

## Il ruolo della macchia mediterranea nel sequestro del carbonio

Costa G, La Mantia T\*

Dipartimento di Colture Arboree, Università di Palermo - Viale delle Scienze 11, Edificio 4 - 90128 Palermo (Italy) - \*Corresponding author: La Mantia T - [tommasolamantia@unipa.it](mailto:tommasolamantia@unipa.it)

**Abstract:** *The role of the Mediterranean maquis in carbon sequestration.* In the last decades human activities have fundamentally altered many biogeochemical cycles. The most prominent of these changes has been the modification of the global carbon cycle, and in particular the increase in the concentrations of atmospheric carbon dioxide. The CO<sub>2</sub> increased from a preindustrial concentration of ca 280 ppm to 368 ppm in the year 2000. In 1997, the Third Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) met in Kyoto, Japan, and produced a document (the Kyoto Protocol) of appropriate actions to reduce the emission of greenhouse gases. Inside the protocol, the emission of carbon dioxide by anthropogenic activities is estimated together with the carbon stored in the vegetation. Forests play an important role to capture carbon. The vegetation accumulates through the absorption of atmospheric CO<sub>2</sub> carbon into biomass. The carbon is stored in various pools in a ecosystem: living biomass, necromass, soil organic matter. Remarkable variations among carbon accumulates do occur, while little information on carbon stored by Mediterranean formations is available. In this review we place into context the role of Mediterranean formations in the global carbon cycle and climate change. We reviewed the studies that calculated biomass into Mediterranean vegetation and applied average values to estimate the biomass in the Mediterranean formation in Sicily. The results of present studies confirm the importance of Mediterranean vegetation, called "macchia", in terms of surface and the role played in the carbon storage. In fact the surface occupied in Sicily by macchia is about 300000 ha (12% of 2500000 ha total surface of Sicily) and the carbon storage is estimated from 2.25 to 18Mt of carbon. Implementation of such studies are necessary to estimate: 1) the carbon storage with more accuracy; 2) the carbon storage within the annual growth; 3) the carbon storage into the soil during the evolution of vegetation from degraded forms (e.g., annual praires) to high forest; 4) the effects of fire.

**Keywords:** Greenhouse effect, Kyoto Protocol, Biomass, Shrubs, Maquis.

*Received: May 23, 2005 - Accepted: Nov 24, 2005*

**Citation:** Costa G, La Mantia T, 2005. Il ruolo della macchia mediterranea nel sequestro del carbonio. *Forest@* 2 (4): 378-387. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

### Introduzione

L'esatta quantificazione del carbonio stoccato (*stock*) e soprattutto della capacità di assorbimento nelle formazioni vegetali ha assunto un interesse crescente alla luce del protocollo di Kyoto e delle intese che a questo sono seguite. In paesi come quelli mediterranei, l'esatta quantificazione, o più probabilmente una più accurata stima, del carbonio stoccato dalle "macchie" e della loro capacità di assorbimento potrebbe giocare un ruolo importante nelle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici. Queste for-

mazioni, infatti, per il loro dinamismo, al quale corrisponde, in genere, una tendenza crescente nell'aumento della biomassa, attraverso corrette pratiche selvicolturali (*forest management*) o semplicemente "difendendole" dagli incendi, potrebbero giocare un ruolo importante.

Nella regione mediterranea e in Sicilia in particolare, dove secoli di trasformazioni hanno mutato la vegetazione forestale originaria in formazioni arbustive e dove le formazioni a macchia sono comunque naturalmente presenti, vaste superfici sono occupate da

questo tipo di vegetazione. Un altro fenomeno che ha determinato un aumento della superficie occupata da formazioni pre-forestali è il recente abbandono dei coltivi in vaste aree marginali. Le superfici interessate da questo fenomeno sono ingenti nei paesi del Mediterraneo (cfr. per una rassegna della problematica: Pasta et al. 2005, Rühl et al. 2005, La Mantia 2005).

La definizione degli stock e degli incrementi di carbonio rappresenta, oggi una delle priorità della ricerca (Magnani & Borghetti 1998, Borghetti et al. 2001). La quantificazione del carbonio trattenuto dalla vegetazione mediterranea è difficile, a causa dell'alta eterogeneità delle formazioni anzidette ma anche per la mancanza di dati sulle specie che le compongono nonché di dati inventariali (cfr. paragrafo successivo). Tuttavia in questi ultimi anni diversi studi sono stati condotti su singole specie o su intere comunità della macchia mediterranea intesa come *Mediterranean Type Ecosystem* (MTEs - cfr. Materiali e metodi), per studiarne le attività ecofisiologiche ma anche per valutare gli effetti dei cambiamenti climatici (AA. VV. 1995). I risultati non sempre appaiono univoci perché come scrivono Oechel et al. (1995): "The effects of elevated CO<sub>2</sub> on plants from MTEs are variable and are strongly dependent upon the levels of other resources, such as nutrients and water" ma assumono un estremo interesse in un territorio come quello italiano occupato largamente da vegetazione mediterranea. Come scrivono Miglietta et al. (1995): "A better knowledge of differences and similarities in the response of different species to CO<sub>2</sub> or of the same species under different climatic conditions is a priority of research, in view of predicted global atmospheric changes". Nel nostro Paese, oltre agli autori citati, anche il gruppo di studio dell'Università della Tuscia ha da tempo avviato delle ricerche su questi temi (Valentini et al. 1992, Matteucci et al. 1995, Scarascia Mugnozza et al. 1996a, Scarascia Mugnozza et al. 1996b, Marek et al. 2001).

E' stata quindi compiuta un'indagine bibliografica al fine di individuare le ricerche che sono state condotte sulla quantificazione della biomassa di specie e formazioni mediterranee presenti in Sicilia. Considerando la relazione riportata in letteratura tra contenuto di sostanza secca e contenuto di carbonio, è stato quindi stimato il carbonio allocato nella biomassa mentre insufficienti appaiono i dati per stimare il quantitativo di carbonio assorbito annualmente tramite gli incrementi anche per la difficoltà di individuare gli anelli in ambienti del clima mediterraneo (Cherubini et al. 2003).

