



DIPARTIMENTO DI ECOLOGIA E SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
ECOLOGIA E GESTIONE DELLE RISORSE BIOLOGICHE – XXI CICLO

“Analisi della produzione primaria in *Posidonia oceanica*”
(BIO/07)

COORDINATORE: DOTT.SSA ROBERTA CIMMARUTA

TUTOR: PROF. EUGENIO FRESI
UNIVERSITÀ DI ROMA “TOR VERGATA”

PROF. MICHELE SCARDI
UNIVERSITÀ DI ROMA “TOR VERGATA”

DOTTORANDA: TANIA DOLCE

MARZO 2010

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	5
1.1 Ruolo delle praterie e aspetti normativi.....	5
1.2 La Posidonia oceanica come bioindicatore della qualità ambientale	8
1.3 Studio delle praterie di Posidonia oceanica	10
Descrittori sintetici	11
Descrittori derivati	14
Descrittori fisiografici	15
Descrittori fisici accessori	15
1.4 La produzione in Posidonia oceanica.....	16
1.5 Scopo del lavoro	18
2. MATERIALI E METODI	21
2.1 Stima della produzione mediante analisi lepidocronologica	22
2.2 La base di dati.....	24
2.3 Trattamento statistico-matematico dei dati.....	25
Test di Wilcoxon.....	26
Test di Kruskal-Wallis	27
Correlazione	28
Regressione	29
Asse maggiore ridotto	30
Analisi della varianza	30
Analisi multivariata	31
Test di Mantel.....	32
3. RISULTATI.....	34
3.1 Relazione lunghezza base/lunghezza foglia	34
3.2 Relazione peso secco/lunghezza rizoma	47
3.3 La densità del tessuto fogliare.....	52
3.4 Considerazioni sulla superficie fogliare	53
3.5 Analisi della produzione in Posidonia oceanica	54
Profondità	55
Densità dei fasci.....	58
Substrato.....	60
Ambiente fisico e forzanti antropiche	64
Variazione orizzontale	69
Analisi multivariata	70

4 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	78
4.1 Stima della produzione fogliare.....	78
4.2 Stima della produzione del rizoma.....	79
4.3 Analisi della produzione primaria.....	80
4.4 Considerazioni conclusive	83
5. BIBLIOGRAFIA.....	86
6. ALLEGATI	95

1. INTRODUZIONE

1.1 Ruolo delle praterie e aspetti normativi

Le praterie sommerse di *Posidonia oceanica*, specie endemica del Mediterraneo, costituiscono uno tra i popolamenti più studiati e più rappresentativi del piano infralitorale del Mediterraneo. Il ruolo della *Posidonia oceanica* nell'ecosistema costiero è di grande rilevanza. Basti pensare che ogni anno un metro quadro di prateria con 1000 ciuffi produce fino a 3 kg in peso secco di tessuto fogliare e 100 g di rizoma, pari a 31 tonnellate per ettaro. Le praterie di *Posidonia oceanica* sono, dunque, siti importantissimi di fissazione biologica del carbonio ed alimentano direttamente o indirettamente sia gli erbivori, che costituiscono il primo anello dei consumatori nella “catena del pascolo”, sia, per una quota più rilevante, la “catena del detrito”, in cui i consumatori di primo livello sono detritivori. Le due catene, in realtà, sono reti molto complesse, che si intersecano e si sovrappongono in un insieme di relazioni trofiche in cui sono coinvolti organismi della prateria e delle biocenosi limitrofe, con le quali avviene un interscambio di sostanza organica. Quasi tutto il carbonio organico veicolato nelle reti trofiche della prateria e delle biocenosi vicine, comunque, trae la sua origine dalla fotosintesi clorofilliana che avviene nelle foglie e, in misura minore, nelle alghe epifite della *Posidonia*. L'ecosistema *Posidonia*, in generale, è un sistema complesso, altamente strutturato e con una biomassa fogliare pari in media ad 1 kg m^{-2} in peso secco, cioè del tutto paragonabile ai grandi complessi forestali della terraferma. La prateria è, infatti, spesso paragonata ad una foresta di querce, di cui sembra possedere anche le medesime caratteristiche, lento accrescimento, riproduzione sessuata rara, debole competitività a breve termine. La prateria costituisce una biocenosi molto ben caratterizzata, il *Posidonietum oceanicae* FUNK, e la sua struttura complessa e varia trova riscontro nell'elevata varietà delle specie animali e vegetali che l'accompagnano. Foglie e rizomi creano un ambiente peculiare che dà rifugio ad una quantità di esseri viventi esigendo, nel contempo, una serie di adattamenti specifici.

Le praterie di *Posidonia oceanica* giocano un ruolo di primo piano fra gli ecosistemi bentonici. Ciò è dovuto, fra l'altro, a:

- l'influenza sulla produzione di sostanza organica nel dominio neritico: la prateria produce sostanza organica, che, sotto varia forma, si rende disponibile come elemento di base per le reti trofiche degli ecosistemi costieri, le quali sono estremamente importanti anche in relazione alle produzioni di interesse economico;
- l'influenza sulla dinamica della sedimentazione: la prateria produce un rallentamento, per frizione, della velocità dei moti delle masse d'acqua sovrastanti e quindi favorisce la deposizione del particolato sospeso (incluso quello autoctono, prevalentemente organogeno), che viene

successivamente compattato dall'intreccio dei rizomi, spesso con formazione di imponenti terrazzamenti ("mattes");

- l'influenza sulla produzione biologica di ossigeno: la prateria produce, mediante la fotosintesi, fino a 1500 ml di ossigeno m⁻² all'ora, contribuendo in misura determinante all'equilibrio degli ambienti costieri, dove spesso esiste una forte domanda biologica di ossigeno.

Sulla base di quanto accennato si può comprendere come l'importanza delle praterie di *Posidonia oceanica* nella creazione e nel mantenimento degli equilibri degli ecosistemi costieri del Mediterraneo sia ormai unanimamente riconosciuta non solo dai ricercatori, ma anche dai responsabili della gestione delle risorse ambientali che la pongono al centro di qualsiasi studio finalizzato alla protezione dell'ambiente marino.

Negli ultimi anni l'ormai intenso sfruttamento della fascia costiera (costruzione di opere costiere, allargamento di porti, lavori di dragaggio), accanto ad altre attività, quali la pesca a strascico e gli ancoraggi, hanno costituito una seria minaccia per queste biocenosi di pregio.

L'importanza delle praterie di *Posidonia oceanica*, a livello sia ecologico (protezione della biodiversità, esportazione di biomassa, ecc..) che economico (pesca, turismo, ecc..) e la notevole sensibilità della pianta alle perturbazioni naturali e/o artificiali, ha spinto le autorità nazionali, europee ed internazionali ad azioni volte alla loro protezione.

Misure di salvaguardia dirette possono considerarsi tutte quelle volte alla protezione dell'habitat. Questa fanerogama marina è stata inclusa nel 1990 nella Lista Rossa delle specie marine del Mediterraneo a rischio di estinzione (Boudouresque *et al.*, 1990). *P. oceanica* è citata nell'Annesso I (specie rigorosamente protette) della Convenzione di Berna e nell'Annesso II (specie minacciate) del Protocollo delle Aree Specialmente Protette della Convenzione di Barcellona; inoltre, nel "Piano d'Azione per la conservazione della vegetazione marina in Mediterraneo", adottato dai paesi mediterranei nell'ambito della Convenzione di Barcellona nel 1999, le nazioni aderenti si sono impegnate a condurre inventari e mappature delle praterie di *P. oceanica* che insistono lungo le loro coste. Le praterie di *P. oceanica* sono state inserite, inoltre, tra gli habitat prioritari nell'Allegato I della Direttiva EC 92/43/EEC del 21 maggio 1992 relativa alla Conservazione degli Habitat Naturali e della Fauna e della Flora Selvatiche. La Direttiva definisce questi habitat prioritari come Siti di Interesse Comunitario (SIC), la cui conservazione richiede la designazione di Aree Speciali di Conservazione. Un SIC è definito come "un sito che, nella o nelle regioni biogeografiche cui appartiene, contribuisce in modo significativo a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat naturale di cui all'Allegato I o una specie di cui all'Allegato II in uno stato di conservazione soddisfacente". Secondo la Direttiva, un habitat è considerato in uno stato di conservazione soddisfacente quando:

- la sua area di ripartizione naturale e le superfici che comprende sono stabili o in estensione;

- la struttura e le funzioni specifiche necessarie al suo mantenimento a lungo termine esistono e possono continuare ad esistere in un futuro prevedibile;
- lo stato di conservazione delle specie tipiche è soddisfacente.

In Italia il D.P.R. 357/97 recepisce la Direttiva Habitat 92/43/CE e prevede che le Regioni individuino i siti di interesse comunitario e ne effettuino una valutazione periodica per proporre al Ministero dell'Ambiente una lista dei siti sempre aggiornata: i SIC marini individuati rappresentano fondali colonizzati da praterie di *Posidonia oceanica*.

L'Allegato V della Direttiva Quadro per le Acque (WFD) 2000/60/EC dichiara che le fanerogame marine sono da considerarsi degli elementi biologici di qualità che devono essere usate negli studi di monitoraggio ambientale per definire lo stato ecologico delle acque costiere, poiché sono altamente sensibili ai disturbi antropici.

Le misure indirette che possono contribuire alla protezione delle praterie sono molto varie, poiché possono comprendere tanto le azioni di conservazione di un certo territorio geografico (se quest'ultimo ospita delle praterie) quanto le azioni che mirano a limitare o compensare i deterioramenti dell'ambiente litorale, generati, direttamente o indirettamente, dall'uomo (Boudouresque *et al.*, 2006). Infatti la regressione dei posidonieti può essere provocata da innumerevoli cause, quali, per esempio, lo scarico di rifiuti, l'ancoraggio, l'impiego di attrezzi a strascico o di esplosivi, lo sversamento di materiale proveniente da lavori per la costruzione di opere costiere e/o la competizione con specie aliene. Quindi, tutti i provvedimenti e le raccomandazioni destinate a prevenire o ridurre gli impatti possono rappresentare delle misure di protezione. Si possono, dunque, citare tutte le procedure legislative che mirano (i) a limitare l'immissione nell'ambiente di rifiuti inquinanti (Protocolli della Convenzione di Barcellona), (ii) ad assicurare il trattamento dei rifiuti urbani (Direttiva 91/271/CEE), (iii) alla lotta contro l'eutrofizzazione delle acque (Direttiva 91/676/CEE), (iv) al divieto di certe tecniche di pesca (Regolamento CE n° 1626/94 del Consiglio del 27 giugno 1994, che prevede alcune misure tecniche per la conservazione delle risorse della pesca in Mediterraneo) e (v) alla lotta contro l'introduzione di specie invasive (Direttiva 92/43/CEE).

La tutela delle biocenosi a *Posidonia oceanica*, inoltre, è affrontata sia nell'ambito dei monitoraggi ambientali previsti per il controllo della qualità dell'ambiente marino costiero, sia nelle procedure di autorizzazione di opere costiere che potenzialmente possono creare impatto sull'ambiente marino.

1.2 La *Posidonia oceanica* come bioindicatore della qualità ambientale

Le praterie di *Posidonia* per la loro complessità costituiscono delle comunità estremamente sensibili; ai fattori di ordine naturale che possono modificarne la crescita e lo sviluppo – basso livello adattativo della specie, esplosioni demografiche di predatori, parassitosi, eventi geologici e meteorologici catastrofici – si sovrappongono quelli legati alle attività umane. Infatti, la localizzazione delle praterie in prossimità delle coste le espone a tutte le possibili fonti di degrado dovute alla presenza dell'uomo: costruzione di opere nelle acque costiere, con conseguente alterazione delle caratteristiche idrologiche, scarichi in mare ricchi di sostanze eutrofizzanti ed inquinanti, attività di pesca sottocosta, ancoraggi. Oggi le praterie sono in regressione in moltissime zone del Mediterraneo soprattutto nella fascia più superficiale della zona costiera, quella cioè maggiormente soggetta all'impatto antropico. La sensibilità delle praterie di *Posidonia* alle alterazioni delle caratteristiche ambientali conferisce loro particolare utilità come indicatori biologici negli studi volti a mettere in evidenza le alterazioni dell'ambiente marino costiero. L'impiego delle praterie in questa direzione trova la sua applicabilità e potenzialità per il fatto che esse costituiscono i popolamenti bentonici più estesi e comuni nei fondi del piano infralitorale dove l'impatto antropico è più intenso. La variazione di taluni parametri ambientali può, infatti, determinare, in tempi più o meno lunghi, la regressione delle praterie con conseguente rarefazione della vita sottomarina ed un altrettanto grave processo di erosione delle coste con tutte le conseguenze che ne derivano.

Nel caso delle praterie di *P. oceanica*, i fenomeni regressivi producono continui “rimaneggiamenti” dei due limiti, superiore ed inferiore, ma in taluni casi le modificazioni possono interessare anche gli altri lati della prateria e le zone più interne.

La conformazione del litorale e del fondo marino, le caratteristiche dell'acqua (trasparenza) e del clima (luminosità) influenzano la morfologia e l'estensione delle praterie. Negli ultimi decenni, inoltre, lungo molte coste il trasporto di materiali da terra è fortemente diminuito a causa delle variazioni di regime di numerosi corsi d'acqua e a causa delle urbanizzazioni massicce nelle immediate adiacenze della linea di riva. Non mancano, per contro, in conseguenza di rettificazioni di corsi fluviali e di sbancamenti del litorale, eventi di eccessivo apporto sedimentario che hanno l'effetto collaterale di ridurre per lunghi periodi la trasparenza delle acque (Meinesz & Laurent, 1980). In risposta a tutta una serie di modificazioni dell'ambiente marino costiero, negli anni recenti si è assistito ad un progressivo impoverimento delle praterie di *Posidonia oceanica* la cui regressione ha assunto proporzioni preoccupanti.

Si spiega così come, nelle aree dove l'impatto sull'ambiente marino è più marcato, la regressione sia particolarmente pronunciata a causa di svariati fattori, tra cui:

- condizioni di scarso o eccessivo apporto sedimentario,
- effetto tossico di alcuni inquinanti nelle acque costiere,
- anossia del sedimento imputabile ai fenomeni di eutrofizzazione correlabili all'eccessivo apporto di nutrienti,
- modificazione qualitativa e quantitativa dell'energia luminosa causata dai fenomeni di eutrofizzazione,
- condizione di sfruttamento illimitato delle risorse marine.

La presenza, la vitalità o lo stato di regressione delle praterie di *Posidonia oceanica* rispecchiano, quindi, la qualità delle acque in cui queste si sviluppano e costituiscono un indicatore ecologico che funziona su tre differenti livelli: della prateria (densità, copertura), della pianta (fenologia, produzione) e della comunità associata (es. epifiti e/o erbivori). A livello della prateria, uno dei principali testimoni sintetici della dinamica dell'intera prateria è il limite inferiore, che, rappresentando la porzione ecologicamente più fragile della prateria stessa, è un indice della qualità ambientale (Meinesz e Laurent, 1978) e può essere scelto come riferimento permanente per un monitoraggio a lungo termine. Anche il limite superiore è una zona particolarmente sensibile ed importante, essendo esposto direttamente alle aggressioni provenienti da terra.

A livello della pianta, la fenologia e la produzione possono a loro volta fornire informazioni sulla qualità globale dell'acqua. In un ambiente inquinato, infatti, la lunghezza media delle foglie può subire una riduzione importante, diminuendo fino al 50% (Pergent, 1991). Non bisogna dimenticare, poi l'uso della *Posidonia* come indicatore di inquinamento, la pianta, infatti, ha la capacità di accumulare metalli pesanti e “memorizzare” i dati ambientali rilevandone i livelli nei sistemi costieri.

A livello della comunità associata, la composizione e la dinamica di tale comunità, la ricchezza di specie e di adattamenti caratteristici e l'organizzazione in differenti compartimenti eco-etologici (Bianchi *et al*, 1989), sono degli ottimi “indici di qualità”, utili per la valutazione dello stato di qualità ambientale.

Attraverso lo studio delle modificazioni spazio-temporali della struttura delle praterie di *P. oceanica* è quindi possibile monitorare nel tempo le alterazioni dell'ambiente marino costiero, generalmente più soggetto ad impatto antropico.

1.3 Studio delle praterie di *Posidonia oceanica*

La ricerca ecologica propone spesso situazioni in cui si rende necessario mettere a punto strategie di valutazione efficaci e speditive per ottenere il maggior numero di informazioni sul sistema in esame nel minor tempo e con il minor impegno di risorse possibili. Queste strategie prevedono il rilevamento di descrittori sintetici dell'ecosistema da studiare, poiché i sistemi naturali sono sempre caratterizzati da un alto livello di molteplicità, se si considerano il numero e l'eterogeneità delle variabili in gioco e di complessità quando si tiene conto delle relazioni che tra loro intercorrono. Quanto detto vale, a maggior ragione, quando si ha a che fare con un ecosistema come quello della prateria a *Posidonia oceanica* per il quale la lista dei descrittori fisici, chimici e biologici potrebbe essere dilatata quasi all'infinito senza raggiungere né un'immagine esaustiva né una comprensione completa dell'oggetto di studio.

Composizione, estensione e struttura delle praterie sono condizionate dalle caratteristiche biologiche della pianta e dalle caratteristiche ambientali quali tipo e natura del substrato, geomorfologia del fondo, idrodinamismo, profondità e luminosità, tasso di sedimentazione ecc.

L'esigenza di tentare di classificare questi sistemi per valutarne lo stato di salute e da questo derivare quello della fascia costiera, ha guidato la ricerca di descrittori idonei, che riferiti a vari comparti della pianta, della prateria e delle comunità associate, potessero essere utilizzati come bioindicatori del sistema in toto.

Dall'analisi degli studi finora effettuati per la valutazione dello stato di salute delle praterie di *Posidonia* si evince che densità, fenologia, lepidocronologia e comunità epifita vengono usualmente impiegati per avere una descrizione sintetica della prateria stessa (Pergent Martini *et al.*, 2005).

Negli ultimi anni molti sforzi sono stati fatti per tentare di mettere a punto strategie di campionamento e analisi di dati standardizzati. Se a livello nazionale il monitoraggio delle acque marino-costiere viene effettuato dalle regioni italiane (in convenzione con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare) secondo protocolli standardizzati, rivisti nel tempo per le dovute migliorie, a livello internazionale progetti quali l'Interreg III B MEDDOC sulla *Posidonia* permettono lo scambio di informazioni ed esperienze sulle modalità e validità d'uso di alcuni descrittori, a riprova del fatto che il dibattito sia ancora aperto.

Secondo una classificazione ampiamente condivisa, i descrittori di una prateria vengono ascritti a 4 categorie fondamentali:

- **descrittori sintetici**
- **descrittori derivati**
- **descrittori fisiografici**
- **descrittori fisici accessori**

Descrittori sintetici

Si fanno ricadere in questa categoria quelle variabili (biotiche o abiotiche) dalla cui misura e analisi sia possibile trarre informazioni sulle condizioni globali di salute di una prateria. Possono essere distinti in a) descrittori strutturali e b) descrittori funzionali.

Descrittori sintetici strutturali

Vengono così definite quelle variabili che permettono di “pesare” dal punto di vista fisico l’entità vegetale (la prateria) che si è edificata.

Per quanto riguarda la prateria di *Posidonia* si ritiene che la densità della vegetazione, intesa come numero di fasci fogliari per metro quadro, sia uno dei principali descrittori speditivi dello stato di salute. L’analisi dei dati pluriennali di densità rende conto della dinamica dell’entità prateria nel tempo, permettendo così di risalire, in maniera indiretta, ai fenomeni evolutivi che la governano. La cartografia dei valori della densità consente di ricavare, infine, utili informazioni sulla struttura interna delle praterie.

In letteratura esistono principalmente due metodi di classificazione dello stato della prateria sulla base dei valori di densità dei fasci. La prima è stata elaborata da Giraud (1977) e classifica le praterie in base al numero di fasci contati in immersione su una superficie di un metro quadro, come riportato di seguito:

Classe	N° fasci/mq	Descrizione
I	Oltre 700	Prateria molto densa
II	Da 400 a 700	Prateria densa
III	Da 300 a 400	Prateria rada
IV	Da 150 a 300	Prateria molto rada
V	Da 50 a 150	Semiprateria

Più recentemente sulla base di dati bibliografici è stata formulata una nuova classificazione delle praterie, in cui la densità è rapportata alla profondità e ad altri fattori ambientali, quali torbidità e disturbo antropico (Pergent *et al.*, 1995). Gli autori hanno evidenziato che l'evoluzione della densità della prateria in funzione della profondità segue un modello di tipo logaritmico e che la variabilità del fattore densità viene spiegato per il 54% dalla profondità.

A partire da questo modello gli autori citati hanno proposto una tabella che classifica le praterie in quattro categorie, secondo i valori di densità misurati in funzione della profondità:

- Densità anormale, che corrisponde a situazioni critiche, in cui la vitalità della prateria è estremamente bassa;
- Densità bassa, che corrisponde ad una riduzione della vitalità della prateria e deve costituire un segnale di allarme ai fini di intraprendere azioni di risanamento;
- Densità normale, che corrisponde a valori di vitalità soddisfacenti, osservabili quando non esistono segni di pressione antropica;
- Densità eccezionale, che corrisponde a situazioni particolarmente eccezionali in termini di vitalità della pianta o di estensione batimetrica della prateria.

Si distinguono in questo modo “praterie in equilibrio”, in cui la densità è nella norma (DN) o eccezionale (DE), da “praterie disturbate” o “praterie molto disturbate”, in cui la densità, limitata da più fattori, è bassa (DB) o anormale (DA).

Considerate le dimensioni della pianta, la bassa velocità di allungamento dei rizomi (misurata in pochi cm all'anno) e la scarsa rilevanza della riproduzione sessuale nella propagazione di questa specie, la scala temporale con cui questo parametro deve essere preso è quella annuale: conte stagionali rileverebbero soltanto una variabilità spaziale all'interno della prateria e non fenomeni di espansione/regressione.

Mediante la stima della percentuale di fondo ricoperto dalla pianta, si può dare una valutazione strutturale della prateria integrando i valori di densità e quelli di copertura. E' una valutazione soggettiva e legata alla stagione (la maggiore lunghezza estiva può mascherare una copertura non omogenea del fondo); tenendo conto di queste considerazioni, si è stabilito che questo descrittore venga mediato dai valori attribuiti da due operatori distinti.

Descrittori sintetici funzionali

Vengono così definite quelle variabili che sono espressione delle caratteristiche biologiche della specie e risentono delle variazioni ambientali. Rientrano i descrittori fenologici e lepidocronologici cioè i descrittori della crescita regolare della pianta (espressione quindi delle sue capacità funzionali).

Le indagini fenologiche riguardano le strutture anatomiche visibili della pianta; vengono effettuate in genere su 10 fasci fogliari, (fissati in una miscela di acqua di mare e formalina al 4% immediatamente dopo il prelievo). Le misurazioni riguardano i parametri morfometrici fondamentali delle foglie, ed in particolare: larghezza, lunghezza totale, lunghezza del tessuto verde o del lembo, lunghezza del tessuto bruno e stato dell'apice. Il comparto fogliare ha una persistenza ed un accrescimento variabili con la stagione, per tale motivo il descrittore morfometrico deve tenere conto del periodo di campionamento.

La produzione di una prateria può essere valutata in maniera indiretta, determinando l'età delle parti terminali dei rizomi. In particolare, i punti di inserimento delle foglie sul rizoma sono riconoscibili dalle scaglie che permangono sul rizoma dopo che il lembo fogliare è caduto. Dall'esame dello spessore delle scaglie di *Posidonia*, che presentano delle variazioni cicliche riconducibili al ciclo annuale di crescita di questa specie (Pergent *et al.*, 1982; Pirc, 1983), è possibile stimare la biomassa prodotta. In questo modo, pur senza avere a disposizione lunghe serie storiche, è possibile valutare la produzione di una prateria, sia come misura integrata su un intervallo temporale standardizzato sia su base annuale, mettendo in evidenza eventuali variazioni prodotte da stress ambientali a cui il sistema può essere andato incontro nel corso degli anni. Tali ricostruzioni ci danno, quindi, la possibilità di ottenere, mediante analisi puntuali, una rappresentazione della dinamica della prateria altrimenti ricostruibile solo con una serie storica di dati raccolti sul campo nel tempo.

Sono considerati descrittori funzionali indiretti dello stato di salute della prateria, inoltre, l'analisi della comunità (animale e vegetale) epifita, associata ai lembi fogliari e l'analisi della comunità animale brucatrice delle foglie/perforatrice delle basi fogliari (scaglie), attraverso indici di erbivoria. Le lunghe lamine fogliari di *P. oceanica* rappresentano il substrato d'elezione per molte specie sessili sia animali sia vegetali, che costituiscono una ben strutturata comunità epifita (Fresi *et al.*, 1982). Tale comunità gioca un ruolo essenziale nel trasferimento dell'energia dalla pianta ai livelli trofici superiori e presenta un pattern generale di strutturazione fortemente influenzato dall'età del substrato (Casola *et al.* 1987; Cebrian *et al.*, 1999).

Lo studio dell'intera comunità epifita delle lamine fogliari di *P. oceanica* risulta, quindi, essere uno dei passi fondamentali per la descrizione e l'interpretazione degli ambienti naturali in cui tale pianta vive.

Descrittori derivati

I seguenti parametri si ricavano mediante calcolo dalle misure e dalle osservazioni descritte nei paragrafi precedenti:

- ⇒ numero medio di foglie per fascio;
- ⇒ numero medio di foglie adulte o intermedie;
- ⇒ larghezza media delle foglie adulte e intermedie;
- ⇒ lunghezza media della base;
- ⇒ Coefficiente “A” di Giraud (1977), corrispondente alla percentuale di foglie che hanno perduto l'apice;
- ⇒ Indice L.A.I. (Leaf Area Index) di Drew (1971), corrispondente alla superficie fogliare per fascio o per mq

Tali parametri risultano essere in grado di descrivere la vitalità delle piante e le sue variazioni nel tempo; oppure dare informazioni sul livello d'impatto dell'ambiente naturale sulle foglie più lunghe, in quanto il risultato è funzione dello stress idrodinamico e del grazing a cui la pianta è sottoposta.

Considerata la irregolarità con cui si manifesta il fenomeno della riproduzione sessuata di questa pianta nel nostro bacino, la diversa frequenza con cui comunque il fenomeno si verifica alle diverse latitudini, le modalità estremamente dispersive del frutto, nonché la scarsa documentazione di germogli *in situ*, estremamente interessante risultano i dati riguardanti le modalità riproduttive di *Posidonia*. Nel corso dei campionamenti, dall'analisi fenologica e lepidocronologica si possono quindi rilevare presenze di peduncoli fiorali, infiorescenze o fruttificazioni. Da queste osservazioni si può derivare il tasso di fioritura (o fruttificazione) corrispondente alla percentuale di fasci recanti un peduncolo florale sul numero totale di fasci osservati (*in situ* va riportato in funzione della superficie di riferimento, generalmente un metro quadrato).

Descrittori fisiografici

Nel corso delle osservazioni a macro e mesoscala è importante rilevare alcuni aspetti della prateria che traducono bene lo stato di equilibrio della prateria stessa con l'ambiente circostante. Alcuni di questi sono eseguibili direttamente in immersione, altri mediante traduzione di sonogrammi o fotografie aeree.

Tipologia della prateria

- ⇒ valutazione del ricoprimento complessivo, intesa come la stima della percentuale di fondo ricoperto dalla *Posidonia* viva;
- ⇒ valutazione delle superfici di fondo a matte morta, intesa come la stima della percentuale di fondo ricoperta da matte morta riconoscibile, che si può dedurre dai sonogrammi;
- ⇒ valutazione delle superfici interessate da apparati erosivi, intesa come la stima della percentuale di fondo recante strutture da erosione come canali inter-matte, marmitte dei giganti, ecc.;
- ⇒ valutazione dello stato di “scalzamento” dei rizomi, che si effettua secondo le convenzioni di misura definite da Boudouresque *et al.* (1980) a seconda che si tratti di rizomi plagiotropi o ortotropi;
- ⇒ valutazione del portamento prevalente dei rizomi, intesa come la stima del rapporto tra rizomi plagiotropi e rizomi ortotropi su aree significativamente ampie.
- ⇒ annotazioni sulla presenza di alghe alloctone

Tipologia del limite inferiore della prateria

Si definisce limite inferiore di una prateria il punto in cui essa termina in profondità. Questo descrittore, secondo molti autori, è funzione dell'equilibrio che la prateria ha instaurato con i due principali fattori che governano la sua distribuzione verticale: l'intensità della radiazione luminosa e la sedimentazione.

Descrittori fisici accessori

È importante, ai fini della programmazione di uno studio sulla prateria, la notazione di alcune caratteristiche di meso e microscala concernenti il suo ambiente fisico, quali:

- ⇒ geo-morfologia della costa, tenendo conto in particolar modo di forti variazioni lineari del profilo;
- ⇒ distribuzione delle batimetrie tra 0 e -40 m (profilo del fondale);
- ⇒ caratteri geo-morfologici del fondale;
- ⇒ litologia e sedimentologia al contorno;
- ⇒ litologia e sedimentologia interna alla prateria con particolare riferimento alla granulometria del sedimento a) nel corpo della prateria, b) negli apparati erosivi, c) a monte e a valle del limite inferiore;
- ⇒ presenza di foci di corsi d'acqua;
- ⇒ presenza di scarichi urbani e/o industriali;
- ⇒ presenza di sbancamenti costieri o di attività di dumping;
- ⇒ presenza di modificazioni dell'idrodinamismo locale da ristrutturazioni della riva.

1.4 La produzione in *Posidonia oceanica*

Nel caso delle praterie di *P. oceanica* i valori della produzione e la risultante biomassa (intesa come peso di materiale vivente) sono stati stimati in passato con metodi basati principalmente sulla misura dell'intensità di fotosintesi (metodo dell'ossigeno, Ott, 1980; metodo del carbonio 14, McRoy, 1974) e sul tasso di crescita della biomassa (metodo della marcatura delle foglie, Zieman, 1974).

L'analisi della variazione nella concentrazione di diossido di carbonio (CO₂) o di ossigeno (O₂) nell'acqua di mare o l'incorporazione di carbonio marcato (metodo del ¹⁴C), però, non misurano realmente la produzione, ma danno solo i valori dei tassi di fotosintesi e spesso includono anche la produzione degli epifiti.

Il metodo proposto da Zieman (1974) per stimare la produzione primaria netta delle foglie di *Thalassia testudinum* Banks ex König venne poi esteso ad altre specie di fanerogame marine. Il principio di base è la marcatura delle foglie al di sopra del meristema basale e lo studio dello spostamento del marcatore nel tempo. Questo metodo, però, non tiene conto né dell'allungamento basale delle foglie, né delle loro variazioni di larghezza e di spessore; fattori questi che non possono essere trascurati.

