risentono dell'aridità cui sono sottoposte le piante cui appartengono.

Le filliree partecipano a diversi tipi di macchia, si trovano anche allo stato di cuscinetto prostrato nelle macchie a ginepro delle dune costiere, sono specie estremamente infiammabili (Valette, 1990), e soggette a scomparire in seguito a incendi ripetuti, inoltre non hanno difese contro il pascolo e sono molto gradite dagli ungulati selvatici.



Figura 3. *Phyllirea latifolia*: Particolare del fiore (Parco delle colline livornesi; 2003).

- *Pistacia lentiscus* (Lentisco, fig. 4)

Altra pianta caratteristica della macchia è il Lentisco, pianta sempreverde anche se non completamente sclerofilla il cui areale è circum-mediterraneo spostato verso sud; in Italia è diffuso in tutta l'area delle sclerofille.

Può essere trovata come specie caratteristica nell'associazione *oleo lentiscetum* coincidente con la fascia termo-mediterranea benché si possa trovare anche nella fascia meso-mediterranea sia pure allo stato di cespuglio basso e mai capace di dominare.

Il lentisco sembra una delle sclerofille più resistenti al gelo (Larcher, 1981); è comunemente considerato eliofilo ma dal modo con cui sopravvive come sottobosco di pinete giovani o di lecceta potrebbe dirsi sciafilo. Il seme è oleoso e pochissimo conservabile le piantine giovani sono molto sensibili agli strappi alle radici. In *P. lentiscus* le plantule mostrano una direzione preferenzialmente verticale con qualche piccola radice orizzontale, gli individui anziani mostrano profondità e distribuzione laterale non molto più lunga rispetto alla proiezione della chioma (Amato e Sarnatero, 1999). Il lentisco è una delle specie che per ultime hanno il germogliamento alla fine di aprile o maggio che coincide con la cessazione della crescita delle altre specie. L'ultima fase di crescita è stata osservata alla fine di agosto per la durata del periodo secco.



Figura 4. *Pistacia lentiscus*: Parco delle colline livornesi (2007).

- *Cistus monspeliensis* (Cisto, fig.5)

Specie non xeromorfa, vive in ambienti aridi pur non avendo spiccati adattamenti, non è sclerofilla, risponde alle condizioni di aridità difendendosi con cere o con la foglia revoluta ed il sistema vascolare del legno non rivela morfologie di adattamento all'aridità (Saya, 1968). Traspira molto anche in estate e quando ha esaurito l'acqua del terreno, rimane vitale pur avendo le foglie appassite.

La crescita dura per un lungo periodo (nove mesi), inizia con le prime piogge e prosegue fino a primavera. In particolare si possono individuare due esplosioni di crescita separate da un periodo di bassa attività durante i mesi freddi (Correia *et al.*, 1992.)

Le specie di cisto presentano caratteristiche intermedie tra le sclerofille che attuano strategie di tolleranza allo stress e le specie decidue che attuano strategie di avoidance dello stress (Money e Kummerow, 1971). Benché questa divisione sia più o meno arbitraria, in quanto esistono delle specie che hanno un'alta percentuale di foglie in estate eppure sono considerate decidue estive come *Salvia leucophylla* (Gray, 1983).

Le radici di *C. monspeliensis* sono prevalentemente orizzontali e molto superficiali ciò in accordo con le osservazioni di molti episodi di disidratazione e recupero del turgore (della foglia) nella stessa stagione, in cui lo stato dell'acqua appare accoppiato alle veloci oscillazioni dell'acqua superficiale del suolo ma spiega anche il comportamento traspiratorio Gucci *et al.*, (1999). La strategia di utilizzo dell'acqua in *Cistus monspeliensis* può essere messa in relazione con la competizione sia con altre specie che con l'evaporazione e il drenaggio responsabili del rapido consumo dell'acqua nello strato superficiale del suolo (Amato e Sarnatero, 1999).

Il cisto è una pianta pirofila attiva generativa con rinnovazione in massa da seme subito dopo l'incendio (Arianotsou-Faraggitari *et al.*, 1981).



Figura 5. *Cistus Monspeliensis*: Parco delle colline livornesi (2007).

1.4 Strategie adottate da specie mediterranee in risposta allo stress idrico

In tutti gli ecosistemi caratterizzati da un'intensa e prolungata siccità estiva, le strategie fisiologiche che coinvolgono la gestione delle ridotte risorse idriche risultano cruciali per la crescita e per la sopravvivenza delle piante ed in ultima analisi dell'ecosistema (Pereira e Chaves, 1995).

Generalmente, le piante sopravvivono allo stress idrico in uno stadio vegetativo e la riduzione di acqua corrisponde alla diminuzione di crescita e di fissazione di carbonio (Peresotti e Magliulo, 1999).

A differenza delle piante adattate a climi continentali, negli ecosistemi aridi o semi aridi, la quantità di acqua disponibile è un fattore limitante che determina la produttività totale.

Numerose eccezioni, la composizione specifica e le strategie di competizione, possono modificare le modalità con cui l'acqua viene utilizzata.

Studi piuttosto recenti, hanno preso in esame gli andamenti dei flussi xilematici delle specie mediterranee (Peresotti e Magliulo, 1999), tali flussi sembrano seguire le variazioni delle variabili meteorologiche e pedoclimatiche. Dalla situazione idrica del giorno dell'anno in cui era presente ancora un buon contenuto idrico nel suolo, è stato così possibile seguire lo sviluppo di una situazione di stress idrico. È evidente la diminuzione del flusso xilematico accoppiata alla riduzione della radiazione netta, sia per quanto riguarda l'integrale giornaliero sia le variazioni istantanee e di intensità luminosa.

E' stato possibile, inoltre, differenziare significativamente il comportamento delle diverse specie durante lo stress, come ad esempio *Pistacia lentiscus* che non mostra un'evidente diminuzione della traspirazione.

I dati di flusso xilematico permettono così di definire la strategia adottata da *Phyllirea latifolia* come una strategia di tipo "killer neighbour" a differenza ad esempio del *Juniperus* che con la sua percentuale del 60% di traspirazione è ascrivibile alla strategia di tipo *save water to survive*. Per quanto riguarda le dinamiche stagionali, le relazioni tra tessuti e piante, sono state ampiamente usate per caratterizzare la resistenza all'aridità nelle specie forestali mediterranee (Rhizopoulou e Mitrakos, 1990). Le relazioni dell'acqua nelle

foglie possono essere usate come indicatori della capacità delle specie arboree di mantenere lo scambio gassoso e la crescita durante i periodi siccitosi (White *et al.*, 2000).

In tempi recenti, si sono costituite numerose reti di monitoraggio, ad esempio EUROFLUX, che registrano in modo continuo i flussi di CO₂ di H₂O ed il bilancio energetico delle foreste. Più scarse sono, invece, le informazioni disponibili per le coperture scarse e quelle relative alla vegetazione di tipo xerofitico come la macchia mediterranea, che rappresenta una notevole percentuale delle superfici vegetali negli areali a clima mediterraneo.

Questo ecosistema, riveste una notevole importanza sia dal punto di vista ecologico che da quello paesaggistico ed ha caratteristiche di vulnerabilità a causa di numerosi fattori di disturbo naturali ed antropici (Magliulo e Zaldei, 1999).

Indagini di carattere biologico morfologico ed ecofisiologico effettuate su alcune specie della vegetazione a macchia Mediterranea quali, *Phyllirea angustifolia* e *Pistacia lentiscus* al fine di valutare la loro tolleranza allo stress idrico ed efficienza in termini di assimilazione e uso dell'acqua, sono state svolte compiendo misure del potenziale idrico e degli scambi gassosi a livello fogliare (Magliulo e Zaldei, 1999). In particolare i rilievi hanno riguardato la misura del potenziale idrico xilematico o fogliare e scambi gassosi di H₂O e CO₂.

Le zone aride, vengono solitamente valutate tramite l'indice di aridità ISI (Initial Spread Index) (Balocchi, 1997), definito dal rapporto tra la sommatoria delle precipitazioni e la sommatoria e l'evotraspirazione potenziale. Valori ISI minori a 1 e decrescenti indicano un progressivo aumento del deficit idrico. In condizioni in cui i valori più bassi di questo indice sono stati raggiunti in corrispondenza del periodo di maggiore aridità, *P. angustifolia* presenta valori accentuati di stress idrico (~ -5 MPa) mentre *P. lentiscus* mostra un deficit idrico meno accentuato come confermato dall'entità degli scambi gassosi a livello fogliare, mettendo in luce come *Pistacia* riesca a mantenere un certo livello di attività fisiologica in condizioni di stress idrico. Per altre specie si ha invece una diminuzione dell'attività fisiologica superiore al 90% nei mesi estivi (Magliulo e Zaldei, 1999).

In assenza di precipitazioni significative, e con l'aumento costante e progressivo del potenziale idrico (Spano *et al.*, 1999) con un indice ISI sempre inferiore a 0,25, l'entità degli scambi gassosi risulta decrescente nelle stagioni estive (Magliulo e Zaldei, 1999).

E' stato inoltre evidenziato che in risposta all'aumento dell'evapotraspirazione dell'atmosfera, si verifica un comportamento del tutto differente: sono stati rilevati, un picco di anidride carbonica al mattino e diminuzione dell'attività fotosintetica e traspirativa durante le ore di luce. La respirazione notturna risulta diminuita come indicato dalla diminuzione dei carboidrati fissati durante il giorno e dall'essiccazione degli strati superficiali del suolo con una riduzione della respirazione radicale. Anche il flusso di vapore risulta decrescere, ma l'andamento è pressoché lo stesso.

Ciò riflette una strategia frequentemente adottata dalle comunità vegetali per evitare lo stress, concentrando gli scambi fotosintetici nei periodi della giornata in cui il "costo" in acqua è ridotto.

Serrano *et al.*, 2005 hanno determinato il potenziale acqueo prima dell'alba e a mezzogiorno di due specie sempreverdi *Q. ilex* e *P. latifolia* specie sempreverdi mediterranee con caratteristiche contrastanti. Misurando lo scambio di gas e le relazioni tra piante e acqua tissutale in risposta all'aridità stagionale. I risultati ottenuti hanno confermato ciò che era già stato dimostrato da studi precedenti, (de Lillis e Mirgone, 1994) cioè che *P. latifolia* ha stomi praticamente chiusi a bassi potenziali idrici mentre *Q. ilex* assume il comportamento opposto (Savè *et al.*, 1999, Infante *et al.*, 2003), esibendo un'alta vulnerabilità all'embolismo xilematico e un grande declino del flusso linfatico in risposta allo stress da aridità.

I cambiamenti stagionali prima dell'alba e a mezzogiorno possono essere attribuiti alle variazioni dell'umidità nel suolo confermate anche dalla stretta relazione in entrambe le specie con l'acqua contenuta nello stesso (Serrano *et al.*, 2005).

Meccanismi di tolleranza all'aridità basati su aggiustamenti nella conduttanza stomatica, mostrano l'ampio contributo alla resistenza all'aridità di queste due specie sempreverdi (Serrano *et al.*, 2005).

I vari tassi di assimilazione aggiustati a seconda della conduttanza stomatica indicano che queste specie hanno una strategia di crescita intrinseca che

favorisce il risparmio d'acqua rispetto all'assorbimento di carbonio (Serrano *et al.*, 2005).

I meccanismi di tolleranza attraverso aggiustamenti elastici permettono di distinguere tra specie, la tolleranza all'aridità attraverso cambiamenti nel rapporto $d\Psi/dRWC_0$ (rapporto tra il potenziale idrico e contenuto relativo di acqua) si basano su aggiustamenti strutturali che potrebbero essere interpretati come un ruolo adattativo delle sclerofille sempreverdi mediterranee (Serrano *et al.*, 2005). Gli andamenti stagionali di Ψ_p e Ψ_m (potenziale di pressione, potenziale matriciale rispettivamente, cambiano parallelamente alla disponibilità idrica del suolo (SWC). In accordo con Gucci *et al.* (1999) e de Lillis e Fontanella (1992), *P. latifolia* mostra un basso potenziale idrico di range operativo rispetto a *Q. ilex* come evidenziato dai valori di Ψ_p di circa 3,0 MPa di differenza tra queste specie durante l'aridità estiva. I valori di BEM (Bulk Elastic Modulus) e π_{100} (potenziale osmotico a pieno turgore) valutati da Serrano e Penuelas, 2005 sono rispettivamente bassi e alti, rispetto a quelli precedentemente riportati in condizioni mediterranee per le stesse specie. Queste differenze possono essere parzialmente attribuite ad effetti ontogenetici.

Comunque π_{100} e RWC_0 possono essere ben comparati con quelli riportati da Terradas e Savè 1992, de Lillis e Mirgone 1994, per *Q. ilex* e *P. latifolia* rispettivamente.

La resistenza all'aridità attraverso aggiustamenti osmotici in piante mediterranee è stata ben riportata solo in alcune specie (Hinckley *et al.*, 1980, Lo Gullo e Salleo, 1988). Questi risultati contraddittori possono essere riconciliati prendendo in considerazione il grado di stress da aridità (Major e Johnsen, 1999), per entrambe le specie in esame (Serrano *et al.*, 2005) il decremento di π_{100} con la disponibilità di acqua del suolo finché si hanno valori di Ψ_p di circa -2MPa e cresce oltre questo valore.

1.5 Andamento del contenuto di azoto nei tessuti di specie della macchia mediterranea

L'azoto può essere assorbito dalle piante in tre diverse forme: Nitrati, ammoniaca ed amminoacidi. A seconda delle specie, i nitrati vengono ridotti ad ammonio direttamente nelle radici o trasportati alle foglie, dove vengono ridotti alla luce. L'assimilazione di nitrati risulta così energeticamente costosa a causa della riduzione, catalizzata dalla nitrato reduttasi. L'ammonio è tossico per le cellule della pianta a causa degli squilibri che determina nel flusso di H⁺, viene quindi rapidamente assimilato sotto forma di aminoacidi.

La distribuzione dell'attività della nitrato reduttasi, e la presenza o assenza dei nitrati nel flusso xilematico hanno suggerito la possibilità di definire particolari patterns ecologici (Andrews, 1986). Tutte le specie aumentano le proporzioni di nitrati ridotti nel fusto per fornire un incremento degli stessi, cosa che suggerisce una limitata capacità di riduzione dei nitrati nelle radici. In particolare nelle piante dei climi temperati, a seconda della specie, varia considerevolmente la proporzione di nitrati ridotti nelle radici in condizioni di carenza (Lambert *et al.* 1998).

Malgrado questi patterns generali, alcune riduzioni dei nitrati avvengono nelle foglie di molte piante. L'attività della nitrato reduttasi presente nelle foglie, è tipicamente alta a mezzogiorno in corrispondenza di alta intensità luminosità. Alcune piante, in particolare le Ericaceae, tipiche della Macchia mediterranea, mostrano bassi livelli di nitrato reduttasi (Smirnof *et al.*, 1984), probabilmente perché nell'habitat abitato da queste specie la disponibilità di nitrati è generalmente bassa. Molte specie legnose assimilano la maggior parte dei nitrati nelle radici (Martins-Loução e Cruz, 1998).

Nelle specie varia la forma di azoto assorbita, a seconda della disponibilità nel suolo. Ad esempio gli abeti assorbono preferenzialmente azoto ammoniacale (Chapin *et al.*, 1993.)