## Definizione di macchia e problematiche inventariali

E' forse utile definire cosa si intenda per macchia. Il Prof. Bernetti in una sua rubrica, destinata proprio al chiarimento di termini controversi di Botanica e Selvicoltura, ha dedicato numerosi contributi alla vegetazione mediterranea e alla macchia (Bernetti 1997, Bernetti 1998a, Bernetti 1998b) a conferma delle difficoltà del loro inquadramento. In questa sede abbiamo preso in considerazione le formazioni di cui alla tabella 1 (tab. 1), quelle che nelle Linee Guida del Piano Paesistico (una delle poche fonti sulle superfici di queste formazioni in Sicilia) vengono incluse nella "Vegetazione di macchia" e "Vegetazione di gariga, praterie e arbusteti". A completezza della informazione bisogna dire che la Regione Siciliana, con Decreto Presidenziale del 28 giugno 2000 (Criteri per l'individuazione delle formazioni rupestri, ripariali e della macchia mediterranea), ha provveduto ad individuare le "macchie" dell'Isola, ma a causa delle gravi inesattezze nel suddetto Decreto (ragioni per le quali è stato oggetto di ricorso da parte delle Associazioni ambientaliste e di opposizione di parte dell'Università) in questa sede viene volutamente ignorato.

Una grossa difficoltà incontrata in questo lavoro è quella relativa alla stima delle superfici a macchia (tab. 2). I dati oggi disponibili sono infatti insufficienti anche perché incongruenti tra loro a causa delle diverse definizioni di macchia adottate. La carta d'uso del suolo della Regione Siciliana, pubblicata nel 1995, ma su dati dell'87-88, riporta per macchie e cespuglieti quasi 100.000 ettari. Si consideri però che, anche se parzialmente, le categorie "Incolto e incolto roccioso" e "Aree parzialmente boscate o bosco degradato" potrebbero essere incluse tra le formazioni arbustive. Le L.G. del Piano Paesistico Regionale includono tra le garighe anche le praterie, rendendo quindi assolutamente orientativo il dato sulle macchie. Dal progetto CORINE Land Cover 90, infine, risultavano circa 222.000 ettari, e i dati parziali provenienti dall'ulteriore approfondimento e aggiornamento di CORINE confermano questo ordine di grandezza. Nostre stime, certamente prudenti, valutano in circa 300.000 ettari le superfici a macchia (*sensu* tab. 1). Queste indagini trascurano però molto spesso i dati relativi alle superfici agricole abbandonate in rinaturalizzazione (o rivegetazione) (cfr. Rühl et al. 2005, La Mantia et al. 2005). Con specifico riferimento agli accordi di Marrakesh ([http://unfccc.int/cop7/documents/accords\\_draft.pdf](http://unfccc.int/cop7/documents/accords_draft.pdf)), si consideri che viene così definita la rivegetazione: "Revegetation is

Tab. 1 - Tipi forestali e preforestali siciliani inclusi nella categoria di macchie ed arbusteti e garighe (da: La Mantia et al. 2000, La Mantia et al. 2001, modificato).

Macro-Categorie	Categorie	Tipi	Varianti	Distribuzione
Macchie, arbusteti e garighe	Fruticeti altomontani e arbusteti montani	Formazioni ad <i>Astragalus siculus</i>	Fruticeti tipici ad <i>Astragalus siculus</i> Arbusteti radi con <i>Prunus</i> sp. pl., <i>Berberis aetnensis</i> e <i>Juniperus hemiphaerica</i>	Etna Etna
		Fruticeti ad <i>Astragalus nebrodensis</i> e <i>Prunus</i> sp. pl., e <i>Juniperus hemiphaerica</i> Formazioni pioniere a <i>Genista aetnensis</i>		Madonie Etna
Macchie e garighe degli ambienti mesici e/o caldo-aridi	Macchie a leccio	Macchia a leccio con <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> e <i>Pistacia terebinthus</i> (su carbonatico)	Macchia a leccio con <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Phillyrea latifolia</i> e <i>Pistacia terebinthus</i> (su carbonatico)	Pendici dei Monti Iblei, Sicani, Madonie e di Palermo
		Macchia a leccio con <i>Viburnum tinus</i> e <i>Laurus nobilis</i> (su carbonatico)	Macchia a leccio con <i>Viburnum tinus</i> e <i>Laurus nobilis</i> (su carbonatico)	Pendici dei versanti costieri della Sicilia N-Occ.
	Macchie di alberi ed arbusti sclerofillici di substrati acidofili	Macchia a leccio con <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Celtis</i> sp. pl., <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Pistacia terebinthus</i> (su vulcaniti)	Macchia a leccio con <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Celtis</i> sp. pl., <i>Fraxinus ornus</i> , <i>Rhamnus alaternus</i> , <i>Pistacia terebinthus</i> (su vulcaniti)	Pendici dei M. Iblei ed Etna
		Macchie dei substrati acidofili con <i>Quercus suber</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Erica arborea</i> e <i>multiflora</i> , <i>Cistus</i> sp. pl., <i>Olea europea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Calicotome infesta</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Genista</i> sp.pl., <i>Spartium junceum</i>	Macchie dei substrati acidofili con <i>Quercus suber</i> , <i>Arbutus unedo</i> , <i>Erica arborea</i> e <i>multiflora</i> , <i>Cistus</i> sp. pl., <i>Olea europea</i> var. <i>sylvestris</i> , <i>Calicotome infesta</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Genista</i> sp.pl., <i>Spartium junceum</i>	Habitat potenziali dei querceti sempreverdi e caducifogli termofili
	Macchie a olivastro ( <i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> )	Macchie dei substrati acidofili con <i>Zelkova sicula</i>	Macchie dei substrati acidofili con <i>Zelkova sicula</i>	Buccheri (SR - M. Iblei)
		Macchia a olivastro con <i>Quercus suber</i> e <i>Quercus pubescens</i> s.l.	Macchia a olivastro con <i>Quercus suber</i> e <i>Quercus pubescens</i> s.l.	M. Iblei
	Macchie a quercia spinosa	Macchie a olivastro con <i>Euphorbia dendroides</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Anagyris fetida</i> Facies ad <i>Artemisia arborescens</i>	Macchie a olivastro con <i>Euphorbia dendroides</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Anagyris fetida</i> Facies ad <i>Artemisia arborescens</i>	Vegetazione termo-xerica delle pendici rocciose carbonatiche Versanti marnosi-argillosi degli ambienti caldi della Sicilia
		Facies a <i>Phlomis fruticosa</i>	Facies a <i>Phlomis fruticosa</i>	Iblei, Agrigentino
	Macchie a ginepro spp.	Macchie a olivastro con <i>Rhus pentaphylla</i> , <i>R. tripartita</i> , <i>Calicotome infesta</i> , <i>Asparagus</i> sp. pl. e <i>Zizyphus lotus</i>	Macchie a olivastro con <i>Rhus pentaphylla</i> , <i>R. tripartita</i> , <i>Calicotome infesta</i> , <i>Asparagus</i> sp. pl. e <i>Zizyphus lotus</i>	Sporadicamente in alcuni habitat termo-mediterranei
		Macchie a quercia spinosa con <i>Juniperus phoenicea</i>	Macchie a quercia spinosa con <i>Juniperus phoenicea</i>	Lembi dell'area costiera della Sicilia Sud-Orientale
Garighe a palma nana	Macchie a quercia spinosa con <i>Chamaerops humilis</i>	Macchie a quercia spinosa con <i>Chamaerops humilis</i>	Lembi della costa settentrionale e meridionale della Sicilia [Capo Mongerbino (PA), Gorgi toni (Mazara del Vallo-TP), Vittoria (RG), etc.]	
	Macchie a ginepro spp.	Macchie a <i>Juniperus macrocarpa</i> e <i>J. phoenicea</i>	Foce del fiume Irmínio (RG)	
Garighe a timo	Macchia a <i>Juniperus phoenicea</i> e <i>Euphorbia dendroides</i>	Macchia a <i>Juniperus phoenicea</i> e <i>Euphorbia dendroides</i>	Isola di Lampedusa	
	Garighe a palma nana	Garighe a palma nana	Prevalentemente su aree rocciose costiere della Sicilia W [Zingaro, M. Sparacio e M. Cofano (TP), Terrasini e Sferracavallo (PA)]	
	Garighe a palma nana con <i>Sarcopoterium spinosum</i>	Garighe a palma nana con <i>Sarcopoterium spinosum</i>	Fascie costiere e collinari dei M. Iblei	
Macchie e garighe degli ambienti mesici e/o caldo-aridi	Garighe ad <i>Eryngium dichotomum</i> , <i>Aster sorrentinii</i> , <i>Suaeda vera</i> e <i>Salsola</i> spp.	Garighe ad <i>Eryngium dichotomum</i> , <i>Aster sorrentinii</i> , <i>Suaeda vera</i> e <i>Salsola</i> spp.	In diverse stazioni termo-xeriche della Sicilia	
	Consorzi di mantello	Consorzi di mantello degli ambienti mesici a <i>Crataegus</i> , <i>Prunus</i> , <i>Pyrus</i> , <i>Rubus</i> , <i>Rosa</i> , sp. pl. Mantello a <i>Spartium junceum</i> Ginestreti a <i>Cytisus scoparius</i> Mantello a <i>Rhus coriaria</i>	Area potenziale dei consorzi riferibili alla <i>Quercetalia ilicis</i> e alla <i>Quercus-Fagetalia</i> In tutti gli habitat potenziali dei querceti basifili Peloritani In tutti gli habitat potenziali dei querceti termofili basifili	

