

FABIO PASTORELLA

# *Analisi del microclima luminoso, in pinete artificiali a pino d'Aleppo, idoneo alla rinnovazione delle principali specie forestali dell'area del Mediterraneo*

## *Introduzione*

Nel corso del XX secolo, in tutto il Mediterraneo una vasta superficie è stata oggetto di attività di rimboschimento (MAESTRE, CORTINA, 2004; PAUSAS *et al.*, 2004). Per le caratteristiche spiccatamente frugali e per il loro rapido accrescimento giovanile, le specie maggiormente utilizzate sono state pini ed eucalipti (PAUSAS *et al.*, 2004). Le formazioni forestali così edificate svolgono soprattutto funzioni protettive, ecologiche, sanitarie, ricreative e solo marginalmente produttive. Dal punto di vista ecologico esse presentano un basso grado di resistenza e resilienza alle perturbazioni esterne (HARTLEY, 2002; ANDERSON *et al.*, 2004) ma possono essere un importante strumento per favorire la diffusione delle specie legnose spontanee nei casi in cui le condizioni ambientali, ad esempio impatto antropico o suolo come indicato da SENBETA e TEKETAY (2001) ne ostacolano la rinnovazione (BROCKERHOFF *et al.* 2008). La copertura esercitata dalle chiome di questi rimboschimenti, infatti, è in grado di modificare il microclima e determinare condizioni favorevoli alla rinnovazione (effetto nurse) delle specie legnose spontanee (ARTIGAS, BOERNER, 1989; NOCENTINI, 1995; LOOKINGBILL, ZAVALA, 2000; VALLAURI *et*

*al.*, 2002; HÉRAULT *et al.*, 2004; ARRIETA, SÚAREZ, 2006; URBIETA *et al.*, 2011).

Sfruttando questa capacità, sono stati sviluppati modelli gestionali volti a stimolare le dinamiche successionali che si innescano all'interno delle piantagioni e tendenti ad una loro sostituzione spontanea con popolamenti ecologicamente più stabili (VALLAURI *et al.*, 2002; KUNSTLER, 2004; BROCKERHOFF *et al.*, 2008; RODRÍGUEZ-CALCERRADA, 2008; MERCURIO *et al.*, 2009). Dal momento che la densità del soprassuolo principale ha un'influenza diretta sulla densità della rinnovazione (HÉRAULT *et al.*, 2004; OSEM *et al.*, 2009; URBIETA *et al.*, 2011), molti autori propongono di operare tagli di diradamento (a piede d'albero o a piccole buche, nella maggior parte dei casi) volti a ridurre progressivamente la copertura dello strato arboreo d'origine artificiale.

Il successo della rinnovazione, nelle comunità forestali, è influenzato (HODGES, GARDINER, 1992): da fattori microclimatici ed edafici, dalle caratteristiche morfologiche e fisiologiche delle specie presenti, e dalla loro interazione. Questi fattori sono stati ampiamente analizzati in ambiente temperato (ZAVALA *et al.*, 2000) dove è noto che luce e temperatura sono i fattori più importanti per l'affermazione e la crescita dei semenzali (CHAZDON, FETCHER, 1984;

NAKASHIZUKA, 1985; CANHAM, 1988; RAICH, GONG, 1990). Tuttavia, dal momento che la temperatura dell'aria è molto dipendente dalla radiazione luminosa, la luce è il fattore decisivo (DAI, 1996). In ambiente Mediterraneo solo recentemente è stata posta l'attenzione su tali processi e sulle loro implicazioni ecologiche (ZAVALA *et al.*, 2000) e le relazioni tra questi fattori sono ancora oggetto di analisi e dibattiti. In particolare è ampiamente accettato che in questo ambiente i maggiori fattori limitanti per la distribuzione delle specie arboree sono l'umidità del suolo (DI CASTRI *et al.*, 1981; VUILLEMIN, 1982; PIGOTT, PIGOTT, 1993; OLIET, JACOBS, 2007) e la luce (ESPELTA, 1996; GÓMEZ-APARICIO *et al.*, 2006, 2008; PUERTA-PIÑERO *et al.*, 2007). Entrambi influiscono sulla crescita e la sopravvivenza di semenzali e plantule (LAMBERS *et al.*, 1998) ma la maniera in cui essi influenzano le dinamiche successionali ed i rapporti tra le specie vegetali non sono stati chiariti definitivamente (VALLADARES, 2003; VILLAR *et al.*, 2008). È noto, tuttavia, che all'aumentare delle condizioni di xericità, l'umidità influisce sulla sensibilità della rinnovazione alla luce: lungo un gradiente di umidità la composizione specifica è controllata, al limite inferiore dallo stress idrico nel periodo secco, ed al limite superiore dalla capacità delle specie di tollerare l'ombra (ZAVALA *et al.*, 2000). Inoltre la luce può limitare fortemente la sopravvivenza di alcune specie ed è un fattore importante nella distribuzione delle nicchie ecologiche favorevoli alla rinnovazione delle specie arboree (GÓMEZ-APARICIO *et al.*, 2004). In condizioni di sufficiente umidità, infine, le piante aumentano la traslocazione verso il tronco piuttosto che aumentare il volume delle radici ed aumentano la superficie fotosintetizzante (SACK, 2004; VILLAR *et al.*, 2008), per cui, come indicato da alcuni autori (GÓMEZ-APARICIO *et al.*, 2004, 2006; PUERTA-PIÑERO *et al.*, 2007), è lecito ipotizzare che in aree in cui la rinnovazione non subisce forti stress idrici, la luce possa essere indicata come il principale fattore limitante del processo di rinnovazione, in particolare per la germinazione e l'insediamento delle plantule (BRONCANO *et al.*, 1998).

Sulla base di queste considerazioni, nelle condizioni stazionali oggetto di studio, si è ritenuto lecito considerare la luce il principale fattore limitante per il processo di rinnovazione. Il lavoro, svolto all'interno di formazioni d'origine artificiale pure e miste prevalentemente edificate da pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.) e pino domestico (*Pinus pinea* L.), ha analizzato le condizioni microstazionali di luminosità (mediante l'analisi di LAI (*Leaf Area Index*) e copertura del soprassuolo principale) in cui la rinnovazione di leccio (*Quercus ilex* L.), pino d'Aleppo, roverella (*Quercus pubescens* s.l.) e cipresso (*Cupressus* spp.) è in grado di insediarsi ed affermarsi.

## Materiali e metodi

### Obiettivi del lavoro

Il lavoro descrive una proposta metodologica per l'analisi delle esigenze, in termini di luce, della rinnovazione delle specie arboree all'interno di formazioni artificiali a pino e per la determinazione della densità del soprassuolo principale più favorevole al loro insediamento. In particolare l'attività di ricerca è stata volta a:

- analizzare la relazione esistente tra LAI e densità e tra LAI e copertura nei soprassuoli a pino dell'area in esame;
- valutare l'influenza della densità del soprassuolo principale sul LAI in formazioni artificiali a pino;
- analizzare gli intervalli del LAI del soprassuolo principale più idonei all'insediamento della rinnovazione delle specie analizzate e per ciascuna di queste valutarne le differenze al variare delle classi di età (semenzali e plantule);
- individuare una metodologia speditiva e facilmente replicabile per la stima della densità del soprassuolo principale più favorevole alla rinnovazione delle specie analizzate;
- individuare la densità del soprassuolo principale più idonea all'insediamento della rinnovazione naturale di leccio, roverella, pino d'Aleppo e cipresso nell'area oggetto di studio.

### Area di studio

L'area oggetto di studio rientra nel comprensorio dei "Monti di Palermo". Il complesso montuoso, caratterizzato da substrati di origine calcarea e forti pendenze, fa parte di un settore della catena siciliana caratterizzato dalla presenza di varie unità tettoniche che derivano dalla deformazione dei terreni del Bacino Imerese e della piattaforma Carbonatica Panormide, e dalle rispettive coperture terrigene oligo-mioceniche (ABATE *et al.*, 1978; GIUNTA, 1985; CATALANO, DI MAGGIO, 1996). Il rilievo di maggiori dimensioni del comprensorio è Monte Pizzuta (1333 m) ma sono numerose le vette che superano i 1000 metri s.l.m.

Il clima dell'area oggetto di studio è più umido rispetto a quello delle zone costiere limitrofe: le precipitazioni possono superare i 1000 mm annui ed il periodo secco è mitigato da precipitazioni occulte causate dall'intercettazione delle masse d'aria provenienti dal mare da parte dei monti più alti. Il fenomeno determinando una diminuzione della radiazione solare e dell'evapotraspirazione (con un conseguente aumento dell'apporto idrico) consente l'instaurarsi delle condizioni per la sopravvivenza di una specie come l'agrifoglio (DIA *et al.*, 1997). Secondo la classificazione bioclimatica di RIVAS MARTINEZ (1995), le stazioni analizzate rientra-

no tra il tipo termomediterraneo subumido (precipitazioni comprese tra 600 e 1000 mm/anno) e, marginalmente, quello mesomediterraneo umido (precipitazioni comprese tra 1000 e 1300 mm/anno). I valori di temperatura e precipitazione (cfr. fig. 1) sono stati stimati sulla base di quelli rilevati da DRAGO (2005) per le stazioni di Monreale (310 m s.l.m.) e Palermo (113 m s.l.m.) ed applicando il gradiente altimetrico proposto dallo stesso autore. In particolare è stato stimato che il tipo mesomediterraneo (temperatura media annua di 13-16°C) si riscontra a quote comprese tra circa 600 e 1200 m s.l.m.

Nonostante il territorio includa numerose aree sottoposte a tutela (riserve naturali, SIC e ZPS) i lembi di vegetazione forestale di origine naturale che vi si possono riscontrare sono ormai pochi e degradati (DIA *et al.*, 1997). L'area, infatti, è caratterizzata da un forte impatto antropico e le formazioni forestali native sono quasi scomparse da tempo a seguito di un intenso sfruttamento del territorio per fini agrosilvo-pastorali (GIANGUZZI *et al.*, 2007). La copertura forestale è costituita per la quasi totalità, da rimboschimenti impiantati a partire dagli anni '50, nonostante essi occupino una superficie molto inferiore a quella impiantata a causa dell'elevata frequenza con cui si susseguono gli incendi.

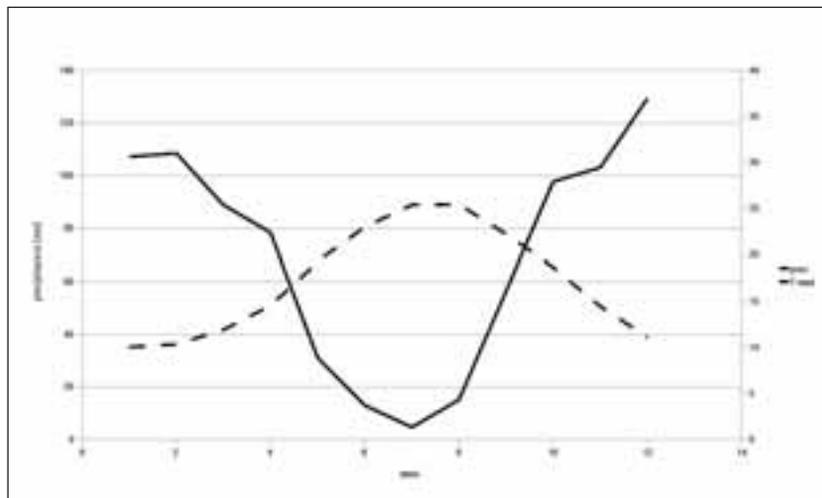


Figura 1: Diagramma ombrotermico relativo ai dati delle stazioni termopluviometriche dei monti di Palermo. Monreale (310 m s.l.m.); Palermo (113 m s.l.m.); San Giuseppe Jato (450 m s.l.m.). Fonte: DRAGO (2005); modificato.