Gli alti valori di produzione mostrati dalle praterie di *Posidonia oceanica* implicano, necessariamente, da parte della pianta, un'alta domanda di nutrienti ed un rapido turn-over dei componenti coinvolti nell'accrescimento della stessa. In effetti, il ciclo dei nutrienti nelle piante

marine è complicato dal fatto che esse sono capaci di utilizzare sia i nutrienti associati al sedimento, attraverso le radici, sia quelli presenti nella colonna d'acqua, mediante assorbimento da parte della superficie fogliare di altre sostanze dette supplementari. Quest'ultimo processo, evidenziato mediante l'analisi con traccianti radioattivi (isotopi di fosforo ed azoto), è governato da forze spingenti chimiche, cioè da gradienti osmotici. Tra i nutrienti supplementari e la produzione esistono complesse ed importanti interazioni e solo una certa considerazione dei primi permette la spiegazione del funzionamento del meccanismo di produzione delle piante marine e dell'ecosistema ad esse associato (Alcoverro *et al.*, 1997).

La tecnica lepidocronologica per la stima della produzione primaria (Pergent, 1987; Pergent *et al.*, 1989), oltre a considerare l'intera pianta, presenta sia il vantaggio addizionale di essere molto rapida e applicabile a qualsiasi profondità (dalla superficie al limite inferiore di distribuzione della specie, 30-40 m di profondità) sia quello di offrire la possibilità di stimare non solo la produzione attuale, ma anche quella passata.

Quando le foglie muoiono, solo il lembo fogliare viene perduto per distacco a livello della ligula. Le basi delle foglie restano attaccate al rizoma, soprattutto grazie al maggior contenuto in lignina che ne garantisce una più elevata resistenza meccanica. Con il tempo, poi, le basi si riducono in sottili "scaglie" che persistono sul rizoma, ricoprendolo come un manicotto e conferendogli un aspetto peloso (Pergent, 1987).

Lo spessore delle scaglie di *P. oceanica* (base fogliare persistente sul rizoma dopo la caduta del lembo), come tutta una serie di parametri anatomici delle scaglie, varia in maniera ciclica in funzione del loro rango di inserzione sul rizoma (Pergent, 1987; Pergent *et al.*, 1989).

L'origine di questi cicli non è aleatoria ed essi hanno un significato cronologico: ogni ciclo corrisponde ad un anno ed è riconducibile ad un ciclo annuale di crescita della pianta (Pergent, 1987). Tali variazioni dello spessore e della struttura anatomica delle scaglie sono state osservate in tutte le località studiate, per ogni profondità e periodo di prelievo (Pergent *et al.*, 1983; Mossé 1984) e rappresentano un carattere intrinseco della *P. oceanica*.

Ricerche di ordine quantitativo, semiquantitativo e qualitativo sui parametri anatomici della scaglie hanno evidenziato che le variazioni di spessore sono legate al numero di strati, alla taglia e alla forma delle cellule in esse presenti.

Fattori come profondità, idrodinamismo, inquinamento ed età del rizoma possono intervenire nel modificare il numero medio di strati di cellule dei tessuti di sostegno (sclerenchima) e di riempimento (parenchima), la ripartizione e la proporzione dei tanninoplasti, la forma delle cellule del mesofillo (intatte, parzialmente o totalmente schiacciate, completamente svuotate del contenuto citoplasmatico).

Queste variazioni sono evidenziate per entrambi i tipi di rizomi: ortotropi e plagiotropi (Pergent *et al.*, 1983; Mossé, 1984). Le sole differenze messe in evidenza sembrano tradurre diverse velocità fisiologiche o di crescita dei due tipi di rizomi e riguardano i parametri che caratterizzano i cicli (rango, periodo, spessore medio). In particolare la spiegazione del maggior spessore delle scaglie dei rizomi plagiotropi, rispetto a quelli ortotropi, è stata ricercata, a livello cellulare, mediante indagini sulla loro anatomia. Il numero massimo di cellule dello sclerenchima dorsale, benchè sembri variare in modo abbastanza importante da una scaglia all'altra, non è significativamente differente nei due casi. Al contrario, il numero medio di cellule del parenchima, sembra aumentare nelle scaglie dei rizomi plagiotropi. E' probabile che possano essere responsabili del fenomeno variazioni dello spessore delle cellule del parenchima, dello sclerenchima, o della stessa epidermide. Oltre a ciò, si deve considerare anche l'esistenza di uno scarto importante nella percentuale delle cellule a tannino: le scaglie dei rizomi plagiotropi sembrano esserne più povere. Queste differenze, comunque, non devono essere considerate definitive, in quanto un rizoma plagiotropo può trasformarsi in ortotropo e viceversa.

Le indagini sui rizomi plagiotropi, hanno posto l'accento anche sui rizomi ortotropi figli, che sembrano apparire abbastanza regolarmente lungo l'asse plagiotropo. E' stato evidenziato che ciascun rizoma ortotropo figlio presenta un numero di cicli di spessore identico a quello che si può riscontrare sull'asse plagiotropo tra il suo punto di inserzione e l'apice. Ciò conferma non solo che i cicli di spessore delle scaglie dei rizomi plagiotropi corrispondono ad un anno, ma anche che le variazioni cicliche hanno la stessa periodicità lungo i due tipi di rizomi. Le ramificazioni dei rizomi figli, sia sull'asse ortotropo che plagiotropo, non disorganizzano l'ordine di inserzione delle scaglie nè il loro ciclo di spessore ed in genere possono essere trascurate.

Il numero di scaglie compreso tra due minimi di spessore definisce un ciclo e corrisponde al periodo del ciclo stesso. Quest'ultimo numero è variabile: nel caso dei rizomi ortotropi può oscillare tra 5 e 11, mentre nei rizomi plagiotropi è sempre superiore a quello dei rizomi ortotropi. Il periodo del ciclo sembra essere influenzato soprattutto da fattori endogeni, (ad esempio il numero di scaglie è maggiore per cicli che mostrano rimanenze di steli fiorali, indicativi di precedenti fioriture (Pergent, 1990). Tuttavia possono essere osservate anche variazioni di origine esogena.

1.5 Scopo del lavoro

Alcuni descrittori strutturali (densità) e funzionali (fenologia, crescita e produzione primaria) della *Posidonia oceanica* possono essere utilizzati come indicatori di risposta integrata ad eventuali

fattori di disturbo (Pergent *et al.*, 1995). Per comprendere la dinamica delle praterie e l'evoluzione dei sistemi ambientali nei quali esse si sviluppano, viene spesso applicato il metodo lepidocronologico che, permettendo la determinazione dell'età di un numero significativo di rizomi, rappresenta un potente strumento ed una importante chiave di lettura di tali ecosistemi (Duarte *et al.*, 1994). Infatti, la ricerca di bioindicatori attraverso tale tecnica appare, anche alla luce della normativa nazionale ed europea più recente (D. Lgs. 152/99 e Direttiva UE CE 60/2000), un metodo di investigazione tra i più appropriati per valutare la qualità ed il livello di alterazione dell'ambiente marino costiero.

Le indagini lepidocronologiche riguardano l'individuazione della dinamica produttiva della prateria e rappresentano un valido descrittore dell'ecosistema *Posidonia* (Mossé, 1985). Una ricostruzione pluriennale della storia di un numero significativo di rizomi in una prateria, mediante tale metodo, consente di ottenere una rappresentazione della struttura e della dinamica della prateria nel corso degli anni (Boudouresque *et al.*, 1983a).

I risultati di precedenti ricerche hanno dimostrato che la tecnica lepidocronologica viene considerata rapida e precisa in confronto ad altre tecniche per calcolare la produzione primaria di una prateria di *P. oceanica* e, soprattutto, la sola che consenta di valutarne anche la produzione passata a partire da un solo prelievo di rizomi (Mossé, 1985; Pergent, 1990).

La scelta e l'utilizzo del descrittore adeguato e la sua corretta valutazione sono di estrema importanza in ricerche di monitoraggio: le caratteristiche biologiche della specie devono essere tenute nella giusta considerazione per essere certi che il parametro scelto descriva correttamente il sistema che si sta studiando.

Il lavoro di ricerca ha avuto come obiettivo l'approfondimento delle metodiche di stima della produzione di *Posidonia oceanica*, con lo scopo di implementare le conoscenze e di mettere a fuoco le criticità nell'uso di tale descrittore. L'attenzione è stata posta principalmente sui parametri desunti dalla tecnica lepidocronologica: produzione primaria fogliare intesa sia come numero di foglie prodotte per anno sia come peso secco della materia organica fogliare attuale e passata, produzione primaria del rizoma intesa come allungamento annuale medio e peso secco annuale medio.

Il monitoraggio delle praterie deve tener conto dell'interazione delle variabili ambientali che possono agire simultaneamente e interagire con le variazioni naturali a differenti scale spaziali.

Nel valutare lo stato di salute di una prateria si confrontano i valori di produzione ricavati dall'applicazione della tecnica lepidocronologica con quelli ritenuti "normali" ovvero il range di variazione assoluta di quei valori per altre praterie del Mediterraneo. Questo range di solito

rappresenta le condizioni di riferimento rispetto alle quali misurare eventuali scarti da far risalire a determinati impatti senza considerare il contesto spaziale e temporale in cui sono fatte le analisi.

Si è voluto, quindi, indagare quanto le variazioni nello spazio (naturali e legate alle diverse forzanti) di alcune variabili descrittive influenzino la possibilità di generalizzare i risultati ottenuti dal rilevamento dei descrittori sintetici dello stato di salute delle praterie.

Questo lavoro nasce dall'esigenza di predisporre un quadro sintetico relativamente all'uso e all'interpretazione dei parametri legati alla produzione anche tentando di individuare le risposte del sistema a livello di produzione alle situazioni locali e/o forzanti ambientali.

2. MATERIALI E METODI

L'attività ha previsto l'analisi di una vasta mole di dati acquisiti nel tempo nell'ambito di programmi differenti aventi come scopo lo studio delle praterie di *Posidonia oceanica*.

Il data set a disposizione proviene da varie campagne di studio svolte negli ultimi dieci anni da diversi gruppi di ricerca tra cui l'Università di Roma "Tor Vergata", la società Bioservice s.c.a.r.l. e dalle campagne di studio del progetto MATTM-CoNISMa denominato "RIPO".

I dati sono stati reperiti per la maggior parte nel bacino occidentale del Mediterraneo, con particolare riguardo al settore centro-settentrionale, e coprono tutto il gradiente di distribuzione batimetrica della *Posidonia oceanica*.

La quantità di dati, la loro molteplicità (descrittori di sistema, di pianta ecc..) e la loro dissimilarità (programmi con finalità differenti) hanno imposto una strategia di raccolta ed analisi. L'informazione disponibile è stata dunque attentamente valutata, sia in termini di affidabilità del dato, che in relazione alle metodiche adottate per il prelievo e l'analisi dei campioni, e rapportata ad un quadro di riferimento generale.

Un punto di forza del data set finale è rappresentato dalla uniformità metodologica con cui sono stati ottenuti i dati: gran parte provengono infatti da programmi di studio che hanno previsto una standardizzazione dei metodi di raccolta e di analisi dei campioni, ciò ha permesso di operare su dati ottenuti mediante le stesse metodiche; inoltre, importante per il confronto tra praterie, la maggior parte delle praterie sono state indagate mediante transetti di profondità costa-largo, con l'individuazione per ogni transetto di punti stazione corrispondenti alle tre zone in cui la prateria si lascia suddividere dal punto di vista ecologico:

- limite superiore (verso costa ad un'isobata variabile tra 3-5 m di profondità)
- zona intermedia (tra 10-15 m di profondità)
- limite inferiore (verso il largo, tra 20-35 m di profondità)

I descrittori dello stato di salute delle praterie selezionati ai fini dello studio sono principalmente quelli desunti dall'applicazione della tecnica lepidocronologica; inoltre, sono stati presi in considerazione i parametri relativi a densità dei fasci fogliari e superficie fogliare (indicatori a diversi livelli di organizzazione, livello di pianta e di prateria). Si riporta una breve descrizione della tecnica lepidocronologica per la stima della produzione primaria al fine di evidenziarne i passaggi principali.

2.1 Stima della produzione mediante analisi lepidocronologica

La lepidocronologia, tecnica di retrodatazione basata sulle variazioni di spessore delle basi fogliari, l'unica parte della foglia che rimane sul rizoma per tempi anche molto lunghi, permette l'individuazione di due minimi successivi di spessore che identificano un ciclo lepidocronologico, ciclo annuale di crescita della pianta. La possibilità di determinare rapidamente la produzione primaria attuale e passata delle foglie e dei rizomi della *P. oceanica* si basa sull'esistenza di correlazioni morfometriche tra alcuni parametri strutturali delle scaglie (lunghezza e spessore) e quelli dei lembi fogliari (lunghezza e peso) ancora vivi o ormai caduti (Mossé, 1985; Pergent, 1987).

Dopo la reidratazione dei rizomi campionati, le scaglie vengono staccate a partire da quella più distante dall'ultima foglia viva e successivamente numerate; quando le scaglie sono complete si prende la misura della loro lunghezza dal punto di inserzione sul rizoma al punto mediano dell'apice (ligula). Lo spessore delle scaglie viene misurato su sezioni delle medesime, effettuate a circa 10-12 mm dal punto di inserzione, al centro di ogni scaglia, vicino al fascio cribro-legnoso. Ogni volta che lo spessore raggiunge un minimo, il rizoma viene tagliato a livello dell'inserzione della scaglia con minimo di spessore. Si ottengono così una serie di segmenti corrispondenti ai vari anni, delimitati dai punti di inserzione di due scaglie con spessore minimo, per i quali si misura la lunghezza (Figura 1). Questi segmenti annuali vengono poi messi in stufa (70°C per 72 ore) e quindi pesati per determinarne il peso secco. Vengono prese, inoltre, le misure biometriche della foglia adulta più vecchia che, quindi, viene messa in stufa per calcolarne il peso secco (base e lembo separatamente) dopo averla ripulita dagli epifiti. Alcuni accorgimenti procedurali riguardano i fasci dicotomici (che andrebbero evitati già nel campionamento) e il rinvenimento di peduncoli fiorali. Le ramificazioni dei rizomi figli sull'asse non disorganizzano né l'ordine di inserzione delle scaglie né il loro ciclo di spessore e vanno trascurate. Di tali rizomi figli, durante l'analisi, viene solo segnalata la presenza e specificato il rango delle scaglie tra le quali sono compresi. Quando si incontrano peduncoli fiorali intercalati tra le scaglie (sono circondati da una brattea, occupano il posto di una scaglia ma hanno spessore maggiore, larghezza ridotta e possiedono una nervatura centrale ben visibile) il rango viene calcolato come se si trattasse di una scaglia, ma il loro spessore non è considerato.

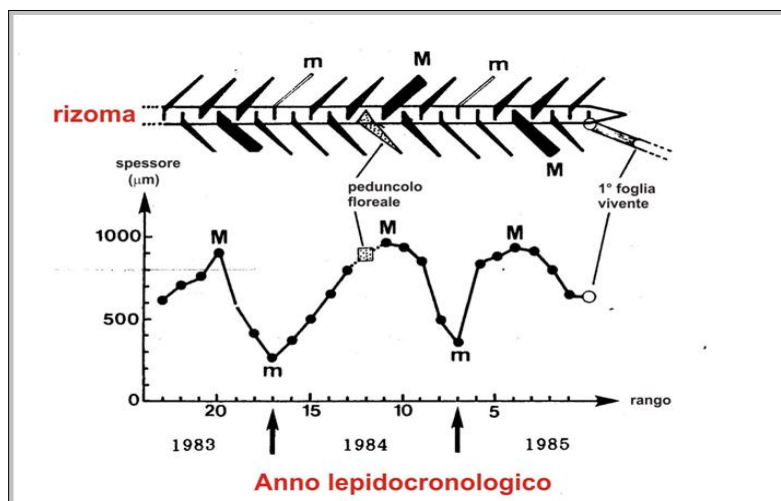


Figura 1. Tecnica lepidocronologica per l'identificazione dei minimi e massimi di spessore delle scaglie e per la determinazione dei cicli di crescita della pianta

La presenza di correlazioni morfometriche tra la lunghezza della scaglia e la lunghezza totale della foglia permette di stimare la biomassa media delle foglie che hanno vissuto in un dato ciclo annuale. La produzione primaria fogliare per fascio (P) viene calcolata con la seguente formula:

$$P = N * L * D$$

dove:

N = numero medio di foglie per fascio e per anno stimato mediante il calcolo della media del numero di scaglie presenti per ciclo annuale

L = lunghezza media annuale delle foglie, stimata dalla relazione tra la lunghezza media della foglia più vecchia (con apice integro) e la lunghezza media della sua scaglia

D = densità media annuale delle foglie più vecchie (mg/cm), corrispondente al rapporto del peso secco della foglia più vecchia per la sua lunghezza

La produzione fogliare è espressa in $\text{mg fascio}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, moltiplicando poi questo valore per la densità assoluta media della prateria ($\text{numero fasci m}^{-2}$) si ottiene la produzione espressa in $\text{mg m}^{-2} \text{ anno}^{-1}$.

La produzione del rizoma, espressa in $\text{mg fascio}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, è data dalla media dei valori di produzione dei segmenti annuali di rizoma, a questo si aggiunge l'allungamento annuale del rizoma come media della lunghezza dei segmenti annuali di rizoma (espressa in cm).

2.2 La base di dati

Il data set disponibile è stato sottoposto ad una fase di revisione che ha permesso di archiviare dati relativi a 30 praterie per un totale di quasi 700 siti di rilevamento:

REGIONE	PRATERIE	N° SITI
Liguria	Cogoleto	9
	Gallinara	9
	Mortola	6
	Pagana	6
	Manara	6
	Monterosso	6
Toscana	Meloria	15
	Vada	15
	Talamone	15
	Isola d'Elba	9
Lazio	Rosignano	140
	Santa Marinella	20
	Civitavecchia	130
	Tor Paterno	6
	Terracina	15
	Ventotene	15
	Marina di Tarquinia	7
Sardegna	Villasimius	16
	Capo Testa	10
	Porto Conte	50
	Olbia	28
	Sassari	4
	Golfo Aranci	28
	Alghero	48
Basilicata	Maratea	15
Puglia	Isole Tremiti	15
	San Pietro	15
	Alimini-Otranto	15
Sicilia	Trapani	5

Per ogni sito sono state archiviate le informazioni relative a: coordinate geografiche (gradi decimali), profondità, data di campionamento, tipologia del substrato di impianto, densità assoluta dei fasci fogliari.

I fogli elettronici relativi alle serie storiche analizzate contengono dati di produzione annua del rizoma e produzione fogliare annua.

Da qui è stato possibile archiviare per il rizoma oltre 13.000 dati, con le seguenti informazioni: anno lepidocronologico (numero di ciclo successivo all'anno di campionamento), n° scaglie per ciclo, lunghezza delle scaglie, lunghezza della sezione di rizoma, peso secco della sezione di rizoma.

Per quanto riguarda il fascio fogliare, dall'applicazione dell'analisi fenologica sono stati selezionati ed archiviati oltre 1.400 dati relativi all'ultima foglia con apice integro, con le seguenti informazioni: larghezza foglia, lunghezza totale foglia, lunghezza base, lunghezza tessuto verde, lunghezza tessuto bruno.

Infine, dall'integrazione dei dati di lunghezza e larghezza delle foglie adulte ed intermedie, si è ottenuto il valore di superficie fogliare per fascio, per tutti i siti analizzati.

Per i dati selezionati è stato importante risalire e archiviare l'informazione relativa al periodo di campionamento, il comparto fogliare in particolare, infatti, presenta una persistenza e un accrescimento variabili con la stagione, ne risulta che l'informazione che il descrittore rimanda deve essere "corretta" per un fattore stagionale che comprenda i periodi di minimo e massimo sviluppo. Inoltre, per la gran parte dei siti, è stato possibile derivare una serie di variabili che descrivono l'ambiente fisico della prateria e che individuano, in parte, il livello di impatto da informazioni sulle pressioni antropiche registrate nelle campagne di campionamento. In particolare la registrazione della presenza/assenza di immissioni, inquinamento e ancoraggio ha permesso di valutare, anche se non quantitativamente, la pressione presente nell'area costiera interessata che si può far risalire alle principali fonti di disturbo per le praterie di *Posidonia*.

2.3 Trattamento statistico-matematico dei dati

I dati relativi ai descrittori delle 30 praterie considerate (per un totale di quasi 700 siti) sono stati analizzati mediando sia dal punto di vista spaziale che temporale le misure. Ai valori medi calcolati sono state associate sia la variabilità della misura stessa, calcolata come deviazione standard (s):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

sia l'incertezza della stima del valore medio, definita come errore standard della media, ovvero:

$$s_r = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

L'errore standard (s_r), infatti, descrive l'incertezza nella stima di una media (o altro valore statistico), mentre la deviazione standard descrive la variabilità di misure effettuate della popolazione.

L'errore standard è, quindi, un valore direttamente correlato alla variabilità della misura ottenuta, tanto più piccolo è l'errore standard, tanto minore è la variabilità della misura, quindi tanto più attendibile è la statistica (es. una media, una percentuale, etc.).

Inoltre, dal data set archiviato è stato estratto, relativamente ad ogni descrittore considerato, l'insieme di dati che nella distribuzione di frequenza si trovano tra il percentile di grado 2,5 e il percentile di grado 97,5 al fine di escludere dal data set da analizzare i valori estremi. Definiamo percentili quei valori che dividono la distribuzione in 100 parti di uguale numerosità. Il p-esimo percentile di un insieme di dati è il valore per cui una percentuale pari a p delle osservazioni è inferiore o uguale a esso.

Per le elaborazioni si è fatto uso del programma statistico PAST ver. 1.91 (Hammer *et al.*, 2001).

Test di Wilcoxon

Il test di Wilcoxon è un test non parametrico che permette di confrontare le mediane di due set di dati indipendenti. È un'alternativa non-parametrica al test t di Student sulle differenze fra medie. Il test U assume che la variabile in considerazione sia stata misurata su una base almeno ordinale (come rango, quindi), ma può ovviamente essere applicato anche a dati quantitativi se si ritiene che le condizioni necessarie affinché il test t di Student possa essere applicato non siano soddisfatte (es. nel caso in cui la distribuzione dei dati non sia normale).

L'ipotesi nulla afferma che le due popolazioni di dati abbiano la stessa mediana.

Per calcolare la funzione U è necessario seguire alcuni procedimenti, indicati di seguito:

1. la totalità delle osservazioni (N totale) viene ordinata in ranghi, rispetto ad ogni gruppo;

2. i ranghi vengono, quindi, sommati indipendentemente per ogni gruppo di osservazioni (R_1 ed R_2);
3. si calcolano U_1 e U_2 in base alle seguenti formule:

$$U_1 = n_1 n_2 + [n_1 (n_1 + 1)/2] - \Sigma R_1 \qquad U_2 = n_1 n_2 - U_1$$

4. infine vengono presi in considerazione i valori più piccoli di U_1 e U_2 e confrontati con i valori critici per la funzione.

L'ipotesi nulla viene accettata se la probabilità p che i due set di dati siano confrontabili è maggiore di 0.05. Al contrario il risultato sarà statisticamente significativo se minore di tale soglia; nel caso in cui il valore di p risulti essere minore di 0.01, il risultato sarà considerato altamente significativo (Davis, 1976).

Test di Kruskal-Wallis

Il test di Kruskal-Wallis, detto anche analisi non parametrica della varianza per un criterio di classificazione, che può essere visto come l'estensione del test di Wilcoxon, fondato sui ranghi, è l'equivalente non parametrico dell'analisi della varianza ad un criterio di classificazione. E' uno dei test più potenti per verificare l'ipotesi nulla H_0 , cioè se k gruppi indipendenti provengano dalla stessa popolazione e/o da popolazioni che abbiano la medesima mediana.

La metodologia del test di Kruskal-Wallis è molto semplice e può essere schematizzata in alcuni passaggi.

1 – Per verificare l'ipotesi nulla che tutti i campioni abbiano la stessa mediana

$$H_0: meA = meB = meC = meD = meE$$

con ipotesi alternativa che almeno una sia differente o

H_1 : non tutte le mediane sono uguali

come nell'analisi della varianza ad un criterio di classificazione, i dati dei k gruppi a confronto possono essere riportati in una tabella.

I gruppi a confronto possono avere un diverso numero d'osservazioni.

2 - Tutte le osservazioni dei k gruppi devono essere considerate come una serie unica e convertite in ranghi, mantenendo la stessa forma della tabella.

Se sono presenti misure uguali, a ciascuna di esse deve essere assegnato il loro rango medio.

I confronti a posteriori sono stati effettuati mediante il test Mann-Whitney per individuare le coppie di confronti significativi al 5% (correzione di Bonferroni).

Correlazione

Il coefficiente di correlazione r di Pearson è strettamente legato alla covarianza ed esprime l'intensità della relazione lineare che lega due descrittori. Esso non è altro che una covarianza calcolata su dati standardizzati e può essere facilmente derivato, nel caso di dati non standardizzati, dalla covarianza e dalle varianze dei due descrittori.

Così come la covarianza, anche la correlazione r di Pearson è una misura parametrica di dipendenza, i cui parametri sono la media e la deviazione standard dei descrittori. Il coefficiente di correlazione r di Pearson varia da -1 a 1: questi limiti si ottengono per serie di dati esattamente proporzionali, rispettivamente in maniera inversa e diretta. Il coefficiente di correlazione r di Pearson può essere sottoposto ad un test per verificare se esso differisce significativamente dallo zero. A questo fine si calcola la probabilità di ottenere un valore di r pari a quello osservato nel caso in cui i due descrittori siano totalmente indipendenti fra loro e si considera significativa la correlazione se questa probabilità è sufficientemente piccola (es. $p < 0.05$). Per far ciò si utilizza il seguente rapporto, che è distribuito come un t di Student. La probabilità di ottenere un valore di r pari a quello osservato in assenza di correlazione lineare fra i descrittori è quella associata al valore di t ottenuto, con $n-2$ gradi di libertà. La non significatività della correlazione lineare non implica l'indipendenza dei descrittori, i quali possono essere legati da relazioni di ordine superiore.

Per alcune analisi di correlazione, vista la tipologia dei dati, è stata utilizzata la Correlazione di Spearman e Kendall τ . Questi test di rango non parametrici sono utilizzati per valutare la correlazione tra due variabili (descrittori) attraverso una permutazione basata su 1000 repliche ed hanno come fine la verifica dell'ipotesi nulla di indipendenza fra i descrittori. Il coefficiente di correlazione di rango r di Spearman corrisponde ad un coefficiente di correlazione r di Pearson calcolato sui ranghi dei dati anziché sui dati bruti e può essere ottenuto come segue:

$$r_{jk} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n}$$

dove d è la differenza tra il rango della j -ma osservazione per il descrittore j e quello per il descrittore k .

Il coefficiente r di Spearman si applica nel caso di relazioni in cui deve essere verificata la monotonicità, anche se di tipo non lineare e la “robustezza” della correlazione di rango in condizioni di non linearità delle relazioni fra descrittori è la caratteristica che rende particolarmente interessante l'applicazione di questo tipo di coefficiente (Scardi, 2001).

Il coefficiente τ di Kendall è definito come segue:

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$$

dove n è il numero delle osservazioni ed S è il numero delle coppie di osservazioni che, ordinate per ranghi crescenti relativamente alla prima variabile hanno anche rango crescente per la seconda variabile, a cui si sottrae il numero di coppie di osservazioni per cui il rango relativo alla seconda variabile è invece decrescente.

Regressione

La regressione può essere definita come un metodo statistico che consente di descrivere la relazione quantitativa tra la variabile supposta dipendente (Y) e una o più di una, assunta come indipendente (X). Si parla di regressione lineare quando i valori della Y rappresentati in funzione della X possono essere descritti con una retta, ed essa è semplice se si considera una sola variabile indipendente.

La regressione lineare semplice è esprimibile mediante un'equazione contenente una sola variabile esplicativa:

$$Y = a + bX$$

E' questa l'equazione di una retta, nella quale il coefficiente a, intercetta, rappresenta il punto in cui la retta incontra l'asse delle Y; mentre b è il coefficiente angolare. Il segno di b indica il verso dell'inclinazione della retta e il suo valore assoluto indica il grado di inclinazione. Il parametro b è chiamato coefficiente di regressione e misura la variazione della Y quando X varia di una sola unità.

Quando vengono portati in diagramma i valori sperimentali di Y, misurati in corrispondenza di certi valori di X, si ottiene una nuvola di punti; in queste condizioni adattare un modello teorico alle osservazioni sperimentali, ovvero interpolare una linea retta tra questi punti, non è cosa semplice. Fra tutti i metodi a disposizione per calcolare i coefficienti di una regressione lineare, quello più usato è quello dei minimi quadrati.

I valori della variabile dipendente, calcolati mediante l'equazione della retta di regressione, differiscono in genere da quelli sperimentali di una quantità r, chiamata residuo. Questi coefficienti devono essere scelti in modo che i valori dei residui r siano quanto più possibile piccoli, per raggiungere questo fine basti porre che la somma degli scarti dei punti osservati dalla retta sia la minore possibile.

I coefficienti calcolati con il metodo dei minimi quadrati rendono minima non solo la somma degli scarti ma anche la somma del quadro degli scarti ovvero la varianza, che come sappiamo, è un parametro assai più efficace per giudicare in qual modo la retta calcolata si adatti ai dati reali (Davis, 1976).

Viene, infine, testata la significatività dei valori così trovati mediante l'analisi della regressione lineare.

Asse maggiore ridotto

L'Asse Maggiore Ridotto è un metodo statistico che consente di descrivere la relazione lineare tra due variabile quando queste covariano, quindi non possiamo considerarne una indipendente e l'altra dipendente, o comunque quando entrambe sono affette da errore. L'asse maggiore ridotto considera sia l'errore della X che quello della Y: è la bisettrice dell'angolo formato dalla retta di regressione della X sulla Y con quella di regressione della Y sulla X.

L'asse maggiore minimizza la somma dei quadrati delle proiezioni dei punti sull'asse maggiore

Il calcolo implica:

- Calcolo delle regressioni Y su X e X su Y e quindi

$$b_{RMA} = \sqrt{b_{Y-f(X)} / b_{X-f(Y)}}$$

– Calcolo delle somme dei quadrati SS_x e SS_y o delle varianze

$$b_{RMA} = \sqrt{SS_y / SS_x} = \sqrt{S_y^2 / S_x^2}$$

Nel presente lavoro, per ottenere una stima dei valori medi della variabile L, lunghezza della foglia, al variare della variabile sc, lunghezza della scaglia, è stato utilizzato l'asse maggiore ridotto e non la retta di regressione standard, in quanto il primo algoritmo minimizza gli errori di misura, sia nella lunghezza della scaglia (sull'asse delle x), che nella lunghezza del lembo (sull'asse delle y).

Analisi della varianza

Il modello più semplice di analisi della varianza, che può essere visto come un'estensione del test t di Student a più campioni indipendenti, è detto ad un criterio di classificazione: ogni dato è classificato solo sulla base del trattamento o del gruppo al quale appartiene.