Differenti ambienti del suolo, quindi, producono diverse pressioni selettive per efficienza dell'utilizzazione dell'N descritta dalla formula:

$$EN = \text{efficienza di utilizzazione dell'azoto} = \frac{AL}{N_i(I-T_n)}$$

A = tasso di assimilazione annuale (g di biomassa m⁻² anni foglia⁻¹)

L = età della foglia (anni)

N_i = contenuto di N nelle foglie (mg N m^{-2})

T_n = efficienza di traslocazione = N traslocato dalle foglie / N totale

Le caratteristiche comparative dei cespugli del clima mediterraneo con efficienza nell'utilizzazione dell'azoto forniscono un importante strumento d'indagine nelle relazioni competitive delle specie cespugliose dominanti. Studi in questa direzione sono estremamente carenti, ma, per analogia delle caratteristiche climatiche, si può fare un certo affidamento a studi effettuati in California e Cile. In Cile in particolare, i dati indicano che l'incremento dell'efficienza dell'utilizzazione di N oltre una certa soglia fornisce un piccolo od addirittura assente incremento nella produttività.

Questa conclusione è consistente con le osservazioni che descrivono il bilancio favorevole dei nutrienti nei tessuti fogliari dei cespugli del Cile (Rundel, 1982).

Si possono citare come esempio due specie di cespugli decidui, *Santureja* e *Trevor*, queste hanno bassi valori di EN_n ma competono relativamente bene, sono quindi più efficienti rispetto all'utilizzazione dei nutrienti dei cespugli sempreverdi.

Ugualmente importante è la loro sorprendentemente bassa velocità di assimilazione annuale, l'alto contenuto di N nelle foglie e le basse efficienze di traslocazione (Rundel, 1982).

In condizioni di N limitante nel suolo della California l'efficienza di utilizzazione di N è un importante fattore di competizione. Qui alti livelli di efficienza di utilizzo dell'N sono direttamente legati ad un incremento della produttività. La mancanza relativa delle dominanti decidue nel *chaparral* della California può essere quindi in parte messa in relazione alle limitazioni fisiologiche dei cespugli decidui nell'ambito del mantenimento dell'efficienza di utilizzazione dell'N, competitive con i cespugli sempreverdi.

Queste conclusioni confermano ciò che è stato trovato in studi su specie sempreverdi perenni e decidue in condizioni di deficienza di nutrienti e specie non associate in siti ricchi (Schlesinger e Chabot, 1977). Un ulteriore vantaggio dei cespugli sempreverdi è la capacità di raccogliere e stoccare i nutrienti nelle foglie prima dell'inizio della crescita primaverile (Mooney e Rundel, 1979). Molte piante dipendono dall'N disponibile (NO_3^-) presente dal suolo. La riduzione dei

nitrati e la sintesi delle proteine rappresenta il maggior costo respiratorio delle piante (Loomis, 1997). A scapito della continua mineralizzazione, la concentrazione dei nitrati nella soluzione circolante è generalmente bassa (circa 1-10 $\mu\text{M NO}_3^-$) a causa dell'adsorbimento da parte dei competitori, l'immobilizzazione da parte della materia organica nel suolo, e la perdita per denitrificazione e lisciviaggio.

L'N nella clorofilla, proteine, tilacoidi e nei cofattori associati es. RuBisCO (Evans, 1989) comprende circa il 75% dell'N organico delle foglie. Field e Mooney, 1985 rilevano una proporzione tra L'A max, il tasso fotosintetico a livelli saturanti di irradianza e l'N organico per unità fogliare..

Le specie sempreverdi utilizzano una strategia conservativa adattata ad ambienti a basso contenuto di nutrienti (Aerts, 1990). Il meccanismo primario di adattamento a queste condizioni è lo stoccaggio dei nutrienti. Questa riserva è utilizzata durante la crescita primaverile e gradualmente ricostituita dall'uptake dal suolo in estate e dal riciclaggio dalle foglie senescenti in autunno (Chapin, 1980). L'N stoccato in inverno nei tessuti perenni è traslocato nello xilema in primavera e usato per la crescita delle foglie e dei fiori (Millard, 1996), può aumentare prima o dopo l'uptake dal suolo (Millard e Proe, 1991). L'N rimobilizzato può provvedere fino all'80 % dell'N necessario per la crescita delle foglie e fusto ciò lo rende indipendente dall'uptake delle radici in questi periodi (Guak *et al.*, 2003). La mobilizzazione di nutrienti e composti carboniosi può essere in parte indipendente dalla disponibilità di nutrienti benché di solito accorra quando la disponibilità è bassa (Chapin e Kedrowski, 1983). Lo stoccaggio nel legno e nella corteccia gioca un importante ruolo nello stoccaggio di N negli alberi decidui (Coleman *et al.* 1991). Roberts *et al.* (1991) suggeriscono che anche nelle conifere sempreverdi venga stoccato nelle proteine della corteccia. Nelle specie sempreverdi, inoltre, le foglie senescenti assumono lo stesso ruolo: fornire C e nutrienti per lo sviluppo del fusto (Chapin, 1980; Chapin *et al.* 1990). Il processo di resorption è importante per fornire azoto per l'incorporazione e la nuova crescita di foglie, e può essere ipotizzata una relazione tra l'efficacia di resorption dalle foglie in senescenza delle varie specie e l'apporto aggiuntivo di azoto alle nuove foglie in espansione (Oliveira e Penuelas, 2004); comunque l'incremento del contenuto di azoto, dopo l'insorgenza dell'espansione fogliare può implicare solo un relativamente piccolo

contributo all'azoto totale incorporato dalla biomassa fogliare, considerando ciò il contenuto iniziale di azoto delle foglie nella loro emergenza è sempre relativamente alto.

Ciò sembra suggerire che un'alta percentuale di azoto totale viene traslocata dai depositi della pianta alla biomassa fogliare prima dell'interrompersi della crescita dei germogli e perciò il contributo dell'assorbimento delle radici durante l'espansione fogliare è basso (Millard, 1996). Forse per queste ragioni, i rates di resorption delle foglie senescenti misurato per le diverse specie è legato negativamente con il rate di crescita dell'azoto incorporato nelle foglie. Perché le specie con resorption più efficiente sono anche quelle che ottengono una grande concentrazione iniziale di N nelle foglie (Mediavilla e Escudero, 2003). Correia *et al.* (1992), hanno studiato una comunità di piante in Portogallo costituita da sclerofille sempreverdi e cespugli semidecidui adattati all'aridità, dominate da *Q. coccifera*, *P. lentiscus*, *Arbutus unedo*, *Phyllirea latifolia*, *P. angustifolia* ed alcune cistacee *C. salvifolius*, *C. monspeliensis*, *C. albidus* e *C. ladanifer*, qui, i Patterns relativi alla concentrazione di azoto totale e all'slw sono simili in tutti i cisti.

Slw aumenta gradualmente durante l'espansione fogliare fino alla fine della stagione secca in aprile e maggio questo incremento è interrotto da un breve periodo di decremento coincidente con lo sviluppo dei frutti da febbraio a settembre il contenuto di azoto fogliare in *Cistus mastra* un marcato decremento fino a circo il 50 %.

Le foglie prodotte in novembre, hanno alti livelli di azoto le foglie prodotte in maggio, hanno bassi livelli di azoto e alto peso specifico. Queste foglie persistono durante l'estate e hanno un lungo intervallo di vita rispetto a quelle prodotte in inverno in ottobre poi è stato osservato un nuovo incremento di azoto dovuto probabilmente alle prime piogge autunnali e alla ripresa dell'attività microbiologica.

La variazione nella concentrazione di azoto nelle foglie della stessa età di *P. lentiscus* sono basse quanto quelle rilevate in *Cistus spp.*

La distinzione tra foglie vecchie e nuove, in *P. lentiscus* permette il monitoraggio della concentrazione dei nutrienti separatamente in ciascuna coorte fogliare.

La concentrazione d'azoto nelle foglie nuove è alta all'emergenza e decresce quando l'espansione fogliare continua.

Nelle foglie di uno o due anni, l'azoto contenuto fluttua per tutta la stagione. C'è anche un decremento di slw in questo periodo.

I pattern di slw in *P. lentiscus* sono simili a quelli dei trend di contenuto di azoto per ogni coorte delle foglie. Comunque le foglie vecchie con bassi contenuti di azoto hanno alti livelli di slw.

Le specie di cisto studiate possono essere considerate semi decidue, come suggerito per *Cistus salvifolius* (Harley et al., 1987).

In effetti, la fenologia nelle quattro specie di cisto è quella tipica delle specie estive decidue.

Gli alti contenuti di azoto osservati nelle foglie di cisto contrastano con i bassi valori osservati per *P. lentiscus*. Le variazioni nel contenuto di azoto nelle specie di cisto sono simili a quelle osservate per altre specie semi decidue mediterranee, quali *Salvia leucophylla*. In inverno *P. lentiscus* mostra un decremento mentre *Cistus spp.* ha alte concentrazioni. L'alto contenuto di azoto fogliare osservato può essere dovuto alla ricchezza nel suolo o a qualche meccanismo come la ritraslocazione. In estate il contenuto di azoto mostra dei valori bassi, forse dovuti al declino dell'assorbimento dell'azoto a livello delle radici e anche perché i nutrienti durante la stagione di crescita vengono ritraslocati dalle foglie ai nuovi organi. E' anche possibile che prima della perdita delle foglie la ritraslocazione alle radici è stata ben osservata anche nelle specie decidue (Cole, 1981; Chapin e Kodrowski, 1983). La traslocazione di azoto al resto della pianta fornisce un surplus di nutrienti disponibili per la produzione di semi in primavera/estate. In questo modo la produzione di semi alla fine del periodo di aridità economizza energia e acqua (Correia et al., 1992).

Il significato competitivo dell'efficienza di utilizzazione dell'N può essere visto nella distribuzione delle specie dominanti lungo gradienti di aridità. In California i cespugli con alta efficienza (es. *Rhus radiata*) sono specie tipicamente polari. *Adenostoma fasciculatum*, la specie più xerica che domina i pendii equatoriali, ha un'efficienza di utilizzazione dell'N particolarmente bassa. Se l'ipotesi è che vantaggi selettivi in condizioni di deficit nutrizionali si hanno in specie con alti valori di EN, allora specie con basse efficienze come *Adenostoma fasciculatum* possono essere parzialmente escluse dai pendii relativamente meso- polari a causa di un'inefficienza nell'utilizzo di N e dei relativamente bassi livelli di produttività. Chiaramente comunque, la situazione è complessa con

Adenostoma fasciculatum che possiede alcuni adattamenti fisiologici da pendii serici - equatoriali (Mooney e Rundel, 1979).

In Cile, lo stesso range di condizioni genetiche per efficienze di uso del N che variano, è presente in cespugli dominanti, ma la distribuzione di questa specie lungo gradienti ambientali è molto diversa da quella della California. Con disponibilità di nutrienti relativamente bilanciata, l'incremento dell'efficienza d'uso dell'N contribuisce poco o niente ai vantaggi competitivi in termini di produttività. Ad es. *cryptocarya alba* la specie più xerica del Cile ha come risultato un basso valore di EN. All'altro estremo troviamo invece *Lithrea caustica* che con i più alti valori di EN è la più xerofitico e la più tollerante dei cespugli dominanti.

Il successo ecologico di *Lithrea* rispetto ad una larga ampiezza di condizioni ambientali può essere dovuto in gran parte alla tolleranza al microhabitat con bassa concentrazione di nutrienti.

Le specie caratterizzate da maggior adattamento tra i cespugli con alti valori di EN, hanno alte velocità di assimilazione fogliare e alta efficienza di traslocazione dell'azoto. Le velocità di assimilazione sono alte in corrispondenza di ciascun valore di efficienza d'uso dell'N. Mentre il contenuto fogliare di N è in media meno dell'1% in questi cespugli, tali valori non sono abbastanza bassi da permettere di distinguerli chiaramente dalle specie meno efficienti.

Ciononostante si osserva che sebbene diverse aree della California siano caratterizzate da condizioni limitanti di azoto, non sono noti adattamenti tesi a migliorare l'utilizzazione dell'azoto.

Le conifere sempreverdi e alcuni cespugli desertici, tuttavia, comunemente mantengono foglie per 3-6 anni o più. Inoltre il contenuto tipico di N fogliare nelle piante in *chapparal* e *matorral* è basso, valori considerevolmente bassi sono presenti anche nelle foglie di cespugli sempreverdi dei suoli poveri di Australia e Sud Africa (Small, 1972).

Sebbene dati sostanziali non siano disponibili, l'efficienza d'uso dell'N in specie individuali può essere relazionata anche all'evoluzione di strategie di difesa dagli erbivori.

L'incremento della longevità delle foglie sempreverdi porta un aumento del rischio di predazione dovuto all'appetibilità (Feeny, 1976). In specie solo marginalmente capaci di competere in ambienti con deficit di nutrienti perché

hanno basse efficienze d'uso degli stessi, ma che non possono permettersi perdite di nutrienti fogliari a causa del pascolo degli erbivori si osserva la spiccata tendenza allo sviluppo di difese chimiche e/o morfologiche. Specie molto efficienti, tuttavia, possono ipoteticamente tollerare un livello accettabile di predazione ed adottare l'incremento di sforzi metabolici (come ad esempio, *Arctostaphylos glauca* e *Lithrea*) (Torres *et al.*, 1980).

I cambiamenti nella concentrazione di N nelle foglie sono stati registrati anche nelle piante esterne di *Cistus albidus* con incrementi significativi (Oliveira e Penuelas, 2004).

La concentrazione di azoto è molto alta nelle giovani foglie ma decresce rapidamente durante l'espansione fogliare. Una bassa concentrazione di N è considerato anche per questa specie una dei più importanti fattori limitanti per la crescita delle popolazioni erbivore (Mattson, 1980). Le foglie con rapida crescita mostrano una più rapida diluizione della concentrazione di azoto. E perciò un rapido deterioramento della qualità del cibo, e ciò probabilmente contribuisce alla brevità del periodo durante il quale le foglie sono appetibili.

1.6 Obiettivo

Obiettivo di questo lavoro, è quello di valutare se si ha variabilità interspecifica nella concentrazione di azoto in foglie, fusto e radici in piante appartenenti allo stesso areale, adattatesi quindi alle stesse condizioni pedo-climatiche. L'ambiente preso in esame è quello Mediterraneo: la macchia Mediterranea. Le cui peculiarità climatiche come discusso in precedenza influenzano notevolmente l'assimilazione dei nutrienti in particolare dei composti azotati.

2. Materiali e Metodi

Il sito di studio si trova nel Parco Naturale della Maremma ($42^{\circ} 39' 30''\text{N}$, $11^{\circ} 04' 29''\text{E}$) (fig. 6) sulla costa meridionale della Toscana. Il Parco Naturale della Maremma comprende circa 9800 ha, è stato costituito a partire dal 1975 (Legge Regione Toscana n.° 65 del 5 giugno 1975) includendo il tratto costiero della Maremma toscana che va da Principina a Mare fino a Talamone a sud, ed è limitato ad Est in parte dalla via Aurelia.