a direct human-induced activity to increase carbon stocks on sites through the establishment of vegetation that covers a minimum area of 0.05 hectares and does not meet the definitions of afforestation and reforestation contained here". La rivegetazione è considerata quindi come una azione antropica volta ad aumentare gli stock di carbonio in un sito, mediante la realizzazione di una copertura vegetale su un'area minima di 0.05 ettari, e che non rientri nelle definizioni di afforestazione e riforestazione (qui non riportate). Chiaramente, alcuni limiti relativi alla definizione anzidetta, soprattutto il riferimento alla azione antropica, impediscono di includere tutte le formazioni di cui alla tab. 1 nel computo del protocollo di Kyoto. Si consideri tuttavia che i processi di colonizzazione sono rapidi ma spesso minacciati dagli incendi e dal pascolo e che la tutela attiva da questi fattori di disturbo può essere considerata una azione antropica in considerazione anche del fatto che gli interventi di forestazione/afforestazione spesso determinano una perdita della copertura vegetale (La Mantia & Pasta 2001, Pasta & La Mantia 2001).

Il ruolo svolto da queste formazioni nella fissazione del carbonio è spesso trascurato perché come scrivono Bassi & Baratozzi (1998), in una indagine che ha riguardato l'Emilia Romagna, a proposito degli arbusteti "non è possibile stimare gli accrescimenti con cognizioni accertate e che sicuramente non contribuiscono, nel breve periodo, a significativi accumuli di biomassa."

## Materiali e Metodi

Data la quantità di superficie non trascurabile occupata dalle formazioni a macchia in una regione come la Sicilia, è stata compiuta un'indagine bibliografica sulle formazioni mediterranee al fine di individuare i lavori che si sono occupati della quantificazione della biomassa di specie e/o formazioni mediterranee e valutare sperimentalmente la validità della seconda parte dell'affermazione di Bassi & Baratozzi (1998). L'indagine è stata estesa alle cinque formazioni mediterranee (MTEs) nel mondo che presentano grosse analogie, a causa della convergenza evolutiva, nella struttura della vegetazione e nell'ecofisiologia delle specie che la compongono (Specht 1969, Di Castri & Mooney 1973, Di Castri 1981, Parsons & Moldenke 1975, Cowling & Campbell 1980). Tuttavia molti lavori riguardano singole specie o apportano dei contributi metodologici (Uso et al. 1997, Sternberg & Shoshany 2001, Montes et al. 2002a, Montes et al. 2002b). Dall'indagine, è emerso che esistono pochi lavori sulla determinazione della

biomassa per le formazioni mediterranee ma ancor meno sono i lavori riguardanti la biomassa accumulata nelle radici che svolgono in questi ecosistemi un ruolo importante (Hilbert & Canadell 1995). Addirittura, Kummerow (1981) considera che le radici fini, spesso trascurate in questi lavori, contribuiscono per il 10% sul totale della biomassa delle radici. Sebbene si debba considerare che queste hanno un turnover annuale (Jackson et al. 1997), come la biomassa erbacea, la IPCC GPG (Intergovernmental Panel on Climate Change - Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry) le considera parte del pool della lettiera e non della *living biomass* ([http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_files/](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/)).