L'obiettivo dell'analisi della varianza è quello di valutare se la variazione introdotta dal fattore in esame è significativamente superiore rispetto alla variabilità naturale tra osservazioni. Ciò significa, formalmente, esaminare l'ipotesi nulla nella forma

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_i = \dots \mu_a$$

dove μ_i rappresenta la media parametrica su cui è centrata la distribuzione di frequenza da cui proviene il campione di osservazioni dell' i -esimo livello del fattore. Le medie parametriche sono stimate dalle corrispondenti medie campionarie (x_i indica la media stimata dai dati campionari per l' i -esimo livello del fattore). L'analisi di H_0 procede attraverso la scomposizione algebrica della variabilità totale del sistema

Nell'analisi della variazione della produzione con determinate variabili ambientali è stata inoltre utilizzata l'analisi della varianza a due fattori. Questa è una procedura statistica per testare l'ipotesi nulla che diversi campioni univariati abbiano la stessa media tra ciascuno dei due fattori e che non ci sia dipendenza (interazione) tra fattori. Si assume che i campioni abbiano una distribuzione normale e una varianza simile. Se le dimensioni dei campioni sono uguali, questi due assunti non sono critici.

Analisi multivariata

Le tecniche di analisi multivariata permettono di affrontare problemi di interpretazione che coinvolgono simultaneamente molte variabili.

Al fine di ridurre la complessità dei dati ad un livello interpretabile, è stata applicata sia all'intero set di dati sia ad una selezione delle variabili, una tecnica di classificazione multivariata: l'analisi delle Componenti Principali. L'Analisi delle Componenti Principali può essere considerata come una tecnica di organizzazione e semplificazione di una serie di dati multivariati. Lo scopo è quello di ridurre il volume di un set di dati in un numero di relazioni più piccolo, senza una perdita significativa nel contributo delle variazioni delle singole variabili.

La PCA (Principal Component Analysis) trasforma una serie di variabili N in un nuovo set di N componenti principali non correlati tra loro, e graficamente rappresentati secondo assi perpendicolari tra loro. Esistono tante componenti principali quante sono le variabili esaminate ma, ai fini dell'indagine statistica ne vengono impiegati normalmente non più di 3 o 4 o comunque in funzione della varianza totale degli stessi. Dalla PCA si calcolano gli eigenvector ed eigenvalue (il termine eigen ha radice germanica, e significa caratteristico); l'eigenvector fornisce la direzione in

cui l'associazione delle variabili è più allungata, le proiezioni dei dati degli eigenvector sono le componenti principali, i corrispondenti eigenvalues forniscono un'indicazione dell'ammontare dell'informazione che le componenti principali rappresentano.

Riassumendo, gli eigenvector corrispondono agli assi dell'ellissoide ottenuto dalla matrice di valori originari, e gli eigenvalues corrispondono alla lunghezza di questo asse.

Ciascun eigenvector possiede i contributi di ciascuna variabile analizzata, e analogamente, ogni variabile apporterà contributi differenti agli eigenvectors. Esistono principalmente due metodi di estrazione a partire dai dati grezzi:

- il primo, utilizza la matrice Varianza/Covarianza; questa viene impiegata nel caso in cui le variabili presentano una varianza simile ed una stessa unità di misura;
- il secondo, prende in considerazione la matrice di correlazione, che risulta essere equivalente alla matrice varianza/covarianza dei valori standardizzati. Geometricamente questo metodo produce una compressione dell'asse ottenuto dalle variabili aventi una grande varianza e stira l'asse cui corrisponde una piccola varianza del valore delle variabili. In genere viene impiegato quando i dati sono espressi con differenti unità di misura.

Test di Mantel

Il Test di Mantel consente di ottenere una misura del grado di correlazione esistente fra due matrici di distanze (di cui una può essere di tipo geografico) o di similarità (Mantel, 1967). L'ipotesi nulla che viene testata è quella di indipendenza fra le due matrici analizzate, mentre il livello di probabilità relativo al valore della statistica viene calcolato sulla base di una procedura iterativa. La statistica Z di Mantel, che esprime il grado di correlazione fra la struttura delle due matrici, si calcola come la somma dei prodotti degli elementi corrispondenti delle due matrici di distanza, esclusi quelli sulla diagonale. Se gli elementi di ciascuna delle due matrici vengono preventivamente centrati e standardizzati, allora la statistica di Mantel (indicata in questo caso come R) risulta standardizzata ed assume lo stesso significato e lo stesso intervallo di variazione di un coefficiente di correlazione di Bravais-Pearson. Il livello di probabilità associato al valore della statistica di Mantel si calcola sulla base di una procedura iterativa che prevede la permutazione casuale delle righe e delle colonne di una delle due matrici ed il ricalcolo della statistica di Mantel per un numero sufficientemente alto di volte. Il valore della statistica ottenuto per le matrici originali viene confrontato con la distribuzione empirica di quelli ottenuti ripetendo il calcolo su matrici permutate aleatoriamente: la percentuale delle iterazioni in cui si è ottenuto un valore

inferiore a quello originale corrisponde al livello di probabilità di quest'ultimo. Dal punto di vista pratico si rigetterà l'ipotesi nulla di indipendenza fra le matrici se almeno il 95% o il 99% dei valori ottenuti per le matrici permutate è inferiore (o superiore) a quello originale. Questo tipo di procedura consente, inoltre, di ottenere anche un'altra forma di standardizzazione della statistica di Mantel, che non richiede di intervenire sulle matrici originali. Questa standardizzazione, proposta da Hubert, si effettua riscalandolo il valore originale di Z rispetto al minimo ed al massimo ottenuti durante la procedura iterativa di permutazione delle matrici e ricalcolo di Z , che vengono assunti come estremi teorici della variazione della statistica (e cioè come -1 e 1, rispettivamente). Il significato di questa forma di standardizzazione è interessante soprattutto perchè essa viene effettuata in rapporto alla specifica natura delle matrici sottoposte al test: in altre parole anche una correlazione debole, purchè sia realmente la migliore ottenibile sulla base dei dati originali, fa assumere a R un valore pari a 1 (che corrisponderà, evidentemente ad un livello di probabilità $P(R)$ prossimo al 100%). Dunque, questa forma di standardizzazione fornisce una misura del livello di correlazione relativa fra le matrici analizzate, mentre quella precedentemente illustrata fornisce una misura assoluta.

In questo lavoro di tesi è stato effettuato il test di Mantel, centrando e standardizzando gli elementi di ciascuna delle matrici messe a confronto, ed utilizzando la distanza euclidea come misura di distanza per le matrici trasformate.

3. RISULTATI

L'attività di ricerca ha dato la possibilità di raccogliere ed analizzare una grande quantità di dati derivanti da diverse campagne di studio, volte ad indagare differenti aspetti delle praterie di *Posidonia oceanica*. I parametri analizzati riguardano principalmente la produzione della *Posidonia* e derivano dall'applicazione della tecnica lepidocronologica.

Le analisi lepidocronologiche hanno come oggetto la determinazione dei cicli annuali di produzione attraverso l'identificazione dello spessore delle porzioni basali delle foglie (scaglie), che permangono lungo i rizomi anche per molti anni dopo la caduta delle foglie stesse.

In pratica, vengono ricercati i minimi relativi nell'andamento dello spessore delle scaglie e l'intervallo fra di essi viene considerato come espressione di un ciclo annuale, sia come numero di foglie prodotte sia come accrescimento del rizoma. Essendo basata sull'analisi di parti che permangono a lungo sui rizomi, la lepidocronologia consente di ricostruire all'indietro nel tempo delle serie storiche di produzione primaria relativamente lunghe (in media tra i 10 ed i 20 anni, ma con la possibilità di arrivare a 30 ed oltre).

3.1 Relazione lunghezza base/lunghezza foglia

Per quanto riguarda la produzione fogliare, la tecnica lepidocronologica consente la stima dei valori relativi ad anni passati grazie alla permanenza sul rizoma della base delle foglie, dalla quale si può risalire al ciclo di formazione annuale delle foglie, e grazie alla relazione esistente tra la lunghezza della scaglia, che permane sul rizoma, e la lunghezza del lembo che è andato perduto. Ai dati morfometrici è stata in genere applicata la regressione lineare dei minimi quadrati che permette di stimare la pendenza e l'intercetta della relazione tra la base e la lunghezza totale della foglia più esterna con apice integro. Si usa la regressione se c'è una relazione di dipendenza fra due variabili, ovvero se il valore di una variabile (dipendente) si può determinare come funzione di una seconda variabile (indipendente). Infatti la regressione analizza la natura e l'intensità di una relazione lineare fra due variabili, di cui una dipende dall'altra (o almeno una è misurata senza errore, o con un margine di errore molto più piccolo dell'altra).

La lunghezza della foglia e la lunghezza della scaglia, invece, sono grandezze che covariano, quindi i valori dell'una possono essere utili per stimare i parametri di una relazione lineare fra queste grandezze utilizzando l'asse maggiore ridotto.

Quest'ultimo considera sia l'errore della X che quello della Y: è la bisettrice dell'angolo formato dalla retta di regressione della X sulla Y con la retta di regressione della Y sulla X.

Dal data set relativo alla morfometria dell'ultima foglia con apice integro (1940 dati) sono stati eliminati i valori estremi, più precisamente quelli che nella distribuzione di frequenza ricadono a sinistra del percentile di ordine 2,5 e a destra del percentile di ordine 97,5.

Utilizzando il data set così ottenuto (1493 dati) è stata, quindi, stimata la lunghezza media annuale del lembo mediante l'asse maggiore ridotto tra la lunghezza del lembo delle foglie adulte più vecchie con apice integro e la lunghezza delle scaglie (è stata considerata la misura del lembo e non della foglia totale al fine di mantenere separate le variabilità delle due misure di lunghezza della scaglia e della foglia).

La possibilità di determinare rapidamente la produzione primaria attuale e passata delle foglie e dei rizomi della *P. oceanica* si basa, come già detto, sull'esistenza di correlazioni morfometriche tra alcuni parametri strutturali delle scaglie (lunghezza e spessore) e quelli dei lembi fogliari (lunghezza e peso) ancora vivi o ormai caduti (Mossé, 1985; Pergent, 1987).

Dopo aver calcolato l'equazione dell'asse maggiore ridotto tra lunghezza scaglia e lunghezza foglia, è stato quindi possibile stimare la biomassa delle foglie ormai cadute sulla base della lunghezza delle scaglie integre ritrovate sul rizoma, secondo la formula:

$$P=N*L*D$$

N: numero di foglie prodotte per anno

D: densità del tessuto fogliare

L: lunghezza media delle foglie

dove $L = a+b*sc$

e rappresenta la lunghezza totale della foglia, per includere nella stima della produzione anche il contributo della base.

A tal proposito bisogna sottolineare che, conoscendo la forma della relazione funzionale tra due variabili, è possibile stimare il valore della variabile y (lunghezza della foglia) conoscendo quello della x (lunghezza della scaglia) (interpolazione) solo nel range di x usato per il calcolo dell'equazione della retta. In altre parole non è corretto estrapolare, cioè effettuare stime, all'esterno del reale campo d'osservazione. Al di là dell'aspetto puramente statistico, nel caso dei dati relativi alle foglie di *Posidonia*, considerando la dinamica di formazione (meristema basale, differenziamento della base nel tempo: il lembo è il primo ad accrescersi e solo in un secondo

periodo compare la base che dalla ligula si allunga verso il basso) si deve sottolineare che valori troppo bassi o troppo alti di lunghezza della scaglia non possono essere presi in considerazione.

Ciò ha permesso di giungere alla valutazione della produzione fogliare annuale per fascio ($\text{mg fascio}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) in 237 siti appartenenti a 18 praterie ripartite lungo il gradiente batimetrico di distribuzione della *Posidonia oceanica*.

Per evidenziare le differenze nell'uso dei due metodi a livello di produzione fogliare stimata è stato effettuato un confronto riportando le coppie di dati riferiti ad ogni singola stazione su un grafico xy. I diagrammi di dispersione di tali valori intorno alla retta di pendenza unitaria (Figura 2) mostrano come, in genere, i dati derivanti dall'applicazione dell'asse maggiore ridotto (RMA) abbiano una variabilità più ampia e una dispersione minore intorno alla retta di pendenza unitaria, descrivendo meglio i valori di produzione rispetto ai dati derivanti dall'applicazione della regressione lineare (REG) - con l'asse maggiore ridotto si osserva una tendenza verso stime un po' più alte per i valori di produzione elevati ed un po' più basse per i valori di produzione più contenuti. La significatività delle differenze tra le mediane dei valori ottenuti con REG e con RMA è stata verificata mediante il test non parametrico di Wilcoxon, che è stato applicato per tutti i casi considerati.

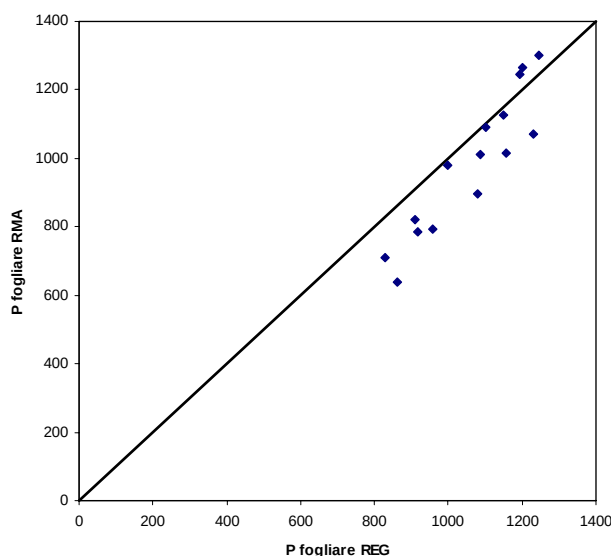


Figura 2. Produzione calcolata con i due metodi nelle 14 stazioni della prateria delle Tremiti (Wilcoxon test, $p: 0,00858$)

A supporto di tale risultato si riporta la dispersione dei valori di produzione fogliare ottenuti con i due metodi nel caso della prateria di Tor Paterno (Figura 3); si nota come, essendo i valori di

produzione stimata inferiori a circa 1000 mg fascio⁻¹ anno⁻¹, il dato RMA risulta sempre inferiore al dato REG.

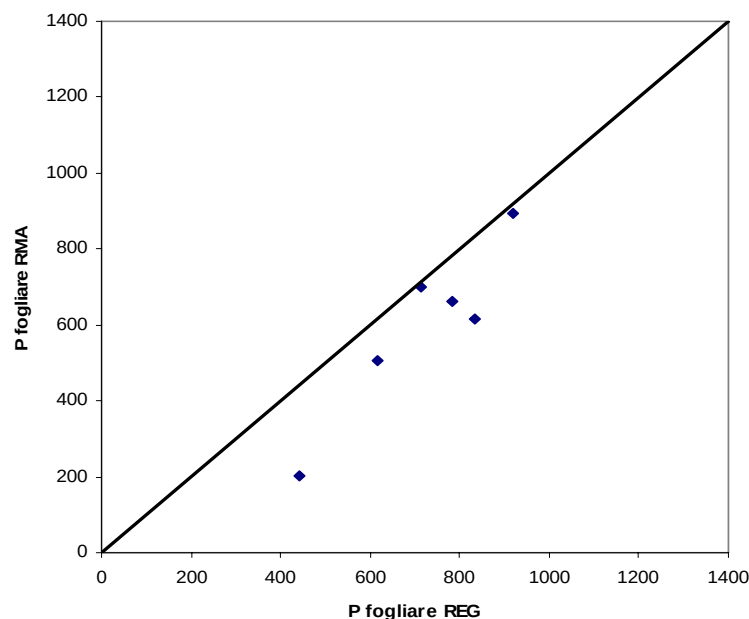


Figura 3. Produzione calcolata con i due metodi nelle 6 stazioni di Tor Paterno (Wilcoxon test, $p: 0,03226$)

Dall'analisi della letteratura risulta che la produzione fogliare della *Posidonia oceanica* stimata con la tecnica lepidocronologica in mg fascio⁻¹ anno⁻¹, varia in un intervallo compreso tra 310 e 1840 (Pergent Martini *et al.*, 1994; Cebrian & Duarte, 2001). Si è voluto quindi procedere a quantificare le differenze tra i due metodi utilizzati per la stima della produzione fogliare delle praterie considerate.

Il risultato è restituito nel grafico di Figura 4 in cui, utilizzando i dati della prateria di Terracina come esempio, i valori di produzione fogliare stimati con metodo RMA sono stati plottati contro i rispettivi valori stimati con metodo REG. I punti che cadono al di sopra della diagonale sono quelli per cui il metodo RMA ha stimato valori più elevati rispetto al metodo REG e viceversa. Gli scarti tra i valori possono essere apprezzati graficamente rispetto alle linee diagonali tratteggiate. Quelle in tratto e punto comprendono gli scarti inferiori a 200 mg fascio⁻¹ anno⁻¹ in valore assoluto, mentre quelle in tratteggio semplice comprendono quelli il cui scarto, sempre in valore assoluto, non supera i 600 mg fascio⁻¹ anno⁻¹.

I valori 200 e 600 rappresentano la differenza rispettivamente tra i percentili di grado 2,5 e 97,5 delle due stime di produzione.

Come si può ben osservare la differenza nella stima di produzione per alcuni siti supera i 600 mg fascio⁻¹ anno⁻¹.

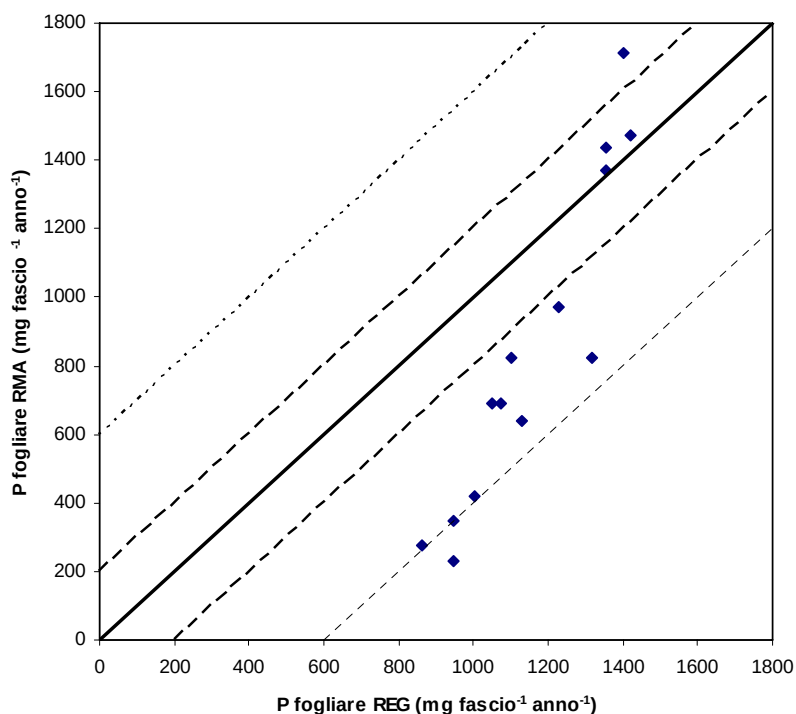


Figura 4. Valori stimati di produzione fogliare: confronto fra asse maggiore ridotto (RMA) e regressione (REG)

Il confronto tra le osservazioni è stato evidenziato mediante la rappresentazione sintetica dei diagrammi box-plot, in Figura 5 è riportata la produzione stimata nelle 14 stazioni della prateria di Terracina. Nei box-plot si osserva un evidente spostamento della mediana, dei quartili centrali e dei valori massimo e minimo. La dispersione dei valori calcolati mediante RMA è più ampia ed è quindi verosimile che questo metodo sia più sensibile. Ovviamente, in assenza di una validazione vera e propria (il dato reale era e resta sconosciuto) si tratta di una ipotesi.

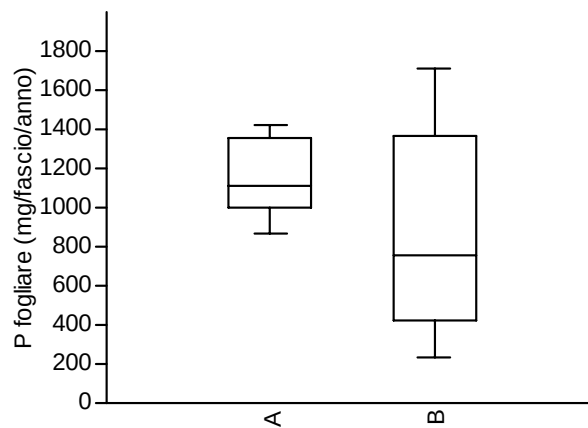


Figura 5. Diagramma box-plot dei valori di produzione fogliare stimati con metodo REG (A in figura) e con metodo RMA (B in figura).

La significatività delle differenze di produzione calcolate con i due metodi è stata testata attraverso il test di Wilcoxon, test che valuta la significatività delle differenze in base al confronto delle mediane tra due distribuzioni quando i dati non sono parametrici. In particolare è stata usato un test basato su permutazioni aleatorie, invece di usare le tabelle di riferimento. Dunque, il livello di probabilità con cui si può mantenere o rigettare l'ipotesi nulla di uguali mediane viene generato ricalcolando la statistica di Wilcoxon dopo aver rimescolato un elevato numero di volte i dati fra le due serie, e vedendo quante volte la statistica originale viene superata da quella ottenuta rimescolando i dati.

I confronti sono stati effettuati tra coppie di valori relativi alle stazioni appartenenti alla stessa prateria. Nella gran parte dei casi l'ipotesi nulla di mediane identiche è stata rigettata con valori di $p < 0.05$, $p < 0.01$ e in alcuni casi $p < 0.001$ (vedi Tabella 1) ed è quindi possibile concludere che i diversi valori di produzione trovano riscontro nella diversa modalità di interpolare i dati da parte dei due metodi utilizzati.

	W	Z	Monte Carlo p
Tor Paterno	21	2,201	0,0322
Terracina	93	2,542	0,0087
Tremiti	105	2,556	0,0080
Ventotene	54	2,701	0,0037
Santa Marinella	77	2,981	0,0009
Vada	120	3,408	7,00E-05
Meloria	105	3,296	0,0001
Cogoleto	35	2,38	0,0157
Talamone	105	3,296	0,0001
Otranto	98	2,856	0,0023
San Pietro	101	3,045	0,0009
Maratea	80	1,136	0,2785
Gallinara	24	0,1777	0,913

Tabella 1. Risultati del test di Wilcoxon condotto sui dati di produzione fogliare ottenuti con i due metodi (REG e RMA)

Dopo questi primi aggiustamenti del metodo lepidocronologico, lo studio ha previsto l'analisi delle variazioni stagionali della relazione base-lembo. Data l'importanza delle variazioni stagionali nella dinamica di crescita fogliare (ritmo di formazione, numero e crescita delle foglie, produzione primaria) appare necessario studiare, parallelamente alle misure di produzione primaria, anche l'evoluzione mensile del grado di associazione della base e del lembo.

Spesso, infatti, dal singolo campionamento annuale, mediante la tecnica lepidocronologica, vengono derivati i valori di produzione medi annuali. Il ciclo di formazione e crescita fogliare determina necessariamente una differenza nella relazione tra le variabili base e lembo in funzione del periodo considerato. Si è voluto quindi indagare l'andamento temporale della relazione base-foglia; in questo caso, al fine di mantenere separate le variabilità della lunghezza della base da quella della lunghezza della foglia, la relazione è stata considerata tra base e lembo.

Lo stesso data set costituito da 1493 dati morfometrici relativi alla foglia più vecchia con apice integro è stato suddiviso in modo da aggregare i dati secondo la stagione di campionamento gen/mar, apr/giu, lug/set, ott/dic, ed è stato effettuato un RMA. Si è evidenziato (Figura 6) che nella stagione invernale (gen/mar) la relazione base-lembo mostra un coefficiente di correlazione lineare r pari a 0.229 e la relazione è significativa con $p < 0.05$; nei mesi primaverili la relazione diventa più forte con $r = 0.5683$ (significativa per $p < 0.001$), relazione che si mantiene nei mesi estivi pur con minore intensità ($r = 0.3882$; $p < 0.001$) per poi diminuire nei mesi autunnali ($r = 0.15406$; $p < 0.01$).

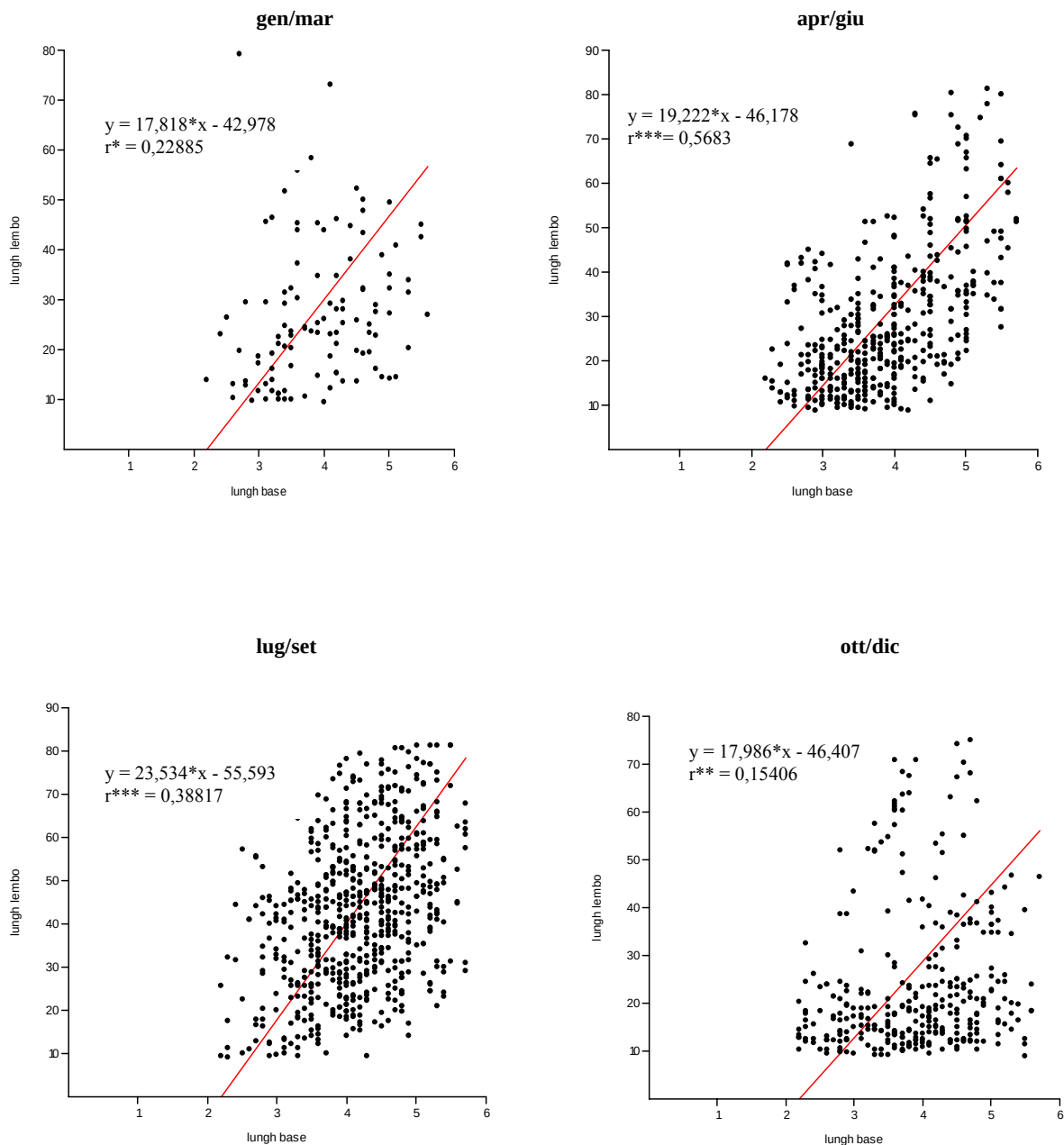


Figura 6. RMA tra lunghezza base e lunghezza lembo, in base alla stagione di campionamento; sono riportate le equazioni dell'asse maggiore ridotto, il valore del coefficiente r e la significatività della relazione così codificata: $*$ = $p < 0,05$; $**$ = $p < 0,01$; $***$ = $p < 0,001$.

Per approfondire tale andamento la matrice di dati è stata ripartita in funzione del tempo aggregando i dati, a partire dal mese di gennaio, ogni tre mesi e spostando la finestra temporale di un mese. Si è proceduto, quindi, ad effettuare un'interpolazione lineare dei dati mediante asse maggiore ridotto tra la lunghezza media delle foglie adulte più vecchie con apice integro e la lunghezza media delle scaglie. Si riportano graficamente (Figura 7) i valori della pendenza dell'asse maggiore ridotto calcolato facendo scorrere la finestra temporale di un mese sulla matrice di dati.

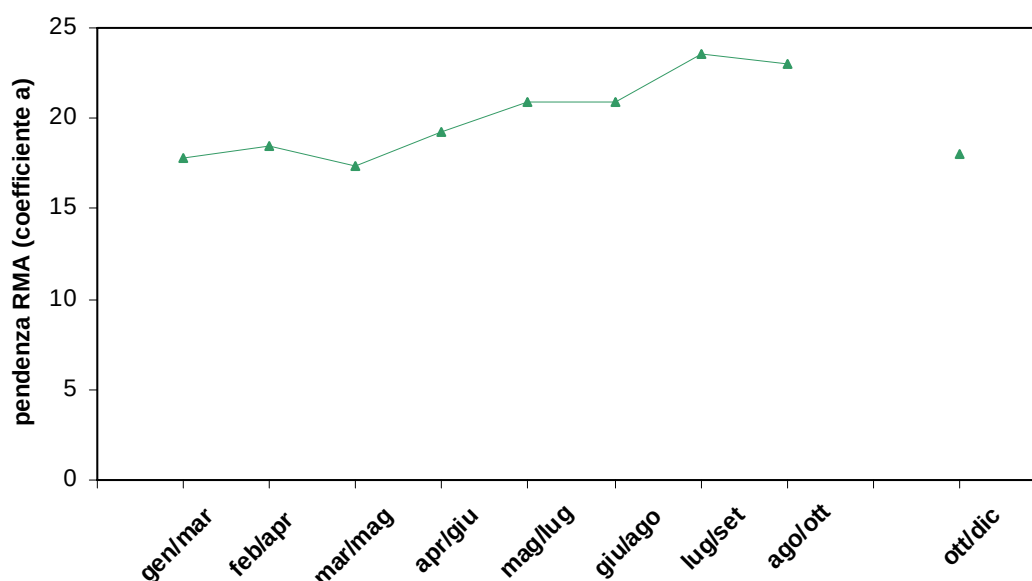


Figura 7. Andamento stagionale dei valori della pendenza dell'asse maggiore ridotto tra lunghezza foglia e lunghezza scaglia

La pendenza dell'asse maggiore ridotto altro non è se non il rapporto fra la lunghezza della scaglia e quella della foglia e quindi nel grafico si nota molto chiaramente come la lunghezza delle foglie, a parità di lunghezza della base (e quindi anche in assoluto) aumenti dalla primavera alla tarda estate, per diminuire in inverno. Questo risultato non ha nulla di sorprendente, ma conferma, grazie alla sua aderenza all'evidenza empirica, che i dati disponibili rappresentano correttamente gli esiti della dinamica di accrescimento stagionale della pianta.