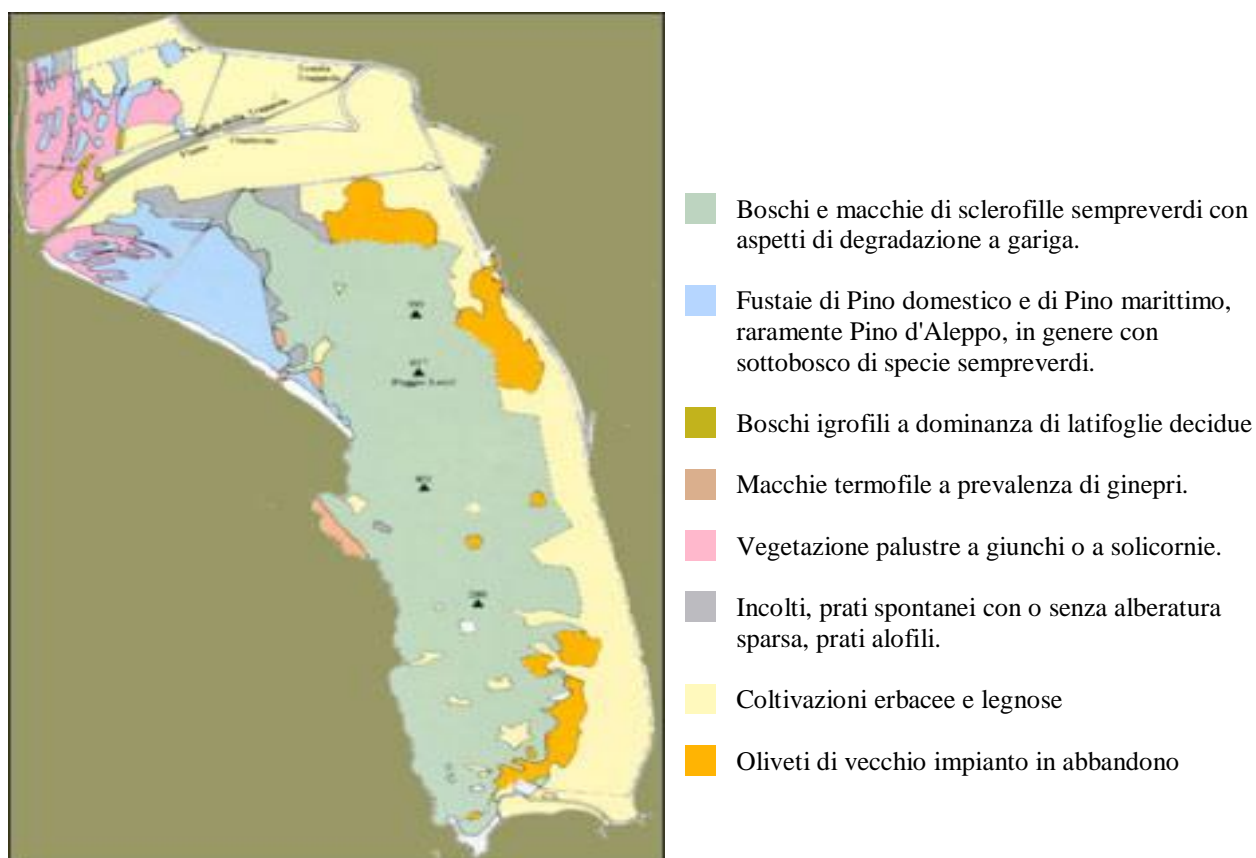


Figura 6. Parco dell'Uccellina: carta della vegetazione del parco

Fonte: <http://www.parco-maremma.it>



Figura 7. Parco dell'Uccellina: Area di campionamento

La maggior parte del parco è rappresentata, dai Monti dell'Uccellina, una catena di colline parallele alla costa e rivestite di fitta macchia, che culmina nel Poggio Lecci. La zona settentrionale del Parco è pianeggiante ed è costituita da terreni alluvionati formati dai depositi trasportati dal fiume Ombrone, presso la foce del quale si trovano i tipici ambienti palustri denominati Chiari della Trappola. Si tratta di zone umide, la cui origine potrebbe essere stata determinata dal progressivo avanzare della spiaggia che avrebbe inglobato antichi laghetti costieri, ma non è escluso che si tratti di resti di canali formati dalle correnti di riflusso o anche relitti di rami di un'antichissima foce deltizia. La costa, che ha uno sviluppo di circa 20 km, si presenta come una successione di ampi arenili, che si allungano dalla Bocca d'Ombrone alla Cala di Forno, dove i Monti dell'Uccellina cominciano a precipitare in mare formando una scogliera che si prolunga fino al promontorio di Talamone. Per quanto concerne la vegetazione, il territorio del Parco comprende ambienti estremamente differenziati, dai campi coltivati ai pascoli, dalla macchia mediterranea alle zone rocciose, dalla pineta alla palude e alle dune sabbiose (Fig.6.)

Le misure sono state effettuate su piante della macchia mediterranea cresciute in un'area circoscritta e recintata di circa 1000 m² nell'area sud-est di un pendio ad un'altitudine di circa 100 m sul livello del mare.

La vegetazione all'interno dell'area è costituita dalla tipica macchia Mediterranea cresciuta indisturbata fino al taglio per utilizzo, del 1986, ad eccezione degli alberi di *Quercus ilex* che non sono stati tagliati nel 1986, che possono raggiungere fino a 4 metri di altezza. I fusti di *Erica arborea*, *Myrtus communis* e *Phyllirea latifolia* raggiungono gli 0,8-1,4 metri di altezza, mentre le piante di *Arbutus unedo* raggiungono un'altezza di circa 2,5 m. E' stata misurata la crescita di piante di *Pistacia lentiscus*, *Cistus monspeliensis* e *Phyllirea latifolia*. Per ogni specie, sono state selezionate 5 piante rappresentative; in 3 date per anno (inizio della stagione di crescita, fine della stagione di crescita, fine dell'inverno) è stata misurato l'aumento d'ampiezza del fusto, il diametro del fusto a 5 cm sopra il livello del suolo e l'altezza delle piante (tab.3). Le caratteristiche fenologiche delle diverse specie sono state descritte da de Lillis e Fontanella (1992).

2.1 Clima

I dati climatici sono stati ottenuti da diverse fonti. Gli standard climatici di irradianza, precipitazioni, delle temperature minime e massime, umidità e velocità del vento, sono stati registrati dalla stazione meteorologica dell'Agenzia Regionale per l'Innovazione e lo Sviluppo della Toscana (A.R.S.I.A.) situata a circa 2 Km dall'area di studio; questi dati sono relativi a all'arco di tempo che va da Gennaio 1938 a dicembre (fig.9). Sulla base di questi dati è stata poi costruita il diagramma di Walter e Lieth relativo al periodo, 1938-1966 e dal 1966-1996 (fig.10), ad Alberese. Il diagramma di Walter e Lieth permette tramite intersezione delle curve relative alle piogge, in questo caso alle medie mensili trentennali, e le curve relative alle temperature, sempre relative a medie mensili trentennali; di definire un'area che corrisponde al periodo di aridità.

Per quanto riguarda il periodo di studio, i valori giornalieri della Radiazione Fotosinteticamente Attiva (PAR), la temperatura dell'aria e quella del suolo sono stati misurati usando sensori di quanti lineari LI-191A e sensori di temperatura connessi al datalogger LI-1000 (Li-Cor Inc., Logan. UT.). Inoltre, la temperatura dell'aria e l'umidità relativa sono state misurate ad intervalli di 30 minuti utilizzando dataloggers miniaturizzati (Tinytag Ultra, Gemini sfsffs Lagers, UK; COMHAS, Milano),(fig.11).

2.2 Composizione del suolo

Il suolo è franco-sabbioso derivante da Lithic aploxeralfs scheletro argilloso, misto a suolo termico (SOIL SURVEY STAFF, 1992; Gucci et al. 1997).

La profondità del suolo va da 0,4 a 0,7 m nell'area in esame e da 0,4 a 1 m nelle aree circostanti.

La composizione del suolo nell'area di studio risulta essere omogenea, questo consente di attribuire le differenze nelle concentrazioni di azoto nelle diverse specie, esclusivamente ad una variabilità nei parametri di assimilazione e utilizzazione relativi alle caratteristiche fisiologiche delle stesse.

È stata quantificata la percentuale di azoto e di sostanza organica presenti nel terreno a tre diversi orizzonti (tab. 1).

In particolare, la concentrazione dell'azoto risulta del: 2.4% ad una profondità di 0-3 cm di 1.6% a 3-8 cm e di 0.9 a 8-30 cm.

Il materiale organico è rappresentato in proporzione di 6.2% a 0-3 cm 3.6% a 3-8 cm e 1.2% a 8-30 cm.

Il pH, in tutti gli orizzonti esaminati, risulta debolmente acido (pH 5.8, 6, 5.9).

Elemento	A ₁	A ₂	B _w
Sabbia (%)	54.9	55.3	43.8
Limo (%)	36.0	35.5	33.4
Argilla (%)	9.0	9.2	23.2
Calcare	assente	assente	assente
pH	5.8	6.0	5.9
Materia organica (%)	6.2	3.6	1.2
Azoto (%)	2.4	1.6	0.9
C/N	15	13	8
Fosforo (ppm)	9	7	9
Potassio (ppm)	175	100	71
Capacità di scambio cationico (meq g ⁻¹)	0.163	0.108	0.112
Na (meq g ⁻¹)	0.002	0.001	0.000
K (meq g ⁻¹)	0.004	0.002	0.001
Ca (meq g ⁻¹)	0.022	0.013	0.014
Mg (meq g ⁻¹)	0.126	0.072	0.045

Tabella 1. Caratteristiche chimiche e fisiche in tre diversi orizzonti del suolo:

A₁: 0-3 cm di profondità;

A₂: 3-8 cm di profondità;

B_w: 8-30 cm di profondità;

Nel sito sperimentale del Parco Naturale della Maremma. Le particelle di sabbia sono comprese tra 200 e 50 µm, quelle di limo tra 50 e 2 µm e quelle di argilla fino a 2 µm. (Gucci *et al.*, 1999.)

2.3 Rilievi di crescita (fig.12,13,14)

Delle tre specie in esame *Phyllirea latifolia*, *Cistus monspeliensis* e *Pistacia lentiscus*, sono stati eseguiti rilievi di crescita. Sono state scelte 5 piante caratteristiche per ogni specie, sono stati effettuati campionamenti di 6 parametri: diametro del fusto principale, lunghezza del fusto, altezza della pianta da terra, lunghezza dei rami laterali, lunghezza dei rami secchi, lunghezza totali dei laterali. I campionamenti sono stati condotti all'inizio della stagione di crescita, fine della stagione di crescita e alla fine dell'inverno (novembre, aprile, ottobre).

2.4 Campionamento delle radici (fig.8 a, b, c)

In giugno del primo anno di studio, 3 o 4 radici con diametro da 6 a 20 mm di ciascuna pianta sono state scavate facendo attenzione, ad un minimo di profondità pari a 0,5 m. Per *P. lentiscus* sono state raccolte solo 2 radici per pianta a causa della profondità del sistema radicale originato da un largo tubero legnoso che ha reso difficile, insieme al suolo particolarmente duro, lo scavo.

Le radici sono state mappate, e sono state piazzate etichette per identificare facilmente nei successivi campionamenti il posto e la profondità di ogni radice. Sono stati tagliati campioni di radici di 2 cm circa di lunghezza e le radici rimanenti sono state coperte con terreno per essere poi usate nei campionamenti successivi.

Quando possibile i campioni sono stati tagliati in prossimità di una biforcazione così da minimizzare gli effetti del campionamento sulla pianta.

Tutti i campioni sono poi stati refrigerati in laboratorio a -20 °C e liofilizzati.

a)



b)



c)

Figura 8. a); b); c) Campionamento delle radici: le radici sono state mappate ed etichettate per identificare facilmente nei successivi campionamenti il posto e la profondità di ogni radice.

2.5 Analisi dell'azoto

La determinazione dell'azoto contenuto in foglie fusti e radici, è stata eseguita tra luglio e dicembre nell'acro di due anni. Le foglie e i fusti sono stati campionati dallo strato esterno di tre diversi settori della zona di campionamento per ogni data di campionamento (tab.2). Segmenti di circa 20-30 mm di lunghezza sono stati campionati dalle radici con 20 mm di diametro presenti in uno strato di suolo di circa 0,4 metri. Le radici sono state scavate in tre differenti direzioni in una circonferenza di un metro attorno al fusto. La selezione delle radici è stata random e diverse radici sono state campionate nella stessa data.

Le repliche raccolte sono state separate per ogni organo per ogni pianta congelate sul posto e messe sotto ghiaccio finché giunti in laboratorio, non sono state poste nel frigo a -18 °C. E' seguito il processo di liofilizzazione grazie ad un mini fast freezer-drier mod. 1799 (Edwards Altovuoto, Milano, Italy). Il materiale liofilizzato è stato poi macinato con un mulino a martello munito di un setaccio di 1 o 1,5 mm.

Il contenuto di azoto organico, dei campionamenti profondi, è stato determinato usando il metodo Kjeldhal-Tecator's (Lotti e Galoppini, 1980). Questo metodo consiste in tre passaggi:

- Digestione. In questa fase la sostanza secca viene versata in un tube test contenente 6 ml di acido fosfosulfurico e una placca di selenio con la funzione di catalizzatore (Motcan material); il campione viene poi messo in un digestore, (Tecator 2012- Foss Tecator – Hognanas – Svezia), per 15 minuti a 370°C.
- Distillazione. La distillazione è stata effettuata in una corrente di vapore in presenza di NaOH al 40% usando un distillatore. Il distillato è stato, poi messo in una beuta contenente 25 ml di soluzione marcante TOSHIRO (di colore rosa) che vira a verde.
- Triturazione. Il campione è triturato con HCl 0,1 N finché la soluzione non vira a grigio.

L'azoto organico è stato poi calcolato con la seguente formula:

$$\mathbf{N = 14,01 \times ml \ HCl \ di \ triturazione \times 0,1 \ / \ peso \ del \ campione \ in \ esame}$$

DATA	TESSUTO	N° CAMPIONI
24 Giugno	Rd/Fs/Fg	61
29 Luglio	Rd/Fs/Fg	37
01 Settembre	Foglie	23
02 Settembre	Rd/Fs/Fg	30
05 Ottobre	Rd/Fs/Fg	18
07 Novembre	Rd/Fs/Fg	18
04 Gennaio	Rd/Fs/Fg	27
31 Marzo	Rd/Fs/Fg	27
11 Maggio	Rd/Fs/Fg	38
12 Giugno	Rd/Fs/Fg	27
25 Luglio	Rd/Fs/Fg	27
07 Settembre	Rd/Fs/Fg	27
17 Ottobre	Rd/Fs/Fg	27
28 Novembre	Rd/Fs/Fg	27

Tabella 2. Campionamenti distruttivi degli apparati radicali e della chioma effettuati nel corso di 14 mesi; la tabella indica il tipo di tessuto campionato, (Rd-radici; Fs-fusto; Fg-foglie) ed il numero di campioni; tutti i campioni sono poi stati liofilizzati ed è stato determinato il contenuto di azoto organico usando il metodo Kjeldhal-Tecator's (Lotti e Galoppini, 1980).

3. Risultati

3.1 Andamento delle temperature e delle precipitazioni

L'andamento delle precipitazioni medie mensili nei periodi 1938-1965 e 1966-1996 (fig. 1a), mostra la scarsità di piogge nei mesi di luglio e agosto, inferiori a 20 mm, e la relativa abbondanza nei mesi autunno-invernali.