Figura 2: Distribuzione sui Monti di Palermo delle stazioni analizzate. 1 - Altofonte; 2 - Casaboli; 3 - Moarda; 4 - Pellegrino; 5 - Piano dell'Occhio; 6 - Poggio San Francesco; 7-- Raffo Rosso; 8 - Renda; 9 - San Martino.

Le stazioni analizzate (cfr. fig. 2) sono poste ad una quota compresa tra circa 450 e circa 1100 m s.l.m. e sono caratterizzate dalla presenza di pinete artificiali, pure e miste, edificate da pino d'Aleppo, pino domestico, eucalipti (*Eucalyptus* spp.), cipressi e cedri. In molti casi è stata riscontrata la presenza di individui di roverella e leccio di grosse dimensioni che svolgono un'importante funzione di dispersione dei semi. I rimboschimenti oggetto di indagine mostrano caratteristiche dendrometriche molto variabili per densità, composizione e copertura, diffusione della rinnovazione delle specie analizzate, interventi culturali (diradamenti, sottopiantagione), impatto antropico (vicinanza a strade

e centri abitati, fuoco e pascolo), vicinanza a nuclei di dispersione di seme di specie autoctone. In molti casi, inoltre, schianti e fenomeni di senilità indicano la necessità di interventi che favoriscano la sostituzione di questi soprassuoli con formazioni più stabili. Per ragioni sia ecologiche che economiche non è conveniente effettuare interventi di sottopiantagione ma sono da preferire le attività che favoriscano i processi spontanei di insediamento della rinnovazione naturale.

#### Rilievi di campo

I rilievi di campo sono stati eseguiti secondo due protocolli di ricerca. Il primo è stato applicato all'analisi delle caratteristiche dendrometriche dei soprassuoli, il secondo alle esigenze luminose della rinnovazione naturale di leccio, pino d'Aleppo, roverella e cipresso. Le specie sono state scelte per la loro diffusione nel comprensorio dei monti di Palermo. In particolare leccio e roverella sono le due specie tard successionali più importanti in Sicilia, pino d'Aleppo e cipresso sono due specie molto utilizzate nei rimboschimenti in ambiente mediterraneo e, frequentemente, si rinnovano in maniera spontanea. Inoltre la capacità del leccio di trovare le condizioni idonee per l'insediamento e l'affermazione dei *seedling* (cfr. Analisi delle esigenze della rinnovazione) nel sottobosco delle pinete trova conferma in vari autori (ESPELTA 1996; RETANA *et al.*, 1999; LOOKINGBILL, ZAVALA, 2000) ed anche la capacità del pino d'Aleppo di rinnovarsi oltre che in aree aperte, all'interno delle formazioni a pino trova conferma in bibliografia (TRABAUD *et al.*, 1985; URBIETA *et al.*, 2011).

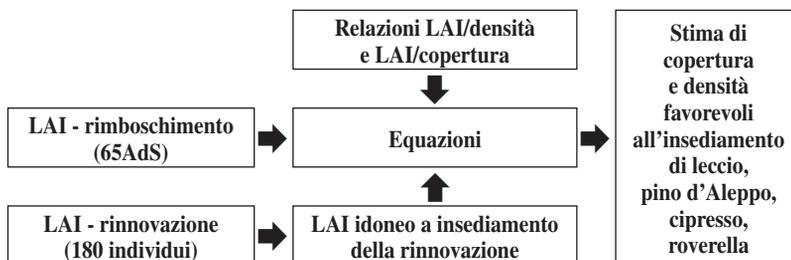


Figura 3: Schema razionale delle attività svolte nel corso di questo studio.

I dati ricavati dall'applicazione dei due protocolli sono stati confrontati ed utilizzati per la stima della densità e della copertura del soprassuolo principale più favorevoli all'insediamento della rinnovazione di ciascuna delle specie analizzate (cfr. fig. 3).

### *Leaf Area Index e copertura*

LAI (*Leaf Area Index*) e copertura sono fattori biofisici ed ecofisiologici importanti nella gestione forestale (ad esempio nella definizione di modelli di sviluppo e negli inventari forestali) e nell'analisi di processi ecologici (GRIFFIN *et al.*, 2008). La distribuzione della luce sotto la copertura arborea è strettamente dipendente dal LAI (PLANCHAIS, PONTAILLER, 1997) e dalla copertura. In particolare in boschi di conifere il LAI spiega il 90% della variazione giornaliera del flusso di fotoni: il suo studio appare come un metodo efficiente per la stima della capacità di tolleranza all'ombra degli individui che crescono nel sottobosco (MACHADO, REICH, 1999).

Entrambe le variabili sono misurate sullo strato delle chiome (*canopy*) del popolamento arboreo, tuttavia mentre la copertura (*canopy cover*) è misurata secondo linee verticali, il LAI (che esprime una *canopy closure*) è misurato mediante un angolo con il vertice rivolto verso il basso (KORHONEN *et al.*, 2006).

La copertura, detta anche *site factor* (ANDERSON, 1964), definita come la frazione di suolo coperta dalla proiezione verticale delle chiome degli alberi, è comunemente espressa in percentuale (*Percent Canopy Cover*). È sovente stimata a vista ma può essere misurata mediante l'utilizzo di strumenti quale il tubo di Cajanus o densimetri (SARVAS, 1953; RAUTIAINEN *et al.* 2005), l'analisi di immagini satellitari (KORHONEN *et al.*, 2006), l'applicazione di modelli probabilistici (KORHONEN *et al.*, 2007) o ancora con il LAI 2000 (RAUTIAINEN *et al.*, 2005).

La *canopy closure* rappresenta la porzione di cielo, osservato con uno strumento emisferico da un punto posto al di sotto delle chiome, che viene oscurata dalla vegetazione (JENNINGS *et al.*, 1999). In parti-

colare, il LAI (*Leaf Area Index*) è un indice che esprime la superficie (in m<sup>2</sup>) occupata dalle chiome rispetto ad una superficie di riferimento pari ad 1 m<sup>2</sup> (WATSON, 1947; STENBERG, 2006). Il LAI caratterizza la *canopy* di un ecosistema (BRÉDA, 2003), è dipendente da vari fattori ambientali (specialmente da fattori climatici e dalla disponibilità idrica) (BRÉDA, 1999) e può assumere un ampio range di valori in funzione della formazione vegetale analizzata (BRÉDA, 1999; AUSSENAC, 2000). Inoltre l'indice può assumere valori diversi nell'ambito della stessa formazione in relazione alla disponibilità di risorse (AUSSENAC, 2000) ed allo stadio di sviluppo, raggiungendo il valore più elevato in corrispondenza del massimo accumulo di biomassa (COVONE, 2007).

Ai fini di questo lavoro, la stima della copertura è stata effettuata a vista, quella del LAI con Plant Canopy Analyser LAI-2000 (LI-COR Inc., Nebraska, USA). In entrambi i protocolli i rilievi sono stati effettuati in condizioni di cielo coperto, a partire dalle due ore precedenti il tramonto (LE DANTEC *et al.*, 2000; LÓPEZ-SERRANO *et al.*, 2000) ed applicando una *view-cap* di 270°.

Il LAI-2000 consta di un datalogger e di un sensore *Fish-eye* formato da 5 anelli concentrici in grado di captare la luce alla lunghezza d'onda di 320-490 nm. La stima è effettuata sulla base delle differenze, in ciascun anello, dei valori di trasmittanza rilevati sotto copertura rispetto a quelli rilevati in assenza di copertura (misura effettuata al di sopra delle chiome o in un'area di diametro pari a 7 volte l'altezza delle piante vicine) ed applicando alcune assunzioni sull'orientamento e sulle dimensioni delle foglie (LI-COR, 1990). Il software utilizzato nello strumento applica il modello di estinzione della luce di Poisson e si basa su quattro ipotesi (DEBLONDE *et al.*, 1994): le foglie assorbono tutta la luce che ricevono e, dal punto di vista ottico, sono dei corpi neri; le foglie e le altre componenti delle piante sono distribuite in maniera casuale; tutti gli elementi che costituiscono le piante hanno una forma semplice; gli elementi che compongono le piante coprono un'area piccola rispetto a quella analizzata dallo stru-

mento. Queste caratteristiche rappresentano una condizione ideale che non è riscontrabile nella realtà (JONCKHEERE *et al.*, 2005), perciò il LAI-2000 (come altri strumenti ottici) effettua misure sottostimate rispetto a misure dirette (CHASON *et al.*, 1991; FASSNACHT *et al.*, 1994; CHEN, CIHLAR, 1995; JONCKHEERE *et al.*, 2005; SPRINTSIN *et al.*, 2007). Inoltre per i boschi di conifere, a causa del fatto che la distribuzione delle foglie (aghi) è a gruppi (SMOLANDER, STENBERG, 1996) si ipotizza che i valori di LAI siano sottostimati del 30%-70% (SMOLANDER, STENBERG, 1996; NACKAERTS *et al.*, 1999; JONCKHEERE *et al.*, 2005). Per tali ragioni, alcuni autori (CHEN *et al.*, 1991; GOWER, NORMAN, 1991; DEBLONDE *et al.*, 1994; CHEN, CIHLAR, 1995; STENBERG, 1996; NILSON, 1999) hanno evidenziato la necessità di applicare un coefficiente di correzione.

Lo schema di campionamento utilizzato, tuttavia, non necessita dell'uso di alcun coefficiente. Infatti tali autori stimano valori di LAI *sensu stricto* mentre gli schemi di campionamento applicati nel corso di questo lavoro misurano anche l'insieme di tronchi, rami (*wood-area-index*; WAI) e foglie definito PAI o Plant Area Index (BOLSTAD, GOWER, 1990; SMOLANDER, STENBERG, 1996; BATTAGLIA *et al.*, 1998; KALÁCSKA *et al.*, 2005; ARIAS *et al.*, 2007). LÓPEZ-SERRANO *et al.* (2000) analizzando il PAI in pinete di pino d'Aleppo mostrano che l'applicazione di fattori di correzione non risulta significativa e potrebbe essere controproducente. Nonostante, come detto, si misurino valori di LAI, nel corso del lavoro, coerentemente con quanto indicato in bibliografia (LE DANTEC *et al.*, 2000; SONOHAT *et al.*, 2004; ARIAS *et al.*, 2007; DAVI *et al.*, 2008) il termine LAI è utilizzato in sostituzione del termine PAI.

#### *Analisi del soprassuolo principale*

L'analisi delle caratteristiche dendrometriche del soprassuolo principale è stata effettuata in 65 Aree di Saggio (AdS) circolari di 10 m di raggio (314 m<sup>2</sup>), scelte in maniera soggettiva e distribuite tra le stazioni come mostrato in tabella 1.

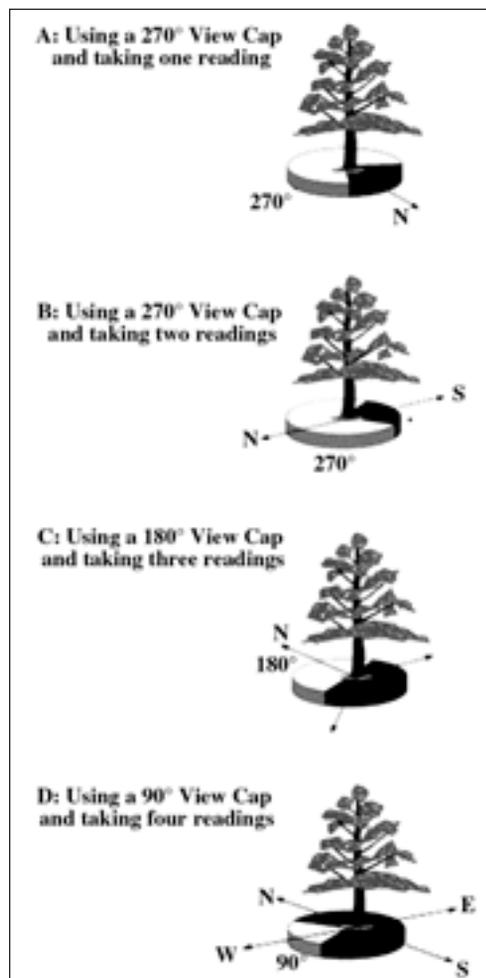


Figura 4: Metodi di stima del LAI con non-standard method. Fonte: LÓPEZ-SERRANO *et al.* (2000).