È stato messo in evidenza (Buia, 2004) come la relazione lembo-scaglia sia stata verificata solamente per una determinata fascia batimetrica (Pergent *et al.*, 1994) e la sua estensione a profondità differenti meriterebbe uno studio apposito prima di qualunque eventuale utilizzo.

Per completare quindi lo studio e analizzare l'effetto della profondità sulla variabilità dei parametri morfometrici, la relazione base-lembo è stata indagata suddividendo il data set per fascia batimetrica. Le fasce prese in considerazione sono 4, così codificate:

- fascia 1: <10 m
- fascia 2: <15 m
- fascia 3: <20 m
- fascia 4: >20 m

In tal modo si è lavorato su quattro matrici di dati, quelle relative alla fascia batimetrica 1 e alla 2 contengono dati raccolti in tutte le stagioni (da gennaio a dicembre, escluso novembre, Figura 8),

nella matrice relativa alla fascia 3 (Figura 9) i dati provengono da campionamenti effettuati tra aprile e ottobre e per la fascia 4 (Figura 10) tra giugno e dicembre.

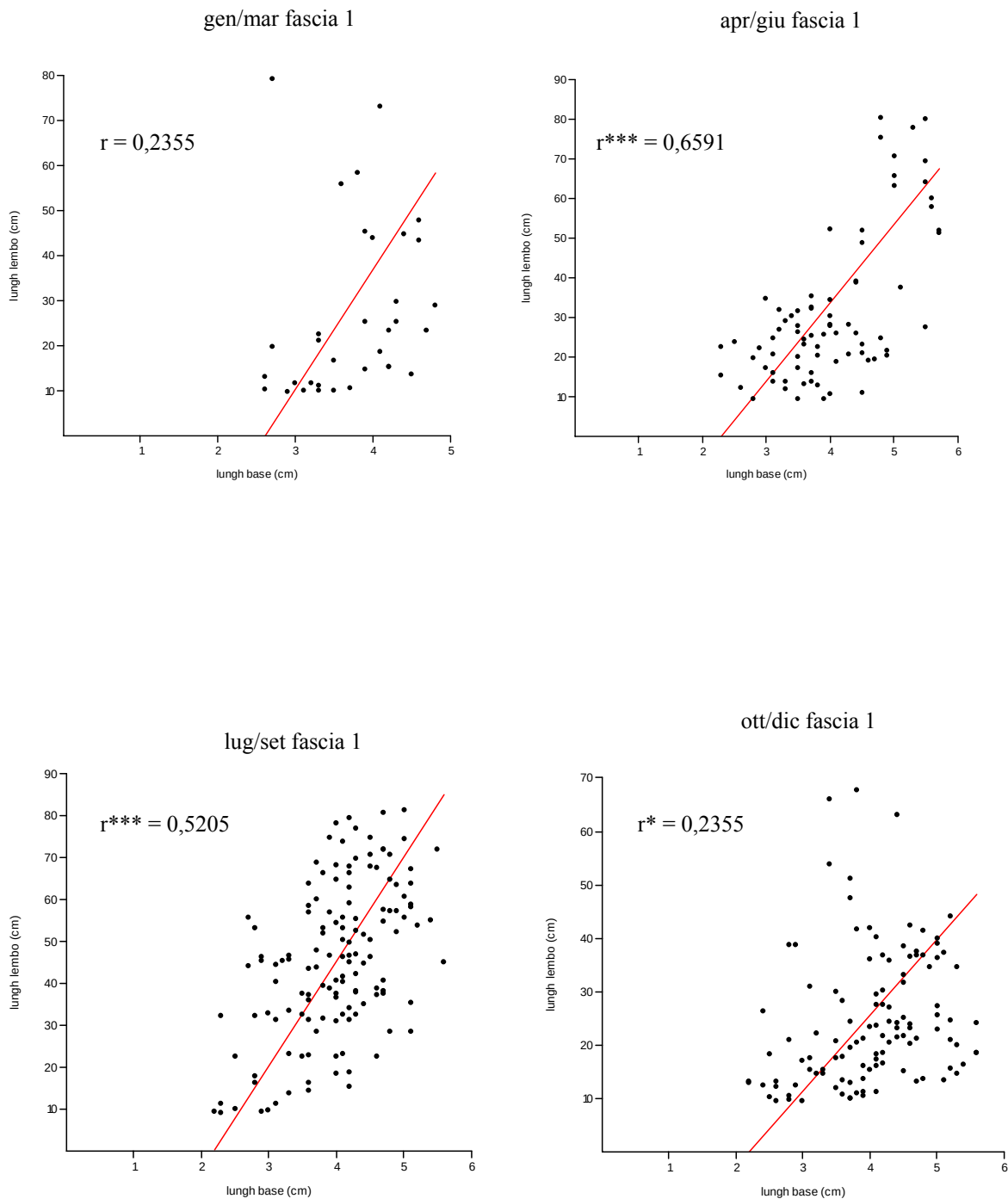
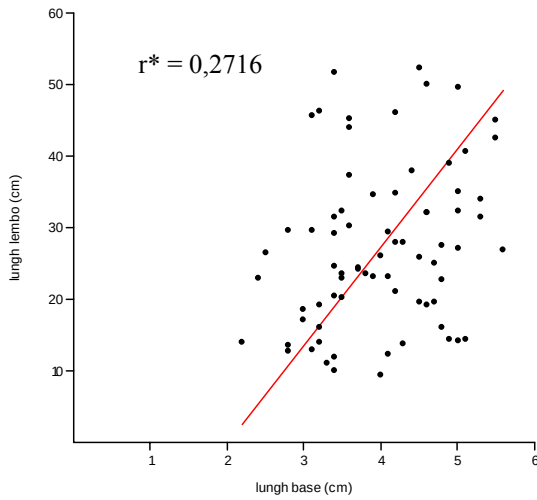
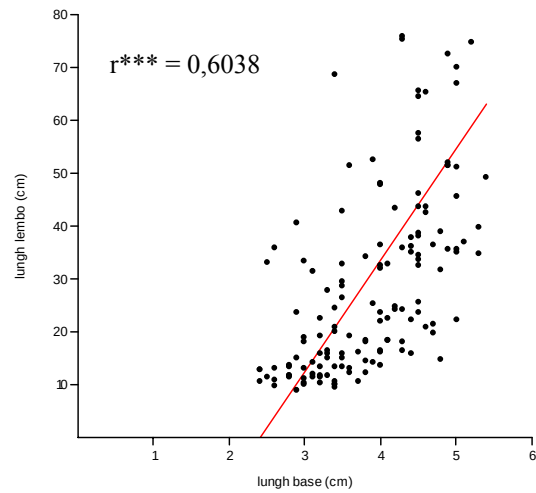


Figura 8. Relazione base-lembo per la fascia batimetrica 1; sono riportati i valori di r e il livello di significatività (*= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$)

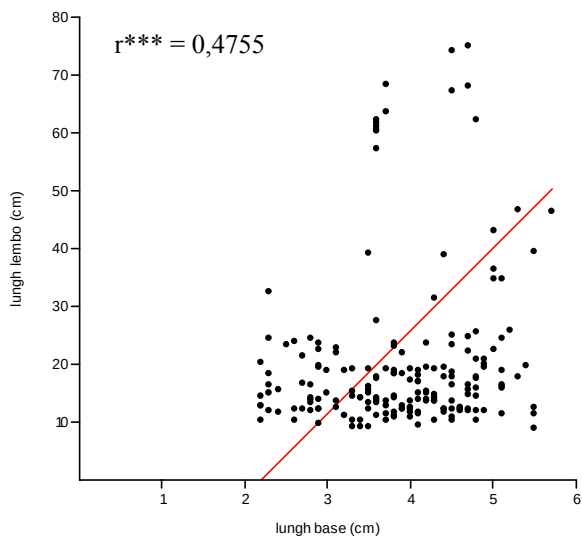
gen/mar fascia 2



apr/giu fascia 2



lug/set fascia 2



ott/dic fascia 2

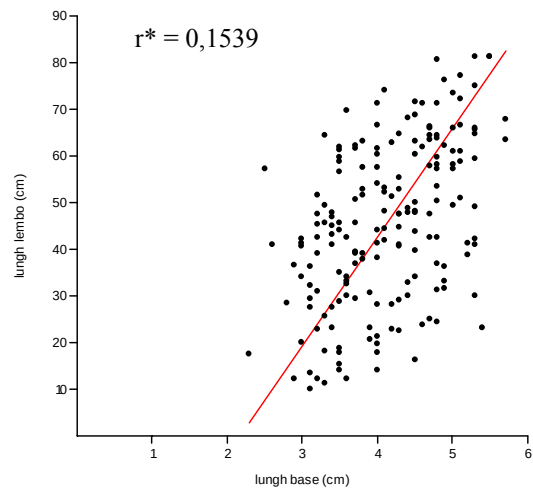
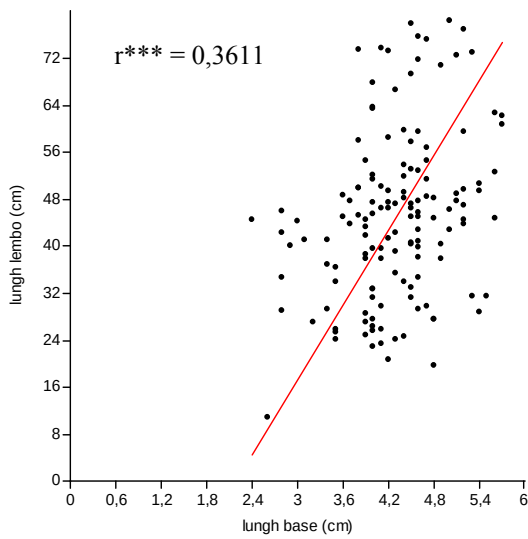
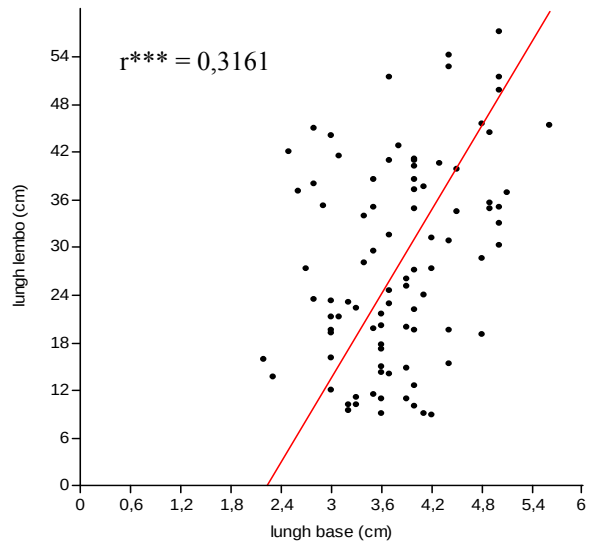


Figura 9. Relazione base-lembo in funzione della stagione per la fascia batimetrica 2; sono riportati i valori di r e il livello di significatività (*= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$)

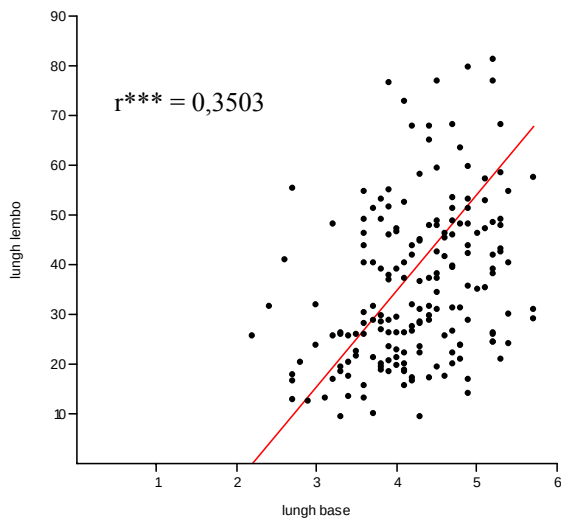
apr/giu fascia 3



lug/set fascia 3



lug/set fascia 4



ott/dic fascia 4

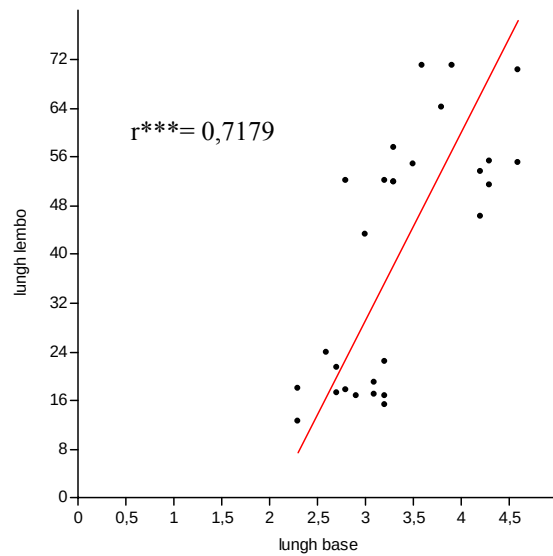


Figura 10. Relazione base-lembo in funzione della stagione per le fasce batimetriche 3 e 4; sono riportati i valori di r e la significatività (*= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$)

L'analisi della relazione base-lembo mostra alcune lievi differenze tra fasce batimetriche; alle profondità minori (fino a 15 metri) la variazione nell'intensità della relazione, in funzione della stagione, è confrontabile: la relazione raggiunge l'intensità maggiore nei mesi primaverili ($r=0,6$) e risulta significativa con $p<0,001$, mentre tende a diminuire nei mesi autunnali e invernali; per il data set relativo alla fascia 3 (profondità compresa tra 15 e 20 metri) nei mesi primaverili l'intensità della relazione è inferiore ($r=0,3$) pur essendo ampiamente significativa ($p<0,001$); nella fascia 4, infine, si nota uno sfasamento temporale nell'intensità della relazione lineare base-lembo: l'intensità maggiore si ha nei mesi autunnali. Nonostante il data set relativo alla fascia più profonda contenga un minor numero di dati e quindi l'aggiunta di un valore leggermente diverso potrebbe spostare la pendenza della retta e la significatività della relazione, questo ultimo risultato è probabilmente correlato allo sfasamento, nel ciclo vegetativo di produzione delle foglie, esistente tra le praterie profonde e quelle superficiali.

Al fine di tenere conto della variazione stagionale nella relazione base-lembo, per i campionamenti effettuati nei mesi autunnali e invernali nella stima della produzione fogliare viene considerata l'equazione della retta generale che considera tutti i dati insieme (Figura 11).

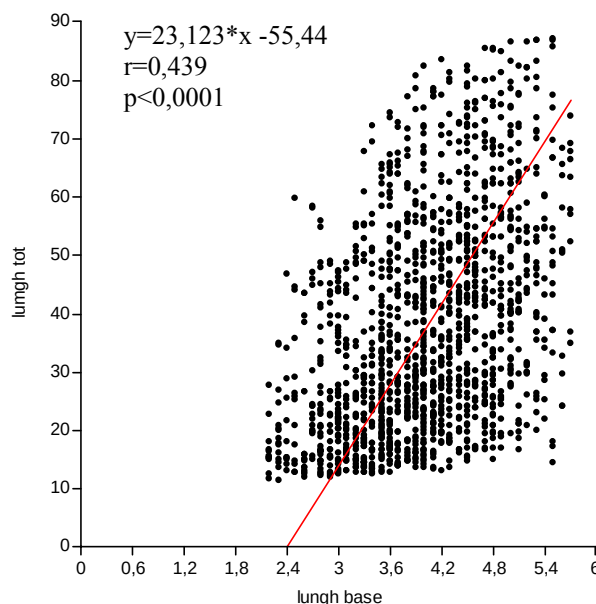


Figura 11. Asse maggiore ridotto tra la lunghezza della base e quella totale considerando i dati per tutte le stagioni di campionamento; si riporta l'equazione della retta, il coefficiente r e la significatività p .

Per la prateria dell'Isola d'Elba (campionata nel mese di gennaio) e di Santa Marinella (campionata a dicembre), ad esempio, l'asse maggiore ridotto tra lunghezza base e lunghezza totale dà un valore di r molto basso e la relazione non risulta significativa ($p > 0,05$) (Figura 12). Nel calcolo della produzione fogliare, la lunghezza della foglia sarà stimata utilizzando l'equazione della retta generale ($y = 23,123 \cdot x - 55,44$).

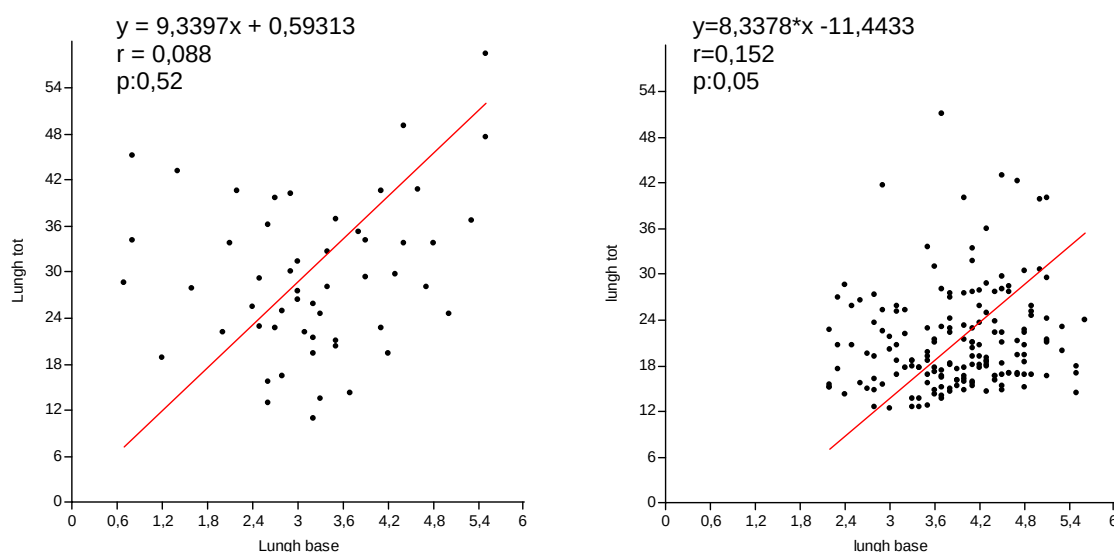


Figura 12. RMA tra base e foglia per le praterie dell'isola d'Elba (campionamento di gennaio) e di Santa Marinella (campionamento di dicembre).

3.2 Relazione peso secco/lunghezza rizoma

Un parametro indicativo della produzione della pianta, riferito alla sola porzione del rizoma, che rappresenta strutturalmente il fusto della pianta, è individuato nel tasso di crescita del rizoma (cm anno^{-1}) che indica l'allungamento medio annuo realizzato dal rizoma. A questo si aggiunge il valore di produzione del rizoma (g p.s. anno^{-1}) che rappresenta l'incremento ponderale medio annuo, espresso in grammi di sostanza secca, prodotto dal rizoma di ciascuna pianta.

I valori di produzione del rizoma (allungamento e g p.s.) sono stati desunti dall'analisi lepidocronologica, che permette di stabilire l'anno di formazione di una data sezione di rizoma, svolta sui rizomi appartenenti agli stessi fasci fogliari dai quali è stata stimata la produzione fogliare. Il data set è quindi costituito dai dati relativi ai 237 siti appartenenti alle 30 praterie considerate.

Sono stati archiviati un totale di 12.856 dati (95% della distribuzione) relativi ai segmenti di rizoma prodotti in un ciclo lepidocronologico; per ogni record sono memorizzati i dati di produzione annua del rizoma, di allungamento annuo, di numero di scaglie annuo e di ciclo lepidocronologico, ogni record inoltre è riconducibile ad uno preciso sito con le relative informazioni (coordinate geografiche, profondità, data di campionamento, densità assoluta, tipo substrato, ...)

Dall'analisi dei dati relativi alla produzione del rizoma in base al ciclo lepidocronologico si evidenzia un generale incremento del peso secco procedendo dal ciclo più recente e per gli ultimi tre anni, ben apprezzabile nei grafici di Figura 13.

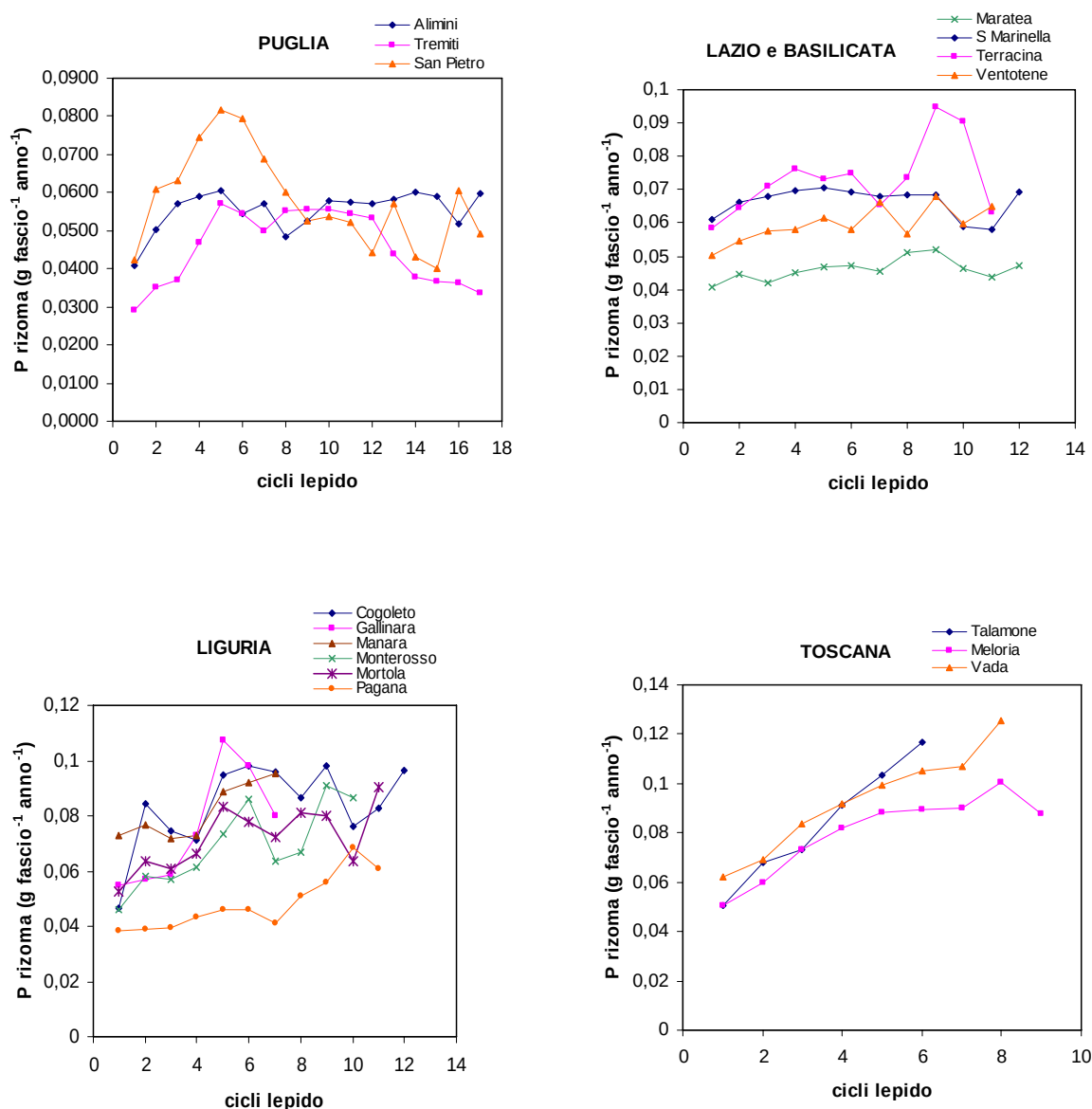


Figura 13. Variazione del peso secco del rizoma in funzione del ciclo lepidocronologico

L'incremento del peso nei primi anni è dovuto al fatto che la crescita e la formazione dei rizomi si completa soltanto dopo 3-4 anni; a rinforzare tale ipotesi il fatto che nel confronto tra cicli di lunghezza internodale evidenziati attraverso la tecnica del plastochrone interval e cicli lepidocronologici, Peirano (2002) evidenzia che l'andamento di tali cicli risulta in fase solo dopo gli ultimi tre anni di crescita del rizoma, proprio in relazione alle significative variazioni nella produzione del rizoma e al suo allungamento nei tre anni più recenti quando probabilmente il rizoma deve ancora completare la sua crescita e lignificare definitivamente (Boudouresque *et al.* 1983b).

È sembrato appropriato, quindi, per le successive analisi relative alla produzione del comparto ipogeo, considerare i valori di produzione annuale del rizoma omettendo nel computo i tre anni più recenti di retrodatazione.

Per valutare se tale approccio fosse corretto, è stata creata una matrice unica con tutti i dati di produzione dei segmenti di rizoma relativi ai singoli cicli lepidocronologici; in questo caso sono stati considerati i dati provenienti dalle praterie campionate lungo transeetti di profondità nelle tre stazioni (superficiale, intermedia e profonda) in modo da avere dati omogenei tra loro. La regressione tra peso secco e cicli lepidocronologici, aggregati ogni tre anni e facendo slittare la matrice ogni volta di un anno, ha permesso di ricavare la pendenza della retta di regressione che, nell'equazione $y=a+bx$ misura la variazione della y (p.s. dei segmenti di rizoma) quando la x varia di una sola unità. Riportando in un diagramma box-plot i valori della pendenza della retta (Figura 14) si evidenzia che la mediana dei valori di pendenza è sempre positiva per i primi tre raggruppamenti di cicli (le lettere sull'asse delle ascisse rappresentano i raggruppamenti di cicli A=1,2,3 B=2,3,4 C=3,4,5 D=4,5,6 ecc...), ciò sta a significare che fino al terzo anno i valori di peso secco contro il ciclo sono rappresentati da una retta con pendenza positiva a conferma di una fase di crescita in cui si trova il rizoma nei tre anni più recenti.

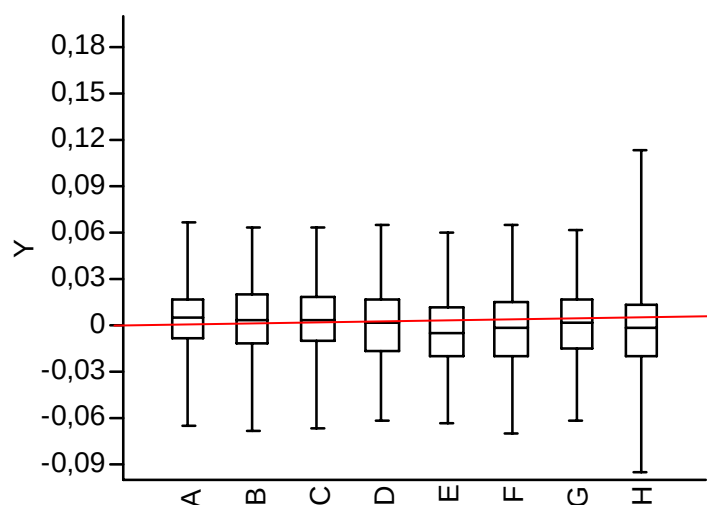


Figura 14. Diagramma box-plot dei valori di pendenza della retta di regressione tra p.s. dei segmenti di rizoma e cicli lepidocronologici aggregati ogni tre anni.

Per approfondire l'andamento della crescita ponderale del rizoma negli anni passati, si è proceduto a normalizzare la produzione del rizoma in funzione della sua lunghezza.

Riportando in un grafico di dispersione i valori del rapporto P.s./L (espresso in g/cm all'anno) in funzione del ciclo lepidocronologico si nota una generale diminuzione di tale rapporto a partire dal decimo ciclo e verso i cicli più vecchi (Figura 15).

Romero *et al.* (1992), attraverso la tecnica lepidocronologica, hanno derivato il tasso di decadimento del tessuto associato. Lo studio ha evidenziato una leggera perdita di peso dopo l'ottavo anno, che gli autori hanno messo in relazione alla perdita di funzionalità del rizoma.

Questa tendenza è ben visibile per quelle praterie in cui si hanno serie storiche di produzione del rizoma abbastanza lunghe (fino a 17 anni per le praterie della Puglia) ma anche negli altri casi si nota che tra l'ottavo e il decimo anno circa si assiste ad una diminuzione di tale rapporto - il peso del rizoma diminuisce per unità di lunghezza.