Il massimo di piovosità si registra nel periodo ottobre-novembre, con precipitazioni nell'ordine di 90 mm.

L'andamento medio delle temperature, nello stesso arco temporale (fig. 1b), ha un andamento pressoché uniforme, caratterizzato da valori massimi di circa 23 °C nel periodo luglio-agosto. Le temperature medie minime non sono mai inferiori ai 6 gradi, nei mesi di dicembre-gennaio. Si ha quindi assenza di gelate e temperature miti anche nel periodo invernale compatibili per brevi periodi con la crescita delle radici e della parte aerea. Il grafico di Walter e Lieth (1960) (fig. 2) sintetizza l'andamento di temperatura e piovosità, consentendo di determinare il periodo di aridità della località.

Nel caso in esame, il periodo di aridità, si estende da aprile a settembre, la pianta incontra difficoltà nell'approvvigionamento delle sostanze nutrienti, quindi anche dell'azoto.

Nel periodo di studio l'andamento delle temperature e umidità, (fig.11), risulta simile a quello delle medie trentennali.

Le figure 9 e 10, forniscono informazioni circa la variabilità della temperatura atmosferica e della piovosità media; essendo stati campionati su intervalli temporali estesi sono indicativi dell'andamento di questi parametri anche nel periodo durante il quale è stato compiuto il presente studio.

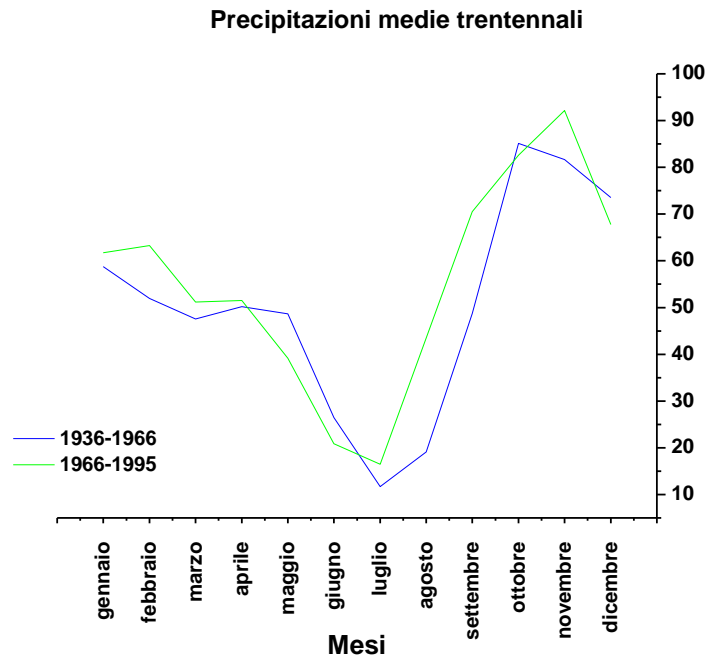
Con lo scopo di ottenere una migliore risoluzione temporale sull'analisi della variabilità di questi due importanti fattori ambientali, nella seconda parte del periodo di studio (da giugno a novembre), sono state effettuate misurazioni della temperatura media e dell'umidità relativa percentuale nell'area di studio (fig. 11).

Dalla figura 11 si mette in evidenza un andamento della temperatura atmosferica e dell'umidità relativa che risulta in buon accordo con quelli delle medie trentennali.

La temperatura varia da 5,1 °C a 37, 5 °C con un valore medio di 20.04 °C. L'umidità relativa ha un valore percentuale che oscilla tra il 32,2 e il 100,3 con una media del 72.78%.

Con lo scopo di visualizzare in un modo più immediato l'andamento delle variazioni della temperatura e dell'umidità, si è tracciato il profilo della media calcolata tra 400 misurazioni consecutive (fig. 11), mettendo ancor più in risalto la correlazione tra i valori relativi al periodo in esame e quelli trentennali.

a)



b)

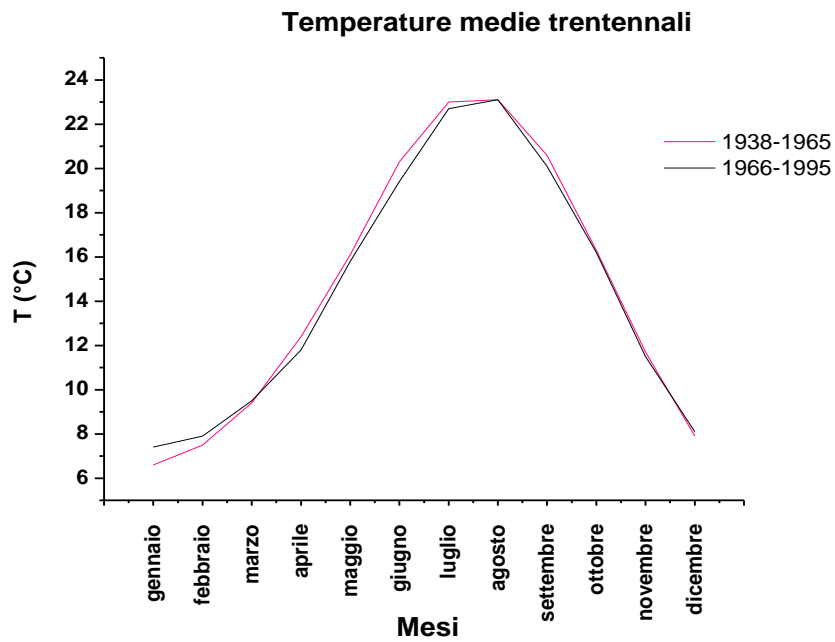


Figura 9. a) Precipitazioni medie trentennali ad Alberese i valori i riferiscono a medie mensili relative a due trentenni; **b)** Temperature medie trentennali ad Alberese, i valori i riferiscono a medie mensili relative a due trentenni.

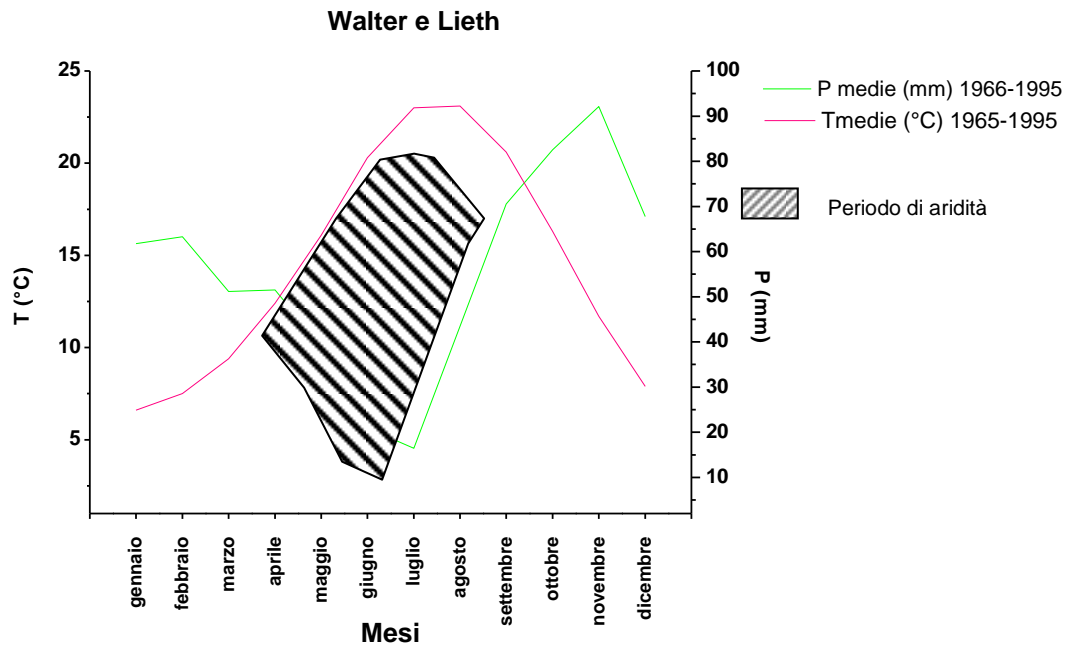
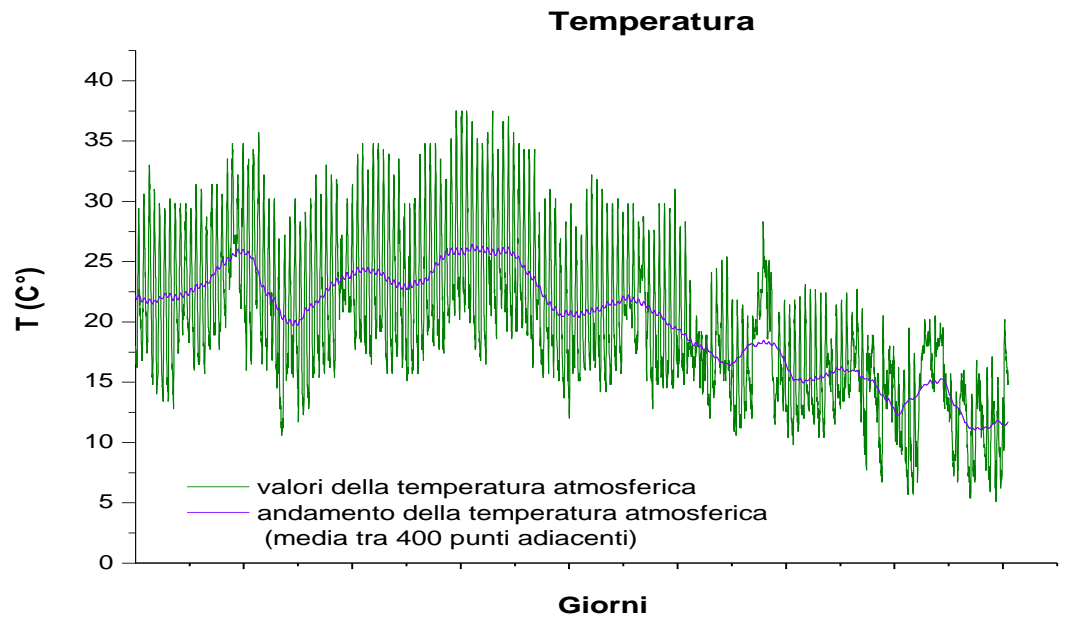


Figura 10. Diagramma di Walter e Lieth (1960), relativo al periodo, 1965-1996, ad Alberese. Il diagramma di Walter e Lieth è stato costruito con medie mensili trentennali, e le curve relative alle temperature, sempre relative a medie mensili trentennali; si noti il periodo di aridità dei mesi estivi evidenziato con l'area tratteggiata.

a)



b)

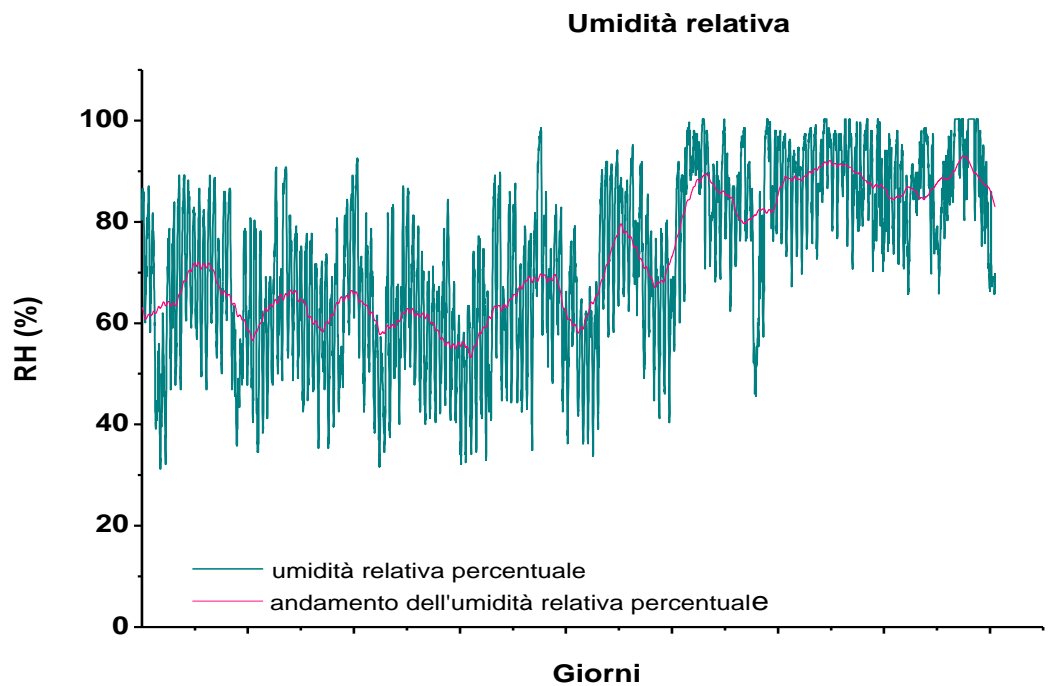


Figura 11. a) valori di temperatura atmosferica, la linea **viola** indica l'andamento medio dei valori, ottenuto mediando sets di 400 punti adiacenti; b) Umidità relativa, la linea **rosa** indica l'andamento medio dei valori, ottenuto mediando sets di 400 punti adiacenti. I dati sono stati raccolti ad intervalli di 30 minuti.

3.2 Rilievi di crescita

Le tre specie in studio, mostra tre andamenti di crescita diversi (12,13,14). In fillirea, da novembre a ottobre, si ha la crescita del fusto principale che si riflette poco però sull'altezza totale della pianta da terra, mentre la lunghezza dei rami laterali nello stesso periodo diminuisce. Nel cisto troviamo invece, un incremento nel fusto principale da aprile a ottobre che sembrerebbe mentre diminuisce la lunghezza dei laterali da novembre ad aprile, con un incremento dei rami secchi. Il lentisco presenta invece, nello stesso arco di tempo, una crescita sia della lunghezza del fusto che i laterali.

In conclusione, *Phyllirea latifolia* sembra privilegiare un accrescimento verticale, *Cistus monspeliensis*, si espande principalmente, grazie all'accrescimento dei rami laterali, mentre *Pistacia lentiscus*, riassume entrambi i tipi di accrescimento.