In ciascuna AdS sono stati rilevati il numero di piante, la specie e il diametro di ciascun individuo, il LAI del popolamento. Quest'ultimo è stato rilevato secondo il *non-standard method* (cfr. fig. 4) elaborato da LÓPEZ-SERRANO *et al.* (2000) per pinete di Pino d'Aleppo. I rilievi del LAI sono stati effettuati ad un'altezza di 130 cm dal suolo (petto d'uomo). Per ciascuna pianta sono state effettuate, a 15 cm di distanza dal tronco, 3 misure in direzione N e 3 in direzione S applicando allo strumento un coperchio di 270° (metodo B della fig. 4).

	pino d'Aleppo	pino domestico	misto con 2 specie	misto con 3 specie	Totale
Casaboli	4	2	4	-	10
Moarda	8	-	4	1	13
Pellegrino	2	-	1	-	3
Piano dell'Occhio	-	1	1	-	2
Poggio San Francesco	-	-	-	3	3
Raffo Rosso	5	13	7	2	27
Renda	-	-	3	2	5
San Martino	-	-	1	1	2
Totale	19	16	21	9	65

Tab. 1: Distribuzione delle aree di saggio per tipologia e stazione.

In base alla composizione specifica del soprassuolo principale le AdS sono classificate in 4 tipologie di rimboschimento (puri a pino d'Aleppo, puri a pino domestico, misti edificati da due specie, misti edificati da tre specie). I rimboschimenti misti sono costituiti da pino d'Aleppo, pino domestico, cipresso, cedro e pino marittimo con composizione specifica molto variabile (cfr. tab. 2). Il pino d'Aleppo è presente in tutti i rimboschimenti misti edificati da due specie (21 AdS) con il cipresso (10 aree) e con il pino domestico (11 aree). All'interno di questa tipologia il pino d'Aleppo è dominante (percentuale superiore al 75%), in 12 AdS, il pino domestico in 5, ed il cipresso in 1. Nella restante parte dei casi (3 AdS) si tratta di rimboschimenti misti in cui nessuna delle specie prevale sulle altre. Cedro e pino marittimo sono presenti esclusivamente nei rimboschimenti costituiti da 3 specie. In questa tipologia il pino d'Aleppo non è presente solo in un'AdS, nella quasi totalità dei casi è accompagnato dal cipresso e solo in misura inferiore dalle altre specie.

I dati rilevati in questa fase sono stati utilizzati per verificare la dipendenza del LAI dalle caratteristiche stazionali e da quelle dendrometriche. In particolare è stata analizzata la regressione tra i valori di densità ed il LAI. Nelle pinete (JAGODZIŃSKI, KAŁUCKA, 2008), infatti, il LAI (misurato con LAI-2000) è strettamente dipendente dalla densità e le due variabili sono legate da una relazione lineare (KUCHARIK *et al.*, 1999; ERIKSSON *et al.*, 2009; CORREIA *et al.*, 2010; MOLINA, DEL CAMPO, 2011). Quest'ultima dipende da molteplici variabili ed è difficile da valutare ma può essere un utile strumento nei casi in cui si intenda eseguire una stima speditiva del LAI di un popolamento forestale semplificato.

#### Analisi delle esigenze della rinnovazione

In ambiente mediterraneo, in condizioni di sufficiente umidità del suolo, la luminosità può essere considerata il principale fattore limitante nello sviluppo dei semenzali. Ad esempio, come fa rilevare DEL FAVERO (2008) dove le caratteristiche del suolo, in

	pino domestico	pino d'Aleppo	cipresso	cedro	pino marittimo
pino d'Aleppo	-	19	-	-	-
pino domestico	16	-	-	-	-
misto con 2 specie	11	21	10	-	-
misto con 3 specie	5	8	8	5	1

Tab. 2: Numero di AdS per tipologia e specie arborea del soprassuolo principale.

termini di disponibilità idrica, tendono a migliorare, sotto la pineta di pino d'Aleppo compare spesso il leccio. All'interno di una comunità forestale le condizioni di luminosità sono molto dipendenti dalle caratteristiche della copertura forestale e variano molto nel tempo e nello spazio. L'analisi del microclima luminoso più favorevole all'insediamento ed alla crescita della rinnovazione di leccio, roverella, pino e cipresso è stata effettuata stimando i valori del LAI e di copertura del soprassuolo principale in corrispondenza di 185 individui allo stadio di plantula e di novellame ripartiti secondo la tabella 3. Le plantule sono state scelte in maniera casuale con il solo vincolo che fossero distanti tra loro almeno 10 m per evitare la sovrapposizione delle porzioni di chioma analizzate dal LAI-2000 (LI-COR, 1990). Il numero di individui analizzati per ciascuna specie è stato determinato sulla base della distribuzione nelle stazioni e della loro superficie.

Di ciascun individuo è stata misurata l'altezza che è stata utilizzata come parametro per la distinzione della rinnovazione in *seedling* e *sapling*. Sono classificate *seedling* le piante di altezza inferiore a 25 cm e *sapling* quelle di altezza compresa tra 25 e 130 cm (come proposto da CULLOTTA, LA MELA VECA, PASTORELLA, MAETZKE, dati non pubblicati). Il LAI è stato stimato mediando 12 misure effettuate in corrispondenza della gemma principale di ciascun individuo (3 misure per ciascun punto cardinale).

#### Elaborazioni statistiche

L'analisi dei valori del LAI è stata ese-

Specie	Numero di AdS
cipresso	15
leccio	71
pino d'Aleppo	81
roverella	18
<b>Totale</b>	<b>185</b>

Tab. 3: Numero di individui della rinnovazione naturale analizzati distinto per specie.

guita con il software FV2200 (LI-COR *Biosciences*, Inc. 2010, ver. 1.2). L'analisi della varianza (ANOVA), la verifica della significatività delle rette di regressione e quella dei valori del LAI e di copertura stimati (entrambe con test F) sono state eseguite con il software Mystal (Mystal 12, Systat Software Inc. 2007).

L'influenza dei principali caratteri dendrometrici e stazionali (stazione, numero di specie utilizzate nel rimboschimento, densità del soprassuolo principale, esposizione, diametro medio (d) ed area basimetrica) sul LAI del soprassuolo principale è stata valutata mediante ANOVA. Con lo stesso metodo è stata analizzata l'influenza delle principali caratteristiche stazionali sulla densità del popolamento.

## Risultati

### Analisi del soprassuolo principale

Dall'analisi delle caratteristiche dendrometriche dei soprassuoli si evidenzia che il pino d'Aleppo edifica formazioni più dense e con accrescimenti maggiori (area basimetrica media più elevata) se impiantato in rimboschimenti misti piuttosto che puri. Il risultato è coerente con quanto riportato da HATZISTATHIS e DAFIS (1989) dal confronto con rimboschimenti misti con Cipresso comune (*Cupressus sempervirens* L.). Densità ed area basimetrica misurate nei rimboschimenti puri a pino d'Aleppo, infatti, presentano valori inferiori rispetto alle altre categorie (tab. 4) ed a quelli riscontrati in bibliografia in situazioni ambientali analoghe: 280-2040 piante/ha per formazioni pure di origine artificiale miste a formazioni di origine naturale (D'IPPOLITO *et al.*, 2007); 450 piante/ha in formazioni pure del sud della Francia (PRÉVOSTO, RIPERT, 2008); 425-470 piante/ha (MARTÍNEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 1999; DE LAS HERAS *et al.*, 2002) e 725-899 piante/ha in formazioni spontanee nel Sud-Est della Spagna (LÓPEZ-SERRANO *et al.*, 2000).

I valori del LAI rilevati sono compresi tra 1,22 e 4,5 (cfr. tab. 4) e rientrano nell'intervallo indicato da SAUGIER *et al.* (2001) per il

Media	2,9
Errore standard	0,09
Mediana	2,79
Intervallo	3,28
Minimo	1,22
Massimo	4,5

Tab. 4: Principali caratteristiche dendrometriche delle AdS analizzate per tipologia.

Tipologie	Fattore	ANOVA (p)
tutte	densità	p < 0,001
pino domestico	densità	p = 0,049
pino d'Aleppo	densità	p = 0,037
misti	densità	p < 0,001
tutte	macroarea	p = 0,004

Tab. 5: Sintesi statistica dei valori del LAI rilevati nelle AdS (N = 65).

Tipologie	Numero di AdS	Densità [N/ha]	LAI	Area basimetrica [m <sup>2</sup> /ha]
pino d'Aleppo	19	414	2,77	29,65
pino domestico	16	454	2,97	32,94
2 specie	21	411	2,86	35,82
3 specie	9	548	3,16	34,92

Tab. 6: Significatività della ANOVA dei valori del LAI nei confronti della densità e dell'area geografica.  $\alpha = 0,05$ .

bioclima Mediterraneo. Analizzati per tipologia (cfr. tab. 6), i rimboschimenti a pino d'Aleppo mostrano valori crescenti all'aumentare del numero di specie. Il confronto tra i rimboschimenti puri indica, in accordo con la bibliografia, che i popolamenti a pino d'Aleppo hanno caratteristiche dendrometriche che assumono valori inferiori rispetto ai popolamenti a pino domestico. Appare rilevante che entrambe le formazioni mostrano valori del LAI che rientrano negli intervalli che si riscontrano in bibliografia: 2,9 (MITSPOPOULOS, DIMITRAKOPOULOS, 2007), 3,2 di SABATÉ *et al.* (2002), 0,26-1,67 (LÓPEZ-SERRANO *et al.*, 2000), 0,40-2,68 (OLARIETA *et al.*, 2000) per le formazioni pure a pino d'Aleppo; 1,5-11 (CORREIA *et al.*, 2010) per le pinete pure a pino domestico.

Posta una probabilità di significatività di 0,05 l'ANOVA, applicata ai valori del LAI, evidenzia una non significatività del test nei confronti delle quattro tipologie di rimboschimento e dell'esposizione. Al contrario, si evidenziano differenze significative dei valori del LAI:

- nei confronti della densità del soprassuolo principale (cfr. tab. 5) sia non raggruppando i dati per tipologia (indicata con "tutte") che per ciascuna tipologia;
- nei confronti della stazione (macroarea) per la categoria "tutte".

Nelle formazioni analizzate, dunque, la densità appare come la caratteristica che influenza maggiormente il LAI. Il risultato conferma quanto riportato da JAGODZIŃSKI, e KAŁUCKA (2008) e PAUSAS *et al.* (2006).