Nella tabella 3 (tab. 3) sono sinteticamente riportati i lavori sperimentali sulla biomassa delle formazioni mediterranee *sensu strictu* e ritenuti più idonei ad una stima del carbonio nelle formazioni dell'Isola. Nella tabella 4 (tab. 4), considerando la relazione riportata in letteratura tra contenuto di sostanza secca e contenuto di carbonio e, quindi, di anidride carbonica stoccata dalle formazioni forestali (1 g di sostanza secca è pari a 0.5 g di C e a 1.5 g di CO<sub>2</sub>), ed estrapolando dalla tab. 3 i valori di biomassa media trovati, si sono potute stimare le quantità di C fissato. Altri Autori (cfr. Fioravanti 1999), hanno applicato diverse relazioni per differenti tipologie di biomassa (1 Kg di sostanza secca di foglie è pari a 0.457 Kg di C mentre 1 Kg di sostanza secca di rami (fusto) è pari a 0.44 Kg di C).

Ci troviamo di fronte ad una forte eterogeneità di dati relativamente alla biomassa di queste formazioni (tab. 3 e tab. 4) che variano da un minimo di 15 t/ha (biomassa epigea ed ipogea) per una formazione, a 120 t/ha di sola biomassa epigea in un altro caso. A volte per la stessa località possono rinvenirsi valori con ampio range, così Gratani & Crescente (2000), in un lavoro diverso da quello riportato in tab. 2 (Gratani et al. 1980) ma nella stessa località, Castelporziano, riportano valori per macchia bassa e alta oscillanti rispettivamente tra 6-30 e 61-90 t/ha e considerano questi valori comparabili con quelli rinvenuti da altri Autori (cfr. Gratani & Crescente 2000).

Altri autori (in Hilbert & Canadell 1995), riportano valori di biomassa aerea rispettivamente di circa 23 e 15 t/ha e per le radici di 46 e 72 t/ha per la gariga a *Quercus coccifera* di 17 e 36 anni. Sempre in Hilbert & Canadell (1995) vengono riportati per la "Phyrgana" a *Phlomis fruticosa* e *Euphorbia acanthothamnus* di 55 anni della Grecia valori di circa 10 e 16 t/ha rispettivamente di biomassa aerea e radicale.

Tab. 2 - Superfici a macchia in Sicilia secondo diverse fonti.

Fonte	Formazioni	Superficie (Ha)
Uso del suolo Regione Siciliana (1995)	Macchia e cespuglieti	99
	Incolto e incolto roccioso	125
	Aree parzialmente boscate o bosco degradato	90
	<i>Totale</i>	315.94
Linee Guida del Piano Paesistico Regionale (AA. VV. 1996)	2a. Macchie di sclerofille sempreverdi ( <i>Pistacio-Rhamnetalia alaterni</i> )	5
	2b. Arbusteti, boscaglie e praterie arbustate ( <i>Pruno-Rubion ulmifolii</i> )	81
	2c. Arbusteti spinosi altomontani dell'Etna ( <i>Rumici-Astragaletalia</i> )	9
	3a. Formazioni termo-xerofile di gariga, prateria e vegetazione rupestre	203
<i>Totale</i>	300.03	
CORINE Land Cover 90 (Scala 1:100.000)	3231 - Macchia mediterranea bassa	35
	3232 - Macchia mediterranea alta	108
	322 - Arbusteto	77
	<i>Totale</i>	222.05

Quanto riportato rende pertanto orientativo il valore della biomassa che oscilla tra 15 e 120 t/ha (tab. 2). E' chiaro pertanto che la stima che qui si presenta ha valore solamente orientativo ma giustificato dal fatto che una stima per queste formazioni non era stata tentata e dal fatto, come vedremo, che le quantità appaiono, pur con queste perplessità, significative.

Siamo consapevoli, inoltre, che le metodologie oggi in uso per la stima di stock e flussi di carbonio sono quanto mai raffinate e fanno ricorso a sistemi di misura accurati, ma in attesa che, come previsto (Borghetti et al. 2001), si estenda questo tipo di rilievi a formazioni mediterranee, cosa per altro già in parte avvenuta (Valentini et al. 1991, Valentini et al. 1992, Scarascia Mugnozza et al. 1996a, Scarascia Mugnozza et al. 1996b), si è fatto ricorso ad un sistema "tradizionale" di stima del carbonio.

## Risultati

Se si valutano in 300.000 ettari le superfici a macchia nell'Isola, e tra 7.50 e 60 le tonnellate di carbonio ad ha fissato, il carbonio fissato complessivamente dalle macchie in Sicilia oscilla tra 2.250.000 e 18.000.000 di tonnellate. Si pongono, con riguardo alla esatta valutazione di questo dato, alcune difficoltà; è infatti impossibile stimare il rapporto tra macchie che non possono, a causa di limiti ambientali,

"evolvere" verso formazioni arboree, macchie soggette a forti disturbi (incendi, pascolo) e, infine, macchie definibili recenti a causa dei processi di colonizzazione. Come evidente, ciò ha forti ripercussioni nel tentativo di stima degli incrementi. I dati di questo tipo riportati in letteratura sono pochi e variabili (biomassa aerea) da 0.25 (Peressotti et al. 1999) a 1.1 t/ha-a (Ogaya et al. 2003) e non consentono una stima attendibile degli incrementi tenuto conto inoltre che attualmente non sono disponibili studi relativi al tasso di incremento. Si consideri tuttavia che molte di queste formazioni evolverebbero, in assenza di disturbi, verso formazioni vicine a quelle forestali e, pertanto si può ritenere che a causa del forte dinamismo, gli incrementi possano essere realmente elevati.