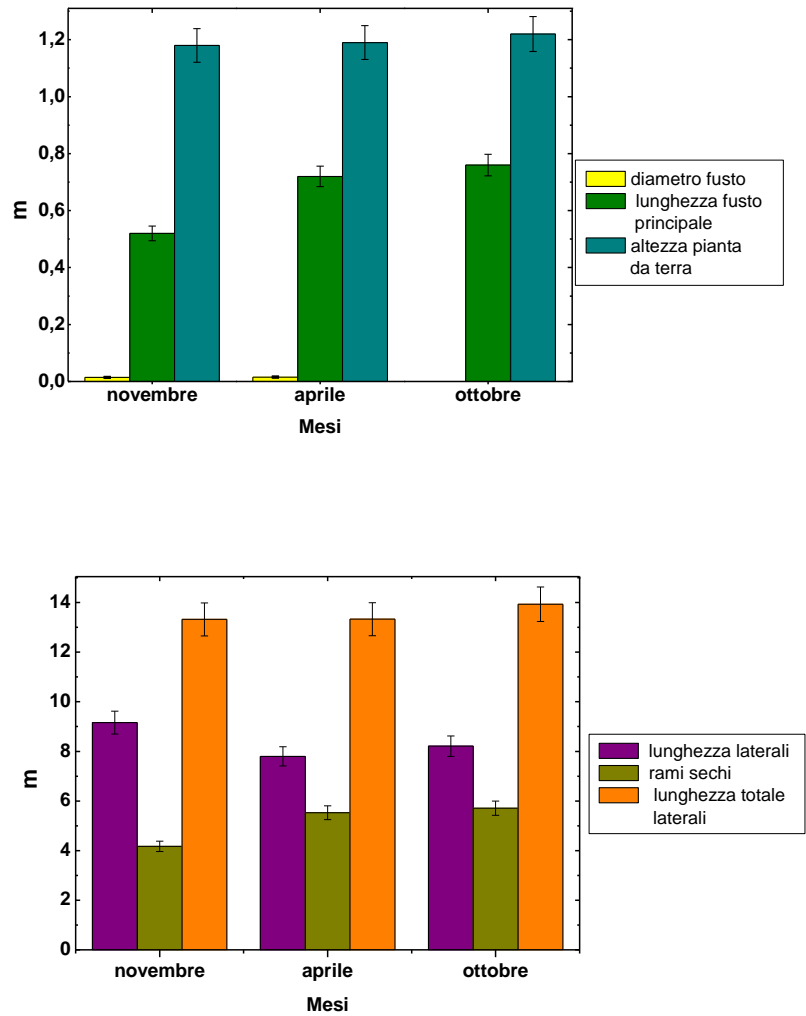


Figura 12. Rilievi di crescita per piante di *Phyllirea latifolia* in tre diversi periodi dell'anno. Le misure sono state effettuate secondo quanto riportato in materiali e metodi (2.3).

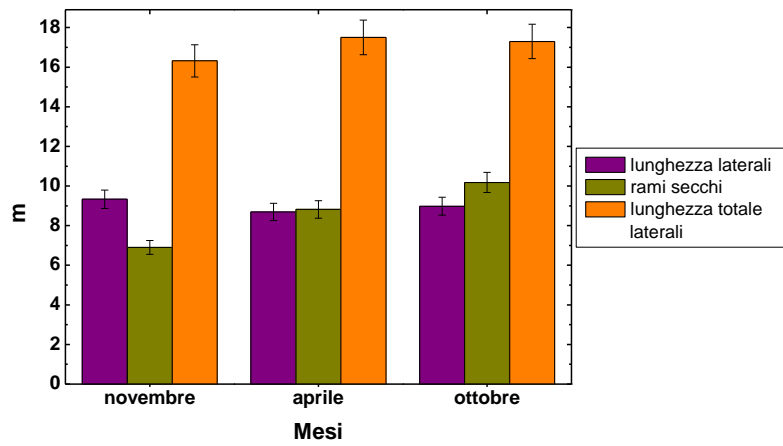
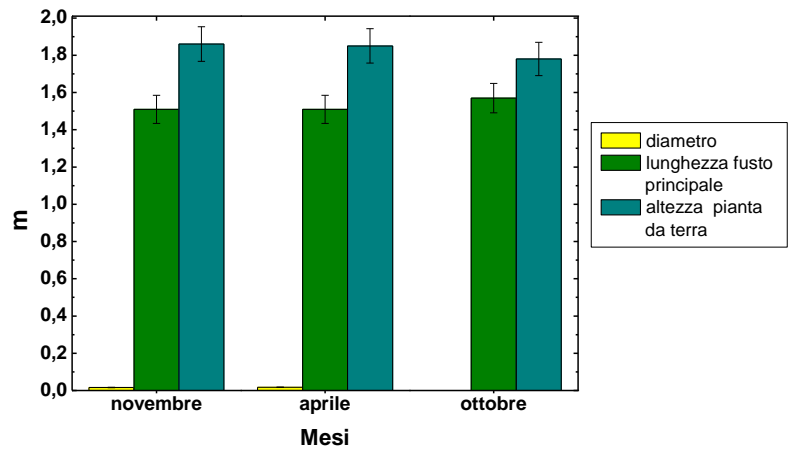


Figura 13 Rilievi di crescita per piante di *Cistus monspeliensis* tre diversi periodi dell'anno. Le misure sono state effettuate secondo quanto riportato in materiali e metodi (2.3).

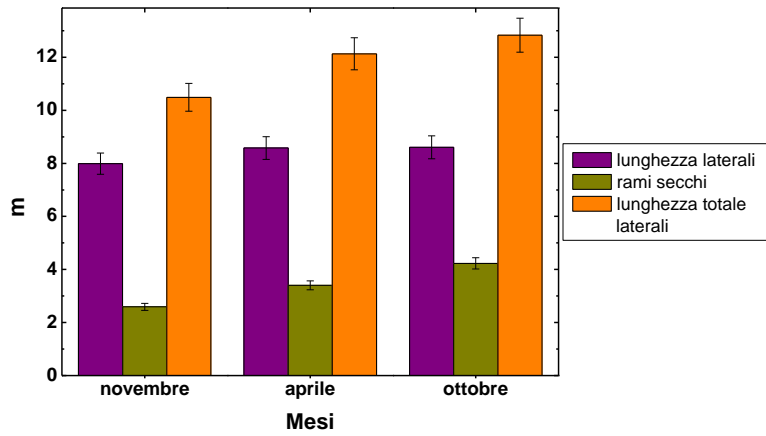
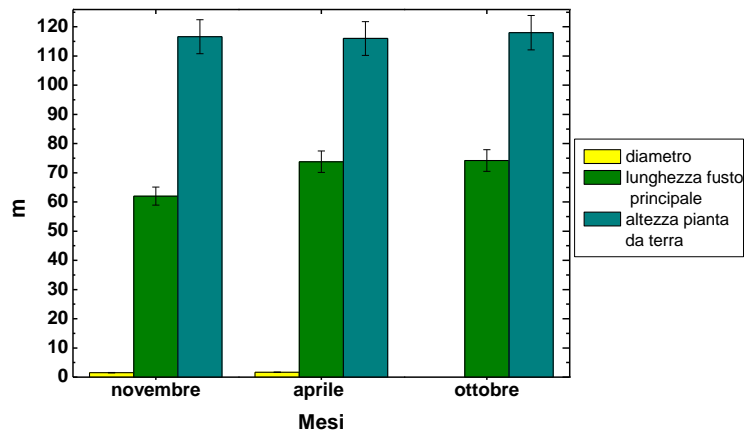


Figura 14 Rilievi di crescita per piante di *Pistacia lentiscus* tre diversi periodi dell'anno. Le misure sono state effettuate secondo quanto riportato in materiali e metodi (2.3).

3.3 Concentrazione di azoto

Gli andamenti delle concentrazioni in N in percentuale di sostanza secca per le tre specie sono riportati nelle figure 15, 16 e 17. Secondo il calendario dei campionamenti illustrato in tab. 2.

La concentrazione di N, espresso come percentuale di sostanza secca, è superiore nelle foglie rispetto alle radici e al fusto per tutte e tre le specie considerate. I valori più elevati di N fogliare sono stati misurati nell'autunno per il *C. monspeliensis* con punte dell' 1,8% (novembre, fig. 15). Nel cisto l'azoto fogliare annuale aumenta e raggiunge i massimi valori stagionali successivamente al periodo di aridità estiva, durante il quale le foglie si disidratano ripiegandosi a doccia e la pianta assume un carattere semi-deciduo.

La concentrazione di N fogliare in fillirea e lentisco è variata nei 15 mesi considerati tra lo 0,57 e 1,07% e l'0,71 e 1,22% rispettivamente (fig.16, 17). In generale le variazioni del contenuto in N di radici e fusto sono più contenute di quelle nelle foglie, anche a causa della maggiore presenza di tessuti legnosi nei primi.

I valori di N nelle foglie rimangono piuttosto elevati durante l'inverno e diminuiscono drasticamente nel corso della primavera. E' interessante notare che il contenuto di N nel fusto aumenta o rimane stabile nel corso dell'estate e diminuisce nei mesi invernali quasi in contrapposizione all'andamento dell'N nelle foglie. Ciò potrebbe essere spiegato con la rimobilizzazione dell'N dalle foglie verso il fusto durante l'estate, processo ampiamente descritto per foglie prossime all'abscissione (Eckstein *et al.*, 1998; Cherbuy *et al.*, 2001; Pugnaire e Chapin, 1993; Coleman *et al.*, 1991; Singh *et al.* 2005;) , e che in parte rifletterebbe il carattere semideciduo della specie.

Inoltre, la diminuzione dell'azoto nel fusto in corrispondenza dell'aumento nelle foglie nel periodo autunnale, quando cioè le precipitazioni consentono ai tessuti di reidratarsi e alle radici di assimilare elementi nutritivi, potrebbe indicare la mobilizzazione di riserve azotate nel fusto verso i tessuti fotosintetici (de Lillis e Fontanella, 1992; Mediavilla e Escudero, 2003). Il contenuto in azoto nelle radici appare piuttosto stabile nel tempo e con valori simili a quelli nel fusto (fig. 9).

La concentrazione di azoto fogliare in *Phyllirea latifolia* (fig.10), durante il primo anno aumenta fino a luglio e cala drasticamente nel corso dell'estate raggiungendo valori di 0,77% all'inizio di ottobre. Nel secondo anno la percentuale di N fogliare aumenta nel corso della primavera fino a raggiungere maggio (1,07%) e quindi diminuisce in estate mantenendosi più stabile nell'autunno successivo. Nel fusto l'N sembra procedere di pari passo con le foglie benché vi siano variazioni meno marcate, ad eccezione del tardo periodo invernale (gennaio-marzo) dove, al diminuire del contenuto di azoto delle foglie non si ha nessuna variazione nel fusto così come nelle radici. Per quanto riguarda l'apparato radicale, dopo un incremento nel periodo di aridità del primo anno (giugno-luglio) in perfetto accordo con l'andamento dell'azoto fogliare, la concentrazione di azoto appare stabile.

In *Pistacia lentiscus* (fig.11), la concentrazione di N fogliare aumenta fino al raggiungimento del suo valore massimo stagionale (1,22%), in giugno del secondo anno. Da notare come anche per questa specie, l'andamento nel secondo anno di studio sia completamente diverso rispetto al primo. In particolare per il lentisco i due andamenti sono completamente inversi, le concentrazioni è in netto decremento in estate ed autunno.

Per quanto riguarda la percentuale di N nel fusto, è interessante notare come cresce in estate fino all'inizio della stagione piovosa ma nel secondo anno diminuisce. Nelle radici la percentuale di N non sembra avere ampie variazioni nell'arco temporale considerato, (valore medio dello 0,27%) di rilievo l'incremento nella stagione arida che risulta più evidente nel secondo anno andamento a quello degli altri due organi. Nel mese di luglio abbiamo, infatti, un netto incremento del contenuto di N a raggiungere il massimo valore stagionale 0,34%.

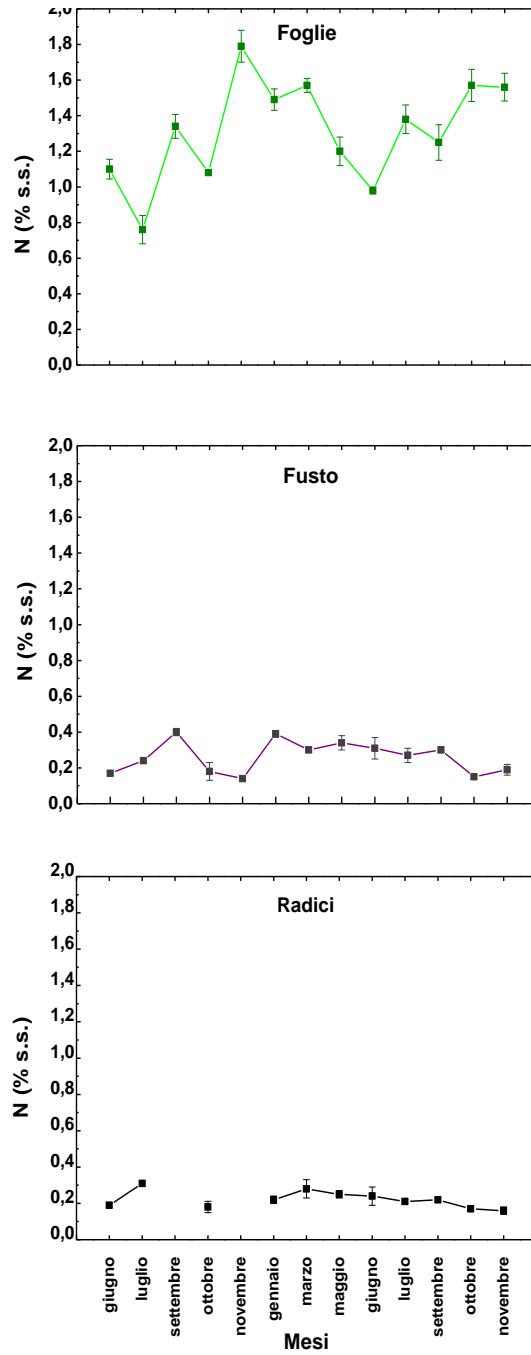


Figura 15 Andamento della concentrazione di azoto, espresso come percentuale in peso rispetto alla sostanza secca, durante l'anno. Le misurazioni sono relative a tre organi: foglie, rami e radici di *Cistus monspeliensis*.

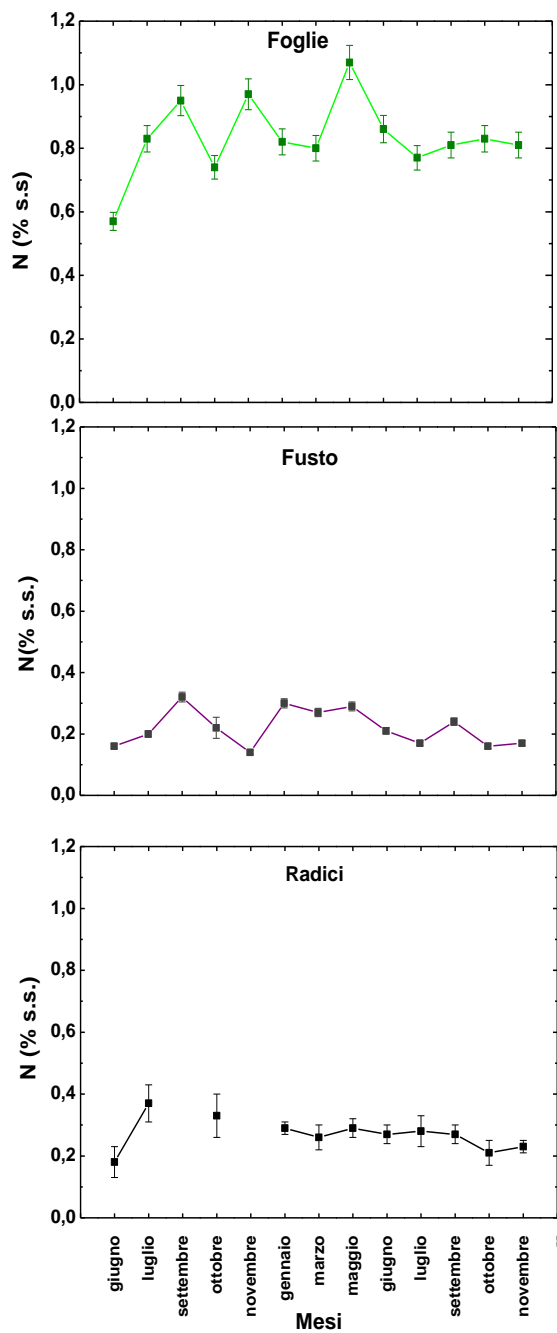


Figura 16 Andamento della concentrazione di azoto, espresso come percentuale in peso rispetto alla sostanza secca, durante l'anno. Le misurazioni sono relative a tre organi: foglie, rami e radici di *Phyllirea latifolia*.