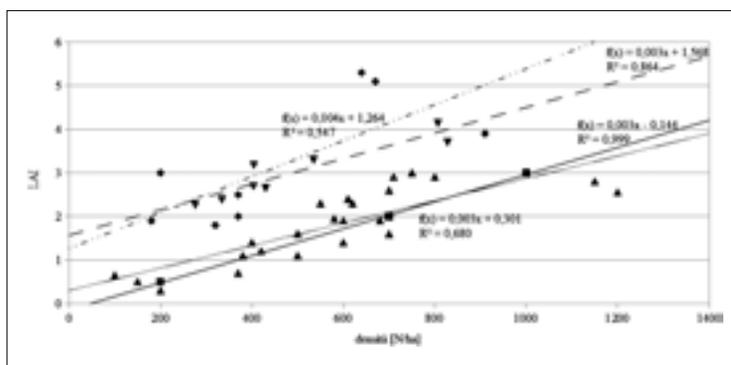
#### Densità vs LAI

La relazione tra la densità ed il LAI del soprassuolo principale è descritta da una regressione lineare con andamento direttamente proporzionale ed è stata analizzata utilizzando i valori medi delle due variabili per ciascuna stazione. Ad un'analisi con ANOVA, infatti, entrambe le variabili mostrano significatività nei confronti di queste, così, al fine di avere una funzione con R<sup>2</sup> maggiore è lecito confrontarle utilizzando le medie. La relazione è descritta dalla funzione  $f(x) = 0,003x + 1,568$  ( $R^2 = 0,86$ ) che è statisticamente significativa ( $F^1 = 37,98$ ;  $P = 0,0008$ ). L'andamento della retta è in linea con quelli presentati da vari autori (cfr. tab. 7 e fig. 5): MOLINA e DEL CAMPO (2011) per boschi di pino d'Aleppo, KUCHARIK *et al.* (1999) per boschi di specie boreali (*Pinus banksiana* Lamb., *Picea mariana* Mill. e *Populus tremuloides* Michx), ERIKSSON *et al.* (2009) per boschi temperati; ma si discosta dalla relazione individuata da CORREIA *et al.* (2010) per boschi di pino domestico,

	Equazione	R <sup>2</sup>	Bioclina
Questo articolo	$f(x) = 0,003x + 1,568$	0,86	mediterraneo
CORREIA <i>et al.</i> , 2012	$f(x) = 0,016x + 1,823$	0,91	mediterraneo (pino domestico)
ERIKSSON <i>et al.</i> , 2009	$f(x) = 0,004x + 1,264$	0,55	temperato (Svezia)
KUCHARK <i>et al.</i> , 1999 modificato	$f(x) = 0,003x + 0,144$	0,99	boreale-simulazione
MOLINA, DEL CAMPO, 2011	$f(x) = 0,003x + 0,301$	0,68	mediterraneo

Tab. 7: Confronto delle relazioni tra densità del soprassuolo principale e LAI in differenti bioclimi. Fonte: autori citati, modificati.

Figura 5: Relazione tra densità e LAI del soprassuolo principale. Il triangolo rivolto verso il basso e la linea tratteggiata sono riferiti a questo lavoro; rombi e linea puntata a quelli riferiti a ERIKSSON *et al.* (2009); linea continua con quadrati quelli riportati da KUCHARIK *et al.* (1999); linea finemente tratteggiata e triangoli verso l'alto sono riferiti a MOLINA e DEL CAMPO (2011). Fonte: testi citati modificati.



e con quanto riportato da JAGODZIŃSKI, e KAŁUCKA (2008; dati non riportati) che, tuttavia hanno analizzato esclusivamente impianti giovani (fino a 20 anni).

A causa della diversità delle caratteristiche delle formazioni analizzate e delle differenze nelle metodologie applicate (misura di PAI in questo articolo e del LAI negli altri) è possibile fare esclusivamente considerazioni di tipo qualitativo. Infatti, se da una parte le rette mostrano un andamento quasi parallelo, indicando una concordanza dei risultati registrati nei diversi biomi, dall'altra occorre evidenziare come i valori indicati per ciascun bioma si discostino da quanto indicato in bibliografia (WOODWARD, 1987; GOWER, 2002).

#### Analisi delle esigenze di luce della rinnovazione

Le esigenze in termini di luce della rinnovazione sono state analizzate mediante la stima del LAI in corrispondenza di plantule e semenzali all'interno di formazioni pure e miste a pino d'Aleppo. I valori per ciascuna specie sono stati ottenuti mediando quelli stimati in corrispondenza di ogni singolo individuo.

Facendo riferimento alla distribuzione delle specie nelle stazioni analizzate, in accordo con le esigenze ecologiche delle specie (VUILLEMIN, 1982; TRABAUD *et al.*, 1985; MERCURIO *et al.*, 2009), risulta che leccio e cipresso sono stati riscontrati in tutte le stazioni, il pino d'Aleppo non è stato riscontrato nell'area di Poggio San Francesco (caratterizzata da condizioni climatiche più mesofile) e la roverella a Raffa Rosso (area maggiormente xerica ed antropizzata).

Un primo confronto tra le specie (cfr. tab. 9) mostra che tutte si rinnovano in un intervallo del LAI compreso tra 2 e 3 ed un intervallo di copertura compreso tra circa il 35% e circa il 70%. Tuttavia, il confronto fra i valori riferiti a ciascuna specie, mostra differenze che concordano con le diverse esigenze ecologiche descritte in letteratura (PAUSAS *et al.*, 2004; ZAVALA, ZEA, 2004) e tra *seedling* e *sapling* (YEVSTIGNEYEV, 1990; ELLENBERG, 1991; GÓMEZ-APARICIO *et al.*, 2009).

In accordo con il grado di tolleranza all'ombra di NIINEMETS e VALLADARES (2006) che su una scala 0-5 attribuisce 3,02 al leccio e 1,35 al pino d'Aleppo, quest'ultimo si comporta come una specie tipicamen-

<b>Autore</b>	<b>Anno</b>	<b>Valori LAI</b>	<b>Luogo</b>	<b>Metodo</b>
CRESCENTE <i>et al.</i>	2002	4,03 ± 0,6	Italia	pca
DAMESIN <i>et al.</i>	1998	3,5 - 4,0 - 6,0	Francia	pca
DE JONG	1994	5,9	Francia	pca
DUCREY, HUC	1999	2,1 - 4,9	Francia	pca
ECKARDT <i>et al.</i>	1975	4,4	Francia	allometrico
ECKARDT <i>et al.</i>	1977	4,4	Francia	allometrico
GRACIA	1984	circa 4	Spagna	?
GRATANI	1997	circa 4	Italia	?
GRATANI, FIORENTINO	1988	4,9	Italia	campionamento
HOFF, RAMBAL	2003	1,9 - 5,5	Francia	FOREST-BGC
JOFFRE <i>et al.</i>	1996	2,9 ± 0,6	Francia	?
LEONARDI	1982	4,3	Italia	campionamento
LEONARDI, Rapp.	1990	4,4	Italia	?
LEONARDI <i>et al.</i>	1992	4,3	Italia	campionamento
LIMOUSIN <i>et al.</i>	2008	1,6 - 3,1	Francia	pca
OERLEMANS, VINK	2010	2,2 - 5,3	Francia	Hemispherical photographs
RAMBAL <i>et al.</i>	1996	2,2 - 4,0	Francia	pca
SABATÉ <i>et al.</i>	2002	3,1 - 4,9	Italia e Spagna	GOTILWA+
SALA <i>et al.</i>	1994	4,6 - 5,3	Spagna	campionamento
TENHUNEN <i>et al.</i>	1984	4,5	Francia e Spagna	?
VAN DER ZANDE <i>et al.</i>	2009	3,64 - 4,2	Italia	pca - LiDAR

Tab. 8: Valori del LAI indicati in bibliografia per popolamenti di leccio.

te eliofila (come indicato da ZAVALA *et al.*, 2000), l'altro, come indicato da vari autori tollera bene l'ombra (ESPELTA *et al.*, 1995; RETANA *et al.*, 1999; GÓMEZ-APARICIO *et al.*, 2005) e in accordo con SMITT *et al.* (2008) mostra una maggiore predilezione per le aree maggiormente coperte. È da evidenziare che i valori del LAI in cui si insedia la rinnovazione di leccio e pino d'Aleppo sono inferiori a quelli stimati da vari autori

nelle formazioni edificate da queste specie. In particolare i valori riferiti al leccio, pur rientrando nell'intervallo di valori riportati in bibliografia (cfr. tab. 8) si pongono molto al di sotto del loro valore medio (3,99). Il valore medio del LAI stimato per il pino d'Aleppo è compreso nell'intervallo che si riscontra in bibliografia per pinete di pino d'Aleppo: 3,2 di SABATÉ *et al.* (2002); 2,9 (MITSOPOULOS, DIMITRAKOPOULOS, 2007);

	<b>N</b>	<b>Altezza [cm]</b>	<b>Copertura [%]</b>	<b>LAI_media</b>	<b>St.dev_LAI</b>
leccio	71	17	57	2,70	0,72
pino d'Aleppo	80	47	37	2,12	0,78
cipresso	15	48	43	2,54	0,74
roverella	18	16	66	2,99	0,44

Tab. 9: Valori medi delle caratteristiche misurate in seconda fase riferiti alla rinnovazione di leccio, pino d'Aleppo, cipresso e roverella (N: numero di individui misurati; LAI\_media: media dei valori del LAI; St.dev\_LAI: deviazione standard dei valori del LAI).

	N	Altezza [cm]	Copertura [%]	LAI_media	St.dev_LAI
leccio	56	12	54	2,64	0,78
pino d'Aleppo	28	14	41	2,30	0,69
cipresso	3	19	57	2,55	0,29
roverella	15	11	67	2,95	0,46

Tab. 10: Valori medi delle caratteristiche misurate in seconda fase riferiti ai seedling di leccio, pino d'Aleppo, cipresso e roverella (N: numero di individui misurati; LAI\_media: media dei valori del LAI; St.dev\_LAI: deviazione standard dei valori del LAI).

sapling					
	N	Altezza [cm]	Copertura [%]	LAI_media	St.dev_LAI
leccio	15	39	67	2,95	0,39
pino d'Aleppo	53	65	35	2,06	0,76
cipresso	12	55	44	2,54	0,81
roverella	3	46	63	3,19	0,23

Tab. 11: Valori medi delle caratteristiche misurate in seconda fase riferiti ai sapling di leccio, pino d'Aleppo, cipresso e roverella (N: numero di individui misurati; LAI\_media: media dei valori del LAI; St.dev\_LAI: deviazione standard dei valori del LAI).

0,26-1,67 (LÓPEZ-SERRANO *et al.*, 2000); 0,40-2,68 (OLARIETA *et al.*, 2000). Il cipresso mostra un comportamento intermedio tra le due specie precedenti nonostante richieda la luce diretta del sole per la germinazione e l'insediamento (VOGL *et al.*, 1977) ed abbia un grado di tolleranza all'ombreggiamento basso (circa 1,40 secondo NIINEMETS, VALLADARES, 2006). I valori riferiti alla roverella sono i più elevati e presentano una bassa deviazione standard (elevata omogeneità). Il valore del LAI misurato è coerente con quello riportato in bibliografia per boschi di roverella: 2,8 (ČERMÁK *et al.*, 2008) e 2-3 (DAMESIN *et al.*, 1998). La roverella, infatti, è una specie esigente di luce (*light demanding*) (VAN DER VALK, 2009), che si adatta bene alle condizioni luminose del margine del bosco (RANNEY *et al.*, 1981; MATLACK, 1993) e che tollera l'ombreggiamento (grado di tolleranza all'ombreggiamento di 2,31 secondo NIINEMETS, VALLADARES, 2006). Inoltre il valore di 2,99, superiore a quelli indicati da ČERMÁK *et al.* (2008) e DAMESIN *et al.* (1998) sembra coerente con L'ESIGENZA di una maggiore protezione dalle condizioni di xericità estive tipiche dell'ambiente mediterraneo.