Una stima effettuata a livello nazionale che valutava in 2.164.500 ha la superficie di vegetazione arbustiva, rupicola e ripariale sull'intero territorio nazionale, considerava in circa 26.4 Mt (18-35) il carbonio stoccato e, per le stesse categorie, a 0.8 Mt (0.5-1.0) l'incremento annuo (Corona et al. 1997). Si consideri che lo stesso studio, basandosi sui dati dell'Inventario Forestale Nazionale del 1985, riporta mediamente in 256 Mt il carbonio stoccato dalle foreste (fustaie e cedui) e dalle piantagioni specializzate, dato non dissimile da quello riportato, per le stesse categorie, da Pettenella & Picciotto (1993), pari a 225.496 Mt. Dalle stime da noi compiute, anche se in presenza di

**Tab. 3** - Sintesi dei lavori concernenti la biomassa della macchia mediterranea (\*: per un'approfondita analisi climatica di queste aree, vedasi Bianchi et al. 2003).

Autore	Nazione/Paese/Località /Altitudine/Substrato/ Clima	Tipologia indagata; Specie studiata ed età (anni)	Biomassa epigea (dove indicato ipogea) [t/ha] e incrementi (t/ha/anno) e note
Peressotti et al. 1999	Italia / Sardegna Nord-Occidentale / Capo Caccia / Riserva naturale integrata Arca di Noè / 0-360 m s.l.m. / Substrato: calcari cristallini del Giura-Creta (terra rossa) / Precipitazione media annua (Pma): 640 mm / Temperatura media annua (Tmam): 16.8 C°.	Copertura vegetale composta prevalentemente da <i>Juniperus phoenicea</i> (30) che sovrasta la vegetazione sottostante raggiungendo, in alcuni punti, i 4 m di altezza (mediamente 2 m) e da <i>Pistacia lentiscus</i> (30). Altre specie presenti: <i>Phillyrea angustifolia</i> , <i>Chamaerops humilis</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Genista sp.</i> , <i>Daphne sp.</i>	Si assume una densità media del legno di 0.75 t/mc. <i>Pistacia</i> 1.3 t/ha e <i>Juniperus</i> 7.9 t/ha epigea. Le due specie coprono circa il 75% della sup. totale, assumendo un contenuto di biomassa aerea simile per le altre specie presenti: biomassa aerea tot di 10.1 t/ha. Ipotizzando un rapporto fra radici e parte aerea di circa 0.5, per questo tipo di ecosistema (Hilbert et al, 1995 IVI) la biomassa radicale: 5 t/ha. Il contenuto di sostanza organica nei primi 0.3 m si suolo, con esclusione della lettiera: 2.8% (circa 100 t/ha). Se si considera che durante i 30 anni si abbia un accumulo costante di biomassa aerea si può concludere che l'incremento è pari a 0.25 t/ha/anno. Non viene fatta nessuna distinzione fra biomassa fogliare e legnosa; viene riportato il valore complessivo della biomassa radicale senza distinzione dimensionale.
Montès et al. 2002a	Marocco / Azzaden Valley / Substrato: si distinguono due unità: scisti nella parte più alta della valle e sabbie rosse del Permo-Triassic nella parte più bassa / Pma: 500 mm	L'area studiata si estende per circa 1984 ha con una densità arborea irregolare: varia da 19.4 a 78 piante di <i>Juniperus thurifera</i> ad ha; il soprassuolo è stato suddiviso in 4 classi di copertura degli alberi (%): 3-16, 16-26, 26-53, 53-100. L'altezza media degli alberi è di circa 3.7 m.	Il valore medio di biomassa per un singolo individuo è pari a 735 Kg. In funzione della copertura assume i seguenti valori (t/ha): [3-16] 27; [16-26] 58; [26-53] 67; [53-100] 209. Media soprassuolo: 49 t/ha di cui il 95% negli organi legnosi.
Gratani et al. 1980	Italia / Lazio / Castelporziano (Roma) / Pma: 780 mm / Tma: 15.6 C°	2 aspetti a macchia alta: uno nella serie che dalle dune costiere porta alla lecceta (zona A), l'altro in una tipica condizione di vegetazione di sostituzione ad una preesistente struttura forestale (zona B). <i>Quercus ilex</i> ; <i>Erica arborea</i> ; <i>Phillyrea angustifolia</i> ; <i>Phillyrea latifolia</i> ; <i>Arbutus unedo</i> ; <i>Pistacia lentiscus</i> ; <i>Myrtus communis</i> ; <i>Rhamnus alaternus</i> ; <i>Junipers phoenicea</i> ; <i>Juniperus communis</i> ; <i>Catragus monogyna</i>	Valori di biomassa delle specie presenti nella due zone (A e B). Zona A: biomassa epigea = 44.25 t/ha (40.09 nel legno e 4.16 nelle foglie); biomassa ipogea= 28.10 Zona B: biomassa epigea = 83.87 t/ha (77.82 nel legno e 6.05 nelle foglie); biomassa ipogea= 37.60
Fioravanti 1999	Italia / Lazio / Castelporziano (Roma) / Scoponcino / 5 m s.l.m. / Pma: 780 mm / Tma: 15.6 °C / Bioclima mediterraneo di tipo umido- subumido	Popolamento ad alto fusto di <i>Quercus ilex</i> (54), che deriva da un ceduo invecchiato. Lo strato arboreo a <i>Quercus ilex</i> raggiunge un'altezza di 12-15 m; lo strato arbustivo è costituito principalmente da <i>Phillyrea latifolia</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> ed <i>Erica arborea</i> .	La biomassa totale del popolamento è di circa 113.22 t/ha, della quale quella di <i>Quercus ilex</i> è pari a 108.95 t/ha. Della biomassa complessiva 7.86 t/ha sono foglie di cui 7.19 t/ha di leccio (i valori di biomassa sono comparabili a quello ottenuto da altri autori nella stessa tenuta di Castelporziano, in Fioravanti 1999). Gli arbusti contribuiscono alla stima finale della biomassa con solo 4.27 t/ha. La produttività del popolamento è stata stimata pari a 16.33 t/ha/anno. Il valore riportato in tabella è diminuito delle foglie (7.19) e delle radici fini (5.95).
Bianchi et al. 2002 *	Italia / Sardegna / F.D. Unisavà (Nuoro) / 560 m s.l.m. / Clima mediterraneo (più xerico rispetto alle altre due aree). Italia / Sardegna / F.D.Montes (Nuoro) / 1100 m s.l.m. Clima mediterraneo, modesta tendenza alla continentalità, elevata escursione termica, T.m.a: 18°C. Italia / Sardegna / Ales / M.Arci / Oristano / 700 m s.l.m. / Clima mediterraneo.	Area rimboschita: pineta di pino marittimo; area a macchia: macchia bassa (2 m di altezza), in prevalenza: <i>Arbutus unedo</i> , <i>Erica arborea</i> e <i>Genista corsica</i> , <i>Cistus monspeliensis</i> e <i>C. salviifolius</i> e <i>Phillyrea latifolia</i> . Area rimboschita: pineta di pino nero; area a macchia bassa: <i>Erica arborea</i> e in misura minore da <i>Genista corsica</i> , <i>Cistus monspeliensis</i> e <i>C. salviifolius</i> , e sporadicamente <i>Juniperus macrocarpa</i> . Area rimboschita: pineta rada di pino marittimo; area a macchia: macchia alta (4-5 m di altezza): <i>Arbutus unedo</i> (15) e, in misura minore, <i>Erica arborea</i> (15) e <i>Rubus ulmifolius</i> (15).	Lo studio riporta un confronto fra la vegetazione naturale (macchia) ed un'area rimboschita. Per i valori in dettaglio si rimanda al lavoro, i valori variano comunque, nelle aree a macchia tra 20 t/ha (Usinavà), 25 (Montes), 120 (Arci). Non viene fatta nessuna distinzione fra biomassa fogliare e legnosa; viene riportato il valore complessivo della biomassa radicale senza distinzione dimensionale.