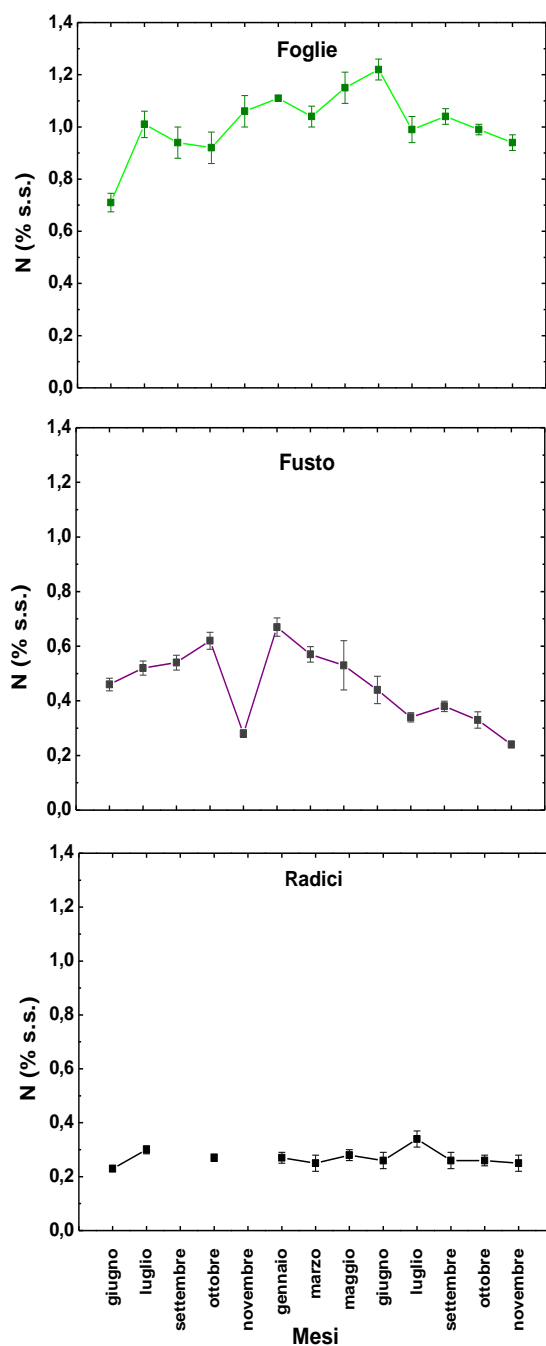


Figura 17 Andamento della concentrazione di azoto, espresso come percentuale in peso rispetto alla sostanza secca, durante l'anno. Le misurazioni sono relative a tre organi: foglie, rami e radici di *Pistacia lentiscus*.

4 Discussione

Tra i fattori che influenzano la disponibilità di azoto, uno dei più importanti è sicuramente rappresentato dall'apporto idrico. Generalmente, l'accumulo di nitrati e dell'azoto ammoniacale, tende a decrescere durante lo stress idrico ed il flusso di azoto dalle radici alle foglie tende a diminuire, (Nilsen e Orcutt, 1996). L'ulteriore accumulo di azoto dal suolo viene inibito da concentrazioni elevate di composti azotati già presenti nelle radici. Si osserva quindi una riduzione dell'accumulo di azoto, che non è però dovuta ad un effetto diretto dello stress sui meccanismi di trasporto delle proteine, bensì, da condizioni intrinseche alla pianta che inibiscono le cinetiche di assorbimento (Nilsen e Orcutt, 1996).

Ciò sembrerebbe in accordo con le concentrazioni di N che abbiamo trovato in lentisco e la fillirea. Infatti, la percentuale di azoto nelle radici rimane pressoché costante, nel periodo di aridità. La disponibilità idrica è influenzata anche dalla profondità dell'apparato radicale, che riesce a mantenere alti livelli di potenziale idrico durante l'estate (Kummerow, 1988). Dal momento che la disponibilità idrica varia nel corso delle stagioni, (fig.9), la quantità di azoto disponibile varia di conseguenza. Per soddisfare il fabbisogno di azoto nei diversi stadi vegetativi, le specie sempreverdi e le decidue utilizzano una strategia conservativa che permetta l'accumulo di azoto verso gli organi di riserva e la sua rimobilitazione da questi verso altri organi durante la crescita vegetativa. Le piante legnose stoccano l'azoto nelle radici, nella corteccia del fusto e nei rami (Titus e Kang, 1982). Nelle sempreverdi, come il limone, (Moreno e Garcia-Martinez, 1984) e l'olivo (Klein e Weinbaum, 1984), dove le foglie durano per più di un anno, i composti azotati vengono stoccati nelle foglie stesse. Le riserve azotate vengono successivamente traslocate nella pianta in supporto alla nuova crescita. E' ben documentato, come la crescita degli alberi da frutto nei primi mesi di primavera, sia supportata dalla mobilitazione delle riserve di N dagli organi di stoccaggio (Munoz *et al.*, 1993; Titus e Kang, 1982; Weinbaum *et al.*, 1986). Il contributo che il ciclo interno di azoto conferisce al metabolismo di questo elemento, durante la stagione di crescita, dipende dalla quantità di N stoccato negli organi perenni durante la stagione precedente, in accordo

con studi su *Prunus persica* var. nectarina. (Millard e Proe, 1990; Neilsen *et al.*, 1997). Nei cespugli sempreverdi, i nutrienti assorbiti, vengono accumulati nelle foglie prima dell'inizio della crescita primaverile (Mooney e Rundel, 1979). La riserva utilizzata durante la crescita primaverile è gradualmente ricostituita dall'uptake dal suolo durante l'estate e dal riciclo dalle foglie senescenti in autunno, come documentato anche da studi su *Pinus spp.* In cui, il riutilizzo di azoto dalle foglie senescenti, era correlato negativamente con l'incremento della massa di N incorporato nelle foglie, (Mediavilla e Escudero, 2003). L'azoto rimobilizzato può provvedere fino all'80% dell'N necessario per la crescita vegetativa (Guak *et al.*, 2003). Studi sulla concentrazione di N per foglie e fusto per *Q. ilex* sono riportati da Cherbuy *et al.* (2001), che riportano una rimobilizzazione di azoto dalle foglie verso gli organi in accrescimento pari al 11-20% della concentrazione iniziale a seconda dell'età della foglia. Il contenuto di N nel fusto rimane costante durante la stagione di crescita in fusti giovani, mentre in quelli di due anni si ha un aumento che può arrivare fino al 35%. In *P. angustifolia* si trovano valori del 45% prima del germogliamento in primavera, quando si ha la traslocazione dell'azoto dagli organi di riserva all'apparato fogliare, si nota poi un decremento del contenuto di N, durante l'aridità estiva l'andamento rimane costante fino al riprendere della stagione piovosa. In *Pinus alba* e in *Pinus radiata*, si ha una ritraslocazione dalle foglie verso gli organi di riserva con percentuali del 38% e 39% rispettivamente (Nabiar e Fife, 1987). Nelle specie caratterizzate da fruttificazione alternata (alternate bearing), lo stoccaggio di N presenta un andamento alternato ciclico su scala biennale (anni ON e OFF, carico e scarico). In pistacchio si ha grande accumulo di azoto negli anni di scarico (Weinbaum *et al.*, 1998) e grande domanda negli anni carico (Picchioni *et al.*, 1997). Nello stesso modo, nell'olivo, Fernandez-Escobar *et al.*, (1999, 2004) hanno dimostrato che l'azoto viene stoccato nei rami e nelle foglie negli anni OFF e mobilitato per la crescita negli anni ON. I dati in letteratura riguardo alla concentrazione di azoto in specie arboree e arbustive della macchia Mediterranea sono numerosi (de Lillis e Fontanella, 1992; Cherbuy *et al.* 2001; Mediavilla e Escudero, 2003), benché riguardino soprattutto la concentrazione di azoto fogliare e del fusto e ben pochi la rimobilizzazione dei composti azotati, in particolare per quanto riguarda le

specie sempreverdi spontanee; tendenzialmente infatti, i lavori in letteratura sulla rimobilitazione riguardano specie di interesse agrario.

Nel corso dei due anni esaminati, abbiamo riscontrato andamenti stagionali del contenuto di azoto diversi per le tre specie in esame. Le massime variazioni stagionali sono state trovate in *C. monspeliensis* rispetto a *P. latifolia* e *P. lentiscus*. In letteratura (de Lillis e Fontanella, 1992; Correia *et al.*, 1992) è descritto che per *C. monspeliensis* si ha il fenomeno dell'appassimento e dell'abscissione delle foglie nel periodo estivo. Per questo motivi ci si può aspettare un incremento della quantità di azoto nel fusto nei primi mesi primaverili e un decremento nelle foglie. I dati da noi raccolti mostrano, in effetti, in calo della concentrazione di azoto nelle foglie, da marzo (all'1,9 %) a giugno. D'altra parte si nota un forte incremento della concentrazione dell'azoto fogliare da giugno a luglio, mentre cala nel fusto e nelle radici, in contrasto con quanto noto dagli studi precedenti (de Lillis e Fontanella, 1992), è possibile quindi ipotizzare che nel sito di studio negli anni in esame, la caduta delle foglie sia stata anticipata di qualche mese (maggio) e l'aumento della concentrazione di azoto nelle foglie osservato, possa essere alla base della crescita vegetativa. Questa tendenza inoltre, viene mantenuta nei mesi settembre-ottobre, mesi in cui riprendono le precipitazioni (fig. 10; fig. 11b), i valori, infatti, raggiungono nuovamente percentuali dell' 1,89%. E' da mettere in evidenza, un decremento della quantità di azoto fogliare da luglio a settembre, attribuibile al fenomeno della diluizione, per il quale la quantità di azoto totale non varia, mentre la sostanza secca aumenta, si ha produzione di nuove foglie. I risultati ottenuti nel corso del nostro studio, per *C. monspeliensis* sono in accordo con quanto riportato per la stessa specie da Correia *et al.* (1992) per il Portogallo. Dove i massimi valori di azoto fogliare pari a circa 2% vengono raggiunti a gennaio con l'inizio della crescita vegetativa, si ha poi un decremento fino all'1% a luglio, decremento giustificato dall'autore dalla fioritura e dall'accartocciamento delle foglie in estate. Valori che subiscono un nuovo incremento fino al 2% di partenza durante l'autunno, con il riprendere della crescita vegetativa. I nostri valori sono gli stessi, anche se per quanto riguarda i nostri dati, vengono raggiunti qualche mese prima in inverno (novembre) e la crescita vegetativa autunnale riprende da metà

settembre. Anche i rapporti tra l'andamento del contenuto di azoto in cisto e lentisco prima accennati sembrano in accordo con quanto riportato da Correia (1992); l'andamento del contenuto del lentisco sembra però discostarsi da quanto ritrovato in Portogallo, non troviamo, infatti, il decremento riscontrato dall'inizio della primavera fino a settembre; troviamo un decremento ma solo nel periodo di aridità del secondo anno di studio e il mese di novembre dove viene raggiunto il massimo valore di N (1,6 %), corrisponde nel nostro caso, al mese in cui sono stati trovati i valori più bassi nella stagione. Nel lentisco, l'aumento della concentrazione di azoto delle foglie, precede l'inizio del periodo di crescita vegetativa come deducibile dai dati raccolti (fig.17), come ci si può attendere a seguito della ritraslocazione dell'N dagli organi di riserva alle foglie. La crescita del lentisco si arresta a settembre (de Lillis e Fontanella, 1992), in questo periodo, infatti, abbiamo osservato un incremento della concentrazione di azoto nel fusto e una sua diminuzione nelle foglie interpretabile, con la mobilitazione dei composti azotati verso gli organi perenni di riserva. Anche in questo caso è possibile osservare un probabile effetto di diluizione dei composti azotati, durante i periodi di crescita (gennaio-marzo), in questo intervallo la concentrazione di azoto e presumibilmente quella dei composti azotati, cala nei tre organi in studio. Lo stesso andamento trovato per *Pistacia lentiscus*, *Phyllirea media* e *Arbutus unedo* (de Lillis e Fontanella, 1992, in "Macchia Grande" nei pressi di Roma), tutti raggiungono i massimi valori della concentrazione di azoto fogliare prima della crescita vegetativa, il lentisco ha un aumento anche subito dopo questo periodo (1,6% in maggio; 1,8% in settembre, rispettivamente), per quanto riguarda invece, il corbezzolo e la fillirea media queste specie raggiungono i massimi valori di concentrazione di N fogliare rispettivamente, in settembre (1,4 %) e in gennaio (1,36%), prima dell'inizio dell'attività vegetativa, e nuovamente, quando le foglie raggiungono la maturità (1,32% in novembre; 1,42% in luglio, rispettivamente). I nostri dati non sono in accordo con questo andamento, per quanto riguarda il lentisco, abbiamo trovato, infatti, un incremento della concentrazione dell'azoto fogliare fino all'inizio della stagione arida dopo di che in autunno si raggiungono valori pari allo 0,94%. Per *P. latifolia* i dati da noi raccolti si discostano da quanto detto per *P. media* da de Lillis e Fontanella (1992).

Come riportato nella figura 18, si nota che le massime concentrazioni sono raggiunte in novembre del primo anno di studio (0,97%) e in maggio del secondo anno (1,07%). In realtà i valori assoluti della concentrazione di azoto in nostro possesso sono più bassi ma a parte questo, l'incongruenza sembra dovuta solo alle diverse fasi di crescita delle due specie, infatti, come detto sopra, questi mesi precedono la fruttificazione (Correia *et al.*, 1992), e l'inizio della crescita vegetativa (dicembre), come mostra il profilo di crescita che deriva dai dati raccolti (fig.12). Nei dati in letteratura risulta evidente una variabilità anche in *P. latifolia*. Secondo uno studio di Kutbay e Kiliñç (1994), condotto in Turchia, i valori percentuali del contenuto di azoto in *P. latifolia* sono dell'1,41% a metà della stagione di crescita, rispetto ai nostri valori del 0,8%. Dati in nostro possesso, permettono di evidenziare come in fillirea, la concentrazione di azoto varia da ottobre a novembre aumentando nelle foglie, questo fatto può essere messo in relazione ad un fenomeno di ritraslocazione che precede l'inizio della crescita vegetativa, (dicembre), come mostra il profilo di crescita che deriva dai dati raccolti (fig.13). Con un decremento della concentrazione di azoto fogliare nella prima parte del periodo di crescita vegetativa. Si può pensare anche in questo caso che al fenomeno di diluizione. Inoltre, si può notare come nel periodo che va da dicembre a gennaio, la concentrazione di N nelle foglie subisce un calo. Questo può essere a sostegno dell'ipotesi che la pianta effettui la traslocazione nei periodi che precedono la fioritura, come descritto in letteratura (de Lillis e Fontanella, 1992).