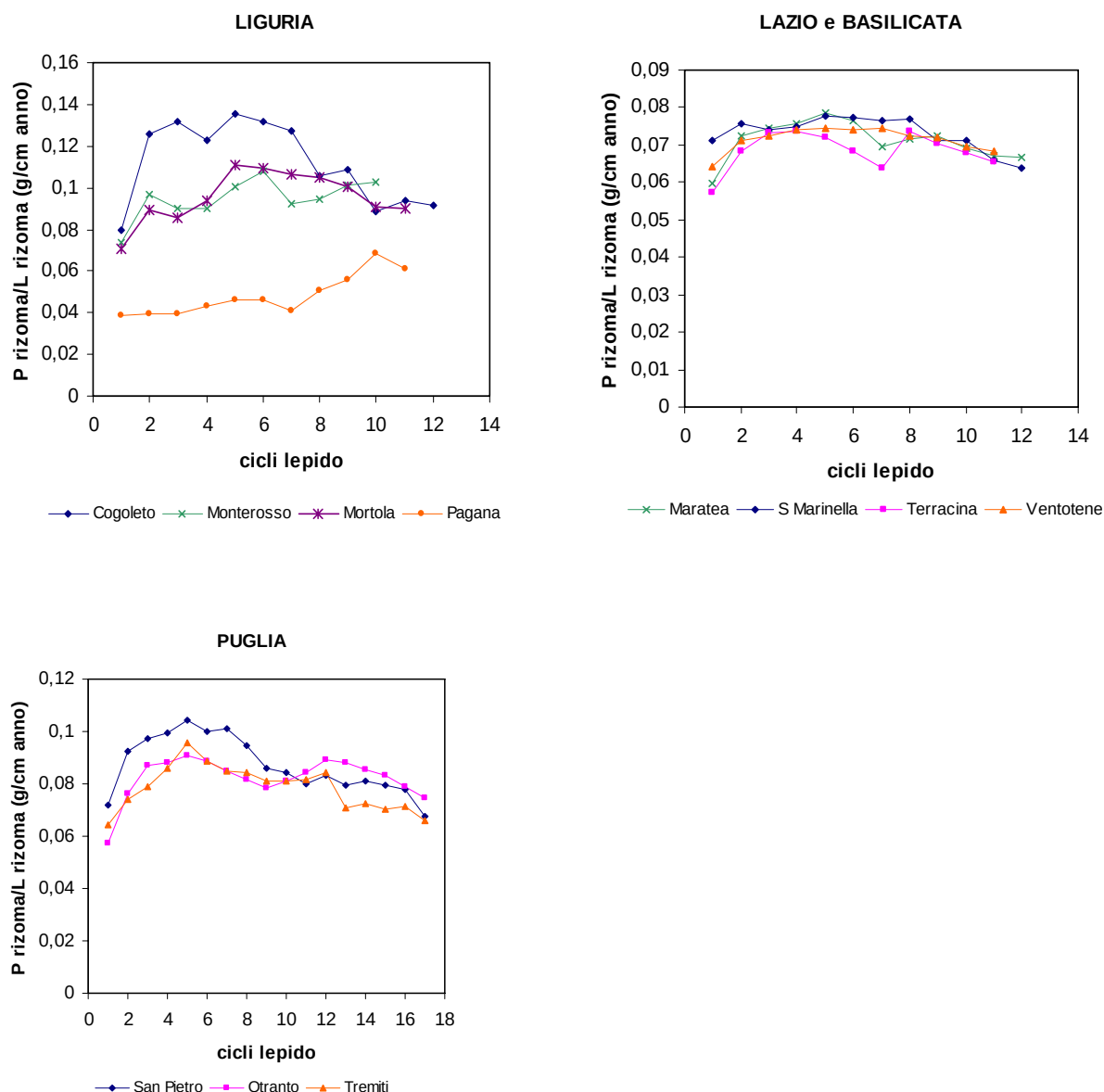


Figura 15. Valori del rapporto peso secco/lunghezza del rizoma per ciclo lepidocronologico. Non sono riportate le praterie con serie storiche di produzione del rizoma inferiori a 10 anni

Riportando i valori di produzione del segmento compreso tra il terzo e il decimo ciclo contro la produzione dell'intero rizoma si nota che, come da considerazioni fatte, eliminando i primi tre cicli e quelli successivi al decimo si tende ad avere valori di produzione generalmente inferiori rispetto a quelli ottenuti considerando l'intero segmento. La dispersione dei punti nel grafico xy di Figura 16, infatti, si trova per la gran parte al di sotto della retta di pendenza unitaria. Il test di Wilcoxon evidenzia, inoltre, differenze significative tra le mediane ($p < 0,001$) dei valori di produzione così ottenuti.

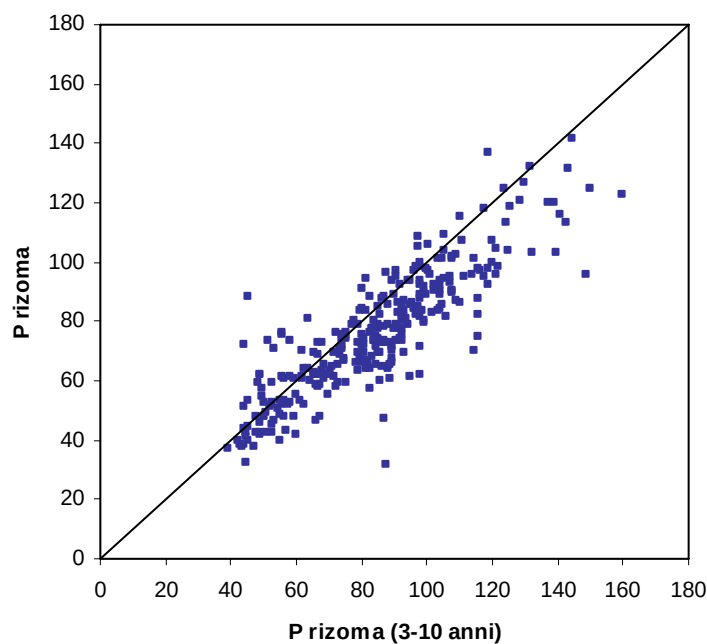


Figura 16. Produzione del rizoma (segmento 3-10 anni) contro produzione del rizoma per intero. Test Wilcoxon per le differenze tra le mediane, $p < 0.00001$

Tenendo conto della modalità di accrescimento ponderale del rizoma, quindi, il data set è stato corretto: nel calcolo del valore medio di produzione annua del rizoma sono stati considerati solo i valori relativi ai segmenti compresi tra il terzo e il decimo anno.

3.3 La densità del tessuto fogliare

La densità del tessuto fogliare (D) è stata sempre stimata come rapporto tra il peso secco della foglia più vecchia (che ha terminato la sua crescita) e la sua lunghezza, quindi espressa in mg/cm. Concettualmente, però, la densità del tessuto fogliare è il peso secco per unità di superficie e varia in funzione della larghezza e dello spessore delle foglie (Thelin & Giorgi, 1984). Per ottenere le stime di produzione fogliare, comunque, poiché nel calcolo $P = N * L * D$ la misura della larghezza della foglia adulta sarebbe presente al denominatore della densità (peso secco/larghezza*lunghezza) e al numeratore della L stimata (lunghezza*larghezza), si omette direttamente tale misura.

Nel presente studio, comunque, i valori di D corretti in funzione della larghezza media delle foglie adulte (mg/cm^2), sono stati utilizzati al fine di verificare le variazioni di tale parametro secondo alcune forzanti del sistema.

3.4 Considerazioni sulla superficie fogliare

Utilizzando i dati fenologici, ad ogni foglia adulta più vecchia con apice integro è stato associato il valore di superficie fogliare per fascio (calcolato come somma della superficie fogliare delle adulte e delle intermedie). Il parametro superficie fogliare è stato oggetto di discussioni nell'ambito del Progetto Interreg IIIB MEDOCC "POSIDONIA: messa in coerenza, sviluppo, armonizzazione e convalida dei metodi per la valutazione della qualità dell'ambiente litoraneo, mediante il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica*". Gli autori (AA.VV., 2007) hanno concordato nel ritenere la superficie fogliare un parametro più esplicito rispetto al LAI (Leaf Area Index) in quanto quest'ultimo, essendo legato alla densità dei fasci fogliari, risulta maggiormente integrato.

La superficie fogliare rappresenta quanto è stato prodotto in termini di allungamento, allargamento e numero di foglie (considerando solo adulte e intermedie), ma essendo il dato una fotografia di un preciso momento (è riferito ad un solo campionamento annuale) bisogna tenere presente la variazione stagionale di tale parametro. Infatti, la componente di informazione spiegata dalla dimensione delle foglie (lunghezza e larghezza) è legata alla stagionalità dei ritmi di crescita delle stesse (Figura 17 A).

Un'altra componente dell'informazione viene spiegata dal rapporto della superficie fogliare con la profondità, verificabile dall'analisi della correlazione dei ranghi di Spearman che mostra un valore di r pari a 0,273 con $p < 0,001$. Infine, la componente di informazione derivante dal numero di fasci al metro quadro è verificabile mettendo in grafico la superficie fogliare contra la densità assoluta per fascia batimetrica (Figura 17 B). L'analisi della correlazione dei ranghi di Spearman evidenzia come la quantità di superficie fogliare sia direttamente correlata alla densità assoluta dei fasci fogliari (Tabella 2).

Le variazioni di questi due parametri (descrittori della pianta e del sistema) possono ritenersi risposte integrate alle variazioni ambientali.

Correlazione di Spearman		
	DENSITA'/SF	PROFONDITA'/SF
r	0,149	0,273
p	0,0022	<0,001

Tabella 2. Correlazione dei ranghi di Spearman della superficie fogliare con densità e profondità

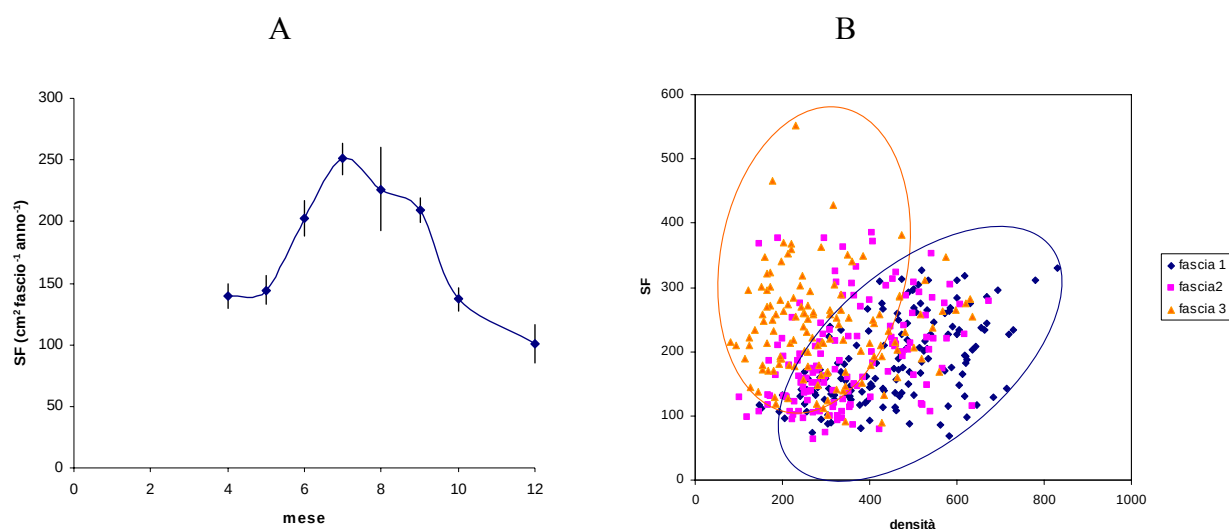


Figura 17. Valori di superficie fogliare in funzione del mese di campionamento (A) e in funzione della densità per fascia batimetrica (B)

Le variazioni dei valori di superficie fogliare verranno considerati nel seguente paragrafo analizzando la produzione della *Posidonia oceanica* nel complesso.

3.5 Analisi della produzione in *Posidonia oceanica*

La struttura delle praterie (densità, produzione e parametri biometrici) mostra in genere grande variabilità a diverse scale spaziali (Panayotidis *et al.* 1981), numerosi fattori modulano tale eterogeneità spaziale e la loro interdipendenza e molteplicità rende complesso lo studio della dinamica delle praterie. La disponibilità in nutrienti può condizionare la distribuzione e la struttura della prateria per i suoi effetti sul contenuto dei tessuti, sulla produzione e quindi sulla biomassa fogliare (Pergent-Martini *et al.*, 1995; Alcoverro *et al.*, 1995; Alcoverro *et al.*, 1997); così come la tipologia di substrato può influenzare la densità della prateria, o anche la riduzione dell'intensità luminosa e l'idrodinamismo determinare la sua distribuzione in profondità.

Generalmente la variabilità strutturale delle praterie e i parametri ambientali vengono messi in relazione mediante il confronto tra praterie separate geograficamente (Alcoverro *et al.*, 1995) o lungo transetti, in rapporto a fonti diverse di perturbazione (Delgado *et al.*, 1999; De Falco *et al.*, 2000).

In questo studio, dopo aver ridefinito il data set sulla base dei precedenti risultati che hanno permesso di eliminare le possibili fonti di errore, si è proceduto ad analizzare la variazione della

produzione primaria della *Posidonia oceanica* in funzione di alcune forzanti del sistema (profondità, tipo di substrato, idrodinamismo, ecc...) che hanno effetti importanti sulla variabilità naturale della risposta della pianta. Tenendo conto della densità della prateria, i valori di produzione dei due comparti, ipogeo ed epigeo, sono stati analizzati separatamente, e in un secondo tempo sono state esaminate le relazioni tra essi.

Profondità

L'intensità luminosa è uno dei fattori abiotici che direttamente determinano, attraverso il controllo della produzione primaria, il trofismo dell'ecosistema. Nel caso delle fanerogame marine, l'influenza della quantità di luce sullo sviluppo è stata provata in numerosi studi. In *Posidonia oceanica*, ad esempio, la quantità di energia luminosa che raggiunge la pianta influenza la sua distribuzione in profondità e la produzione primaria (Pirc, 1985; Buia *et al.*, 1992; Pergent Martini *et al.*, 1994). La profondità del limite inferiore della prateria varia in funzione della trasparenza dell'acqua (Duarte, 1991; Torricelli e Peirano 1997) e la struttura dei fasci e la densità sono influenzate dalla variazione nella disponibilità di luce.

I dati disponibili, utilizzati in questo lavoro di ricerca, non presentavano informazioni dirette o indirette relative alla intensità luminosa in funzione della profondità. Si è proceduto, quindi, ad analizzare direttamente le variazioni di produzione lungo il gradiente batimetrico. A tal fine i dati sono stati suddivisi in base a quattro fasce batimetriche (fascia1<5, fascia2<15, fascia3<20, fascia4>20). Riportando i valori di produzione in funzione della fascia batimetrica (Figura 18) si nota un leggero decremento per la produzione fogliare all'aumentare della profondità mentre la produzione del rizoma non mostra variazioni sostanziali tra le quattro fasce batimetriche.

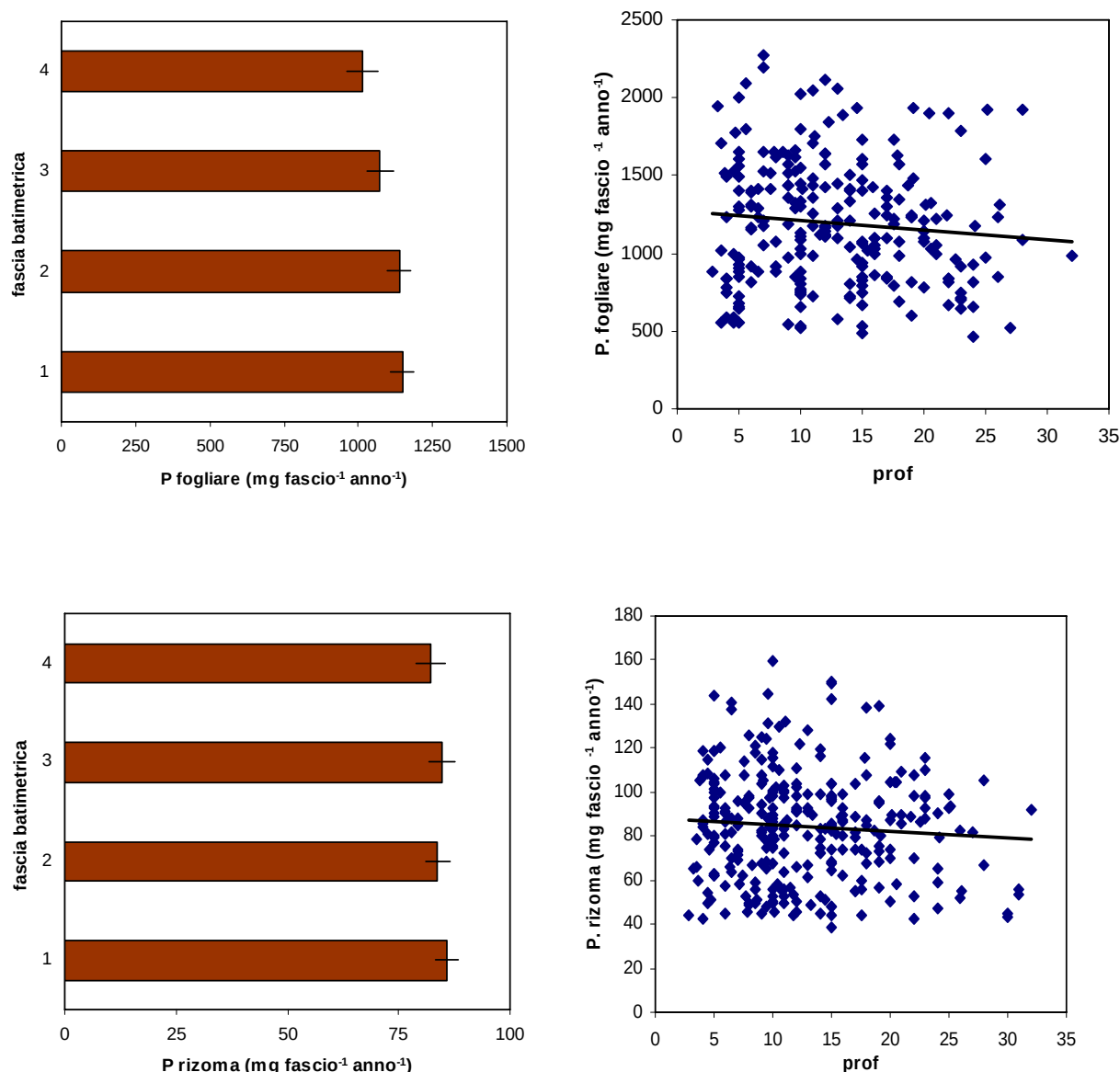


Figura 18. Valori medi di produzione fogliare e del rizoma in funzione della fascia batimetrica (le barre rappresentano i limiti fiduciali)

Per indagare se tali pur minime variazioni fossero legate ad una relazione della produzione con la profondità, si è fatto ricorso alla correlazione dei ranghi di Spearman che non impiega i valori precisi delle variabili ma organizza i dati secondo un ordine crescente. Il valore del coefficiente, compreso tra -1 e +1 e avente lo stesso significato del coefficiente di Pearson, rileva relazioni lineari tra variabili così come relazioni logaritmiche, esponenziali, radici quadrate ecc. Inizialmente tale analisi è stata effettuata per ogni singola prateria (considerando solo quelle con dati in tutte le fasce batimetriche) al fine di tener conto di possibili variazioni legate a fattori edafici. Sia nel caso dei dati aggregati per prateria sia nel caso dei dati considerati insieme, l'analisi non ha evidenziato alcuna relazione per entrambe le produzioni rispetto alla profondità (Tabella 3).

Correlazione ranghi di Spearman		
	P rizoma/PROF	P fogliare/PROF
r	-0,052	-0,044
p	0,369	0,498

Tabella 3. Correlazione dei ranghi di Spearman tra la produzione dei comparti ipogeo ed epigeo e la profondità

Il test di Kruskal-Wallis, inoltre, non ha evidenziato differenze significative nei valori di produzione fogliare e del rizoma tra fasce batimetriche (Tabella 4). A tal fine, nella individuazione delle fasce da considerare, si è tenuto conto delle profondità alle quali la prateria si lascia suddividere dal punto di vista ecologico (superficiale, intermedia e profonda) in modo da avere anche un numero abbastanza omogeneo di dati per fascia.

(A)

H:0,1541 Hc:0,1541 p:0,9258			
	A	B	C
A		0,709	0,9296
B		1	0,7849
C		1	1

(B)

H:3,824 Hc:3,824 p:0,147			
	A	B	C
A		0,9071	0,1674
B		1	0,0555
C		0,5022	0,1666

Tabella 4. Risultati del test di Kruskal-Wallis sulle differenze nei valori di produzione del rizoma (A) e di produzione fogliare (B) tra fasce batimetriche. I valori nella metà inferiore della tabella rappresentano i valori di probabilità associati all'ipotesi nulla di identità fra i campioni nei confronti a coppie dopo aver applicato la correzione di Bonferroni, mentre quelli non corretti sono nella metà superiore.

Per quanto riguarda la produzione fogliare, come abbiamo precedentemente illustrato, essa dipende dal numero di foglie prodotte in un anno (periodo del ciclo lepidocronologico) che sono rappresentate dalle scaglie che rimangono attaccate al rizoma, ma anche dalla densità del tessuto fogliare; in questo caso volendo indagare le variazioni della densità del tessuto il parametro considerato è espresso come peso secco per unità di superficie, in modo da tener conto delle variazioni legate anche alla larghezza della foglia. Si è proceduto, quindi, ad effettuare la correlazione dei ranghi di Spearman. In questo caso, come si evince dalle tabelle riportate, l'analisi

della correlazione dei ranghi di Spearman ha rilevato una relazione negativa significativa tra numero di scaglie e profondità e tra densità del tessuto fogliare e profondità.

L'altro parametro che contribuisce al valore finale di produzione fogliare è infine la lunghezza della foglia. Come già visto, tale variabile è stimata sulla base della relazione esistente tra lunghezza base e lunghezza foglia e sulla base delle scaglie integre che si rinvenivano sul rizoma. La correlazione dei ranghi di Spearman ha mostrato che tale variabile non presenta alcuna relazione con la profondità

Correlazione ranghi di Spearman			
	D/PROF	N/PROF	L/PROF
r	-0,229	-0,176	-0,0617
p	0,00033	0,01121	0,3393

Tabella 5. Correlazione dei ranghi di Spearman tra densità del tessuto fogliare, numero di foglie per ciclo, lunghezza delle foglie e la profondità

Densità dei fasci

Nell'analizzare la relazione tra densità dei fasci fogliari e produzione di una prateria si è proceduto inizialmente a ricercare una eventuale relazione lineare. Per quanto riguarda la produzione del rizoma, i risultati mostrano una correlazione positiva significativa con la densità dei fasci fogliari (correlazione lineare di Pearson $r=0,2658$; $p=0,011$).

Anche in questo caso l'analisi della correlazione è stata effettuata prima all'interno delle praterie considerate (Tabella 6); dai risultati si evidenzia che nelle praterie in cui sono stati registrati valori di densità con una variazione piuttosto ampia (oltre 400 fasci al mq) e che raggiungono valori abbastanza elevati (almeno da poter classificare le praterie come "dense"), la correlazione è risultata positiva (con $p<0,01$ e $p<0,05$), ciò non si verifica per le praterie con dati di densità piuttosto omogenei (variazione intorno ai 200 fasci mq).

Correlazione Lineare (P rizoma/DENS)			
	Range D	r	p
Capo Testa	400	0,791	0,0110
Villasimius	400	0,759	0,0041
Vada	400	0,670	0,0086
Rosignano	550	0,265	0,0113
S Marinella	540	0,662	0,0263
Tremiti	120	0,110	0,746
Meloria	250	0,191	0,493
Talamone	140	0,432	0,160

Tabella 6. Correlazione lineare di Pearson tra densità dei fasci e produzione del rizoma per le singole praterie

Poiché la densità dei fasci è legata alla profondità, è stata effettuata una analisi della varianza a due fattori per testare l'ipotesi nulla che i valori di produzione del rizoma abbiano la stessa media tra ciascuno dei due fattori (densità e profondità) e che non ci siano dipendenze (interazioni) tra fattori. Prima di effettuare l'analisi, è stato utilizzato il test di Levene per testare l'omogeneità della varianza dei valori di produzione del rizoma tra fasce batimetriche e tra classi di densità (risultati in Tabella 7).

A tal fine i livelli per la profondità e la densità sono stati assegnati in modo da avere un numero abbastanza omogeneo di dati per ogni livello; i livelli assegnati sono:

classi densità	fasce batimetriche
1: <270 fasci m ⁻²	1: <8 m
2: <400 fasci m ⁻²	2: <11 m
3: <510 fasci m ⁻²	3: <16 m
4: >510 fasci m ⁻²	4: >16 m

Two-Way ANOVA (factor A: fascia, factor B: densità)					
	SS	df	MS	F	p
Fact A	1028	3	342,7	0,6768	0,5669
Fact B	1,89E+04	3	6326	12,49	1,05E-07
Intera	1,43E+04	9	1584	3,127	0,0013
Within	1,46E+05	289	506,4		
Total	1,78E+05	304			
Levene's test (tra fasce batimetriche): p=0,375					
Levene's test (tra classi di densità): p=0,236					

Tabella 7. Risultati dell'Analisi della varianza a due fattori (fascia batimetrica, classi di densità) sulle differenze nei valori di produzione del rizoma

I risultati del test evidenziano che non c'è differenza significativa tra i valori di produzione del rizoma in base alla fascia batimetrica (factor A), c'è differenza significativa tra i valori di produzione del rizoma in base alla densità (factor B), c'è interazione significativa tra A e B (assenza di interazione $p=0,001$)

Con lo stesso procedimento, considerando per ogni prateria la produzione fogliare (Tabella 8), invece, non si evidenzia alcuna relazione con la densità dei fasci, eccezione fatta per la prateria di Rosignano (per i dati aggregati: correlazione ranghi Spearman, $r=0,115$, $p=0,074$)

Correlazione dei ranghi di Spearman (P fogliare/DENS)			
	Range D	r	p
Vada	400	-0,17363	0,55277
Rosignano	550	0,31068	0,00288
S Marinella	540	-0,04895	0,87992
Tremiti	120	-0,14579	0,66886
Meloria	250	-0,24643	0,37595
Talamone	140	-0,10877	0,7365

Tabella 8. Correlazione dei ranghi di Spearman tra densità dei fasci e produzione fogliare per le singole praterie

Gli altri parametri considerati, superficie fogliare e numero di foglie per ciclo, non mostrano relazioni significative con la densità .

Substrato

È noto che la *Posidonia oceanica* modifica il substrato di impianto e quest'ultimo a sua volta influenza la morfologia della pianta e la densità della prateria (Di Carlo *et al.*, 2006; Marbà e Duarte, 1998). La combinazione tra questi due parametri, infatti, determina la costituzione della canopy fogliare che risulta essere la prima responsabile della complessità dell'habitat, giocando un ruolo fondamentale nello strutturare la comunità associata alla prateria. Soffermandoci all'analisi dell'influenza del substrato sul livello di organizzazione di base, la pianta, è stata valutata la correlazione tra produzione primaria e tipologia del substrato di impianto; avendo già evidenziato la

manca di differenze significative tra fasce batimetriche, i dati sono stati analizzati senza tener conto della profondità (Figura 19).

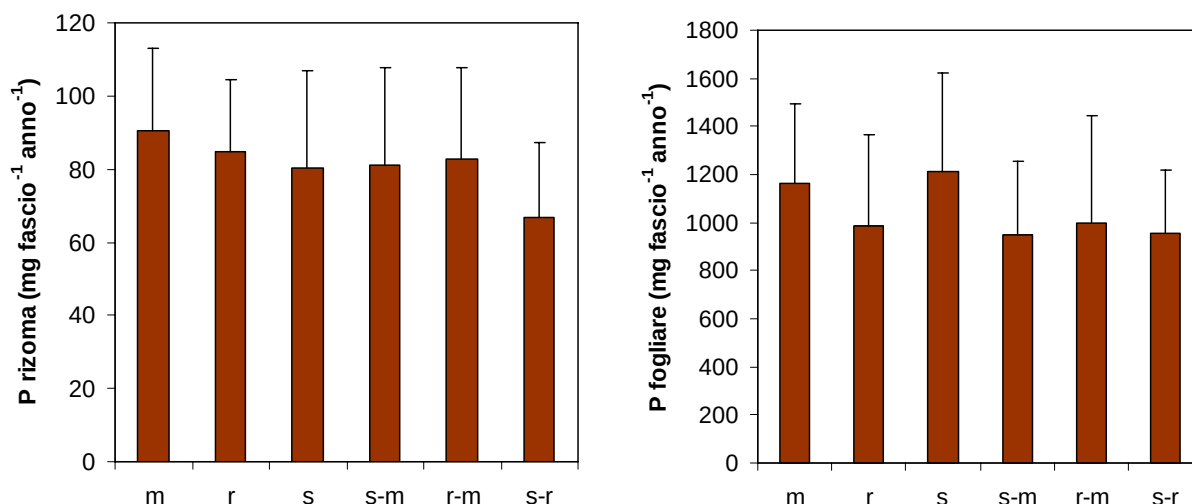


Figura 19. Media (+deviazione standard) dei valori di produzione per tipologia di substrato (m=matte, r=roccia, s=sabbia)

I valori di produzione più elevati sono stati ritrovati in praterie impiantate su matte per il comparto ipogeo, ma ugualmente su matte e sabbia per il comparto epigeo.

L'ANOVA ha evidenziato differenze significative tra le medie dei valori di produzione fogliare in base al substrato di impianto (Tabella 9 e Tabella 10). Per quanto riguarda la produzione del rizoma, il test di Kruskal-Wallis evidenzia differenze significative tra substrati ($p=0,048$ quando si considerano solo i tre substrati matte, roccia e sabbia, $p=0,0003$ quando si considerano anche i substrati misti); in quest'ultimo caso si è fatto ricorso al test di Kruskal-Wallis poiché i risultati del test di Levene hanno evidenziato disomogeneità della varianza tra substrati per la produzione del comparto ipogeo.

Analisi della varianza (tra p fogliare per 3 substrati: s, r, m)					
	SS	df	MS	F	p
between	1,15E+06	2	576302	4,46	0,01
within	2,43E+07	188	129313		
tot	2,55E+07	190			
Levene's test for homogeneity of variance based on means:p=0,246 based on medians:p=0,281					
Tukey's pairwise comparisons: Q/p					
	m	r	s		
m		0,03153	0,8187		
r	3,563		0,005111		
s	0,8521	4,415			

Tabella 9. Risultati del test ANOVA sulle differenze nei valori di produzione tra tre differenti substrati d'impianto

Analisi della varianza (tra P fogliare per 6 substrati)					
	SS	df	MS	F	p
between	2,38E+06	5	477082	3,76	0,0027
within	2,98E+06	235	126840		
tot	3,22E+07	240			
Levene's test for homogeneity of variance based on means:p=0,2 based on medians:p=0,177					

Tabella 10. Risultati del test ANOVA sulle differenze nei valori di produzione tra sei differenti substrati d'impianto (vengono considerati anche i substrati misti)

Soffermandoci ancora al livello di organizzazione individuale, la pianta, se il numero di foglie per ciclo con mostra variazioni significative tra i differenti substrati (test Kruskal-Wallis, $p > 0,05$), per quanto riguarda la superficie fogliare si evidenzia, invece, un pattern di variazione simile a quello riscontrato per la produzione fogliare: una ridotta superficie fogliare su substrato roccioso e valori più elevati nei siti impiantati su sabbia (Figura 20). Le differenze nei valori di superficie fogliare tra i substrati sono risultate significative (test di Kruskal-Wallis $p < 0,05$)

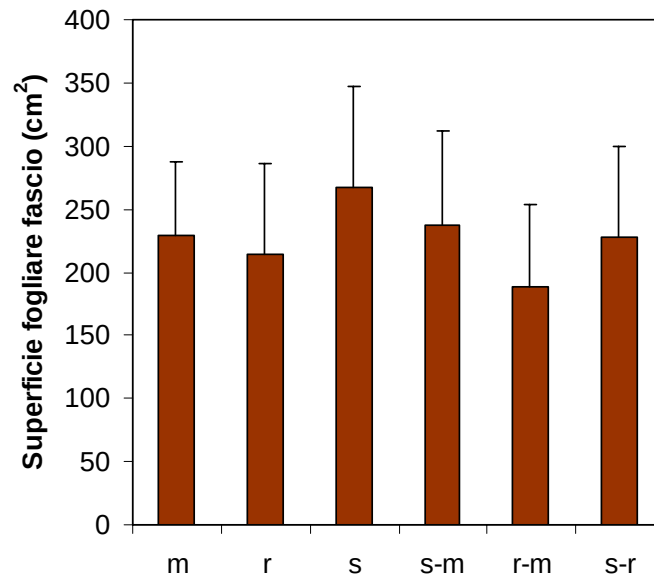


Figura 20. Media (+deviazione standard) dei valori superficie fogliare per tipologia di substrato (m=matte, r=roccia, s=sabbia)

A livello di prateria, lo studio ha previsto la valutazione dell'influenza del substrato sulla dinamica di crescita del sistema a *Posidonia* relativamente alla densità dei fasci fogliari. L'istogramma di Figura 21 mostra valori minori di densità su substrato sabbioso; si evidenzia, quindi, un pattern inverso di variazione nei valori di densità dei fasci e di superficie fogliare tra i diversi substrati, con i valori massimi della prima variabile laddove la seconda assume i valori minori e viceversa. Il test di Kruskal-Wallis ha permesso di testare la significatività delle differenze nei valori di densità dei fasci fogliari tra i substrati considerati ($p < 0,001$).