**Tab. 4** - Valori medi di biomassa (t/ha) epigea (E) e ipogea (I) e carbonio fissati nella componente legnosa delle formazioni di cui alla tab. 2. (\*): per le note vedi tab. 2.

<b>Autore</b>	<b>Biomassa*</b>	<b>Carbonio fissato</b>	<b>CO<sub>2</sub> fissata</b>
Peressotti et al. (1999)	15 (E*-I)	7.50	22.50
Montès et al. (2002a)	46.55 (E)*	23.28	69.83
Gratani et al. (1980)	72.35; 121.47	36.18; 60.73	108.52; 182.20
Fioravanti (1999)	99.41 (E-I)	49.71	149.12
Bianchi et al. (2002)	20; 25; 120 (E*)	10; 12.50; 60	30; 37.50; 180

un range ampio (8-60 Mt), si può ipotizzare che il contributo delle macchie a livello nazionale appaia sottovalutato.

A queste cifre vanno aggiunte quelle, non indifferenti, relative al suolo. L'importanza del suolo nello stoccaggio del carbonio, da tempo avvertita (Barbera et al. 1992) viene oggi confermato pur in presenza di difficoltà nella quantificazione (Borghetti et al. 2001). Tale difficoltà è legata al fatto che il flusso del C nel suolo dipende da più fattori ambientali, quali le condizioni climatiche, le proprietà fisiche e chimiche del suolo e la presenza di microrganismi che giocano un ruolo fondamentale nei processi di ottenimento e decomposizione della sostanza organica e, quindi, nelle riserve del C nel suolo. Secondo Bottner et al. (1995) nelle regioni della fascia temperato-calda, inclusa l'area del Mediterraneo, la densità del carbonio nel suolo è circa pari a 8-10 kg/mq. Nell'indagine da noi compiuta l'unico dato riportato ad opera di Peressotti et al. (1999) parla di 100 t/ha. La valutazione del carbonio fissato nel suolo assume, anche alla luce dell'importanza che può avere, un estremo interesse. Nel contempo alla luce anche di quanto previsto dall'IPCC GPG che individua delle esatte profondità di campionamento per la stima del carbonio, occorre che i dati siano rilevati in maniera accurata. Un accenno va fatto anche ai problemi di degrado del suolo in area mediterranea spesso associati a fenomeni di abbandono quali gli incendi.

### **Conclusioni e prospettive di ricerca**

I dati qui riportati, pur con la necessità di ulteriori approfondimenti, con riferimento alla stima delle superfici, alla loro suddivisione tra le diverse formazioni e alla quantificazione del carbonio, stock e flussi, sottolineano l'importanza giocata dalle macchie nella mitigazione dei cambiamenti climatici.

La ricerca è tuttavia lungi dall'essere conclusa anche per altre ragioni. Trattandosi, infatti, di formazioni spesso transitorie frutto di successioni seconda-

rie e quindi in più o meno rapida evoluzione, sarebbe interessante monitorare accuratamente gli incrementi in relazione al cambio della fisionomia di queste formazioni nonché le variazioni di carbonio nel suolo. Andrebbero altresì incrementate le ricerche sull'ecofisiologia delle specie mediterranee e sugli effetti che i cambiamenti climatici inducono su esse e più in generale sulle formazioni a macchia.

Non possono essere trascurate inoltre anche le azioni di distruzione ad opera degli incendi che colpiscono soprattutto questa vegetazione essendo, i boschi di alto fusto, generalmente più tutelati. I dati riportati in questo contributo, infatti, possono o potrebbero essere considerati al lordo di un fattore che ormai incide con regolarità sull'estensione di queste formazioni. Tuttavia, per queste valutazioni, la mancanza di dati relativi alle superfici e al tipo di vegetazione incendiata rende ancora più ardua qualsiasi stima. Inoltre gli incendi pur nella loro convulsa dinamica probabilmente creano, con dinamiche però innaturali, situazioni di patch a diverso livello di complessità, e, interessando anche i boschi, determinano un incremento della superficie a "macchia".

Infine, altro tema di ricerca che andrebbe ulteriormente sviluppato, sono le modalità di gestione degli ex coltivi, per i quali, pur optando in genere soltanto per azioni di tutela e monitoraggio, spesso si pone il problema di se e come intervenire per facilitarne l'evoluzione verso formazioni stabili. In qualche caso, infatti, come per i terrazzamenti in certe condizioni ambientali, l'abbandono della coltivazione determina fenomeni di degrado irreversibili (Barbera & La Mantia 1998).