L'andamento della concentrazione di N in *Phyllirea latifolia*, (fig.16), risulta essere il più simile, rispetto alle altre due specie da noi prese in esame, a quelli descritti da Rosecrance *et al.* (1995) e Fernandez-Escobar *et al.* (2004), per specie coltivate quali olivo e pistacchio. In generale risulta che i composti azotati in queste specie, vengono stoccati negli organi di riserva perenni durante gli anni di scarico, quindi rimobilitati verso i frutti negli anni di carico. Nelle foglie di olivo (*Olea europea*), durante gli anni OFF si osserva un decremento del contenuto di N dal 1,5% in giugno, fino al 1,2% in ottobre, seguito da un incremento in tardo autunno (Fernandez-Escobar *et al.* , 2004). Nel fusto, invece, viene riportata dagli stessi autori, una misura della concentrazione di N pari allo 0,7%, valore che si mantiene pressoché

costante durante tutto l'anno di scarico. Negli anni di carico, invece è stata descritta una diminuzione della concentrazione di N nelle foglie da gennaio a ottobre (da 1,7% a 1,2%). Si deve comunque tener conto del fatto che nelle specie oggetto del presente studio la differenza nell'andamento dell'N tra i periodi di crescita vegetativa e di mantenimento, è più marcata se confrontata con la corrispettiva differenza in olivo e pistacchio durante gli anni OFF, mentre si può dedurre il contrario per quanto riguarda i periodi ON.

Concludendo, si può asserire che esiste una variabilità nei profili di distribuzione della quantità di azoto nei vari organi di piante diverse a livello interspecifico che intraspecifico. Un contributo importante a questa variabilità è sicuramente dato dalle caratteristiche pedoclimatiche. In particolare uno dei fattori che influenzano l'approvvigionamento di azoto, come già detto è la disponibilità idrica. Nel sito del presente studio, la piovosità media annuale corrisponde a 630 mm. Nel lavoro di de Lillis e Fontanella (1992), le precipitazioni risultano della stessa entità, questo dato ed una composizione del suolo prevalentemente sabbiosa, suggeriscono che vi sia una minore disponibilità di azoto a seguito di una maggiore lisciviazione, rispetto al sito relativo al nostro studio, che invece ha una quantità di argilla che cresce con la profondità. Dal momento che il contenuto di azoto riportato sia per lentisco che per fillirea media, nel lavoro di de Lillis e Fontanella (1992), è invece, maggiore di quanto da noi riportato, si può ipotizzare che questa discrepanza sia in realtà dovuta ad una maggiore disponibilità di N nel terreno. Questa ipotesi, può essere supportata dal fatto che si ha forte diminuzione della percentuale di azoto nel terreno all'aumentare della profondità a causa dell'aumento della concentrazione di argilla e ad una riduzione piuttosto importante della percentuale di sostanza organica, vedi tab. 2. Questa caratteristica del terreno, può risultare ancor più significativa per quanto concerne la fillirea dal momento che presenta un apparato radicale profondo (1- 1,30 m).

Confrontando i nostri dati con quelli ottenuti da Kutbay e Kiliç (1994), per fillirea latifolia, si mette in evidenza una crescita della concentrazione di azoto fogliare per lo studio condotto in Turchia, dove la quantità media di azoto su 20 cm di profondità risultava inferiore, (0,27%), rispetto al nostro

caso di studio, (1,6 %), a parità di concentrazione di sostanza organica (circa 4 %). Le condizioni climatiche in questi due casi sono del tutto simili per quanto riguarda la temperatura media (14-14,5°C) mentre la piovosità nel nostro sito è inferiore (630 mm e 712 mm rispettivamente). Dal confronto di questi dati non è però, possibile ipotizzare il fattore responsabile della differente contrazione di azoto nella specie in esame.

Nello studio di Correia *et al.* (1992), per *C. monspeliensis*, emerge una chiara omologia con i dati da noi ottenuti per la stessa specie, infatti, risulta evidente come i parametri delle precipitazioni, delle temperature medie annuali e della composizione del suolo siano simili (circa 580 mm di pioggia, 20 °C). Le differenze osservate per lentisco, non sembrano poter essere ricondotte quindi, a differenze pedoclimatiche; d'altra parte si nota una forte variabilità per quanto riguarda questa specie, anche nel contesto del nostro studio tra primo e secondo anno.

Indice delle figure e delle tabelle

	Pagina
Fig. 1 <i>Quercus ilex</i> Macchia mista a leccio, panoramica delle colline livornesi (2002)	10
Fig. 2 a) <i>Arbutus unedo</i> Pianta con frutti, Parco delle colline livornesi (Ottobre-Novembre; 2007); b) <i>Mirtus communis</i> Particolare del fiore e frutti. (2003).....	14
Fig. 3 <i>Phyllirea latifolia</i> Particolare del fiore (Parco delle colline livornesi; 2003).....	17
Fig. 4 <i>Pistacia lentiscus</i> Parco delle colline livornesi (2007).....	19
Fig. 5 <i>Cistus monspeliensis</i> Parco delle colline livornesi (2007).....	21
Fig. 6 Parco dell'Uccellina: carta della vegetazione del parco Fonte: http://www.parco-maremma.it	33
Fig. 7 Parco dell'Uccellina: area di campionamento	36
Fig. 8 Campionamento delle radici: le radici sono state mappate ed etichettate per identificare facilmente nei successivi campionamenti il posto e la profondità di ogni radice.....	40
Fig. 9 a) Precipitazioni medie trentennali ad Alberese i valori si riferiscono a medie mensili relative a due trentenni; b) Temperature medie trentennali ad Alberese, i valori si riferiscono a medie mensili relative a due trentenni.....	45
Fig.10 Diagramma di Walter e Lieth relativo al periodo, 1965-1996, ad Alberese. Il diagramma di Walter e Lieth è stato costruito con medie mensili trentennali, e le curve relative alle temperature, sempre relative a medie mensili trentennali; si noti il periodo di aridità dei mesi estivi evidenziato con l'area tratteggiata.	46
Fig.11 a) valori di temperatura atmosferica, la linea viola indica l'andamento medio dei valori, ottenuto mediando sets di 400 punti adiacenti; b) Umidità relativa, la linea rosa indica l'andamento medio dei valori, ottenuto mediando sets di 400 punti adiacenti. I dati sono stati raccolti ad intervalli di 30 minuti.....	49
Fig.12 Rilievi di crescita non distruttivi le misure si riferiscono a <i>Phyllirea latifolia</i> i campionamenti sono stati effettuati all'inizio della stagione di crescita, fine della stagione di crescita, fine dell'inverno.	50
Fig.13 Rilievi di crescita non distruttivi le misure si riferiscono a <i>Cistus monspeliensis</i> i campionamenti sono stati effettuati all'inizio della stagione di crescita, fine della stagione di crescita, fine dell'inverno.	51

Fig.14 Rilievi di crescita non distruttivi le misure si riferiscono a <i>Pistacia lentiscus</i> i campionamenti sono stati effettuati all'inizio della stagione di crescita, fine della stagione di crescita, fine dell'inverno.	54
Fig.15 Andamento della concentrazione di azoto, espresso come percentuale in peso rispetto alla sostanza secca, durante l'anno. Le misurazioni sono relative a tre organi: foglie, rami e radici di <i>Cistus monspeliensis</i>	55
Fig.16 Andamento della concentrazione di azoto, espresso come percentuale in peso rispetto alla sostanza secca, durante l'anno. Le misurazioni sono relative a tre organi: foglie, rami e radici di <i>Phyllirea latifolia</i>	56
Fig.17 Andamento della concentrazione di azoto, espresso come percentuale in peso rispetto alla sostanza secca, durante l'anno. Le misurazioni sono relative a tre organi: foglie, rami e radici di <i>Pistacia lentiscus</i>	57
Tabella 1 Caratteristiche chimiche e fisiche in tre diversi orizzonti del suolo: A ₁ : 0-3 cm di profondità; A ₂ : 3-8 cm di profondità; B _w : 8-30 cm di profondità; Nel sito sperimentale del Parco Naturale della Maremma. Le particelle di sabbia sono comprese tra 200 e 50 µm, quelle di limo tra 50 e 2 µm e quelle di argilla fino a 2 µm. (<i>Gucci et al., 1999.</i>).....	38
Tabella 2 Campionamenti distruttivi degli apparati radicali e della chioma effettuati nel corso di 14 mesi; la tabella indica il tipo di tessuto campionato, (Rd-radici; Fs-fusto; Fg-foglie) ed il numero di campioni; tutti i campioni sono poi stati liofilizzati ed è stato determinato il contenuto di azoto organico usando il metodo Kjeldhal-Tecator's (Lotti e Galoppini, 1980). ...	42

Bibliografia

Aerts, R. (1990). Nutrient use efficiency in evergreen and deciduous species from heath lands. *Oecologia* 84: 391-397

Amato, M., Sarnatero, M. (1999). Root analysis of maquis at Castel Volturno Italy. Modelling Mediterranean Ecosystem dynamics Final report. Eu-DG XII-ENV4 CT970680.

Andrews, R. (1986). The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. *Plant Cell Environmental* 9: 511-519.

Arianotsou –Faraggitari, Margaritis. N.S. (1981). Produces and the fire cycle in a phriganic ecosystem in: Margaritis, N.S., Mooney, H.A. Components of productivity of Mediterranean climate regions. Junk, Le Hague pp.: 181-190.

Aronne, G., De Micco, V., Tattini, M., Amato, M. (1999). Anatomia quantitativa delle radici con differenti livelli di disponibilità idrica. Modelling Mediterranean Ecosystem dynamics Final report. Eu-DG XII- ENV4 CT970680.

Aronne, G., De Micco, V. (2001) Seasonal dimorphism in the Mediterranean *Cistus incanus* L. subspecies *incanus*. *Annals of Botany* 87: 789-794.

Bagnouls, F. e Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Dannale de Geographie* 355: 193-220.

Baldocchi, D. (1997). Measuring and modelling carbon dioxide and water exchange over temperature broad-leaved forest during the 1995 summer drought. *Plant Cell. And Environments* 20: 1108-1122.

Baroni, E. (1969). Guida botanica d'Italia. Edizioni Cappelli Bologna.

Beard, J.S. (1983). Ecological control of the vegetation of Southwestern Australia: Moisture versus nutrients. In *Mediterranean-type Ecosystems. The Role of Nutrients* (eds. Kruger, F. J., Mitchell, D.T., Jarvis, J.U.M.): 66-73. Springer Verlag, Berlin, Germany.

Bernetti, P. (1995). *Selvicoltura speciale*. UTET Torino.

Cecconi, C. A., Idrica, V., Michelozzi, M., Fusi P. (1984). Sulla Composizione minerale delle foglie di alcune specie della macchia mediterranea. *Monti e Boschi* 25 (3): 43-45.

Cecconi, C. A., Vidrich, V., Michelozzi, M., Fusi, P. (1984). Sulla composizione minerale delle foglie di alcune specie della macchia mediterranea. *Monti e Boschi* 25 (3): 43.45.

Chapin, F.S. III, Autumn, K. e Pugnaire, F. (1993). Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *American Naturalist* 142: 78–92.

Chapin, F.S. III, Johnson, D.A., Mc Kendrick, J.A. (1980). Seasonal movement of nutrients in plants of differing growth form in an Alaskan Tundra ecosystem: Implications for Herbivory. *The Journal of Ecology*, 68: 189-209.

Chapin, F.S. III e Kedrowski, R.A. (1983). Seasonal changes in nitrogen and phosphorous fractions and autumn retraslocation in evergreen and deciduos taiga trees. *Ecology* 64(2):376-391.

Chapin, F.S. III, Schulze, E, Mooney, H.A. (1990). The Ecology and Economics of Storage in Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21: 423-447.

Cherbuy, B., Joffre, R., Gillon, R., Rambal, S. (2001). Internal remobilization of carbohydrates, lipids, nitrogen and phosphorus in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex*. *Tree Physiology* 2: 9–17.

Cole, D.W., (1981). Nitrogen uptake and translocation by forest ecosystems. In: *terrestrial nitrogen cicles*. Clark, F.E. e Rosswall, T. (eds.): *Ecol. Bulletin (Stockholm)* 33: 210-232.

- Coleman, G.D., Chen, T.H.H., Ernst, S.G., Fuchigami, L. (1991). photoperiod Control of *Poplar Bark Storage Protein Accumulation Plant Physiol.* 96(3): 686–692.
- Correia O. A.; Martins A. C.; Catarino F. M. (1992). Comparative phenology and seasonal foliar nitrogen variation in mediterranean species of Portugal. *Ecologia mediterranea* 18: 7-18.
- Daget, P. (1977). Le bioclimat mediterraneen: caracteres generaux, modes de caraterisation. *Vegetatio* 34: 1-20.
- Damesin, C., Rambal, S., Joffre, R. (1998). Co-occurrence of trees with different leaf habit: a functional approach on Mediterranean oaks. *Acta Oecologica* 19: 195-204.
- Dickson, R.E. (1989). Carbon and nitrogen allocation in trees. *Ann. Sci. For.* 46: 631s-647s.
- de Lillis, M. e Fontanella, A. (1992). Comparative phenology and growth in different species of the Mediterranean maquis of central Italy. *Vegetatio* 99/100: 83-96.
- de Lillis, M e Mirgone, E. (1994). Water relations of some Mediterranean evergreen sclerophylls: some considerations on sclerophylly and microphylly. *Ecologia mediterranea* vol.20 n°3-4: 39-49.
- De Marco, A., Arena, C., Virzo De Santo, A. (2000). Effetto del fuoco sulla disponibilità di nutrienti nel suolo e sulla composizione elementale di *Phyllirea angustifolia L.*
- di Castri, F. (1990). An ecological overview of the five regions of the world with mediterranean climate. In *Biogeography of Mediterranean Invasions* (eds. R. H. Groves and F. Di Castri): 3-15. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- di Castri, F., Goodall, D.W., Specht, R.L. (1981). Mediterranean-type shrublands. *Ecosystems of the world* 11. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.
- Eckstein, R.L., Karlsson, R.L., Oikos, M.W. (1998). The Significance of resorption of leaf resources for shoot growth in evergreen and deciduous woody plants from a subarctic environment. 81: 567-575
- Evans, J.R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* 78: 9-19.
- Feeny, P.P. (1976). Plant apparency and chemical defenses. *Recent Adv. Phytochem* 10: 3-40
- Fenaroli, L. (1985). Guida alla flora mediterranea p. 223. Giunti Martello, Firenze.
- Field, C., Mooney, H. A. (1986). The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. In: T.J. Givnish (eds.). *On the economy of plant form and function.* Cambridge University Press (Cambridge) pp: 22-55.
- Giovannini, G., Perulli, D., Piussi, P., Salbitano, F. (1992). Ecology of vegetative regeneration after coppicing in macchia stand in central Italy. *Vegetatio* 99/100: 331-343.
- Gray, J.T. (1983). Nutrient use by evergreen and deciduous shrubs in Southern California: I. Community Nutrient Cycling and Nutrient-Use Efficiency. *The Journal of Ecology* 71 (1): 21-41.
- Grime, J.P. (1988). The C-S-R model of primary plant strategies: origins, implications, and tests. *Plant Evolutionary Biology* (eds. L.D. Gottlieb & S.K. Jain), pp: 371–393. Chapman & Hall, London.
- Guak, S., Neilsen, D., Millard, P., Wendler, R., Neilsen, G.H. (2003).