Il confronto delle esigenze di luce delle specie nel corso del processo di insediamento è stato eseguito mediando, in funzione delle classi di età (*seedling* e *sapling*), i valori stimati in tutte le stazioni per ciascuna specie e calcolandone la deviazione standard (cfr. tab. 10 e 11). Il leccio tende ad avere maggiori esigenze in termini di copertura all'aumentare dell'altezza (e quindi dell'età) sia in quantità (LAI) che in qualità (deviazione standard del LAI), il pino d'Aleppo mostra esigenze opposte, mentre cipresso e roverella, forse a causa dello scarso numero di individui analizzati, non sembrano modificare le proprie esigenze in termini di luce. I risultati riscontrati per le prime due specie sono confermati dalla capacità del leccio di sostituire il pino d'Aleppo nelle successioni a causa della maggiore tolleranza all'ombra dei suoi *sapling* (ZAVALLA, ZEA, 2004) e delle basse necessità in termini di nutrienti, rispetto al pino d'Aleppo (GRIME, 1979). Per il leccio i valori del LAI e copertura sembrano contraddire ESPELTA *et al.* (1995) ma dal momento che questi autori indicano come fattore discriminante un'altezza di 150 cm, i risultati non sono direttamente confrontabili.

		F calcolato	F (gl num, gl den)	P value
LAI	rinnovazione	11,69	2,65 (3,181)	< 0,0001
	seedling	2,84	2,7 (3,98)	0,0417
	sapling	7,94	2,72 (3,79)	0,0001
	area	8,92	2,65 (3,181)	< 0,0001
copertura	rinnovazione	18,23	2,65 (3,181)	< 0,0001
	seedling	7,03	2,7 (3,98)	0,0002
	sapling	10,28	2,72 (3,79)	< 0,0001
	area	14,17	2,65 (3,181)	< 0,0001

Tab. 12: Significatività dei valori del LAI e di copertura in funzione delle categorie della rinnovazione.

È da evidenziare la convergenza di comportamento del leccio e della roverella nell'affermazione dei semenzali (rappresentato dal passaggio da *seedling* a *sapling*): diminuzione della tolleranza della luce diretta e numero di *seedling* più elevato rispetto ai *sapling* coerentemente con i risultati di URBIETA *et al.* (2011) e con l'ipotesi che per queste specie il collo di bottiglia nella densità della rinnovazione si possa riscontrare nei primi anni di vita dei semenzali (ESPELTA *et al.*, 1995; REY BENAYAS, 1998; RETANA *et al.*, 1999). Al contrario, per pino d'Aleppo e cipresso è stato riscontrato un numero di *sapling* (novellame affermato) molto maggiore rispetto ai *seedling* (plantule in via di affermazione) facendo ipotizzare una bassa capacità di germinazione ma un elevato tasso di sopravvivenza dei *seedling*.

L'ANOVA effettuata sui valori del LAI e di copertura (cfr. tab. 12) mostra significatività nei confronti delle stazioni analizzate ( $P < 0,0001$ ) e delle specie in rinnovazione. In particolare le differenze dei valori di LAI sono risultate significative sia per la

rinnovazione nel suo complesso ( $P < 0,01$ ) che per *seedling* ( $P < 0,05$  e  $P = 0,0002$ ) e *sapling* ( $P \leq 0,0001$ ). Questi risultati dimostrano che nonostante il LAI e la copertura arborea siano influenzate dalla stazione, è possibile analizzare le esigenze della rinnovazione a livello di comprensorio. I risultati confermano l'ipotesi che ciascuna delle specie analizzate possa avere un ambito del LAI ed una copertura arborea ottimali per il proprio insediamento e la propria affermazione.

#### Copertura vs LAI

La relazione tra LAI e copertura è espressa da una relazione esponenziale (KUUSK *et al.*, 2004; ERIKSSON *et al.*, 2009) ma può essere espressa da un'equazione lineare utilizzando la radice quadrata del LAI (BUCKLEY *et al.*, 1999). Per entrambe le variabili sono state utilizzate le medie calcolate per ciascuna delle specie oggetto di indagine (cfr. tab. 10 e 11).

La relazione è espressa dall'equazione  $f(x) = 97,92 x - 105$  ( $R^2 = 0,85$ ) ed è sta-

	Equazione	R <sup>2</sup>	Bioclima
Questo articolo	$f(x) = 97,92 x - 105$	0,85	mediterraneo
BUCKLEY <i>et al.</i> , 2012	$f(x) = 37,79 x - 10,3$	0,97	temperato (USA)
ERIKSSON <i>et al.</i> , 2009	$f(x) = 44,08 x - 2,48$	0,67	temperato (Svezia)
MOLINA, DEL CAMPO, 2011	$f(x) = 66,67 x + 26,27$	0,88	mediterraneo

Tab. 13: Confronto delle relazioni tra copertura del soprassuolo principale e LAI rilevati in letteratura. Fonte: autori citati, modificati.

	LAI_misurato	Densità stimata [N piante/ha]	copertura stimata [%]
leccio	2,70	403 ± 15	56
pino d'Aleppo	2,12	230 ± 15	38
cipresso	2,54	354 ± 15	51
roverella	2,99	486 ± 15	64

Tab. 14: Valori stimati di densità e copertura più idonei per l'insediamento e lo sviluppo della rinnovazione di leccio, pino d'Aleppo, cipresso e roverella. Densità:  $f(x) = 294,32x - 393,06$  ( $R^2 = 0,86$ ). Copertura:  $f(x) = 97,92x - 105$  ( $R^2 = 0,85$ ).

tisticamente significativa ( $F_{1,6} = 33,42$ ;  $P = 0,0012$ ). Il confronto con la bibliografia (cfr. tab. 13) non sembra potere essere effettuato dal momento che non è possibile osservare un trend comune ed in nessun caso gli autori presentano risultati tra loro confrontabili. La spiegazione di ciò andrebbe ricercata nelle differenze esistenti tra le caratteristiche delle chiome delle specie analizzate (conifere del bioma boreale per ERIKSSON *et al.*, pini del bioma temperato per BUCKLEY *et al.*, pini mediterranei nei rimanenti articoli) ed ai sistemi di campionamento utilizzati (LAI e PAI, metodi di stima della copertura).

#### Calcolo dei valori di densità e copertura

Secondo lo schema presentato nella figura 3, le relazioni tra il LAI e la densità del soprassuolo principale e tra il LAI e la copertura del soprassuolo principale (tab. 7 e 14) sono state espresse, inserendo come variabile indipendente i valori del LAI più idonei alla rinnovazione di ciascuna specie (cfr. tab. 9), per la stima dei valori di densità e grado di copertura del soprassuolo principale più favorevoli all'insediamento della rinnovazione naturale delle specie in esame (cfr. tab. 14).

La densità del soprassuolo principale più idonea per la sopravvivenza della rinnovazione di leccio è di circa 400 piante/ha con una copertura del 50-60%. Il pino d'Aleppo richiede densità e copertura sensibilmente inferiori (inferiore alle 250 piante/ha ed al 40% rispettivamente). Il cipresso sembra adattarsi a condizioni di copertura del 50% e di densità di poco inferiore a 360 piante/ha. Infine, la roverella mostra le esigenze più sciafile tra le specie analizzate richie-

dendo densità di circa 480 piante/ha con una copertura superiore al 60%.

Questi valori di densità sono in linea con quelli riscontrati in bibliografia nell'analisi di interventi sperimentali di rinaturalizzazione in formazioni artificiali pure e miste a pino d'Aleppo. In particolare CULLOTTA *et al.* (2003), sui Monti di Palermo, rilevano che le migliori densità del soprassuolo principale in cui si insediano le varie specie siano di 370 piante/ha (intervento di intensità media) per il leccio, 320 (intervento di intensità forte) per il pino d'Aleppo, di 560 piante/ha (intervento di intensità debole) per la roverella e di 320 piante/ha (intervento di intensità forte) per il cipresso. TARTARINO *et al.* (2007) descrivono come nel processo di rinaturalizzazione di queste formazioni forestali la rinnovazione (di leccio e di varie specie arbustive) si insedia a densità comprese tra 326 e 552 piante/ha. I valori di densità calcolati trovano riscontro anche nei risultati di prove sperimentali eseguite in formazioni edificate da altre specie di pino che indicano la densità più favorevole per la rinnovazione di latifoglie: 350-400 piante/ha in pinete di pino domestico (DEL FAVERO, 2008); 392-450 piante/ha in rimboschimenti di pino nero e laricio (NOCENTINI, 1995); tra 436 e 680 piante/ha in boschi di pino nero (PLUTINO *et al.*, 2009); circa 450 in boschi di pino silvestre (RODRÍGUEZ-CALCERRADA, 2008); 300-500 piante/ha per favorire la disseminazione di specie spontanee in rimboschimenti di pino nero (VALLAURI *et al.*, 2002).

Per quanto riguarda il leccio, il valore di copertura stimato concorda con il valore di irradianza relativa (50% rispetto ad aree prive di copertura) indicato da PUERTA-PIÑERO *et*

al. (2007), mentre quello riferito alla densità contrasta con quanto indicato da GÓMEZ-APARICIO *et al.* (2009) secondo cui la massima rinnovazione dei *seedling* di leccio si ha a 1100 piante/ha, la massima di *sapling* a circa 700 piante/ha e con i risultati di LOOKINGBILL e ZAVALA (2000) secondo cui in boschi di pino d'Aleppo la densità dei *seedling* di leccio e roverella crescono al crescere della densità del soprassuolo principale (da 367 a 1333 piante/ha). Tuttavia è da evidenziare che questi autori fanno riferimento a boschi edificati in un'area con impatto antropico inferiore e caratterizzati da copertura ed area basimetrica molto più basse di quelle oggetto di studio. Per quanto riguarda la roverella, si è già accennato in precedenza alla capacità della specie di adattarsi alle condizioni di luminosità del margine del bosco ed al medio grado di tolleranza dell'ombreggiamento. Il valore di densità stimato, maggiore rispetto alle altre specie risulta compatibile con queste caratteristiche e con la necessità di una maggiore protezione da condizioni ambientali eccessivamente xeriche rispetto alle altre specie. Infine i valori stimati per la rinnovazione di pino d'Aleppo concordano con quelli riportati da GÓMEZ-APARICIO *et al.* (2009) che indicano la presenza della massima densità di *seedling* di questa specie a basse densità del soprassuolo principale (0-100 piante/ha) evidenziando che resta alta fino a 400 piante/ha.

### Conclusioni

La metodologia proposta, analizzando le esigenze in termini di luminosità della rinnovazione e le caratteristiche del soprassuolo principale, in termini di LAI e copertura, consente di stimare i valori di densità e di copertura del soprassuolo principale più favorevoli alla rinnovazione.

I rimboschimenti analizzati mostrano valori di densità e LAI inferiori rispetto a quelli di aree ecologicamente affini indicando di non adattarsi a pieno alle caratteristiche stazionali. In molti casi, inoltre, schianti e fenomeni di senilità indicano la necessità di interventi che favoriscano la sostituzione di questi soprassuoli con formazioni più stabili.

Nell'area oggetto di studio il LAI del soprassuolo principale è dipendente dalla sua densità ma sembra potere essere influenzato anche dalle caratteristiche stazionali. I valori medi del LAI registrati per queste formazioni, in molti casi, sono più elevati di quelli richiesti dalla rinnovazione delle specie arboree analizzate, tuttavia esse sono in grado di insediarsi sfruttando la disomogeneità delle chiome in termini di copertura e compenetrazione delle chiome. Dai rilievi effettuati, infatti, risulta che la rinnovazione di queste specie sia in grado di germinare ed insediarsi in corrispondenza di intervalli del LAI caratteristici e di modificare le proprie esigenze in termini di luce nel corso della propria vita. In particolare i livelli del LAI e copertura rilevati sono crescenti nell'ordine pino d'Aleppo > cipresso > leccio > roverella. Inoltre, a testimonianza della sua plasticità rispetto alle altre specie, il leccio mostra di preferire le nicchie caratterizzate da valori del LAI inferiori rispetto a quelli che si riscontrano nelle formazioni naturali edificate da queste specie, mentre il pino d'Aleppo e la roverella si insediano in corrispondenza di un indice di area fogliare prossimo a quello che si riscontra nelle proprie formazioni pure.