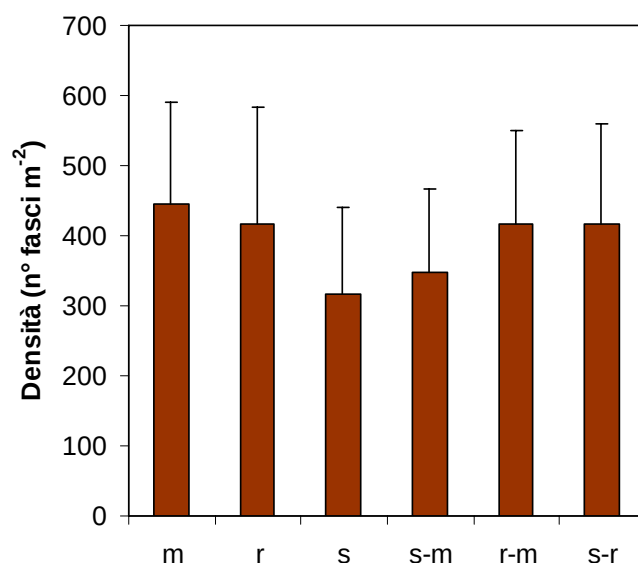


Figura 21. Media (+deviazione standard) dei valori di densità dei fasci per tipologia di substrato (m=matte, r=roccia, s=sabbia)

Ambiente fisico e forzanti antropiche

Allo scopo di indagare l'influenza dell'ambiente fisico sulla dinamica di crescita della *Posidonia*, sono state utilizzate le variabili predittive individuate nell'ambito di un progetto MATTM-CoNISMa che prevedeva la rivisitazione di alcune praterie di *Posidonia* mappate negli anni '90 ("Progetto RIPO"). Il modello PosiPred, sviluppato a quel tempo, consente di stimare la densità e la produzione a livello dei rizomi di qualsiasi prateria dei mari italiani, in base alla morfologia del fondale, all'andamento della linea di costa, alla profondità ed alla natura del substrato. Le variabili considerate nel modello fanno capo a due insiemi ben distinti: un primo insieme comprende tutte le variabili che descrivono l'ambiente fisico delle praterie ed alcune delle forzanti antropiche e naturali che agiscono su di esse; il secondo insieme, invece, include i principali descrittori delle praterie in termini di macroripartizione e funzionalità (densità dei fasci, produzione fogliare, produzione del rizoma, superficie fogliare per fascio). Lo scopo di tale scelta non era legato ad una pretesa di esaustività, poiché è evidente che è certamente possibile ottenere informazione di maggior dettaglio. Tuttavia, il livello di descrizione prescelto rappresentava il miglior compromesso fra le disponibilità di budget, l'accuratezza dell'informazione raccolta e l'utilità della stessa ai fini dello sviluppo di modelli. In particolare, selezionare descrittori predittivi la cui acquisizione non sia sufficientemente semplice riduce drasticamente la possibilità di applicazione in altri contesti. Per questo motivo vennero selezionati descrittori che fossero derivabili dalla cartografia e da semplici

prospezioni dei siti (es. gradiente), piuttosto che ricorrere a descrittori che richiedessero misure *ad hoc* (es. correntometriche), anche al prezzo di una riduzione dell'accuratezza delle previsioni fornite dai modelli.

Per ciascun dei 141 siti indagati con le stesse metodologie di campionamento e analisi, sono state quindi rilevate le variabili predittive richieste nello sviluppo del PosiPred, così come riportate di seguito:

- Latitudine *Espressa in gradi e frazioni di grado, per semplicità.*
- Longitudine *Espressa in gradi e frazioni di grado, per semplicità.*
- Profondità *Espressa in metri.*
- Gradiente *Come pendenza media del fondale fra le batimetriche che comprendono il punto di osservazione, con un valore teoricamente compreso fra 0 ed 1, ma con un massimo di 0.3 nei dati considerati.*
- Concordanza dell'esposizione del fondale con il settore di traversia *Assume valore 1 se la direzione di massima pendenza del fondale nel punto stazione è orientata verso il settore di traversia del sito, 0 altrimenti.*
- Concordanza dell'esposizione del fondale con i venti dominanti *Se la direzione di massima pendenza del fondale cade nel medesimo settore di uno dei venti dominanti, prende un valore che rappresenta la frequenza di quel vento nell'intervallo compreso fra 0 ed 1, altrimenti il valore è nullo.*
- Conformazione del profilo batimetrico (tre variabili) *Se si considera una retta che ruota sul punto di osservazione, essa ovviamente interseca la batimetrica superiore e quella inferiore, ma in alcuni casi essa può intersecare per due volte la batimetrica superiore o quella inferiore. Nel primo caso il profilo è concavo – ovvero il punto è in un avvallamento del fondale – mentre nel secondo caso il profilo è convesso – ovvero il punto si trova su una dorsale più elevata delle aree circostanti. Nei casi in cui l'intersezione con la medesima batimetrica non si osserva entro mezzo miglio di raggio, si assume che la conformazione sia neutra.*
- Runs nella variazione del profilo *Misurano l'eterogeneità della batimetria nell'intorno del punti di osservazione. Si definiscono come segue: con centro nel punto in cui effettuare la previsione si osserva dove cade un punto distante un quarto di miglio in direzione 0°, 45°, 90°, ..., 315°; se il punto cade fra le due batimetriche che comprendono il punto di osservazione si assegna un valore 0, se cade al di sopra +1, se cade al di sotto -1; si*

conteggia il numero di cambiamenti di valore fra elementi successivi della serie di 8 elementi così ottenuta, incluso il caso del confronto fra l'ottavo ed il primo valore (la serie si sviluppa su un'ideale circonferenza); tale numero equivale al numero di sequenze dello stesso valore nella serie, ovvero al numero di settori compresi nella la stessa fascia batimetrica intorno al punto di osservazione. Nel caso particolare in cui non si osservino variazioni si enfatizza l'omogeneità batimetrica del sito assegnando un valore nullo anziché unitario.

- “Apertura” del litorale *Espressa come il numero di ottanti compresi nel settore di traversia.*
- Esposizione ai venti dominanti *Espressa come la somma dei prodotti fra appartenenza di ciascun ottante al settore di traversia del punto di osservazione, espressa in forma binaria, e frequenza del vento proveniente da quello stesso ottante, espressa come valore compreso nell'intervallo da 0 a 1 e considerando solo i venti dominanti.*
- Tipologia del fondale (tre variabili) *Come valori binari, non mutuamente esclusivi, per indicare la presenza o l'assenza di sabbia, roccia e matte.*
- Sorgenti di disturbo (tre variabili) *Come valori binari, non mutuamente esclusivi, per indicare la presenza o l'assenza di: (1) danni meccanici da ancoraggio, corpi morti, etc.; (2) inquinamento di tipo industriale, urbano, portuale, etc.; (3) immissioni di acque reflue da depuratori, fiumi, etc.*

Tra queste variabili si è voluto innanzitutto separare le forzanti antropiche rilevate mediante la presenza di sorgenti di disturbo per verificare la loro influenza sulla dinamica di crescita della *Posidonia*. Molti studi hanno evidenziato la sensibilità della *Posidonia* a diverse tipologie di impatto antropico (Pergent *et al.* 1995; Pergent-Martini *et al.* 1995; Peirano e Bianchi 1995). Gli effetti principali sono la riduzione della crescita e della produzione associate ad una minor penetrazione della luce nella colonna d'acqua (Gordon *et al.*, 1994), la riduzione del numero medio di foglie per anno e della crescita dei rizomi con l'incremento dell'infossamento (Guidetti e Fabiano, 2000; Guidetti, 2001).

I risultati sono solo parzialmente in accordo con quelli riportati in letteratura.

Il livello d'impatto del sito è stato codificato sulla base della presenza delle sorgenti di disturbo rilevate (1= assenza di fonti di disturbo, 2= presenza di una sola fonte di disturbo, 3= presenza di due fonti di disturbo simultanee, nei siti esaminati non sono mai state rilevate contemporaneamente tutte e tre le fonti di disturbo considerate nel modello). Si è proceduto a confrontare, quindi, i valori di produzione con tali livelli di impatto. Il test di Kruskal-Wallis (Tabella 11) non ha mostrato

differenze significative tra i valori di produzione per i siti sottoposti ai tre livelli d'impatto (si è tenuto conto anche della densità dei fasci fogliari), mentre la superficie fogliare è risultata legata al livello d'impatto mostrando i valori maggiori in presenza di più fonti di disturbo. Per tener conto delle variazioni della superficie fogliare con la stagione, come riportato in precedenza, sono stati considerati solo i dati relativi ai campionamenti estivi, in cui tale parametro raggiunge il valore massimo.

H:7,617			
p:0,022			
	A	B	C
A		0,3031	0,0114
B	0,9093		0,02324
C	0,0342	0,06973	

Tabella 11. Risultati del test di Kruskal-Wallis sulle differenze nei valori di superficie fogliare tra tre differenti livelli d'impatto. I valori nella metà inferiore della tabella rappresentano i valori di probabilità associati all'ipotesi nulla di identità fra i campioni nei confronti a coppie dopo aver applicato la correzione di Bonferroni, mentre quelli non corretti sono nella metà superiore.

In secondo luogo, ci si è soffermati sull'ambiente fisico della prateria. Pergent e Pergent Martini (1988) mettono in evidenza l'influenza dell'idrodinamismo su alcune variabili morfometriche della pianta (es. lo spessore delle scaglie è maggiore all'aumentare dell'idrodinamismo). Tra le variabili predittive rilevate nel modello PosiPred, sono state selezionate quelle che meglio spiegano l'idrodinamismo del sistema: l'esposizione ai venti dominanti e l'apertura del litorale.

Il livello di idrodinamismo così codificato per i siti analizzati va da un minimo pari a 0 (laddove il sito non è esposto ai venti dominanti) a un massimo pari a 5 (laddove il punto di osservazione si trova nel settore di traversia dei venti dominanti). I dati sono stati trattati separatamente a scala regionale in modo da tener conto delle disomogeneità delle condizioni idrodinamiche lungo le coste delle regioni considerate. Il test di Kruskal-Wallis ha evidenziato variazioni significative in base all'idrodinamismo solo per la produzione del comparto ipogeo ($p=0,04$), nei siti del Lazio dove il livello di idrodinamismo codificato va da 0 a 5. Negli altri siti il range di idrodinamismo è troppo basso per poter evidenziare differenze significative.

Dopo aver valutato come la *Posidonia* risponde alle variazioni ambientali relativamente al livello di produzione del comparto epigeo e del comparto ipogeo, si è proceduto a confrontare le variazioni relative dei due comparti. Considerando la produzione del rizoma relativa ai cicli lepidocronologici

3-10 e la produzione fogliare così come sistemata nel data set finale, il grafico di Figura 22 mostra un'importante differenza nell'allocazione delle risorse fra comparto ipogeo ed epigeo per siti a differente livello di produzione totale. Così, siti con bassa produzione mostrano un contributo percentuale della produzione del rizoma più elevato rispetto ai siti con elevata produzione totale.

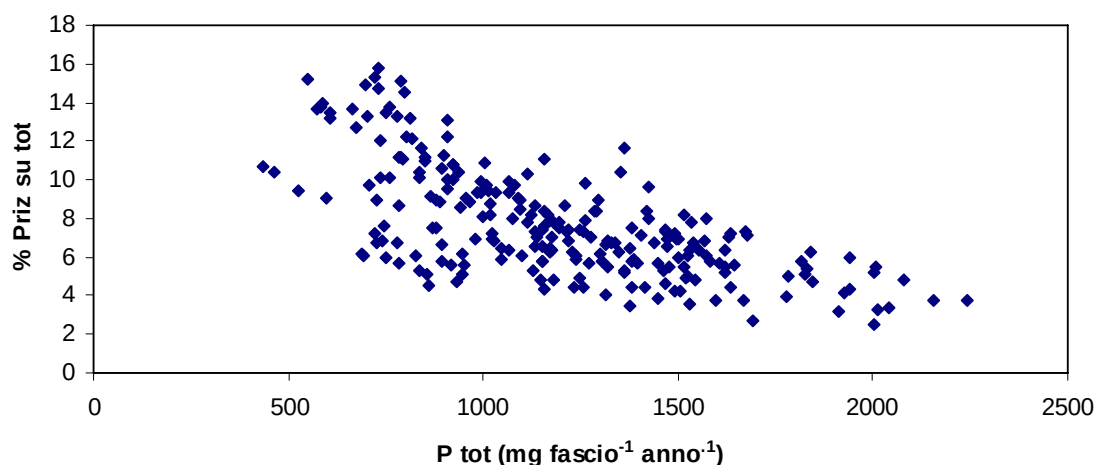


Figura 22. Contributo percentuale della produzione del comparto ipogeo al valore di produzione totale

Un risultato simile si ottiene confrontando i valori percentuali della produzione del rizoma relativamente alle tre tipologie di substrato (Figura 23), unica variabile ambientale che influenza significativamente la produzione di entrambi i comparti.

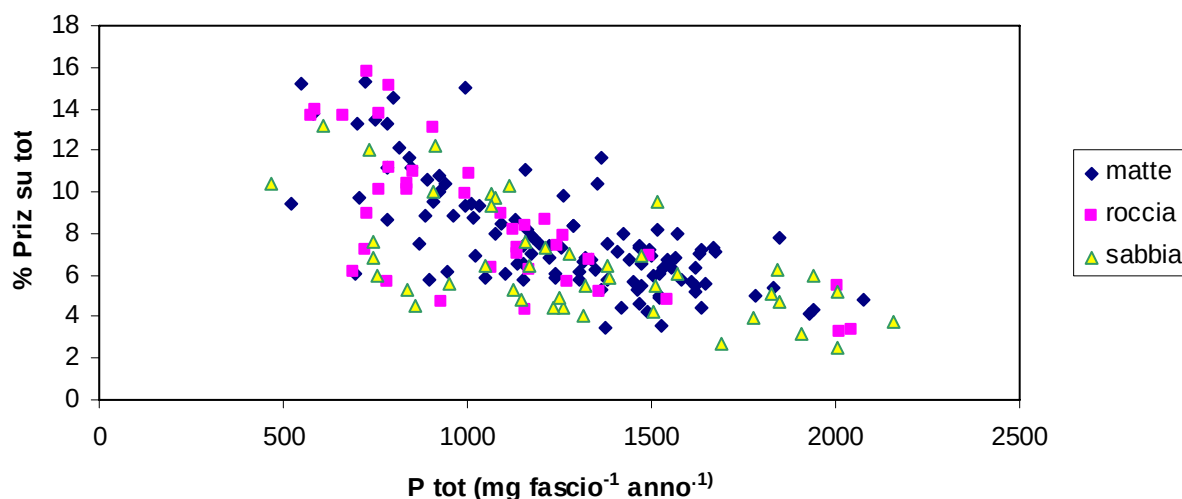


Figura 23. Contributo percentuale della produzione del comparto ipogeo al valore di produzione totale per le tre tipologie di substrato

Variazione orizzontale

I parametri biologici considerati - densità dei fasci, produzione fogliare, produzione del rizoma, superficie fogliare e numero di foglie per ciclo - sono stati analizzati considerando le due fasce: superficiale (inferiore a 10 metri) e profonda (superiore a 15 metri). Raggruppando i dati a scala regionale, dal calcolo dell'ampiezza di variazione si evidenzia l'esistenza di una maggiore variabilità spaziale nei siti superficiali in generale in quasi tutte le praterie considerate; in particolare questo aumento di variazione dei parametri biologici nei siti superficiali è evidente per la produzione del rizoma e il numero di foglie per ciclo per i quali lo scarto tra massimo e minimo, in alcuni casi, è risultato doppia rispetto ai siti profondi (Tabella 12).

Ciò può essere la conseguenza di una risposta ai fattori ambientali che si fanno sentire maggiormente nei siti superficiali e potrebbe dipendere dalla dinamica interna di crescita dei fasci e dei rizomi.

Ampiezza di Variazione						
		densità	P fogliare	P rizoma	SF	N
Liguria	<10	241,3	1084,5	100,6	215,3	1,7
	>15	256,3	1009,7	60,8	219,4	0,8
Toscana	<10	370,0	803,4	60,2	261,4	0,8
	>15	250,0	500,6	39,9	241,8	0,7
Lazio	<10	567,5	945,8	73,2	282,2	1,4
	>15	439,3	1294,1	61,2	384,3	1,1
Puglia	<10	207,5	849,2	88,0	156,0	0,8
	>15	176,3	912,4	43,4	112,9	0,6

Tabella 12. Ampiezza di variazione (max-min) dei parametri biologici considerati nei siti superficiali e in quelli profondi

Analisi multivariata

L'analisi multivariata permette lo studio di complessi insiemi di dati, in cui si hanno molte variabili indipendenti e possibili variabili dipendenti, correlate le une con le altre secondo differenti gradi. Queste tecniche possono essere intese come una successione di procedure di predizione e classificazione; il termine "multivariata" indica come esse consentano di analizzare le interrelazioni esistenti tra differenti variabili e di riassumere e ridurre il numero delle stesse a quelle necessarie a descrivere il fenomeno studiato.

In particolare sono state scelte le seguenti variabili: superficie fogliare, produzione annua dei rizomi relativa all'orizzonte temporale 3-10 anni, produzione annua delle foglie, densità della prateria.

Sulla matrice dei dati, raggruppati per regione, è stata effettuata un'Analisi delle Componenti Principali, ovviamente eseguita su dati centrati e standardizzati al fine di dare lo stesso peso a variabili dimensionalmente eterogenee. Le prime due componenti principali ottenute hanno spiegato dal 70% all'80% della varianza, producendo quindi un ordinamento che ben sintetizza le relazioni fra le variabili e quelle fra i siti analizzati. Nel diagramma di ordinamento i siti con valori dei dati biologici simili risultano vicini, mentre i siti dove sono stati rinvenuti valori differenti risultano tra loro lontani. I siti sono rappresentati da colori differenti in funzione della profondità (rosso superficiale, nero intermedia, blu profonda).

Per i siti della Liguria le prime due componenti principali ottenute hanno spiegato circa il 70% della varianza, producendo quindi un ordinamento che ben sintetizza la distribuzione dei siti lungo ciascuna di esse.

Osservando il biplot (Figura 24), si nota come la prima componente principale (PC1) esprima una tendenziale contrapposizione fra produzione fogliare e produzione a livello di rizomi, a sua volta parzialmente associata al numero di scaglie per ciclo, con i punti relativi alle profondità intermedie (punti neri) che mostrano la maggior variabilità sotto questo aspetto. La seconda componente principale (PC2) spiega una frazione di varianza molto vicina a quella espressa dalla prima (31,5% contro 38,8%) e non ha, di conseguenza, un ruolo subordinato ad essa. Nello spazio di questa componente si separano nettamente i due gruppi che comprendono rispettivamente i siti superficiali (punti rossi) e quelli profondi (punti blu), coerentemente con l'opposizione mostrata da densità (orientata verso i siti superficiali e quindi maggiore in essi) e superficie fogliare (che invece caratterizza con valori più elevati i siti profondi). Le correlazioni delle diverse variabili menzionate rispettivamente con la prima e con la seconda componente principale sono mostrate in dettaglio nelle figure 25 e 26, rispettivamente.

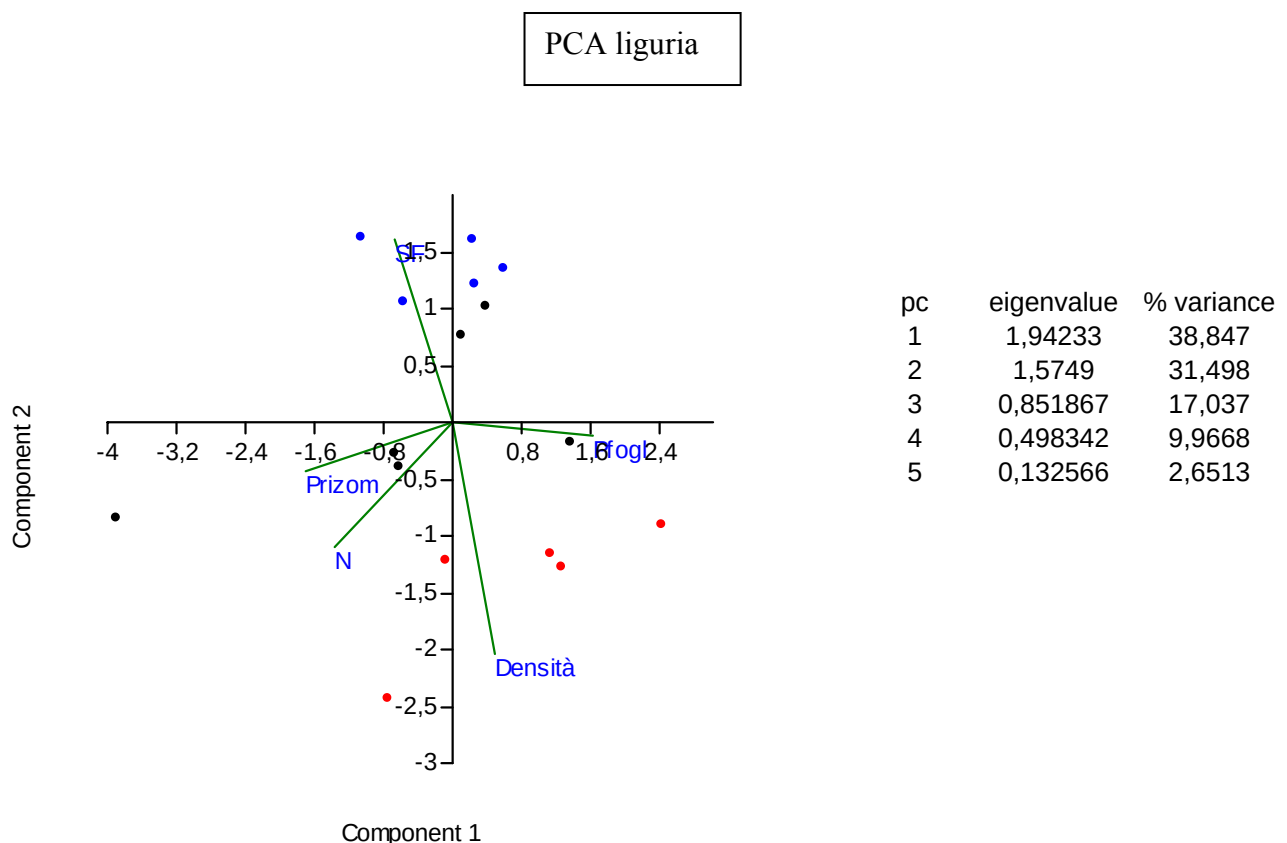


Figura 24. Biplot della PCA per i siti della Liguria e valori di varianza spiegata dalle componenti

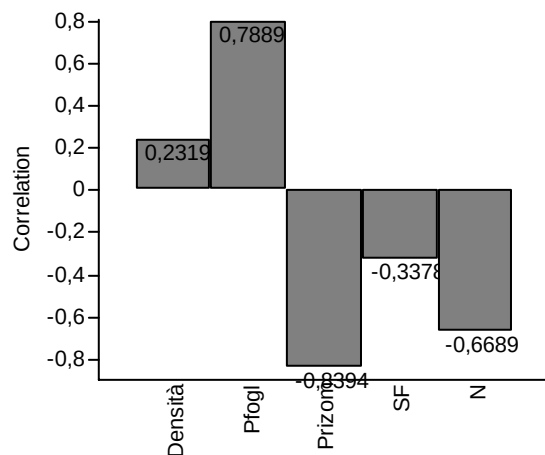


Figura 25. Correlazioni fra variabili e prima componente principale (PC1).

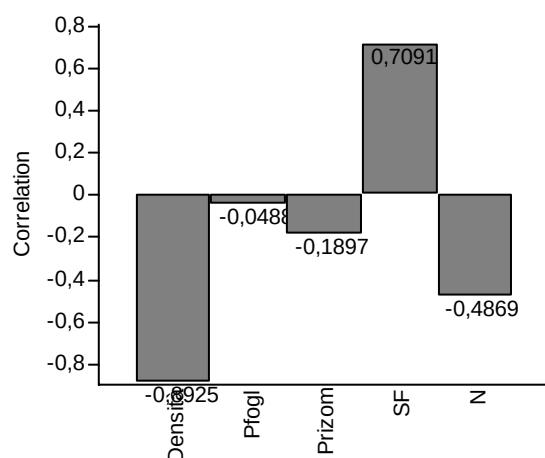


Figura 26. Correlazioni fra variabili e seconda componente principale (PC2).

Per i siti della Puglia le prime due componenti principali ottenute hanno spiegato circa il 78% della varianza. Il primo asse di ordinamento separa nettamente i due gruppi definiti dai siti superficiali e da quelli profondi, con i siti intermedi che si distribuiscono in modo più eterogeneo denotando quindi un minor grado di somiglianza reciproca sia tra loro sia tra i siti che tendono a raggrupparsi (Figura 27); anche in questo caso la densità, in associazione con la produzione del rizoma, e la

supeficie fogliare contribuiscono maggiormente a spiegare l'ordinamento dei punti con pesi opposti che evidenziano un gradiente tra due estremi (Figure 28 e 29).

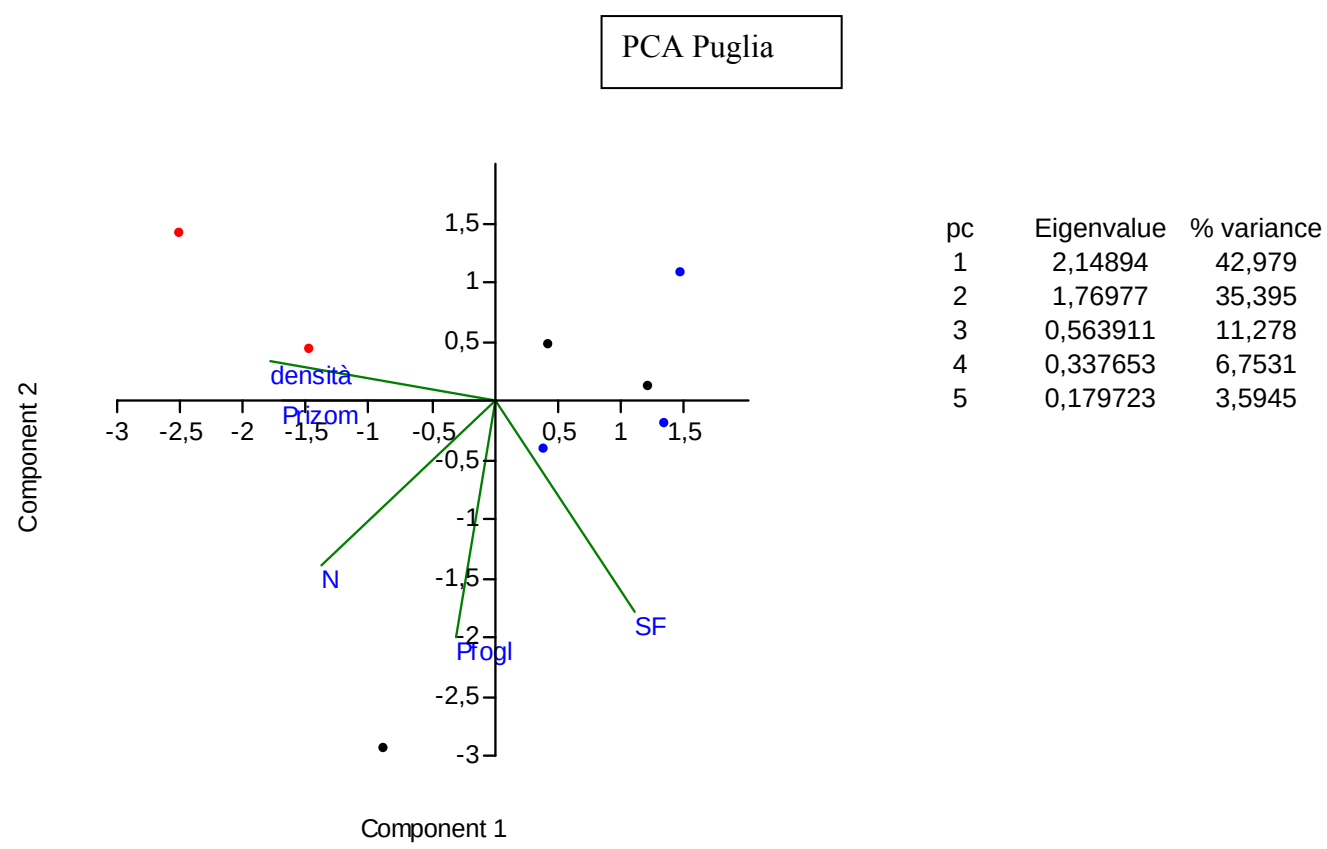


Figura 27. Biplot della PCA per i siti della Puglia e valori di varianza spiegata dalle componenti

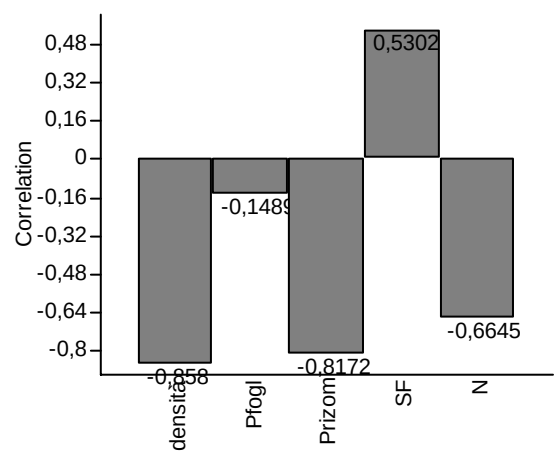


Figura 28. Correlazioni fra variabili e prima componente principale (PC1).

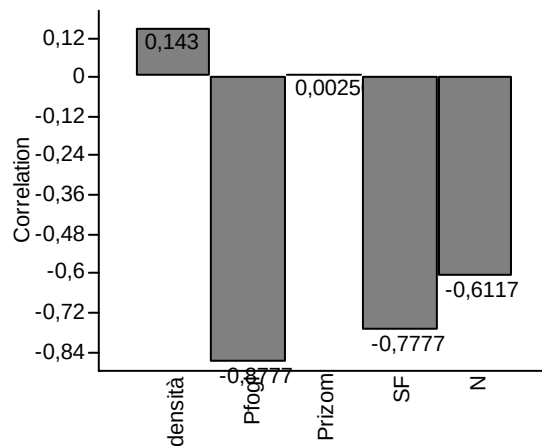


Figura 29. Correlazioni fra variabili e seconda componente principale (PC2).