Determining the role of N remobilization for growth of apple (*Malus domestica Borkh*) trees by measuring xylem-sap N flux. *J. Exp. Bot.* 54 (390):2121-3.

Gucci, R., Massai, R., Casano, S., Mazzoleni, S. (1999). Seasonal changes in the water relations of Mediterranean co-occurring woody species. *Plant Biosystems*, 133 (2): 117-128.

Gucci, R., Tognetti, R., Ciollo, M., Castagni, G., Grumelli, A. (1997). Plant-soil water relation and gas exchange. Modelling Mediterranean Ecosystem dynamics Final report. Eu-DG XII- ENV4 CT970680.

Harley, P.C., Tenhunen, J. D., Beyschlag, W., Lange, O. L., (1987). Seasonal changes in net photosynthesis rates and photosynthetic capacity in leaves of *Cistus salvifolius*, a European mediterranean semi-deciduous shrub. *Oecologia* 74: 380-388.

Hermann, L., Pollini M. (1990). Produzione Legnosa e Paesaggio considerazioni sul turno del ceduo di leccio. *Cellulosa e carta* 41 (2): 6-11.

Hinckley, T.M., Duhme, F., Hinckley, A.R., Ritcher, H. (1980). Water relations of drought hardy shrubs osmotic potential and stomatal reactivity. *Plant Cell Environ.* 3: 131-140.

Klein, I., Weinbaum, S.A. (1984). Foliar application of urea to olive: Translocation of urea nitrogen as influenced by sink demand and nitrogen deficiency. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 356-360.

Kummerow, J. (1981). Structure of roots and root systems. In Di Castri, F., D.W. Goodall, R. L. Specht (eds.), *Ecosystems of the World II. Mediterranean-Type Shrublands*.

Infante, J.M., Domingo, F., Fernàndez-Alès, R., Joffre, R., Rambal, S. (2003). *Quercus ilex* transpiration as affected by a prolonged drought period. *Biol. Plant.* 46: 49.55.

Inventario Forestale Nazionale.

Lambers, H., Poorter, H. (1992). Inherent variations in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research* 23: 187-261.

Lambers, H., Chapin, F.S.III, Pons, T.L. (1998). *Plant physiological ecology*.

Larcher, W. (1981). Low temperature effects on Mediterranean sclerophylls an unconventional viewpoint in: Margaris, N.S., Mooney, H.A. *Components of productivity of Mediterranean climate regions . Italia Forest. e Montana* 46 (1): 1-14.

Larcher, W. (1992). Effetti delle basse temperature sulle piante sempreverdi mediterranee. *Italia Forest. e Montana* 46(1): 1-14.

Le Houerou, H.N. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments* 34: 133-185.

Lo Gullo, M. A., Salleo, S. (1988). Different strategies of drought resistance in three Mediterranean sclerophyllous trees growing in the same environmental conditions. *New Phytology.* 108: 267-276.

Loomis, R.S. (1997). On the utility of nitrogen in leaves. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*

Lotti, G., Galoppini, C. (1980). *Guida alle analisi chimico agrarie . Edagricole, Bologna.*

Magliulo, E., Zaldei, A. (1999). Scambi di carbonio e vapor d'acqua di un ecosistema a Macchia Mediterranea durante il periodo estivo, misurati con la tecnica della correlazione turbolenta. Quaderni 1-10. Istituto Nazionale per l'Analisi e la Protezione degli Agroecosistemi CNR. Capitolo decimo: 99-105.

- Major, J. E., Johnsen, K.H. (1999). Shoot water relations of mature black spruce families displaying a genotype x environment interaction I growth rate. II. Temporal trends and response to varying soil water conditions. *Tree Physiology* 19: 375-382.
- Maracchi, G., Benincasa, F., (1998). Collana tecnico scientifica INAPA. Quaderni 1-10. Istituto Nazionale per l'Analisi e la Protezione degli Agroecosistemi CNR.
- Marano, I. (1953). Accrescimento del legno in *Phyllirea latifolia*. *Nuovo giornale botanico It. N. spec.* 60: 297-224.
- Margaris, N.S., Mooney, H.A. (1981). *Components of Productivity of Mediterranean-climate Regions. Basics and Applied Aspects.* Dr W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands.
- Martins-Louçao, M., Cruz, C. (1998). The role of nitrogen source in carbon balance. In: modes of nitrogen nutrition in higher plants, H.S. Srivastava (ed.) Associated Publishing company.
- Mattson, W.J. (1980). Herbivory in Relation to Plant Nitrogen Content. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 119-161.
- Mediavilla, S., Escudero, A. (2003). Relative growth rate of biomass and leaf nitrogen content in several mediterranean woody species. *Plant ecology* 168:321-332.
- Millard, P. (1996). Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 159:1-10.
- Millard, P., Proe, M.F. (1991). Leaf demography and the seasonal internal cycling of nitrogen in sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) seedlings in relation to nitrogen supply. *New Phytologist* 117: 587-596.
- Miller, P.C. (1979). Quantitative plane ecology. In: Harn, D., Stairs, G.R., Mitchell, R.O. (eds.) Ohio State University Press, Columbus, 179-232.
- Mitrakos, K. (1980). A theory for the Mediterranean plant life. *Acta Oecol. Plantarum* 1: 145-252.
- Mooney, H.D., Dunn, E.L. (1970) Convergent evolution of mediterranean climate evergreen sclerophylls shrubs. *Evolution* 24: 292-303.
- Mooney, H.A. Dunn, E.L., Shropshire, F., Sang, L. (1970) Vegetation comparisons between the mediterranean climate areas of California and Chile. *Flora* 159: 480-496.
- Mooney, H.A., Kummerow J (1981) Phenological development of plants in mediterranean-climate regions. In: F di Castri, DW Goodall, RL Specht (eds.) *Mediterranean-type shrublands*: 303-307. Elsevier Scientific Pub. Co. Amsterdam.
- Mooney, H.A., Rundel, P.W. (1979) Nutrient relatives of the evergreen shrub *Adenostoma fasciculatum*, the California chaparral. *Botanical Gazette* 140: 109-113.
- Moreno, J. and Garcia Martinez, J. L. (1984) Nitrogen accumulation and mobilization in *Citrus* leaves throughout the annual cycle. *Physiol. Plant.* 61: 429-434.
- Moro, M.J., Domingo, F., Escare, A. (1996). Organic Matter and Nitrogen Cycles in a Pine Afforested Catchment with a Shrub Layer of *Adenocarpus decoticans* and *Cistus laurifolius* in South-eastern Spain. *Annals of Botany* 78: 675-685.
- Munoz, N., Guerri, J., Legaz, F., Primo-Millo, E. (1993). Seasonal uptake of ¹⁵N-nitrate and distribution of absorbed nitrogen in peach trees. *Plant Soil.* 150:263-269.
- Nambiar, E.K.S, Fife, D.N. (1991). Nutrient retraslocation in temperate conifers. *Tree Physiol.* 9:185-207.

Nardini, A., Salleo, S., Lo Gullo, M.A., Pitt, F. (1999). Different responses to drought and freeze stress of *Quercus ilex* L. growing along a latitudinal gradient. *Plant Ecology* 148: 139-147.

Neilsen, D., Millard, P., Neilsen, G.H., Hogue, E.J. (1997). Sources of N for leaf growth in a high-density apple (*Malus domestica*) orchard irrigated with ammonium nitrate solution. *Tree Physiol.* 17:733–739.

Nilsen E.T., Muller, W. H. (1981). Phenology of the Drought-Deciduous Shrub *Lotus scoparius*: Climatic Controls and Adaptive Significance. *Ecological Monographs* 51(3): 323-341.

Nilsen, E.T., Orcutt D.M. (1996). *The Physiology of Plants Under Stress: Abiotic Factors*. Wiley.

Oliveira, O., Penuelas, J. (2004). Effects of winter cold stress on photosynthesis and photochemical efficiency of PSII of the Mediterranean *Cistus Albidus* L. and *Quercus Ilex* L. *Plant Ecology* 175: 179-191.

Orshan, G. (1989). *Plant Pheno-Morphological Studies in Mediterranean Type Ecosystems*. Geobotany 12. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Paraskevopoulos, S.P., Iatrou, G.D., Pantis, J.D. (1994). Plant growth strategies in evergreen- sclerophyllous shrublands (Maquis) in central Greece. *Vegetatio* 115:109-114.

Pereira, J.S., Chaves, M.M. (1995). Plant responses to Drought under climate change in Mediterranean type ecosystems, in: *Global change and Mediterranean type ecosystems*, Moreno, J.M., Oechel, W. C. Springer. NY. pp: 140-160.

Peresotti, A., Magliulo, E. (1999). Traspirazione e flusso di linfa xilematica in un ecosistema mediterraneo: confronto tra specie mediante trasduttori di flusso di linfa a bilancio termico ed *Eddy covariance*. Quaderni 1-10. Istituto Nazionale per l'Analisi e la Protezione degli Agroecosistemi CNR. Capitolo nono: 86-97.

Picchioni, G.A., Brown, P.H., Weinbaum, S.A., Muraoka, T.T. (1997). Macronutrient allocation to leaves and fruit of mature, alternate-bearing pistachio trees: magnitude and seasonal patterns at the whole-canopy level. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 122: 267-274.

Pignatti, S. (1982). *Flora d'Italia* vol. 1-3. Edagricole.

Poorter, H., Remkes, C. (1990). Leaf area ratio and assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* 83: 553-559.

Quaderni habitat (1999). *La macchia mediterranea formazioni sempreverdi costiere*. Ministero dell'ambiente e tutela del territorio.

Pugnaire, F.I., Chapin, F.S. III. (1993). Controls over Nutrient Resorption from Leaves of Evergreen Mediterranean Species. *Ecology*, 74: 124-129.

Rhizopoulou, M., Mitrakos, K. (1990). Water relations of evergreen sclerophylls. Seasonal changes in the water relations of eleven species from the same environment. *Ann. Bot.* 65: 171-178.

Ritchie, G.A., Hinckley, T.M. (1975). The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Adv. Ecol. Res.* 165-254.

Rundel, P. W. (1982). Nitrogen utilization efficiencies in Mediterranean-climate shrubs of California and Chile. *Oecologia* 55: 409-413.

Salleo, S., Nardini, A. (2000). Sclerophylly: evolutionary advantage or mere epiphenomenon. *Plant Biosystems* 134: 247-259.

Savè, R., Castell, C., Terradas, J. (1999). Gas exchange and water relations. *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. pp: 135-148. Springer-Verlag. Berlin

Saya, I. (1968). L'idrosistema del corpo legnoso di alcuni arbusti mediterranei Italia forest. e montana 23(4) 175-180.

Schlesinger, W.H., Chabot, B.F. (1977) .The use of water and minerals by evergreen and deciduous shrubs in Okeferakee Swamp. *Botanical Gazette* 138: 490-497.

Seigue, A. (1985). *La forêt circumediterrienne et ses problemes*. Maisonneuve et Larose p. 502.

Serrano, L. e Peñuelas, J. (2005). Contribution of physiological and morphological adjustments to drought resistance in two Mediterranean tree species. *Biologia Plantarum* 49 (4): 551-559.

Serrano, L., Peñuelas, J., Ogaya, R., Savé, R. (2005). Tissue-water relations of two co-occurring evergreen Mediterranean species in response to seasonal and experimental drought conditions. *Journal Plant Res.* 118: 263-269.

Smirnoff, N., Todd, P., Stewart, G.R. (1984). The occurrence of nitrate reduction in the leaves of woody plants. *Ann. Bot.* 54: 363-374.

Spano, D., Duce, P., Cesaraccio, C., Francescani, A., Asunis, C., Rossi, F., Rotondi, A. (1999). Rilievi ecofisiologici e caratteristiche morfo-istologiche di alcune specie della macchia mediterranea. Quaderni 1-10. Istituto Nazionale per l'Analisi e la Protezione degli Agroecosistemi CNR. Capitolo terzo: 21-29.

Specht, R.L. (1981). Primary production in mediterranean climate ecosystems regenerating after fire. In *Mediterranean type Shrublands* (eds. di Castri, F., Goodall, D.W., Specht, R.L.): 257-267. *Ecosystems of the world 11*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.

Specht, R.L., Moll, E.J., Pressinger, F., Sommerville, J. (1983). Moisture regime and nutrient control of seasonal growth in mediterranean ecosystems. In *Mediterranean-type Ecosystems. The Role of Nutrients* (eds. Kruger, F.J., Mitchell, D.T., Jarvis, J.U.M.): 120-132. Springer Verlag, Berlin, Germany.

Tenhunen, J.D., Lange, O.L., Pereira Ascencao, L.M., Losch, R., Catarino, F. (1981). Midday stomatal closure in *Arbutus unedo* leaves in: Margaris, N.S., Mooney, H.A. *Components of productivity of Mediterranean climate regions*. Junk, Le Hague pp.: 61-70.

Terradas, J., Savé, R. (1992). The influence of summer and winter stress and water relationships on the distribution of *Quercus ilex* L. *Vegetatio* 99-100: 137-145.

Titus, J.S., Kang, S.M. (1982), Nitrogen metabolism, translocation, and recycling in apple trees. *Hortic. Rev.* 4: 204-246.

Torres, J.C., Gutierrez, J.R., Fuentes, E.R. (1980) Vegetative responses to defoliation of two chinea matorral shrubs. *Oecologia (Berlin)* 46: 161-163.

Tretiach, M. (1993). Photosynthesis and transpiration of evergreen Mediterranean and deciduous trees in an ecotone during a growing season. *Acta Oecologica* 14: 341-360. *Tropical trees a review*. IAWA Journal 16: 337-351.

Valette, J.C. (1990). Infiammabilità des especies forestieres mediterraneennes. *Revue forestieres Franç. N. spec.* 42: 76-92.

Walter, H., Lieth, H. (1960). *Klimadiagramm-Weltatlas*. Gustav Fisher. Verlag, Vienna. Austria.

Weinbaum, S.A, Van Kessel, C. (1998). Quantitative estimate of uptake and internal cycling of ¹⁴N-labelled fertilizer in mature walnut trees. *Tree Physiol.* 18:795–801.

White, D. A., Turner, N.C., Galbraith, J.H. (2000). Leaf water relations and stomal behaviour of four allopathic *Eucalyptus* species paltded in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiology.* 20: 1157-1165.

Ringraziamenti

Alla fine di questo lungo percorso, i miei più sentiti ringraziamenti al Professor Gucci, che con pazienza mi ha seguito e aiutato, e alla Dottoressa Ercoli per i suoi preziosi suggerimenti. Non ci sono parole, sufficienti ad esprimere la gratitudine e l'amore verso coloro che mi hanno appoggiato e mi sono stati vicini, SEMPRE: la mia Famiglia e il mio Amore: Marco, che ha avuto la follia, la pazienza, la forza, l'amore, la follia(di nuovo), per starmi vicino durante il mio delirio pre-laurea e senza il quale dubito sarei riuscita a finire tutto in tempo!!

Ci sono poi, Alessandra, Rosa, Renato, a cui voglio bene che considero i miei più cari amici, che ci sono stati nel momento del bisogno, ed hanno sopportato i miei borbottii, lamenti e momenti di sconforto che hanno accompagnato quest'ultimo periodo!!