### **Ringraziamenti**

Il lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto "RISELVITALIA - Sottoprogetto 4.1 Inventario e monitoraggio delle risorse e degli ambienti forestali" e nell'ambito della borsa di studio finanziata dall'Azienda Regionale Foreste Demaniali Regione Sicilia

dal titolo "Valutazione delle potenzialità di stoccaggio della CO<sub>2</sub> nelle formazioni forestali e pre-forestali dell'isola, attraverso rilievi ed indagini da effettuarsi nel demanio forestale regionale". Si ringrazia il Prof. Calamini per l'invio dei dati dettagliati del lavoro svolto in collaborazione con Bianchi, la Prof.ssa Gratani e il Prof. G. Scarascia Mugnozza per il contributo dato alla ricerca bibliografica, il Dr. C. Di Leo per i dati sulle superfici a macchie dell'Isola. La versione iniziale del lavoro è stato interamente rivisto in seguito ai preziosi suggerimenti di Davide Pettenella e Giuliana Zanchi. Le loro osservazioni hanno consentito di renderlo più preciso e corretto. A loro, e a due anonimi referees, va il nostro ringraziamento più sentito.

## Bibliografia

- AA. VV. (1995). Global change and Mediterranean-type Ecosystem. Moreno JM, Oechel WC eds. Ecological Studies 117, Springer, New York, NY, pp. 527.
- AA. VV. (1996). Linee-guida del Piano Territoriale Paesistico Regionale. Regione Siciliana, Ass. BB. CC. AA. e P.I.
- Barbera G, La Mantia T (1998). Sistema agricolo e paesaggio nell'Isola di Pantelleria. *Italus Hortus* V (1-2): 23-28.
- Barbera G, La Mantia T, Silvestrini G (1992). The role of Italian agro-forestry system in controlling the carbon dioxide and methane balance in the atmosphere. Proceedings of the 2nd World Renewable Energy Congress, Reading, UK, 13-18 September, 1992, Vol. 5: pp. 2953-2958.
- Bassi S, Baratozzi L (1998). Il ruolo delle foreste nel bilancio dell'anidride carbonica in Emilia Romagna. *Monti e Boschi* 3/4: 13-18.
- Bernetti G (1997). 4. La vegetazione forestale del bacino del Mediterraneo e le altre vegetazioni di tipo Mediterraneo. *Italia Forestale e Montana* LII (6): 469-471.
- Bernetti G (1998a). 5. Lessico Mediterraneo. 1<sup>a</sup> parte. *Italia Forestale e Montana* LIII (1): 31-33.
- Bernetti G (1998b). 5. Lessico Mediterraneo. 2<sup>a</sup> parte. *Italia Forestale e Montana* LIII (2): 109-112.
- Bianchi L, Calamini G, Gregori E, Paci M, Pallanza S, Pierguidi A, Salbitano F, Tani A, Vedele S (2002). Valutazione degli effetti del rimboschimento in zone aride della Sardegna: risultati preliminari sulla vegetazione. *Italia Forestale e Montana* LVII (4): 353-368.
- Bianchi L, Calamini G, Gregori E, Zorn G (2003). Valutazione degli effetti del rimboschimento in zone aride della Sardegna. Inquadramento climatico delle aree sperimentali. *Italia Forestale e Montana* LVIII (5): 389-407.
- Borghetti M, Magnani F, Scarascia Mugnozza G, Valentini R (2001). Valutazione del ruolo delle foreste italiane nell'assorbimento dell'anidride carbonica. *ISAF-Comunicazioni di Ricerca* 2: 85-91.
- Bottner P, Couteaux MM, Vallejo VR (1995). Soil organic matter. In: (Moreno JM, Oechel WC eds.) "Mediterranean-type ecosystems and global climatic changes: a case study- the soils of Mediterranean basin. Global change and Mediterranean-type Ecosystem" Ecological Studies 117, Springer, New York, NY, pp. 306-325.
- Cherubini P, Gartner BL, Tognetti R, BraKer OU, Schoch W, Innes JH (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biol. Rev.* 78: 119-148.
- Corona P, Ferrara A, La Marca O (1997). Sustainable management of forest for atmospheric CO<sub>2</sub> depletion: the Italian case. *J. of Sustainable Forestry* 5(3/4): 81-91.
- Cowling R, Campbell B (1980). Convergence in vegetation structure in the Mediterranean communities of California, Chile, and South Africa. *Vegetatio* 43: 191-197.
- Di Castri F (1981). Mediterranean-type shrublands of the world. In: (Di Castri F, Goodall DW, Specht RL eds.) *Mediterranean-Type shrublands*. Amsterdam, Elsevier, pp. 1-52.
- Di Castri F, Mooney HA (1973). Mediterranean-type ecosystems: Origin and structure. *Ecological Studies*, vol. 7, Springer-Verlag, New York, NY, pp. 405.
- Fioravanti R (1999). Produttività ed allocazione della biomassa in una lecceta della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Tesi di Laurea, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo.
- Gratani L, Amadori M, Veri L, Bruno F, Porri M (1980). Determinazione di un metodo di stima della biomassa nella macchia di Castelporziano (Lazio). *Annali di Botanica* XXXI (1): 131-151.
- Gratani L, Crescente MF (2000). Map-making of plant biomass and leaf index for management of protected areas. *Aliso* 19 (1): 1-12.
- Hilbert DW, Canadell J (1995). Biomass partitioning and resource allocation of plants from Mediterranean-type ecosystems: possibile responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. In: (Moreno JM, Oechel WC eds.) "Global change and Mediterranean-type Ecosystem". Ecological Studies 117. Springer, New York, NY, pp. 76-101.
- Jackson RB, Mooney HA, Schulze ED (1997). A global budget for fine root biomass, surface area and nutrient contents. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 94: 7362-7366.
- Kummerow J (1981). Structure of roots and root system. In: (di Castri F, Goodall DW, Specht RL eds) "Mediterranean-type Shrublands". *Ecosystems of the world* 11, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, pp. 269-288.
- La Mantia T, Marchetti M, Cullotta S, Pasta S (2000). Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e