La relazione tra LAI e densità è comparabile con quelle indicate da altri autori pur indicando valori del LAI maggiori a causa dell'incidenza di tronchi e rami. La relazione tra LAI e copertura del soprassuolo principale, analizzata utilizzando la radice quadrata del LAI, al contrario non sembra essere comparabile con quelle rilevate in bibliografia. Entrambe le equazioni sono risultate statisticamente significative e sono state utilizzate secondo il protocollo previsto. Tuttavia si ritiene necessario lo svolgimento di ulteriori indagini volte ad una loro validazione e si raccomanda cautela nel loro utilizzo.

I valori di densità e copertura stimati trovano numerosi riscontri in lavori sperimentali svolti sia in pinete a pino d'Aleppo sia di altre specie di pino. Nonostante i limiti determinati dall'applicazione di relazioni dendrometriche poco studiate, di potere essere applicata solo a formazioni molto semplificate ed in cui si rilevi la presenza della

rinnovazione naturale, la metodologia sembra potere offrire il vantaggio, una volta trovate le relazioni funzionali relative al comprensorio, di fornire indicazioni gestionali immediatamente applicabili. Si ritiene, tuttavia, di non potere prescindere da ulteriori approfondimenti per la verifica degli effetti dei tagli di diradamento eseguiti secondo i limiti indicati da questo lavoro.

### Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del corso di dottorato di ricerca in Sistemi Arborei Agrarie e Forestali presso il dipartimento di Colture Arboree dell'Università degli studi di Palermo. Si ringraziano il Prof. F. G. Matetzke e M. Rizzo per i consigli nelle fasi di preparazione e svolgimento del lavoro, nella fase redazionale e la lettura critica, S. Di Martino, M. Schiera ed E. Badalamenti per il supporto nei rilievi di campo.

### Fabio Pastorella

Dottore di Ricerca in Sistemi Arborei Agrari e Forestali  
via Carlo Levi 9 – 90135 Palermo  
e-mail: pastorella.fabio@gmail.com

### BIBLIOGRAFIA

- ABATE B., CATALANO R., RENDA P., 1978 – *Carta geologica dei Monti di Palermo*. Istituto di Geologia dell'Università di Palermo.
- ANDERSON M.C., 1964 – *Studies of the woodland light climate: I. The photographic computation of light conditions*. Journal of Ecology 52 (1): 27-41.
- ANDERSSON F., BIROT Y., PÄIVINEN R. (eds.), 2004 – *Towards the Sustainable Use of Europe's Forests – Forest Ecosystem and Landscape Research: Scientific Challenges and Opportunities*. EFI Proceedings No. 49.
- ARIAS D., CALVO-ALVARADO J., DOHRENBUSCH A., 2007 – *Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica*. Forest Ecology and Management, 247: 185-193.
- ARRIETA S., SUÁREZ F., 2006 – *Scots pine (Pinus sylvestris L.) plantations contribute to the regeneration of holly (Ilex aquifolium L.) in Mediterranean central Spain*. European Journal of Forest Research, 125: 271-279.
- ARTIGAS F.J., BOERNER R.E.J., 1989 – *Advance regeneration and seed banking of woody plants in Ohio pine plantations: Implications for landscape change*. Landscape Ecology, 2 (3): 139-150.
- AUSSENAC G., 2000 – *Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture*. Annals of Forest Science, 57: 287-301.
- BATTAGLIA M., CHERRY M.L., BEADLE C.L., SANDS P.J., HINGSTON A., 1998 – *Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature*. Tree Physiology, 18: 521-528.
- BOLSTAD P.V., GOWER S.T., 1990 – *Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stands using a portable radiometer*. Tree Physiology, 7: 115-124.
- BRÉDA N., 1999 – *L'indice foliaire des couverts forestiers: mesure, variabilité et rôle fonctionnel*. Revue Forestière Française, 51 (2): 135-150.
- BRÉDA N., 2003 – *Ground based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies*. Journal of Experimental Botany, 392: 2403-2417.
- BROCKERHOFF E.G., JACTEL H., PARROTTA J.A., QUINE C.P., SAYER J., 2008 – *Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity?* Biodiversity and Conservation, 17: 925-951.
- BRONCANO M.J., RIBA M. E RETANA J., 1998 – *Seed germination and seedling performance of two Mediterranean tree species, holm oak (Quercus ilex L.) and Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.): a multifactor experimental approach*. Plant Ecology, 138: 17-26.
- BUCKLEY D., ISEBRANDS J.G., SHARIK T.L., 1999 – *Practical Field Methods of Estimating Canopy Cover, PAR, and LAI in Michigan Oak and Pine Stands*. Northern Journal of Applied Forestry, 16: 25-32.
- CANHAM C.D., 1988 – *An index for understory light levels in and around canopy gaps*. Ecology, 69: 1634-1638.
- CATALANO R., DI MAGGIO C., 1996 – *Sovrapposizione tettonica delle Unità Imeresi sulle Panormidi nei Monti di Palermo (Sicilia)*. Naturalista Siciliano, 3-4: 147-166.
- CHASON J.W., BALDOCCHI D.D., HUSTON M.A., 1991 – *A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area*. Agricultural and Forest Meteorology, 57: 107-128.
- CHAZDON R.L., FETCHER N., 1984 – *Photosynthetic light environments in a lowland tropical rainforest in Costa Rica*. Journal of Ecology, 72: 553-564.
- CHEN J.M., BLACK T. A., ADAMS R.S., 1991 – *Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand*. Agricultural and Forest Meteorology, 56: 129-143.
- CHEN J.M., CIHLAR J., 1995 – *Quantifying the effect of canopy architecture on optical measurements of leaf area index using two gap size analysis methods*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33 (3): 777-787.

- CORREIA A.C., TOMÉ M., PACHECO C.A., FAIAS S., DIAS A.C., FREIRE J., CARVALHO P.O., PEREIRA J.S., 2010 – *Biomass allometry and carbon factors for a Mediterranean pine (Pinus pinea L.) in Portugal*. Forest Systems, 19: 418-433.
- COVONE F., 2007 – *Analisi strutturale e funzionale dei sistemi vegetazionali presenti nel Parco Regionale dei Castelli Romani*. Tesi di dottorato, XVIII ciclo, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”.
- CRESCENTE M.F., GRATANI L., LARCHER W., 2002 – *Shoot growth efficiency and production of Quercus ilex L. in different climates*. Flora, 197: 2-9.
- CULLOTTA S., PIZZURRO G.M., GARFÌ G., LA MANTIA T., 2003 – *Analisi dei processi di rinaturalizzazione nelle pinete artificiali mediterranee dei monti di Palermo (Sicilia Nord-Occidentale)*. In: AA. VV., *Alberi e Foreste per il Nuovo Millennio. Atti III Congresso Nazionale* (vol. 3). BOLOGNA: SISEF – Società Italiana Selvicoltura Ecologia Forestale (ITALY): 457-466.
- ČERMÁK J., TOGNETTI R., NADEZHINA N., RASCHI A., 2008 – *Stand structure and foliage distribution in Quercus pubescens and Quercus cerris forests in Tuscany (central Italy)*. Forest Ecology and Management, 255: 1810-1819.
- D'IPPOLITO A., IOVINO F., NICOLACI A., VELTRI A., 2007 – *Dinamiche dei popolamenti del pino d'Aleppo negli alvei delle fumarie dell'Alto Ionio cosentino*. L'ITALIA FORESTALE E MONTANA, 2: 65-79.
- DAI X., 1996 – *Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration: a new gap light index and its application in a boreal forest in east-central Sweden*. Forest Ecology and Management, 84: 187-197.
- DAMESIN C., RAMBAL S., JOFFRE R., 1998 – *Cooccurrence of trees with different leaf habit: a functional approach on Mediterranean oaks*. Acta Oecologica, 19: 195-204.
- DAVI H., BARET F., HUC R., DUFRENE E., 2008 – *Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests*. Forest Ecology and Management, 256: 890-899.
- DEBLONDE G., PENNER M., ROYER A., 1994 – *Measuring leaf area index with the LI-COR - LAI-2000 in pine stands*. Ecology, 75: 1507-1511.
- DE JONG S.M., 1994 – *Application of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment*. Tesi di dottorato, Netherlands Geographical Studies 177, Utrecht, p. 237.
- DEL FAVERO R., 2008 – *I boschi delle regioni meridionali e insulari d'Italia*. Cleup, Padova.
- DE LAS HERAS J., MARTÍNEZ-SANCHEZ J.J., GONZALEZ-OCHOA A.I., FERRANDIS P., 2002 – *Establishment of Pinus halepensis Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species*. Acta Oecologica, 23: 91-97.
- DIA M.G., MANISCALCO M., RAIMONDO F.M., 1997 – *Caratterizzazione della diversità forestale e briofitica dei Monti di Palermo in rapporto agli indirizzi di gestione naturalistica del territorio*. Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata, 8: 109-125.
- DI CASTRI F., GOODALL D.W., SPECHT R.L. (EDS.), 1981 – *Mediterranean-type shrublands*. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.
- DRAGO A., 2005 – *Atlante climatologico della Sicilia – seconda edizione*. Rivista Italiana di Agrometeorologia, 2: 67-83.
- DUCREY M., HUC R., 1999 – *Effects of thinning on growth and ecophysiology in an evergreen oak coppice*. Revue Forestière Française, 51: 326-340.
- ECKARDT F.E., HEIM G., MÉTHY M., SAUVEZON R., 1975 – *Interception de l'énergie rayonnante, échanges gazeux et croissance dans une forêt méditerranéenne à feuillage persistant (Quercetum ilicis)*. Photosynthetica, 9: 145-156.
- ECKARDT F., BERGER A., MÉTHY M., HEIM G., SAUVEZON R., 1977 – *Interception de l'énergie rayonnante, échanges de CO<sub>2</sub>, régime hydrique et production chez différents types de végétation sous climat méditerranéen*. In: Moysse A. (ed.), *Le processus de la production végétale primaire*, Gauthier-Villars, Paris, pp. 1-75.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W., PAULISSEN D., 1991 – *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. Scripta Geobotanica, 18: 1-122.
- ERIKSSON H.A., EKLUNDH L., PERSSON P., PERSSON E.A., 2009 – *Variation of satellite estimated LAI due to the impact of the ground vegetation cover*. On line: <http://en.scientificcommons.org/47682280> (ultima visita: 15/02/2012).
- ESPELTA J.M., 1996 – *La regeneració de boscos d'alzina (Quercus ilex L.) y pin blanc (Pinus halepensis Mill.): estudi experimental de la resposta de les plàntules a la intensitat de llum i a la disponibilitat d'aigua*. Tesi di dottorato. Universidad Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- ESPELTA J.M., RIBA M., RETANA J., 1995 – *Patterns of seedling recruitment in West Mediterranean coppiced holm-oak (Quercus ilex L.) forests as influenced by canopy development*. Journal of Vegetation Science, 6: 645-672.
- FASSNACHT, K.S., GOWER S.T., NORMAN J.M., MCMURTIE R.E., 1994 – *A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests*. Agricultural and Forest Meteorology, 71: 183-207.
- GIANGUZZI L., D'AMICO A., CALDARELLA O., 2007 – *La flora vascolare dei Monti di Palermo*. Collana Sicilia Foreste, 36. Azienda Foreste Demaniali della Regione Siciliana, Palermo. pp. 6-12.
- GIUNTA G., 1985 – *Problematiche ed ipotesi sul Bacino Numidico nelle maghrebidi siciliane*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 104: 239-256.
- GÓMEZ-APARICIO L., ZAMORA R., GÓMEZ J.M., HODAR J.A., CASTRO J., BARAZA E., 2004 – *Applying plant facilitation to forest restoration: A meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants*. Ecological Applications, 14: 1128-1138.
- GÓMEZ-APARICIO L., GÓMEZ J.M., ZAMORA R., BOETTINGER J.L., 2005 – *Canopy vs. soil effects of shrubs facilitating tree seedlings in Mediterranean montane ecosystems*. Journal of Vegetation Science, 16:191-198.
- GÓMEZ-APARICIO L., VALLADARES F., ZAMORA R., 2006 – *Differential light responses of Mediterranean tree saplings: linking ecophysiology with regeneration niche in four co-occurring species*. Tree Physiology, 26: 947-958.