- preforestali della Sicilia- I parte: metodologia ed inquadramento generale. *Italia Forestale e Montana* LV (5): 307-326.
- La Mantia T, Marchetti M, Cullotta S, Pasta S (2001). Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia. II parte: descrizione delle categorie. *Italia Forestale e Montana* LVI (1): 24-47.
- La Mantia T, Pasta S (2001). La rinaturalizzazione dei rimboschimenti: proposte metodologiche e ipotesi di intervento nella Riserva Naturale "Grotta di Santa Ninfa". *Naturalista Siciliano* S. IV, XXV (Suppl.): 299-323.
- La Mantia T, Rühl J, Pasta S, Campisi DG, Terrazzino G (2005). Temporal change of structural and vegetation parameters on abandoned terraces on Pantelleria Island (Sicilian Channel). *Forestry Ecology and Management* (submitted).
- Magnani F, Borghetti M (1998). Foreste europee e cambiamenti climatici: obiettivi per la ricerca dopo Kyoto. *Monti e Boschi* XLIX (5): 5-8.
- Marek MV, Sprova M, De Angelis P, Scarascia Mugnozza G (2001). Spatial distribution of photosynthetic response to long-term influence of elevated CO<sub>2</sub> in a Mediterranean macchia mini-ecosystem. *Plant Science* 160: 1125-1136.
- Matteucci G, Valentini R, Scarascia Mugnozza G (1995). Struttura e funzionalità di una comunità vegetale mediterranea a *Quercus ilex* L. dell'Italia centrale. I. Bilancio del carbonio: variazioni stagionali e fattori limitanti. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.* 69:127-141.
- Miglietta F, Badiani M, Bettarini I, Van Gardingen P, Selvi F, and Raschi A (1995). Preliminary studies of the long-term CO<sub>2</sub> response of Mediterranean vegetation around natural CO<sub>2</sub> vents. In: (Moreno JM, Oechel WC eds.) "Global change and Mediterranean-type Ecosystem". *Ecological Studies* 117, Springer, New York, NY, pp. 306-325.
- Montes N, Bertaudière V, Badri W, Zaoui EH, Gauquelin T (2002a). Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: the *Juniperus thurifera* L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). *Forest Ecology and Management* 166: 35-43.
- Montes N, Gauquelin T, Badri W, Bertaudière V, Zaoui EH (2002b). A non-destructive method for estimative above-ground forest biomass in threatened woodlands. *Forest Ecology and Management* 130: 37-46.
- Oechel WC, Hastings SJ, Vourlitis GL, Jenkins MA, Hinkson CL (1995). Direct effects of CO<sub>2</sub> in Chaparral and Mediterranean-Type Ecosystems. In: (Moreno JM, Oechel WC eds.) *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems*. *Ecological Studies* 117. Springer, New York, NY, pp. 58-75.
- Ogaya R, Penuelas J, Martinez-Vilalta J, Mangiron M (2003). Effect of drought on diameter increment of *Q. ilex*, *P. latifolia* and *A. unedo* in a holm oak forest of NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180: 175-184.
- Parsons DJ, Moldenke AR (1975). Convergence in vegetation structure along an analogous climatic gradients in California and Chile. *Ecology* 56: 950-957.
- Pasta S, Cullotta S, La Mantia T, Rühl J (2005). Le formazioni preforestali e i processi di successione secondaria in atto nei coltivi abbandonati della Sicilia. *Atti 2° Convegno Nazionale: "Piante Mediterranee: valorizzazione delle risorse e sviluppo sostenibile"* (Agrigento, 7-8 ottobre 2004).
- Pasta S, La Mantia T (2001). Note sul paesaggio vegetale delle isole minori circumsiciliane. I. Consorzi forestali e preforestali dell'Isola di Lampedusa (AG) ed effetto degli impianti artificiali sulla vegetazione naturale. *Naturalista Siciliano* S. IV, XXV (Suppl.): 71-89.
- Peressotti A, Asunis C, Cesaraccio C (1999). Stima della biomassa e della copertura vegetale di un ecosistema mediterraneo a macchia: il caso della riserva integrale Arca di Noè. *Collana Tecnico-scientifica INAPA, Monitoraggio di un ecosistema a macchia mediterranea: misure ecofisiologiche e micrometeorologiche*. *Quaderno* 6: 81-86.
- Pettenella D, Picciotto F (1993). Un tentativo di stima del ruolo delle risorse forestali italiane nella fissazione del carbonio. *Monti e Boschi* XLIV, 1: 5-30.
- Regione Siciliana (1995). *Carta dell'uso del suolo, scala 1:250.000, note illustrative*. Assessorato Territorio Ambiente-Direzione Urbanistica, Palermo.
- Rühl J, Pasta S, La Mantia T (2005). Metodologia per lo studio delle successioni secondarie in ex-coltivi terrazzati: Il caso studio di Pantelleria (Canale di Sicilia). *Forest@ 2* (4): 388-398. [online] URL: <http://www.sisef.it>
- Scarascia Mugnozza G, De Angelis P, Matteucci G, Valentini R (1996a). Long-term exposure to elevated [CO<sub>2</sub>] in a natural *Quercus ilex* L. community: net photosynthesis and photochemical efficiency of PSII at different levels of water stress. *Plant, Cell and Environment* 19: 643-654.
- Scarascia Mugnozza G, De Angelis P, Matteucci G and Kuzminsky E (1996b). Carbon metabolism and plant growth under elevated CO<sub>2</sub> in a natural *Quercus ilex* "macchia" stand. In: Ch. Korner, F.A. Bazzaz (eds.) "Biological diversity in a CO<sub>2</sub>-rich world". *Physiological Ecology Series*, Academic Press, San Diego, pp.209-230.
- Specht RL (1969). A comparison of the sclerophyllous vegetation characteristic of Mediterranean type climates in France, California and southern Australia. I. Structure, morphology, and succession. *Australian Journal of Botany* 17: 277-293.
- Sternberg M, Shoshany M (2001). Aboveground biomass allocation and water content relationship in Mediterra-

- nean trees and shrubs in two climatological regions in Israel. *Plant Ecology* 157: 171-179.
- Uso JL, Mateu J, Karjalainen T, Salvador P (1997). Allometric regression equations to determine aerial biomasses of Mediterranean shrubs. *Plant Ecology* 132: 59-69.
- Valentini R, Scarascia-Mugnozza G, Ehleringer JR (1992). Hydrogen and carbon isotope ratios of selected species of a mediterranean macchia ecosystem. *Functional Ecology* 6: 627-631.
- Valentini R, Scarascia-Mugnozza G, De Angelis P, Bimbi R (1991). An experimental test of the eddy correlation technique over a Mediterranean macchia canopy. *Plant, Cell and Environment* 14: 987-994.