- GÓMEZ-APARICIO L., ZAMORA R., CASTRO J., HODAR J.A., 2008 – *Facilitation of tree saplings by nurse plants: microhabitat amelioration or protection against herbivores?* Journal of Vegetation Science, 19:161-172.
- GÓMEZ-APARICIO L., ZAVALA M.A., ZAMORA R., 2009 – *Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients.* Ecological Applications, 19: 2124-2141.
- GOWER S.T., 2002. *Productivity of terrestrial ecosystems.* In: MOONEY H.A. AND CANADÉLL J. (EDS.), *Encyclopedia of Global Change.* Blackwell Scientific, Oxford. pp. 516-521.
- GOWER S.T., NORMAN J.M., 1991 – *Rapid estimation of leaf area index in conifer and broad-leaf plantations.* Ecology, 72: 1896-1900.
- GRACIA C.A., 1984 – *Response of the evergreen oak to the incident radiation at the Montseny (Barcelona, Spain).* Actualités Botanique, Société Botanique de France, 131: 595-597.
- GRATANI L., 1997 – *Canopy structure, vertical radiation profile and photosynthetic function in a Quercus ilex evergreen forest.* Photosynthetica, 33: 139-149.
- GRATANI L., FIORENTINO E., 1988 – *Leaf area index for Quercus ilex L. high maquis.* Photosynthetica, 22: 458.
- GRIFFIN A.M.R., POPESCU S.C., ZHAO K., 2008 – *Using LIDAR and Normalized Difference Vegetation Index to remotely determine LAI and percent canopy cover.* Silvi-Laser 2008, 17-19 settembre 2008 – Edinburgh, UK.
- GRIME J.P., 1979 – *Plant strategies and vegetation processes.* Wiley, New York.
- HARTLEY M.J., 2002 – *Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests.* Forest Ecology and Management, 155: 81- 95.
- HATZISTATHIS A., DAFIS S., 1989 – *Reforestation – Forest Nurseries.* Giahoudis – Giapoulis eds. Thessaloniki. pp.265.
- HÉRAULT B., THOEN D., HONNAY O., 2004 – *Assessing the potential of natural woody species regeneration for the conversion of Norway spruce plantations on alluvial soils.* Annals of Forest Science, 61: 711-719.
- HODGES J.D., GARDINER E.S., 1992 – *Ecology and physiology of oak regeneration.* In: LOFTIS D.L., MCGEE C. (Eds.), *Oak Regeneration: Serious Problems, Practical Recommendations.* USDA Gen. Tech. Rep. SE-84. pp. 54-65.
- HOFF C., RAMBAL S., 2003 – *An examination of the interaction between climate, soil and leaf area index in a Quercus ilex ecosystem.* Annals of Forest Science, 60: 153-161.
- JAGODZIŃSKI A.M., KALUCKA I., 2008 – *Age-related changes in leaf area index of young Scots pine stands.* Dendrobiology, 59: 57-65.
- JENNINGS S.B., BROWN N.D., SHEIL D., 1999 – *Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures.* Forestry, 72: 59-74.
- JOFFRE R.S., RAMBAL S., ROMANE F., 1996 – *Local variations of ecosystem functions in Mediterranean evergreen oak woodland.* Annals of Forestry Science, 53: 561-570.
- JONCKHEERE I., MUYS B., COPPIN P., 2005 – *Allometry and evaluation of in situ optical LAI determination in Scots pine: a case study in Belgium.* Tree Physiology, 25: 723-732.
- KALÁCSKA M., CALVO-ALVARADO J.C., SÁNCHEZ-AZOFEIFA G.A., 2005 – *Calibration and assessment of seasonal changes in leaf area index of a tropical dry forest in different stages of succession.* Tree Physiology, 25: 733-744.
- KORHONEN L., KORHONEN K.T., RAUTIAINEN M., STENBERG P., 2006 – *Estimation of forest canopy cover: a comparison of field measurement techniques.* Silva Fennica, 40: 577-588.
- KORHONEN L., KORHONEN K.T., STENBERG P., MALTAMO M., RAUTIAINEN M., 2007 – *Local models for forest canopy cover with beta regression.* Silva Fennica, 41: 671-685.
- KUCHARIK C.J., NORMAN J.M., GOWER S.T., 1999 – *Characterization of radiation regimes in nonrandom forest canopies: theory, measurements, and a simplified modeling approach.* Tree Physiology, 19: 695-706.
- KUNSTLER G., CURT T., LEPART J., 2004 – *Spatial pattern of beech (Fagus sylvatica L.) and oak (Quercus pubescens Mill.) seedlings in natural pine (Pinus sylvestris L.) woodlands.* European Journal of Forest Research, 123: 331-337.
- KUUSK A., LANG M., NILSON T., 2004 – *Simulation of the reflectance of ground vegetation in sub-boreal forests.* Agricultural and Forest Meteorology, 126: 33-46.
- LAMBERS H., CHAPIN F.S., PONS T.L., 1998 – *Plant physiological ecology.* Springer-Verlag, New York.
- LEONARDI S., 1982 – *Produttività primaria della lecceta di Monte Minardo (Etna).* Archivio botanico e biogeografico italiano, 58 (1/2): 1-54.
- LEONARDI S., RAPP M., 1990 – *Production de phytomasse et utilisation des bioéléments lors de la reconstitution d'un taillis de chêne vert (in francese).* Acta Oecologica, 11 (6): 819-834.
- LEONARDI S., RAPP M., DENES A., 1992 – *Étude de la dynamique du feuillage et de sa contribution à l'économie des nutriments dans deux taillis de Quercus ilex.* Archivio Botanico Italiano, 68: 103-133.
- LE DANTEC V., DUFRÈNE E., SAUGIER B., 2000. *Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands.* Forest Ecology and Management, 134: 78-81.
- LI-COR, 1990 – *LAI-2000 plant canopy analyzer. Instruction manual.* LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA.
- LIMOUSIN J.M., RAMBAL S., OURCIVAL J.M., JOFFRE R., 2008 – *Modelling rainfall interception in a mediterranean Quercus ilex ecosystem: Lesson from a throughfall exclusion experiment.* Journal of Hydrology, 357: 57-66.
- LOOKINGBILL T. R., ZAVALA M. A., 2000 – *Spatial pattern of Quercus ilex and Quercus pubescens recruitment in Pinus halepensis dominated woodlands.* Journal of Vegetation Science, 11: 607-612.

- LÓPEZ-SERRANO F.R., LANDETE-CASTILLEJOS T., MARTÍNEZ-MILLAN J., DEL CERRO-BARJA A., 2000 – *LAI estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique*. Agricultural and Forest Meteorology, 101: 95-111.
- MACHADO J., P.B. REICH, 1999. *Evaluation of several measures of canopy openness as predictors of photosynthetic photon flux density in deeply shaded coniferdominated forest understory*. Canadian Journal of Forest Research, 29: 1438-1444.
- MAESTRE F.T., CORTINA J., 2004 – *Are Pinus halepensis plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas?* Forest Ecology and Management, 198: 303-317.
- MARTÍNEZ-SANCHEZ J.J., FERRANDIS P., DE LAS HERAS J., HERRANZ J.M., 1999 – *Effect of burnt wood removal on the natural regeneration of Pinus halepensis after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain)*. Forest Ecology and Management, 123: 1-10.
- MATLACK G.R., 1993 – *Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States*. Biological Conservation, 66: 185-194.
- MERCURIO R, MALLAMACI C, MUSCOLO A, SIDARI M, 2009 – *Effetti della dimensione delle buche sulla rinnovazione naturale in rimboschimenti di pino nero*. Forest@ 6: 312-319.
- MITSOPOULOS I.D., DIMITRAKOPOULOS A.P., 2007 – *Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.) forests*. Annals of Forest Science, 64: 287-299.
- MOLINA A., DEL CAMPO A.D., 2011 – *Estimación del índice de área foliar en pinares de repoblación con LAI-2000 bajo radiación solar directa: relación con variables de inventario e hidrológicas*. Forest Systems, 20: 108-121.
- NACKAERTS K., WAGENDORP T., COPPIN P., MUYS B., GOMBEER R., 1999 – *A correction of indirect LAI measurements for a non-random distribution of needles on shoots*. In: Proceeding of ISSR on Systems and Sensors for New Millennium, Las Vegas, NV, 4 p.
- NAKASHIZUKA T., 1985 – *Diffused light conditions in canopy gaps in a beech (Fagus crenata Blume) forest*. Oecologia, 66: 472-474.
- NIINEMETS U., VALLADARES F., 2006 – *Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs*. Ecological Monographs, 76: 521-547.
- NILSON T., 1999 – *Inversion of gap frequency data in forest stands*. Agricultural and Forest Meteorology, 98-99: 437-448.
- NOCENTINI S., 1995 – *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti. Una prova su pino nero e laricio nel complesso di Monte Morello (Firenze)*. L'Italia Forestale e Montana, 4: 425-435.
- OERLEMANS R.R.R., VINK R.P., 2010 – *Rainfall Interception Experiments and Interception mapping using Remote Sensing*. Master thesis, Faculty of Geosciences Department of Physical Geography, Utrecht University.
- OLARIETA J.R., USÓN A., RODRIGUEZ R., ROSA M., BLANCO R., ANTÚNEZ M., 2000 – *Land requirements for Pinus halepensis Mill. Growth in a plantation in Huesca, Spain*. Soil Use and Management, 16: 88-92.
- OLIET J., JACOBS D. F., 2007 – *Microclimatic conditions and plant morpho-physiological development within a tree shelter environment during establishment of Quercus ilex seedlings*. Agricultural and Forest Meteorology, 144: 58-72.
- OSEM Y., ZANGY E., BNEY-MOSHE E., MOSHE Y., KARNI N., NISAN Y., 2009 – *The potential of transforming simple structured pine plantations into mixed Mediterranean forests through natural regeneration along a rainfall gradient*. Forest Ecology and Management, 259: 14-23.
- PAUSAS J.G., BLADE C., VALDECANTOS A., SEVA J.P., FUENTES D., ALLOZA J.A., VILAGROSA A., BAUTISTA S., CORTINA J., VALLEJO R., 2004 – *Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice – a review*. Plant Ecology, 171: 209-220.
- PAUSAS J.G., RIBEIRO E., DIAS S.G., PONS J., BESELER C., 2006 – *Regeneration of a marginal Quercus suber forest in the eastern Iberian Peninsula*. Journal of Vegetation Science, 17: 729-738.
- PIGOTT C.D., PIGOTT S., 1993 – *Water as determinant of the distribution of trees at the boundary of the Mediterranean zone*. Journal of Ecology, 81: 557-566.
- PLANCHAIS I., PONTAILLER J.Y., 1997 – *Application d'un modele de penetration de la lumiere a une jeune plantation de hetre a abri lateral*. Annals of Forest Science, 54: 243-260.
- PLUTINO M., PIOVOSI M., CANTIANI P., 2009 – *Rinaturalizzazione dei rimboschimenti di pino nero. Prove di impianto di potenziali nuclei di disseminazione di rovere in Pratomagno (AR)*. Sherwood, 150: 9-14.
- PRÉVOSTO B., RIPERT C., 2008 – *Regeneration of Pinus halepensis stands after partial cutting in southern France: Impacts of different ground vegetation, soil and logging slash treatments*. Forest Ecology and Management, 256: 2058-2064.
- PUERTA-PIÑERO C., GOMEZ J.M., VALLADARES F., 2007 – *Irradiance and oak seedling survival and growth in a heterogeneous environment*. Forest Ecology and Management 242: 462-469.
- RAICH J.W., GONG W.K., 1990 – *Effects of canopy openings on tree seed germination in a Malaysian dipterocarp forest*. Journal of Tropical Ecology, 6: 203-217.
- RAMBAL S., DAMESIN C., JOFFRE R., MÉTHY M., LO SEEN D., 1996 – *Optimization of carbon gain in canopies of Mediterranean evergreen oaks*. Annals of Forest Science, 53: 547-560.
- RANNEY J.W., BRUNNER M.C., LEVENSON J.B., 1981 – *The importance of edge in the structure and dynamics of forest islands*. In: Burgess R.L., Shape D.M. (eds.). *Forest Island dynamics in man dominated landscapes*. Springer. New York, USA.
- RAUTIAINEN M., STENBERG P., NILSON T. 2005 – *Estimating canopy cover in Scots pine stands*. Silva Fennica 39: 137-142.

- RETANA J., ESPELTA J.M., GRACIA M., RIBA M., 1999 – *Seedling recruitment*. In: Rodà F., Retana J., Gracia C. e Bellot J. (eds.), *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 89-103.
- REY BENAYAS J.M., 1998 – *Growth and survival in Quercus ilex L. seedlings after irrigation and artificial shading on Mediterranean set-aside agricultural lands*. *Annals of Forest Science*, 55: 801-807.
- RIVAS-MARTINEZ S., 1995. *Classification bioclimatica de la tierra*. *Folia Botanica Matritensis*, 16: 1-25.
- RODRÍGUEZ-CALCERRADA J., MUTKE S., ALONSO J., GIL L., PARDOS J. A., ARANDA I., 2008 – *Influence of overstory density on understory light, soil moisture, and survival of two underplanted oak species in a Mediterranean montane Scots pine forest*. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17: 31-38.
- SABATÉ S., GRACIA C.A., SÁNCHEZ A., 2002 – *Likely effects of the climate change on growth of Quercus ilex, Pinus halepensis, Pinus pinaster, Pinus sylvestris and Fagus sylvatica forests in the Mediterranean region*. *Forest Ecology and Management*, 162: 23-37.
- SACK L., 2004 – *Responses of temperate woody seedlings to shade and drought: do trade-offs limit potential niche differentiation?* *Oikos*, 107: 110-127.
- SALA A., SABATÉ S., GRACIA C., TENHUNEN J.D., 1994 – *Canopy structure within a Quercus ilex forested watershed: variations due to location, phenological development, and water availability*. *Trees*, 8: 254-261.
- SARVAS R., 1953 – *Measurement of the crown closure of the stand*. *Communications Institutii Forestalis Fenniae*, 41: 13 p.
- SAUGIER B., ROY J., MOONEY H., 2001 – *Estimations of global terrestrial productivity: converging toward a single number*. In: Roy J.B.S., Mooney H.A. (eds.), *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press, San Diego, pp. 543-557.
- SENBETA F., TEKETAY D., 2001 – *Regeneration of indigenous woody species under the canopies of tree plantations in Central Ethiopia*. *Tropical Ecology*, 42 (2): 175-185.
- SMOLANDER H., STENBERG P., 1996 – *Response of LAI-2000 estimates to changes in plant surface area index in a Scots pine stand*. *Tree Physiology*, 16: 345-349.
- SONOHAT G., BALANDIER P., RUCHAUD F., 2004 – *Predicting solar radiation transmittance in the understory of even-aged coniferous stands in temperate forests*. *Annals of Forest Science*, 61: 629-641.
- SPRINTSIN M., KARNIELI A., BERLINER P., ROTENBERG E., YAKIR D., COHEN S., 2007 – *The effect of spatial resolution on the accuracy of leaf area index estimation for a forest planted in the desert transition zone*. *Remote Sensing of Environment*, 109: 416-428.
- STENBERG P., 1996 – *Correcting LAI-200 estimates for the clumping of needles in shoots of conifers*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79: 1-8.
- STENBERG P., 2006 – *A note on the G-function for needle leaf canopies*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 136: 76-79.
- TARTARINO P., GALANTE W., GRECO R., 2007 – *Using the Hart-Becking Spacing Index in a study of the naturalisation of Pinus halepensis Miller plantation stands in the south-eastern Salento peninsula*. *Options Méditerranéennes. Série A: Séminaires Méditerranéens*, 75. pp. 24-30.
- TENHUNEN J.D., LANGE O.L., GEBEL J., BEYSCHLAG W., WEBER J.A., 1984 – *Changes in photosynthetic capacity, carboxylation efficiency, and CO<sub>2</sub> compensation point associated with midday stomatal closure and midday depression of net CO<sub>2</sub> exchange of leaves of Quercus suber*. *Planta*, 162: 193-203.
- TRABAUD L., MICHELS C., GROSMAN J., 1985 – *Recovery of burnt Pinus halepensis Mill. forests. II. Pine reconstitution after wildfire*. *Forest Ecology and Management*, 13: 167-179.
- URBIETA I. R., GARCÍA L. V., ZAVALA M. A., MARAÑÓN T., 2011 – *Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain: Is there a mismatch between regeneration and adult distribution?* *Journal of Vegetation Science*, 22: 18-31.
- VALLADARES F., 2003 – *Light and plants: from leaf form and function to coexistence and biodiversity*. In: Beyschlag W. (edit.), *Progress in Botany*. Vol 64. Springer Verlag, Heidelberg, 439-471.
- VALLAURI D.R., ARONSON J., BARBERO M., 2002 – *An analysis of forest restoration 120 years after reforestation on bandlands in the southwestern Alps*. *Restoration Ecology*, 10: 16-26.
- VAN DER VALK A. (ed.), 2009 – *Forest Ecology: Recent Advances in Plant Ecology*. Springer.
- VAN DER ZANDE D., MEREU S., NADEZHINA N., ČERMAK J., MUYS B., COPPIN P., MANES F., 2009 – *3D upscaling of transpiration from leaf to tree using ground-based LiDAR: Application on a Mediterranean Holm oak (Quercus ilex L.) tree*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1573-1583.
- VILLAR R., MARAÑÓN T., QUERO J.L., PÉREZ-RAMOS I.M., VEGA D., 2008 – *Responses of Quercus suber seedlings under different light and water treatments. Greenhouse and field experiments*. In: Vázquez-Piqué J., Pereira H., González-Pérez A. (eds.), *Suberwood, new challenges for the integration of cork oak forests and products*. Universidad de Huelva, Huelva, 45-54.
- VOGL R.J., ARMSTRONG W.P., WHITE L.L., COLE K.L., 1977 – *The closed-cone pines and cypresses*. In: Barbour M.J., Major J. (eds.), *Terrestrial Vegetation of California*. John Wiley, New York, pp 295-358.
- VUILLEMIN J., 1982 – *Ecophysiologie comparée du développement initial de Quercus pubescens Willd. et de Quercus ilex L. II. Cerllination et croissance radicaire en conditions de stress hydrique*. (in francese). *Ecologia Mediterranea* tome VIII: 147-152.
- WATSON D.J., 1947 – *Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years*. *Annals of Botany*, 11: 41-76.

WOODWARD F.I., 1987 – *Climate and plant distribution*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press.

YEVSTIGNEYEV O.I., 1990 – *Fitotsenotipy i omosheniye listvennykh derevyev k svetu. (Phytocoenotypes and the behaviour of deciduous trees with respect to light)*. Dissertation. Moskovskii Gosudarstvennyi Pedagogicheskii Institut imeni V. I. Lenina, Moscow, Russia.

ZAVALA M.A., ESPELTA J.M., RETANA J., 2000 – *Constraints and trade-offs in Mediterranean plant communities: the case of holm oak - Aleppo pine forests*. Botanical Review, 66: 119-149.

ZAVALA M.A., ZEA E., 2004 – *Mechanisms mantaining biodiversity in Mediterranean pine - oak forests: insights from a spatial simulation model*. Plant Ecology, 171: 197-207.

#### PAROLE CHIAVE

*Rinnovazione, Leaf Area Index (LAI), rinaturalizzazione*

#### RIASSUNTO

Molti dei rimboschimenti impiantati nella Sicilia Occidentale nella seconda metà del XX secolo offrono le condizioni microclimatiche idonee all'insediamento ed all'affermazione della rinnovazione sia delle specie tardo successionali che delle specie che li edificano. L'assenza di idonei interventi culturali tendenti ad una progressiva eliminazione della pineta, tuttavia, rallenta o inibisce tali processi.

Nell'esigenza di sviluppare tecniche colturali di facile applicazione, il presente lavoro si occupa di analizzare il microclima luminoso in cui si insedia la rinnovazione di quattro specie forestali e di proporre una metodologia per la stima della densità del soprassuolo principale più favorevole al loro insediamento. Essa si basa sull'analisi del microclima luminoso per mezzo del *Leaf Area Index (LAI)* e della copertura (*Percent Canopy Cover*) del soprassuolo principale, l'analisi delle relazioni tra queste variabili e le caratteristiche dendrometriche del soprassuolo principale, e infine sulla stima di LAI e copertura in cui si insedia ed afferma la rinnovazione naturale. Dalla stratificazione dei risultati si stima la densità del soprassuolo principale più favorevole all'affermazione della rinnovazione.

La metodologia è stata applicata alla rinnovazione naturale di leccio, pino d'Aleppo, roverella e cipresso in pinete artificiali pure e miste con dominanza di pino d'Aleppo sui Monti di Palermo. I valori di densità del soprassuolo principale stimati sono coerenti con quelli riscontrati in lavori sperimentali volti alla stima del grado di intervento più idoneo all'affermazione della rinnovazione.

La metodologia proposta mostra gli svantaggi di essere applicabile in formazioni semplificate dal punto di vista strutturale, su una scala territoriale ridotta e per una tipologia forestale a volta, di richiedere l'analisi di un ampio intervallo di densità dei soprassuoli principali e di necessitare di un congruo numero di plantule. Tuttavia è facilmente replicabile, consente di indicare valori di densità dei soprassuoli principali rispondenti alle esigenze ecologiche della rinnovazione e sembra essere uno strumento utile nell'esecuzione di tagli di diradamento indirizzati alla rinaturalizzazione delle formazioni forestali o nella conservazione di specie rare.

#### KEY WORDS

*Regeneration, Leaf Area Index (LAI), renaturalization*

#### ABSTRACT

During XX century establish pine plantation was a common practice in Sicily. Today, most of those artificial woods can provide favourable microclimatic conditions for the germination and recruitment of both pine and late successional species regeneration. However, this process is reduced and inhibited by the lack of appropriate silvicultural treatments.

The mean purposes of this study were to define the microclimatic conditions where the regeneration of four tree species is observed and to propose a methodology for the assessment of the most favourable for their establishment tree density. The methodology is based on 1) the measurements of the light diffused and available for the plants on the forest floor by the valuation of the *Leaf Area Index (LAI)* and the canopy cover (*Percent Canopy Cover*), the 2) the comparison of both variables towards forests' dendrometric characteristics and 3) the estimation of LAI and canopy cover of forest wherein the regeneration of the 4 autochthon species happens.

The most favourable to the regeneration tree density forest was obtained by the comparison and analysis of the results.

The described methodology has been applied to the regeneration of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Quercus pubescens* s.l. and *Cupressus* spp. in pure and mixed Aleppo pine plantations in Palermo's Mountains. The calculated tree densities of our results are consistent and comparable with the other obtained (data not shown) in different experimental activities having the same purpose.

Despite it is applicable only on local scale, the proposed methodology offers many advantages, such as easy applicability to different areas, easy establishment of a compatible with ecological requirement of regeneration thinning level and represents an useful tool for the renaturalization of pine plantations.