Per i siti del Lazio la varianza spiegata dalle prime due componenti è pari a circa il 78% del totale; anche in questo caso l'ordinamento. Dall'osservazione del biplot (Figura 30) si ritorna ad una situazione simile a quelle già esaminate: lungo il primo asse la produzione del rizoma e la produzione fogliare sono in contrapposizione, mentre nello spazio della seconda componente si separano nettamente i due gruppi che comprendono rispettivamente i siti superficiali e quelli profondi, coerentemente con l'opposizione mostrata da densità, associata alla produzione del rizoma, e superficie fogliare, associata alla produzione fogliare. Le correlazioni delle diverse variabili menzionate rispettivamente con la prima e con la seconda componente principale sono mostrate in dettaglio nelle Figure 31 e 32, rispettivamente.

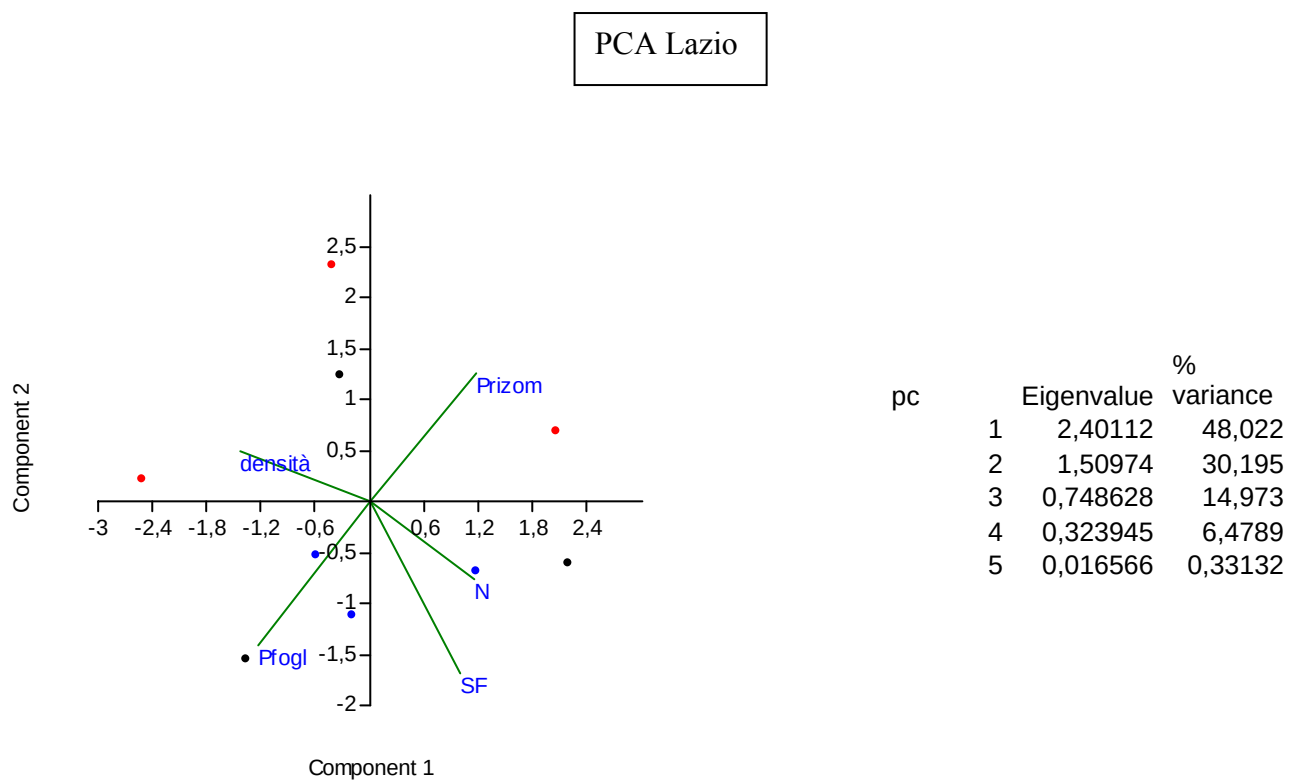


Figura 30. Biplot della PCA e valori di varianza spiegata dalle componenti

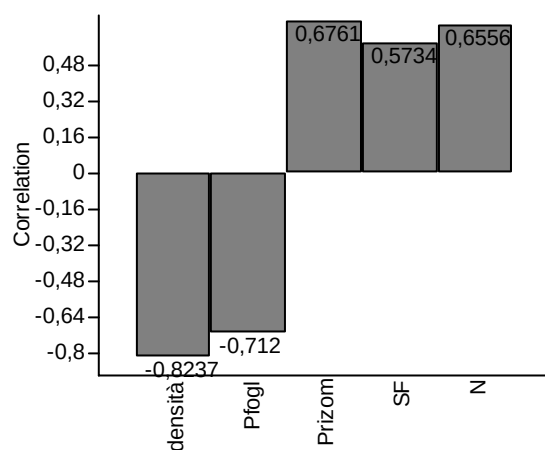


Figura 31. Correlazioni fra variabili e seconda componente principale (PC2).

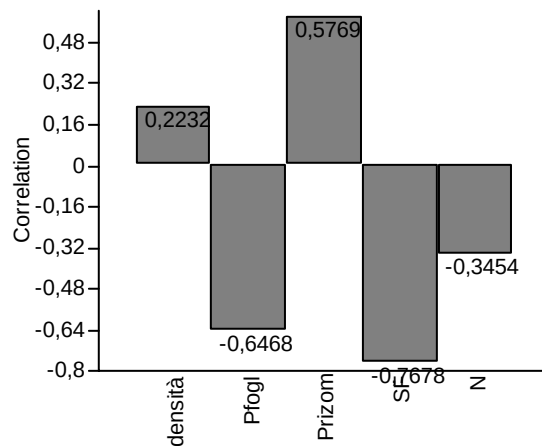


Figura 32. Correlazioni fra variabili e seconda componente principale (PC2).

Per testare l'effettiva corrispondenza tra l'informazione derivante dai parametri biotici e abiotici si è fatto ricorso al test di Mantel che esprime il grado di correlazione fra la struttura di due matrici.

Tra le variabili ambientali, avendo già considerato a parte l'effetto della profondità e del substrato, sono state selezionate le variabili predittive del modello PosiPred che dall'analisi di sensibilità sono risultate maggiormente influenti sulla previsione dei parametri considerati, ovvero: l'esposizione ai venti dominanti, il gradiente, l'apertura del litorale, i runs di variazione del profilo batimetrico. Quest'ultimo parametro, che misura l'eterogeneità delle batimetrie nell'intorno dei punti stazione, viene identificato come elemento idromorfologico a sostegno degli elementi biologici nella direttiva quadro sulle acque.

I dati biologici relativi a ciascun sito (densità, produzione fogliare, produzione del rizoma, superficie fogliare) sono stati standardizzati ed è stata quindi calcolata la matrice di distanza euclidea; i dati relativi alle variabili ambientali (gradiente, esposizione ai venti dominanti, runs variazione profilo, apertura litorale) sono stati normalizzati ed è stata calcolata la matrice di distanza euclidea. È stato operato quindi un confronto tra le due matrici.

Il test di Mantel consente di rigettare l'ipotesi nulla di indipendenza fra le serie (e quindi di assenza di correlazione tra le variabili biologiche e le variabili ambientali selezionate) con $p < 0.05$ per i siti del Lazio e per i siti della Liguria (Tabella 13).

Test di Mantel su matrici di distanza euclidea								
	Liguria		Lazio		Toscana		Puglia	
	R	p	R	p	R	p	R	p
	0,09	0,019	0,185	0,0238	-0,016	0,54	-0,078	0,89

Tabella 13. Risultati del test di Mantel condotto sulle matrici di distanza euclidea dei dati biotici e abiotici

Il test di Mantel effettuato sulle matrici di distanza euclidean relative all'intero set di dati (senza considerare la separazione in regioni geografiche) non rivela una significatività nella correlazione, suggerendo che le differenze e quindi le relazioni si leggono laddove i siti non risultino troppo omogenei.

4 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La *Posidonia* viene ormai largamente utilizzata come indicatore dei cambiamenti della qualità ambientale in relazione ad una serie di stress antropici, bisogna però procedere con cautela quando si vogliono interpretare le risposte della pianta e del sistema (differenti livelli di complessità) a tali cambiamenti (tali risposte possono essere differenti e in contrasto e quindi non possono essere generalizzate senza tener conto del livello di complessità analizzato).

Sulla base della gran mole di dati a disposizione è stato possibile procedere ad una caratterizzazione delle caratteristiche delle praterie del bacino centro settentrionale del Mediterraneo, anche se un data set ben più vasto è stato utilizzato per la messa a punto della metodica.

L'attenzione è stata posta principalmente sui parametri desunti dalla tecnica lepidocronologica: produzione primaria fogliare intesa sia come numero di foglie prodotte per anno sia come peso secco della materia organica fogliare attuale e passata, produzione primaria del rizoma intesa come allungamento annuale medio e peso secco annuale medio.

4.1 Stima della produzione fogliare

In letteratura, ai dati morfometrici relativi alla foglia più esterna con apice integro, è stata sempre applicata la regressione lineare dei minimi quadrati che permette di stimare la pendenza e l'intercetta della relazione tra la lunghezza della base e la lunghezza totale della foglia più esterna con apice integro. Lo studio ha evidenziato come il metodo dell'asse maggiore ridotto, concettualmente più corretto dal punto di vista dello strumento statistico da utilizzare, determina una retta con valori di pendenza e intercetta differenti da quelli definiti dall'equazione della retta di regressione. Da qui, conseguentemente, con il metodo RMA si ottengono valori di produzione primaria fogliare che sono risultati significativamente differenti da quelli ottenuti con il metodo della regressione. Le differenze riscontrate nel valore di produzione fogliare così stimata raggiungono i 600 mg fascio⁻¹ anno⁻¹.

Spesso dal singolo campionamento di fasci fogliari, mediante la tecnica lepidocronologica, vengono derivati i valori di produzione annuale. Il ciclo di formazione e crescita fogliare determina necessariamente una differenza nella relazione tra le variabili base e lembo in funzione del periodo considerato. L'analisi dell'andamento temporale della relazione base-foglia ha mostrato una variazione legata alla stagione che riflette il ciclo di formazione e crescita delle foglie di *Posidonia*.

Il coefficiente r di Pearson mostra, infatti, valori massimi nel periodo primaverile e tende a diminuire procedendo dall'estate verso l'autunno, per raggiungere i valori minimi in inverno, periodo in cui, per alcune praterie, la relazione non risulta significativa.

Ciò sta a significare che per le stime di produzione fogliare i periodi in cui la relazione è più forte, e quindi può essere utilizzata con più sicurezza, è compreso tra la tarda primavera e l'estate.

La pendenza dell'asse maggiore ridotto effettuato sul data set aggregando i dati in base al periodo di campionamento (a partire da gennaio ogni tre mesi) e facendo scorrere una finestra temporale di un mese, ha ben evidenziato la dinamica di crescita relativa della base e del lembo: la lunghezza delle foglie a parità di lunghezza della base raggiunge il valore più elevato in estate.

Nell'applicazione della tecnica lepidocronologica non è stata in genere verificata l'influenza del fattore profondità sulla relazione tra base e lembo; l'analisi in base alla fascia batimetrica ha evidenziato come fino a 15 metri circa la relazione sia confrontabile nei diversi periodi dell'anno, mentre a profondità maggiori l'intensità della relazione cambia. La fascia compresa tra 15 e 20 metri mostra, infatti, una relazione meno intensa nei mesi primaverili ed estivi se confrontata con le fasce più superficiali; oltre i 20 metri, invece, le praterie mostrano uno sfasamento stagionale, con intensità maggiori nel periodo autunnale, che si può far risalire allo sfasamento nel ciclo vegetativo di produzione delle foglie esistente tra le praterie profonde e quelle superficiali.

Tener conto dell'influenza della profondità sulla dinamica di crescita delle foglie di *Posidonia* risulta necessario al fine di poter estendere la tecnica lepidocronologica a qualunque fascia batimetrica.

La dinamica temporale e spaziale nella relazione base-lembo, quindi, deve essere tenuta in considerazione nel momento in cui vengono programmati singoli campionamenti annuali dall'analisi dei quali si vuole derivare il valore medio di produzione della prateria.

4.2 Stima della produzione del rizoma

La stima della produzione media del rizoma deve tener conto dei tempi e delle modalità di crescita e funzionalità del comparto ipogeo. I risultati relativi alla crescita ponderale evidenziano la grande variabilità del valore di produzione per ciclo negli ultimi tre anni di retrodatazione, periodo in cui il rizoma è ancora in fase di crescita come evidenziato da più autori (Boudouresque *et al.* 1983b, Peirano, 2002) e la perdita di peso secco per unità di lunghezza dopo circa dieci cicli dall'apice vegetativo.

Come supposto da altri autori (Romero *et al.*, 1998) dopo circa 10 anni il rizoma perde in parte la propria funzionalità, il processo di immagazzinamento della materia organica nel rizoma avviene, quindi, entro un certo numero di cicli di crescita dall'apice vegetativo (posto all'inserzione del fascio fogliare), dopo di che la restante parte di rizoma non è più interessata da tali processi.

Il rizoma ortotropo, infossato nella matre, resta vivo per diverso tempo, la composizione chimica varia, diminuisce la quantità d'azoto e aumenta il rapporto peso di carbonio/peso secco. La diminuzione importante di peso secco per unità di lunghezza registrata dopo i primi dieci anni può essere dovuta alle variazioni chimiche a cui va incontro il rizoma nel corso della sua crescita, anche le variazioni del diametro del rizoma possono essere all'origine di questi scarti.

4.3 Analisi della produzione primaria

È noto che la riduzione dell'irradianza (intesa come radiazione fotosinteticamente attiva, PAR) lungo il gradiente batimetrico influenza la distribuzione della *Posidonia* in profondità, la concentrazione del particolato sospeso è di certo il fattore principale che entra in gioco in tale processo nella gran parte delle aree costiere mediterranee (Duarte *et al.*, 1998).

I risultati relativi all'analisi della produzione della pianta in funzione del gradiente batimetrico mostrano che, per entrambi i comparti, non si evidenzia alcun decremento significativo all'aumentare della profondità. La dipendenza del processo fotosintetico dall'intensità luminosa è ben evidente ma è anche riconosciuto il meccanismo di compensazione della pianta per soddisfare le esigenze di crescita anche a livelli di illuminazione più bassi (Pirc, 1985). Tale risultato è confermato da altri studi (Torricelli e Peirano 1997) nei quali si dimostra che, pur diminuendo l'intensità luminosa di quasi 8 volte all'aumentare della profondità, non si evidenziano significative differenze nei valori di produzione lungo tale gradiente.

Inoltre, relativamente alla produzione fogliare bisogna sottolineare che tale parametro risulta dall'integrazione dei valori di tre variabili, delle quali il numero di foglie per ciclo e la densità del tessuto fogliare mostrano variazioni legate alla profondità mentre la lunghezza della foglia non varia con la profondità. Il fatto che a profondità maggiori si rilevi, inoltre, un aumento significativo di superficie fogliare supporta l'ipotesi, riportata anche in altri studi, che in praterie soggette a limitazione di luce i fasci aumentino la larghezza delle foglie per ottimizzare l'efficienza fotosintetica dei pigmenti e mantenere il massimo livello fotosintetico (Abbate *et al.*, 2000).

L'influenza della riduzione dell'intensità luminosa lungo il gradiente batimetrico sulla diminuzione di densità dei fasci è, invece, ben nota (Elkalay *et al.*, 2003) e i risultati dello studio lo confermano. Si può affermare, quindi, che la risposta della *Posidonia* alla riduzione di irradianza sia maggiormente leggibile a livello di prateria che a livello di pianta.

Per quanto riguarda la densità dei fasci fogliari, i risultati evidenziano che essa mostra una relazione significativa con la produzione del comparto ipogeo mentre la produzione fogliare si presenta omogenea al variare della densità. A spiegazione di ciò vengono richiamati fenomeni di compensazione della pianta: la ridotta disponibilità di energia luminosa in profondità oltre ad essere compensata a livello della pianta da adattamenti fisiologici (Pirc, 1985) può anche essere compensata a livello della prateria da una ridotta densità (Buia e Mazzella, 1989) che riduce gli effetti dell'ombreggiamento ("overshading").

Il fatto che la produzione dei rizomi non sembri dipendere dalla profondità ma sia legata alla densità dei fasci per mq sta a significare che l'allungamento è verosimilmente legato soprattutto al tasso di sedimentazione che risulta influenzato dalla densità dei fasci; infatti, la crescita verticale dei rizomi ortotropi contrasta l'insabbiamento progressivo dovuto alla continua sedimentazione. Se molti autori (AA.VV., 2007) ritengono tale ultimo parametro legato più al tasso di sedimentazione che al degrado o ad un eventuale stress al quale è sottoposta la pianta, non si deve sottovalutare che la variazione del tasso di sedimentazione può essere determinata da fattori di stress locali. Si può ritenere, quindi, la crescita del comparto ipogeo un descrittore utile per informazioni legate alla variazione del tasso di sedimentazione nel tempo.

Per quanto riguarda la tipologia di substrato, i valori di produzione maggiori sono stati ritrovati in praterie impiantate su matte e le differenze nei valori di produzione sono significative per entrambi i comparti che rispondono in modo significativo al diverso substrato di impianto. L'inversione nei pattern di variazione della superficie fogliare e della densità dei fasci tra i diversi substrati permette di ipotizzare che l'incremento della densità dei fasci sia una strategia per compensare la riduzione di superficie fogliare, strategia adottata anche da altre fanerogame al fine di ottenere la massima energia luminosa e contemporaneamente ottimizzare l'assorbimento di nutrienti.

I risultati relativi all'influenza dell'idrodinamismo sulla crescita della pianta mostrano una risposta significativa solo a livello di produzione del comparto ipogeo, mentre non sono state osservate significative variazioni nella produzione annuale di foglie. Quest'ultimo risultato supporta l'ipotesi che la produzione di foglie lungo i rizomi sia un processo determinato dalla combinazione di fattori

endogeni ed esogeni (Molenaar *et al.*, 2000) e che la risposta diretta della pianta alle variazioni del tasso di sedimentazione è leggibile a livello di accrescimento del comparto ipogeo.

La risposta della pianta all'impatto antropico è ben documentata. I risultati mostrano che, relativamente alle tipologie di impatto analizzate (immissioni, inquinanti, stress meccanici), il parametro che risponde in maniera significativa ai diversi livelli è la superficie fogliare del fascio. Questo risultato può rappresentare la risposta della pianta che mette a disposizione una maggiore superficie fogliare per la fotosintesi in casi di disturbo (che comunque, nei siti considerati, non raggiunge mai il livello 3 ovvero presenza di inquinamento, immissioni e ancoraggio contemporaneamente). Altri autori hanno osservato un incremento della larghezza delle foglie dei fasci ortotropi in piante soggette ad una riduzione di intensità luminosa dovuta a stress antropici (Savine *et al.* 1999) o a specie invasive (Dillele e Verlaque 1995).

Il confronto tra i livelli di produzione dei due comparti, infine, ha mostrato uno spostamento verso una maggiore allocazione delle risorse nel comparto ipogeo nei siti complessivamente meno produttivi. Questa osservazione implica la capacità dei rizomi di agire come cuscinetto (buffer) nel processo di riallocazione delle risorse.

Lo studio della variazione spaziale orizzontale, a scala regionale, ha evidenziato un generale aumento della variabilità dei parametri biotici considerati nei siti superficiali (fino a 10 metri) rispetto a quelli profondi (oltre 15 metri); in particolare, la produzione del rizoma e il numero di scaglie per ciclo hanno mostrato un'ampiezza di variazione quasi doppia nei siti superficiali. I fattori locali possono giocare un ruolo principale negli ambienti superficiali dove la disponibilità di luce è maggiore e influenzano la risposta della pianta a livello di produzione del comparto ipogeo, mentre giocano un ruolo minore nella variabilità dei pattern di crescita della pianta in situazioni di luce limitata dove intervengono altri adattamenti che tendono a rendere più omogenee le risposte. Diversi studi sottolineano la possibilità che disturbi antropici possano alterare la variabilità spaziale e temporale delle variabili di risposta della pianta. Warwik e Clark (1993) evidenziano un incremento nella variabilità fra campioni prelevati in siti disturbati rispetto a quelli prelevati in siti di controllo, per una serie di associazioni di variabili. In altri studi la variabilità spaziale di alcuni parametri (numero di foglie per fascio) risulta più bassa nei siti disturbati rispetto ai siti di controllo alla scala spaziale più piccola (tra fasci), mentre l'opposto si verifica alla scala spaziale più grande (di area). Quindi un'inversione nel pattern di variabilità spaziale in relazione al disturbo si verifica in funzione della scala spaziale considerata. Sebbene i processi responsabili di queste variazioni non

siano conosciuti, i risultati nell'insieme indicano che diverse caratteristiche della *Posidonia* hanno differenti patterns di eterogeneità spaziale nei siti superficiali (in genere maggiormente sottoposti a disturbo) rispetto a quanto osservato nei siti profondi.

L'applicazione di tecniche di indagine statistica multivariata ha permesso la determinazione di differenti associazioni di variabili, associazioni caratterizzanti nell'insieme l'ambiente fisico delle praterie e le principali caratteristiche biologiche espressione dei due livelli di organizzazione, la pianta e la prateria.

I risultati dell'analisi delle componenti principali basata sulla matrice di correlazione dei parametri biologici indicano una sostanziale contrapposizione tra siti superficiali e siti profondi principalmente spiegata dai valori di densità dei fasci, che spesso si associano ai valori di produzione del rizoma, e dai valori di superficie fogliare associati alla produzione fogliare e al numero di foglie per ciclo. L'ordinamento dei dati ottenuto, coerente con i pattern di dispersione dei dati stessi, ben evidenzia le relazioni tra i parametri considerati.

Inoltre si evidenzia una correlazione tra le variabili biotiche e quelle abiotiche che maggiormente spiegano l'ambiente fisico della prateria.

4.4 Considerazioni conclusive

La sensibilità delle praterie di *Posidonia* alle alterazioni delle caratteristiche ambientali conferisce loro una particolare utilità d'uso come indicatori biologici negli studi volti a mettere in evidenza gli impatti sull'ambiente marino costiero. Il loro impiego in questa direzione trova una sua applicabilità e potenzialità nel fatto che esse costituiscono i popolamenti più estesi e comuni dei fondali del piano infralitorale, dove l'impatto delle fonti inquinanti è più intenso (Augier, 1986).

Occorre molta cautela nel dedurre evidenze di impatto antropico dalle caratteristiche delle praterie studiate mediante il rilevamento di descrittori. Il confronto tra praterie esposte ad una particolare tipologia di disturbo antropico con praterie di riferimento viene spesso utilizzato per rispondere a tale richiesta. Posto che, per stabilire una relazione di causa-effetto tra una particolare forma di disturbo antropico e misurazioni di variabili biologiche, siano necessari disegni di campionamento elaborati e replicazione delle misurazioni nel tempo, non bisogna dimenticare che esistono molteplici processi ecologici che influenzano la funzionalità del sistema a *P. oceanica*.

Come evidenziato dallo studio, non si deve trascurare che l'esposizione al moto ondoso, la natura del substrato (roccia rispetto a fondo molle), le modalità di insediamento e di sviluppo possono giustificare alcune caratteristiche intrinseche delle praterie. Questi processi operano anche in quelle praterie esposte a disturbo antropico rappresentando un elemento di confusione per l'interpretazione degli effetti dell'impatto. Risulta necessario, quindi, ai fini dell'identificazione di una relazione significativa, integrare i rilevamenti di differenti descrittori dello stato di salute della prateria e di contorno selezionati in base alla loro capacità di descrivere una risposta in funzione delle variazioni delle condizioni ambientali.

Un'altra considerazione da tener presente è che alcuni descrittori delle praterie di *Posidonia* presentano un grado di variabilità molto elevato anche all'interno di uno stesso sito. La variabilità dei descrittori caratteristici dello stato di salute delle praterie dovrebbe essere tenuta in grande considerazione allorquando si desidera utilizzare *Posidonia oceanica* come un elemento di qualità biotica rilevante ai fini della formulazione di giudizi sullo stato ecologico dei nostri mari, ad esempio in ottemperanza a quanto indicato dalla Direttiva Quadro sulle Acque (Direttiva 60/2000/CE). È opportuno, quindi, un monitoraggio sperimentale basato su disegni di campionamento che tengano in debita considerazione la naturale variabilità spazio-temporale che caratterizza il sistema investigato e il legame con determinate forzanti ambientali.

I risultati della ricerca permettono di sottolineare che spesso le risposte della pianta alle variazioni dei fattori ambientali risultano integrate ai diversi livelli di organizzazione considerati, diventa quindi necessario identificare la giusta combinazione di descrittori tali da rivelare a quale livello specifico le variazioni possono influenzare l'ecosistema.

I processi di crescita delle fanerogame marine sono influenzati dai fattori ambientali che possono giocare un ruolo regolatore oltre i ritmi di crescita stagionale che le caratterizzano (Buia *et al.*, 1992). Le differenze trovate in *Posidonia oceanica* confermano l'ipotesi di una plasticità della specie la quale assume particolari adattamenti biologici in un range relativamente ampio di condizioni ambientali. Dallo studio emerge che, a livello di pianta, il tasso di produzione può essere considerato un buon descrittore funzionale che riflette i differenti ruoli esercitati dai comparti ipogeo ed epigeo, e le differenti relazioni con le forzanti ambientali. I rizomi, per la loro capacità di stoccaggio dei composti di riserva permettono di supportare per un certo periodo un pattern di crescita indipendente dalle condizioni ambientali; la disponibilità di risorse interne immagazzinate permanentemente nel comparto ipogeo svolge una funzione cuscinetto alla variazione delle diverse forzanti ambientali.

I risultati supportano alcune evidenze sul fatto che le relazioni fra i parametri caratteristici della prateria non sono né semplici né, probabilmente, lineari. Emerge, quindi, che non esiste un metodo assoluto per evidenziare i rapporti esistenti tra i differenti parametri; i risultati allo stato attuale delle conoscenze devono essere valutati talvolta soggettivamente al fine di ottenere un risultato coerente con la realtà delle caratteristiche espresse dalla pianta e dalla prateria, ciò non toglie la necessità di tener conto di determinate relazioni che possono spiegare la variabilità nella risposta della pianta.

5. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2007). *Compte-rendu des sujets traités dans le forum du groupe surveillance*. Projet Interreg IIIB «POSIDONIA»: 22 pp.
- Abbate M., Peirano A., Ugolini U., (2000). *Structural changes in Posidonia oceanica leale along the coast of Liguria (Italy): response to environmental stress?* Biol. Mar. Medit. 7 (2): 320-323
- Albergoni G., Basso B., Tedesco G., (1978). *Considerations sur l'anatomie de Posidonia oceanica (Zosteraceae)*. Plant system. Evol., Germ. 130: 191-201
- Alcoverro T., Duarte C.M., Romero J., (1995). *Annual growth dynamics of Posidonia oceanica: contribution of large scale versus local factors to seasonality*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 120, 203-210
- Alcoverro T., Romero J., Duarte C.M., Lopez N.I., (1997). *Spatial and temporal variation in nutrient limitation of seagrass Posidonia oceanica growth in the NW Mediterranean*. Mar. Ecol. Progr. Ser. 146: 155-161
- Ardizzone G.D., Migliuolo A., (1982). *Modificazioni di una prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile del medio Tirreno sottoposta ad attività di pesca a strascico*. Naturalista Sicil., S. IV, VI (Suppl.), 3: 509-515
- Ardizzone G.D., Pelusi P., (1984). *Yield and damage evaluation of bottom trawling on Posidonia meadows*. International Workshop Posidonia oceanica Beds, Boudouresque C.F., Juedy de Grissac A. et Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 63-72
- Astier J. M., (1984). *Impacts des aménagements littoraux de la rade de Toulon liés aux techniques d'endigage, sur les herbiers à Posidonia oceanica*. International Workshop Posidonia oceanica Beds, Boudouresque C.F., Juedy de Grissac A. et Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1: 255-259
- Augier H., (1986). *L'herbier à Posidonia oceanica, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologique et les études d'impact*. Vie Mar., 7: 85-113
- Augier H., Maudinas B., (1979). *Influence of the pollution on the photosynthetic pigments of the marine phanerogam Posidonia oceanica collected from different polluted areas of the region of Marseille (Mediterranean sea, France)*. Oecologia Plantarum, 14 (2): 169-176

- Balestri E., Cinelli F., Lardicci C., (2003). *Spatial variation in Posidonia oceanica structural, morphological and dynamic features in a north-western Mediterranean coastal area: a multi-scale analysis*. Marine Ecology Progress Series, 250: 51–60
- Balestri E., Benedetti-Cecchi L., Lardicci C., (2004). *Variability in patterns of growth and morphology of Posidonia oceanica exposed to urban and industrial wastes: contrasts with two reference locations*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 308: 1-21
- Bay D., (1984). *A field study of the growth dynamics and productivity of Posidonia oceanica (L.) Delile in Calvi Bay, Corsica*. Aquat. Bot., 20: 43-64
- Bedhomme A.L., Thelin I., Boudouresque C.F., (1983). *Mesure de la production primaire des feuilles de Posidonia oceanica: modification de la méthode de Zieman*. Botanica Marina, 26: 35-43
- Bianchi C.N., Bedulli D., Morri C., Occhipinti Ambrogio A. (1989). *L'herbier de posidonies: écosystème ou carrefour écoéthologique?* In: *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, C.F. Boudouresque, A. Meinesz and E. Fresi, eds, GIS Posidonie, FR, 2: 257-272
- Boudouresque C.F., Giraud G., Panayotidis P., (1980). *Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). XIX. Mise en place d'un transect permanent*. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 6: 207-221
- Boudouresque C.F., Crouzet A., Pergent G., (1983a). *Un nouvel outil au service de l'étude des herbiers à Posidonia oceanica: la Lépidochronologie*. Rapp. P.V. Réun. commiss. internation. Explor. sci. Médit., Monaco, 28 (3): 111-112
- Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A., (1983b). *L'herbier à Posidonia oceanica en Méditerranée: les interaction entre la plante et le sédiment*. J. Rech. Oceanogr., 8 (2-3): 99-122
- Boudouresque C.F., Jeudy De Grissac A., Meinesz A., (1984). *Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de Posidonia oceanica dans la baie d'Elbu (Corse)*. International Workshop *Posidonia oceanica Beds*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. edit. Gis Posidonie Publ., Fr., 1: 185-191
- Boudouresque C.F., Bertrand M.C., Bouladier E., Foret P., Meinesz A., Pergent G., Vitiello P., (1990). *Le Réseau de surveillance des herbiers de Posidonies mis en place en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Rapp. Commiss. internation. Mer Médit., 32(1): 11

- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., (2006). *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. RAMOGE pub. : 1-202
- Buia M.C. (2004). *Posidonia oceanica: limiti e vantaggi nell'uso di descrittori*. Biol. Mar. Medit., 11(1): 68-77
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. (2003). *I sistemi a Fanerogame marine*. Biol. Mar. Medit. 10: 145-198
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. (2004). *Seagrass systems*. In: Gambi M.C., Dappiano M. (Editors). *Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study*. Biol. mar. Medit. 11(suppl. 1): 133-183
- Buia M.C., Zupo V., Mazzella L. (1992). *Primary production and growth dynamics in Posidonia oceanica*. P.S.Z.N.I, Marine Ecology, 13: 1-16
- Casola E., Scardi M., Mazzella L., Fresi E., (1987). *Structure of the epiphytic community of Posidonia oceanica leaves in a shallow meadow*. Mar. Ecol. P.S.Z.N.I, 8 (4): 285-296
- Cebrian J., Duarte C.M., (2001). *Detrital stocks and dynamics of the seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile in the Spanish Mediterranean*. Aquat. Bot. 70: 295-309
- Cebrian J., Enriquez S., Fortes M., Agawin N., Vermaat J.E., Duarte C.M. (1999). *Epiphyte accrual on Posidonia oceanica (L.) Delile leaves: implications for light absorption*. Bot. Mar., 42: 123-128
- Crouzet A., (1981). *Mise en évidence de variations cycliques dans les écailles des rhizomes de Posidonia oceanica (Potamogetonaceae)*. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 7: 129-135
- Crouzet A., (1984). *Contribution à l'étude anatomique des feuilles de Posidonia oceanica (Potamogetonaceae). Variation de la structure le long d'une écaille épaisse*. International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., 1: 109-117
- Davis J.C., (1976). *Statistics and data analysis in Geology*. 2nd ed., J. Wiley & Sons, New York, 646 pp.
- Di Carlo G., Badalamenti F., Terlizzi A., (2006). *Recruitment of Posidonia oceanica on rubble mounds: substratum effects on biomass partitioning and leaf morphology*. Biol Mar. Medit., 13(4): 210-214

- Di Girolamo I., (2003). *Il programma di monitoraggio per il controllo degli ambienti marino-costieri italiani del Ministero dell'Ambiente*. Ann. Ist. Super. Sanità 39 (1): 105-109
- Drew E.A., (1971). *Botany. Underwater Science. An introduction to experiments by divers*. J.D. Woods, J.N. Lithgoe Eds., Academic Press., London: 175-233
- Duarte C.M., (1991). *Seagrass depth limits*. Aquat. Bot. 40: 363-377
- Duarte C.M., Marbà N., Agawin N.S.R., Cebrián J., Enríquez S., Fortes M.D., Gallegos M.E., Merino M., Olesen B., Sand-Jensen K., Url J.S., Vermaat J.E. (1994). *Reconstruction of seagrass dynamics: age determinations and associated tools for the seagrass ecologist*. Marine Ecology Progress Series 107: 195-209
- Duarte C.M., Chiscano C.L. (1999). *Seagrass biomass and production: a reassessment*. Aquat. Bot., 65: 159-174
- Duarte C.M., Agusta S., Satta M.P., (1998). *Partitioning particulate light absorption: a budget for a Mediterranean bay*. Limnol. Oceanogr. 43 (2): 236-244
- Delgado O., Ruiz J., Perez M., Romero J., Ballesteros E., (1999). *Effects of fish farming on seagrass (Posidonia oceanica) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation*. Oceanol. Acta 22; 109-117
- De Falco G., Ferrari S., Cancemi G., Baroli M., (2000). *Relationship between sediment distribution and Posidonia oceanica seagrass*. Geo. Mar. Letters 20, 50-57
- Elkalay K., Frangoulis C., Skliris N., Goffart A., Gobert S., Lepoint G., Hecq J.H. (2003). *A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass Posidonia oceanica in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean)*. Ecological Modelling 167: 1-18
- Fresi E., Chimenz C., Morchio G., (1982). *Zonazione di briozoi ed idroidi epifiti in una prateria di Posidonia oceanica (L.) Delile*. Naturalista sicil., ser; 4, 6 (3): 499-508
- Giraud G., (1977). *Essai de classement des herbiers de Posidonia oceanica (L.) Delile*. Bot. Mar. 20 (8): 487-491
- Giraud G. (1979). *Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de Posidonia oceanica (L.) Delile*. Bull. Mus. Hist. nat. Marseille. Fr. 39: 33-39
- Gordon D.M., Grey K.A., Simpson C.J., (1994). *Changes to the structure and productivity of a Posidonia sinuosa meadow during and after imposed shading*. Aquat. Bot. 47, 265-275

- Gobert S., Kyramarios M., Lepoint G., Pergent-Martini G., Bouquegneau J.M. (2003). *Variations at different spatial scales of Posidonia oceanica (L.) Delile beds; effects on physico-chemical parameters of the sediment*. Oceanol. Acta 26: 199-207
- Guidetti P., Fabiano M., (2000). *The use of lepidochronology to assess the impact of terrigenous discharges on the primari leaf production of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica*. Mar. Pollut. Bull. 40 (5): 449–453
- Guidetti P., (2001). *Detecting environmental impacts on the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica L. Delile: the use of reconstructive methods in combination with ‘beyond BACI’ designs*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 260: 27–39
- Guidetti P., Lorenti M., Buia M.C. E Mazzella L. (2002). *Temporal dynamics and biomass partitioning in three Adriatic seagrass system: Posidonia oceanica, Cymodocea nodosa, Zostera marina*. PSZNI, Mar. Ecol. 23(1): 51-67
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P. D., (2001). *PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp
- Kruskal J. B., (1964). *Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method*. Psychometrika 29: 115-129
- Leoni V., Pasqualini V., Pergent-Martini C., (2003). *Descriptors of Posidonia oceanica meadows: general overview*. In: Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (a cura di E. Özhan). MEDCOST 03, Ravenna: 831-842
- Libes M., (1985). *Contribution à l'étude de la production primaire des herbiers à Posidonia oceanica par la méthode du carbone 14 appliqué “in situ”*. J. Rech. Oceanogr., 10 (1): 24-28
- Marbà N., Cebrian J., Enriquez S., Duarte C. M., 1996. *Growth patterns of western Mediterranean seagrasses: species-specific responses to seasonal forcing*. Marine Ecology Progress Series, 133 (1-3): 203–215.
- Marbà N., Duarte C.M., (1998). *Rhizome elongation and seagrass clonal growth*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 174: 269-280
- McRoy P., Goering J.J., (1974). *Nutrient transfer between the seagrass Zostera marina and its epiphytes*. Nature, U.K. 248: 173-174
- Meinesz A., Laurent R., (1978). *Cartographie et état de la limite inférieure de l’herbier de Posidonia oceanica dans les Alpes-Maritimes (France)*. Campagne Poséidon 1976. Botanica marina, 21 (8): 513-526

- Meinesz A., Laurent R., (1980). *Cartes de la limite inférieure de l'herbier de Posidonia oceanica dans les Alpes-Maritimes (France). Campagne Poséidon 1976*. Ann. Inst. Océanogr. 56(1): 45-54
- Molenaar H., Barthélémy D., Reffye P., Meinesz A., Mialet I., (2000). *Modelling and growth patterns of Posidonia oceanica*. Aquat Bot., 66: 85–99
- Montefalcone M., Albertelli G., Morri C., Bianchi C. N., (2007). *Urban seagrass: status of Posidonia oceanica off Genoa city waterfront (Italy)*. Marine Pollution Bulletin, 54: 206-213
- Montefalcone M., Lasagna R., Bianchi C. N., Morri C., Albertelli G., (2006). *Anchoring damage on Posidonia oceanica meadow cover: a case study in Prelo cove (Ligurian sea, NW Mediterranean)*. Chemistry and Ecology, 22 (1): 207–217
- Mossé R.A., (1983). *Variations cycliques dans les écailles de Posidonia oceanica: rhizomes plagiotropes et orthotropes*. Lab. Ecol. Benthos, Fac. Sci. Luminy, Univ. Aix-Marseille II, et Parc nation. Port-Cros, Fr.: 1-276
- Mossé R.A., (1984). *Recherches lépidochronologiques sur Posidonia oceanica: rhizomes plagiotropes et orthotropes des herbiers profonds de Port-Cros (Méditerranée, France)*. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 10: 87-107
- Mossé R.A., (1985). *Mise au point du méthode rapide d'évaluation de la production primaire de Posidonia oceanica* . Contrat IFREMER, Lab. Ecol. Benthos, Fac. sci. Marseille: 1-32
- Ott J., (1980). *Growth and production in Posidonia oceanica (L.) Delile*. P.S.Z.N.I, Marine Ecology, 1: 47-64
- Peirano A. (2002). *Lepidochronology and internodal length methods for studying Posidonia oceanica growth: are they compatible?* Aquatic Botany, 74: 175–180
- Peirano A., Bianchi C.N., (1995). *Decline of the seagrass Posidonia oceanica in response to environmental disturbance: a simulation-like approach off Liguria (NW Mediterranean Sea)*. In: The response of marine organisms to their environments (a cura di L. E. Hawkins e S. Hutchinson). University of Southampton, UK: 87-95
- Peirano A., Damasso V., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N., (2005). *Growth of the seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile in Liguria (NW Italy, Mediterranean Sea): relations with climate, alien species invasion and anthropogenic impacts*. Marine Pollution Bulletin, 50: 817–822

- Pergent G., (1987). *Recherches lépidochronologiques chez Posidonia oceanica (Potamogetonaceae). Fluctuations des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes*. Thèse Doct. Océanol., Univ. Aix-Marseille II, Fr.: 1-853
- Pergent G., (1990). *Lepidochronological analysis of the seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile: a standardized approach*. Aquatic Botany, 37: 39-54
- Pergent G., (1991). *Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée*. Oceanis 17(4): 341-350
- Pergent G., Boudouresque C.F., Crouzet A., (1982). *Mise in évidence de variations cycliques dans les écailles de Posidonia oceanica*. Lab. Ecol. Benthos, Fac. Sci. Luminy, Marseille et Parc nation. Port-Cros (Var.), Fr.: 1-193
- Pergent G., Boudouresque C.F., Crouzet A., (1983). *Variations cycliques dans les écailles des rhizomes orthotropes de Posidonia oceanica*. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 9: 107-148
- Pergent G., Boudouresque C.F., Crouzet A., Meinesz A., (1989). *Cyclic changes along Posidonia oceanica rhizomes (Lepidochronology). Present state and perspectives*. Mar. Ecol., 10 (3): 221-230
- Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M.A., Boudouresque C.F., (1994). *Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica*. Mar. Ecol. Progr. Ser. 106: 139-146
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C. F., (1995). *Utilisation de l'herbier à Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances*. Mesogée 54: 3-27
- Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G. (1994). *Primary production of Posidonia oceanica in the Mediterranean Basin*. Mar. Biol., 120: 9-15
- Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G. (1995). *Nutrient impact on Posidonia oceanica seagrass meadows: preliminary data*. Mar. Life 5: 3-9
- Pergent-Martini C., Leoni V., Pasqualini V., Ardizzone G.D., Balestri E., Bedini R., Belluscio A., Belsher T., Borg J., Boudouresque C.F., Boumaza S., Bouquegneau J.M., Buia M.C., Calvo S., Cebrian J., Charbonnel E., Cinelli F., Cossu A., Di Maida G., Dural B., Francour P., Gobert S., Lepoint G., Meinesz A., Molenaar H., Mansour H. M., Panayotidis P., Peirano A., Pergent G., Piazzì L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R.,

- Shembri P., Shili A., Tomasello A., Velimirov B., (2005). *Descriptors of Posidonia oceanica meadows: use and application*. Ecological Indicators, 5: 213-230
- Pergent-Martini C., Pergent G., Fernandez C., Ferrat L., (1999). *Value and use of Posidonia oceanica as a biological indicator*. In: Ozhan, E., (Ed.), Land-ocean interactions: managing coastal ecosystems. Proceeding MEDCOAST 99–EMECS 99 Joint Conference MEDCOAST, Middle East Technical Univ. Publ, Ankara: 73–90
- Pirc H., (1983). *Below ground biomass of Posidonia oceanica (L) Delile and its importance to the growth dynamics*. Intl. Symp. aquat. Macrophytes, Nijmegen, Netherl.: 177-181
- Pirc H., (1985). *Growth dynamics in Posidonia oceanica (L.) Delile*. P.S.Z.N.I, Marine Ecology, 6 (2): 141-165
- Plante-Cuny M.R., Libes M., (1984). *Revue critique des différentes approches méthodologiques de l'estimation de la production primaire des herbiers à Posidonia oceanica*. International Workshop Posidonia oceanica Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., 1: 235-243
- Rico V., Pergent G., (1990). *Evaluation de la production primaire de l'herbier à Posidonia oceanica de la baie de Porto Conte (Sardaigne) par la méthode lépidochronologique*. Contrat GIS Posidonie e Marconsult, GIS Posidonie édit., Marseille, Fr.: 1-136
- Romero J. (1989). *Seasonal pattern of Posidonia oceanica production: growth, age and renewal of leaves*. In: Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. (Eds), Second International Workshop on Posidonia oceanica Beds. GIS Posidonie Publications, France, 2: 63–67
- Romero J., Martínez-Crego B., Alcoverro T., Pérez M., (2007). *A multivariate index based on the seagrass Posidonia oceanica (POMI) to assess ecological status of coastal waters under the Water Framework Directive (WFD)*. Marine Pollution Bulletin, 55: 196–204
- Romero J., Pérez M., Mateo M.A., Sala E., (1994). *The belowground organs of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica as a biogeochemical sink*. Aquat. Bot. 47: 13–19
- Romero J., Perez M., Alcoverro T., Mateo M.A., Sanchez-Lizaso J.L., (1998). *Production ecology of Posidonia oceanica (L.) Delile meadows in Nueva tabarca marine Reserve: growth, biomass and nutriment stocks along a bathymetric gradient*. Oecologia aquatica 11: 111-121
- Romero J., Pergent G., Pergent-Martini C., Mateo M.A., Regnier C., (1992). *The detritic compartment in a Posidonia oceanica meadow: litter features, decomposition rates and mineral stocks*. Mar. Ecol. 13 (1): 73–83

- Ruíz J.M., Pérez M., Romero J., (2001). *Effects of fish farm loadings on seagrass (Posidonia oceanica) distribution, growth and photosynthesis*. Mar. Pollut. Bull. 42(9): 749–760
- Ruíz J.M., Romero J., (2003). *Effects of disturbance caused by coastal constructions on spatial structure, growth, dynamics and photosynthesis of the seagrass Posidonia oceanica*. Marine Pollution Bulletin 46: 1523-1533
- Scardi M., (2001). *Tecniche di analisi dei dati in Ecologia*. <http://www.mare-net.com/mscardi>
- Thelin I., Giorgi J., (1984). *Production de feuilles dans un herbier superficiel à Posidonia oceanica, évaluée par une méthode dérivée de la méthode de Zieman*. International Workshop *Posidonia oceanica* Beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edit., Gis Posidonie publ., 1: 271-276
- Torricelli L., Peirano A., (1997). *Produzione primaria fogliare di Posidonia oceanica (L.) Delile di Monterosso al Mare (SP): variazioni lungo u gradiente atimetrico e d'illuminazione*. Biol. Mar. Medit. 4(1): 81-85
- Warwik R.M., Clark K.R. (1993). *Increased variability as a sympton on stress in marine communities*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 172: 215-226
- Wittmann K.J. (1984). *Temporal and morphological variations of growth in a natural stand of Posidonia oceanica (L.) Delile*. P.S.Z.N.I, Marine Ecology, 5: 301–316
- Wittmann K.J., Ott J., (1980). *Effects of cropping and growth in the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica (L.) Delile*. P.S.Z.N.I, Marine Ecology, 3 (2): 151-159
- Zieman J.C., (1974). *Méthods for the study of the growth and production of the turtle grass, Thalassia testudinum Konig*. Aquaculture, Amsterdam, 4: 139-143

6. ALLEGATI

6.1 Tabella dei dati di produzione stimati con metodo REG e metodo RMA

6.2 Tabella dei dati utilizzati per l'analisi multivariata

6.1 Tabella dei dati di produzione stimati con metodo REG e metodo RMA

	Stazio	N	L				P.fogliare	P.fogliare
Prateria	ne	scaglie	scaglie	D	L (cm)	L (cm)	(mg/fascio/anno)	(mg/fascio/anno)
			(cm)	(mg/cm)	REG	RMA	REG	RMA
Tor Paterno	P1a	7,48	3,47	3,31	24,80	20,33	615,31	504,47
Tor Paterno	P2a	7,83	3,28	4,62	23,10	17,00	835,44	614,73
Tor Paterno	P3a	7,68	2,79	3,06	18,81	8,57	442,53	201,72
Tor Paterno	P4a	7,06	3,93	3,51	28,85	28,28	714,61	700,47
Tor Paterno	P5a	7,65	3,53	4,04	25,36	21,44	783,49	662,15
Tor Paterno	P6a	6,93	3,91	4,63	28,65	27,89	919,91	895,40
Tremiti	TR11	5,85	2,54	5,16	28,52	21,21	860,58	640,14
Tremiti	TR12	6,03	4,06	5,07	39,31	41,32	1202,46	1263,81
Tremiti	TR13	5,81	3,63	4,74	36,24	35,59	997,13	979,29
Tremiti	TR21	5,80	4,03	5,48	39,13	40,97	1244,00	1302,66
Tremiti	TR22	6,15	3,04	6,24	32,09	27,87	1231,58	1069,55
Tremiti	TR23	5,78	4,02	5,30	39,02	40,77	1193,40	1246,95
Tremiti	TR31	6,15	3,08	5,81	32,36	28,37	1156,93	1014,33
Tremiti	TR32	6,29	2,88	5,56	30,92	25,69	1081,22	898,18
Tremiti	TR33	5,88	2,86	5,28	30,82	25,50	956,61	791,45
Tremiti	TR41	6,14	3,35	5,15	34,31	31,99	1085,20	1011,99
Tremiti	TR42	5,66	3,00	5,09	31,79	27,31	916,34	787,13
Tremiti	TR43	5,57	2,98	4,70	31,66	27,06	828,46	708,12
Tremiti	TR51	5,88	3,61	5,41	36,11	35,35	1148,58	1124,53
Tremiti	TR52	5,69	3,21	4,80	33,28	30,08	909,35	821,87
Tremiti	TR53	5,81	3,69	5,16	36,68	36,41	1100,45	1092,41
Ventotene	VE11	7,10	4,20	5,05	61,11	57,49	2190,30	2060,51
Ventotene	VE12	6,23	3,89	4,39	59,57	52,72	1630,21	1442,74
Ventotene	VE13	6,99	3,80	4,76	59,14	51,37	1967,39	1708,95
Ventotene	VE21	7,39	4,34	4,99	61,77	59,56	2275,78	2194,17
Ventotene	VE22	6,95	4,71	4,68	63,59	65,19	2068,19	2120,18
Ventotene	VE23	6,13	3,70	4,23	58,66	49,89	1521,07	1293,68
Ventotene	VE31	7,68	4,38	5,19	61,99	60,23	2470,74	2400,48
Ventotene	VE32	7,47	4,27	4,23	61,44	58,52	1941,14	1848,92
Ventotene	VE33	6,05	3,25	4,57	56,45	43,03	1559,34	1188,64
Ventotene	VE41	5,52	3,00	4,10	55,21	39,18	1249,05	886,44
Ventotene	VE42	5,90	3,77	3,61	59,00	50,95	1256,52	1085,01
Ventotene	VE43	5,41	2,95	3,92	54,94	38,36	1164,08	812,75
Ventotene	VE51	5,72	4,30	4,76	61,56	58,88	1678,29	1605,31
Ventotene	VE52	6,28	3,25	4,89	56,44	43,01	1732,92	1320,40
Ventotene	VE53	5,82	3,39	4,38	57,13	45,15	1456,19	1150,83
S. Marinella	SM11	5,64	3,16	4,83	38,57	25,61	1051,33	698,16
S. Marinella	SM12	6,60	3,74	4,15	42,37	36,31	1161,10	994,86
S. Marinella	SM13	6,10	3,32	4,66	39,61	28,55	1126,64	812,05
S. Marinella	SM21	7,02	3,92	5,01	43,53	39,54	1533,08	1392,76
S. Marinella	SM22	6,40	3,70	4,38	42,14	35,64	1181,97	999,73
S. Marinella	SM31	5,85	3,62	3,95	41,56	34,02	959,79	785,72
S. Marinella	SM32	5,60	3,25	4,32	39,16	27,29	946,45	659,54
S. Marinella	SM41	5,84	3,39	3,92	40,07	29,83	917,02	682,70
S. Marinella	SM42	6,10	3,10	2,89	38,17	24,49	672,56	431,55
S. Marinella	SM43	6,40	2,95	4,29	37,14	21,61	1018,73	592,80
S. Marinella	SM51	6,66	4,30	4,74	46,03	46,58	1454,89	1472,14
S. Marinella	SM52	6,20	3,42	4,78	40,26	30,36	1193,81	900,34
S. Marinella	SM61	6,60	3,31	4,89	39,54	28,34	1275,87	914,46
S. Marinella	SM71	5,19	3,39	4,50	40,07	29,83	935,23	696,26

S. Marinella	SM72	6,50	3,78	4,99	42,64	37,07	1382,45	1201,60
Vada	T1S1	6,39	4,04	3,07	44,43	38,24	871,66	750,24
Vada	T1S2	6,54	3,82	4,59	42,82	34,29	1287,46	1031,04
Vada	T1S3	6,42	3,54	4,34	40,79	29,32	1137,39	817,44
Vada	T2S1	6,21	4,07	3,16	44,59	38,65	875,89	759,08
Vada	T2S2	6,75	4,09	5,36	44,78	39,10	1618,84	1413,52
Vada	T2S3	6,43	3,40	5,59	39,81	26,91	1431,50	967,67
Vada	T3S1	6,67	3,80	2,96	42,65	33,87	841,31	668,20
Vada	T3S2	6,36	3,62	2,70	41,35	30,69	709,85	526,87
Vada	T3S3	6,53	3,58	4,54	41,08	30,01	1218,85	890,59
Vada	T4S1	6,82	3,88	3,28	43,27	35,40	966,36	790,57
Vada	T4S2	6,35	3,96	4,25	43,81	36,73	1182,63	991,51
Vada	T4S3	6,52	3,76	4,21	42,39	33,25	1163,74	912,67
Vada	T5S1	6,56	4,07	5,12	44,59	38,64	1498,61	1298,60
Vada	T5S2	6,59	4,16	4,35	45,25	40,25	1297,40	1154,13
Vada	T5S3	7,00	3,83	3,71	42,87	34,42	1114,07	894,38
Meloria	T1S1	6,26	3,82	3,20	43,65	32,29	873,42	646,11
Meloria	T1S2	5,92	3,80	4,23	43,53	31,90	1090,17	798,87
Meloria	T1S3	6,16	3,77	4,51	43,27	31,02	1201,06	861,23
Meloria	T2S1	6,10	3,62	3,48	42,26	27,69	896,34	587,42
Meloria	T2S2	6,66	3,60	4,39	42,14	27,32	1233,48	799,60
Meloria	T2S3	6,30	3,79	3,13	43,44	31,61	856,07	622,83
Meloria	T3S1	6,32	3,88	4,53	44,04	33,56	1261,45	961,31
Meloria	T3S2	6,17	3,61	3,10	42,21	27,53	807,99	527,08
Meloria	T3S3	6,00	3,76	5,52	43,26	31,01	1433,64	1027,51
Meloria	T4S1	6,77	2,90	6,53	37,26	11,20	1646,58	495,16
Meloria	T4S2	6,00	3,75	3,11	43,18	30,73	806,20	573,71
Meloria	T4S3	6,58	3,78	4,20	43,39	31,44	1200,50	869,80
Meloria	T5S1	6,20	3,98	3,37	44,79	36,06	935,03	752,69
Meloria	T5S2	6,13	4,46	3,84	48,10	46,97	1130,87	1104,28
Meloria	T5S3	6,08	3,76	4,47	43,20	30,80	1172,39	835,84
Cogoleto	CA11	7,20	3,60	4,09	48,64	40,81	1434,10	1203,16
Cogoleto	CA12	8,50	4,10	4,45	51,54	49,14	1949,30	1858,41
Cogoleto	CA21	7,70	4,40	4,98	53,28	54,13	2044,02	2076,81
Cogoleto	CA22	8,40	3,80	4,12	49,80	44,14	2084,31	1847,39
Cogoleto	CA23	7,50	3,30	5,03	46,90	35,81	1448,09	1105,68
Cogoleto	CA31	7,50	3,90	4,50	50,38	45,80	1899,14	1726,68
Cogoleto	CA32	7,80	3,80	4,64	49,80	44,14	1748,20	1549,48
Cogoleto	CA33	7,90	3,40	3,88	47,48	37,48	1741,29	1374,40
Talamone	T1S1	7,00	3,12	3,45	31,72	21,61	765,71	521,66
Talamone	T1S2	6,79	2,84	5,31	28,90	12,96	1041,96	467,37
Talamone	T1S3	6,69	2,74	5,13	27,95	10,06	958,20	344,85
Talamone	T2S1	6,43	3,16	4,48	32,09	22,74	923,80	654,72
Talamone	T2S2	6,49	2,79	5,14	28,42	11,50	948,52	383,78
Talamone	T2S3	6,55	3,22	4,42	32,74	24,74	947,73	716,10
Talamone	T3S1	6,73	2,83	5,88	28,81	12,69	1139,97	502,05
Talamone	T3S2	6,61	3,08	5,17	31,32	20,38	1069,60	696,13
Talamone	T3S3	6,72	3,30	4,07	33,53	27,15	917,96	743,30
Talamone	T4S2	6,95	3,05	5,00	31,08	19,65	1081,37	683,78
Talamone	T4S3	7,49	3,01	5,24	30,64	18,32	1201,99	718,53
Talamone	T5S1	6,86	2,95	5,76	30,04	16,46	1186,05	649,86
Talamone	T5S2	6,80	3,39	4,93	34,42	29,87	1153,81	1001,54
Talamone	T5S3	6,89	3,27	4,48	33,21	26,18	1025,05	808,06
Otranto	OT11	6,13	3,80	5,30	27,71	21,74	899,99	706,15
Otranto	OT12	6,17	4,67	4,67	32,64	36,68	941,45	1058,07
Otranto	OT13	6,31	3,35	4,37	25,17	14,04	694,86	387,65

Otranto	OT22	6,06	3,38	4,64	25,35	14,58	712,17	409,62
Otranto	OT23	6,34	4,04	4,89	29,07	25,86	901,25	801,77
Otranto	OT31	5,63	3,55	4,77	26,28	17,41	705,35	467,23
Otranto	OT32	5,80	3,75	5,53	27,43	20,90	879,51	670,15
Otranto	OT33	5,89	3,22	5,18	24,43	11,79	745,95	360,08
Otranto	OT41	6,55	4,57	5,63	32,08	34,98	1181,72	1288,51
Otranto	OT42	6,09	4,24	6,10	30,19	29,26	1122,13	1087,43
Otranto	OT43	5,74	3,48	4,18	25,91	16,28	621,05	390,23
Otranto	OT51	5,92	3,70	4,57	27,16	20,06	734,74	542,79
Otranto	OT52	5,93	3,78	4,67	27,62	21,46	763,88	593,51
Otranto	OT53	6,24	3,79	5,04	27,63	21,49	870,20	676,91
San Pietro	SP12	6,82	2,87	3,83	32,19	12,67	840,22	330,80
San Pietro	SP13	6,23	3,98	4,01	40,56	36,78	1011,91	917,74
San Pietro	SP21	6,03	3,96	4,35	40,36	36,22	1058,17	949,68
San Pietro	SP22	6,21	4,17	4,57	42,00	40,94	1191,82	1161,79
San Pietro	SP23	6,28	4,19	4,25	42,10	41,22	1124,10	1100,78
San Pietro	SP31	6,79	4,06	7,23	41,16	38,52	2020,47	1891,01
San Pietro	SP32	6,50	4,31	4,88	43,01	43,86	1365,03	1392,03
San Pietro	SP33	5,90	3,71	3,89	38,55	31,00	885,28	711,86
San Pietro	SP41	6,58	3,30	5,61	35,42	21,99	1307,18	811,61
San Pietro	SP42	6,69	4,29	4,69	42,92	43,59	1347,46	1368,54
San Pietro	SP43	6,18	3,68	4,64	38,26	30,18	1097,53	865,64
San Pietro	SP51	6,32	3,94	4,08	40,23	35,86	1037,57	924,68
San Pietro	SP52	6,89	4,13	4,70	41,65	39,93	1346,75	1291,08
San Pietro	SP53	6,30	3,76	4,66	38,87	31,92	1140,33	936,38
Terracina	TE11	6,80	3,66	5,30	36,51	22,78	1316,00	821,10
Terracina	TE12	6,29	3,84	4,63	37,86	28,22	1103,23	822,45
Terracina	TE13	6,20	3,16	4,64	32,87	8,06	946,29	232,05
Terracina	TE14	6,45	3,91	4,97	38,39	30,38	1230,38	973,66
Terracina	TE15	6,25	4,71	5,07	44,23	54,02	1401,44	1711,57
Terracina	TE21	6,84	3,69	4,26	36,75	23,73	1071,86	692,27
Terracina	TE22	5,90	3,70	4,83	36,85	24,16	1052,02	689,57
Terracina	TE31	6,42	4,38	5,05	41,84	44,34	1356,27	1437,28
Terracina	TE32	5,85	3,25	4,39	33,55	10,78	862,26	277,03
Terracina	TE41	6,16	3,37	4,74	34,41	14,29	1005,16	417,44
Terracina	TE42	6,65	4,35	5,13	41,56	43,19	1418,37	1474,15
Terracina	TE51	7,00	4,30	4,70	41,19	41,71	1353,98	1370,97
Terracina	TE52	6,23	3,58	5,04	35,90	20,32	1128,60	638,67
Terracina	TE53	6,60	3,31	4,22	33,97	12,48	945,15	347,15
Maratea	MR11	6,20	3,20	4,64	25,32	22,73	728,87	654,39
Maratea	MR12	5,80	3,70	4,59	29,11	29,16	774,77	776,24
Maratea	MR13	6,30	3,30	4,69	26,08	24,02	770,91	710,04
Maratea	MR21	6,40	3,90	5,15	30,62	31,74	1008,99	1045,64
Maratea	MR22	6,10	4,70	4,80	36,68	42,02	1074,19	1230,58
Maratea	MR23	5,90	3,70	4,38	29,11	29,16	752,71	754,14
Maratea	MR31	6,70	3,60	3,95	28,35	27,88	750,34	737,81
Maratea	MR32	5,90	3,10	4,21	24,56	21,45	609,92	532,55
Maratea	MR33	6,00	3,30	4,26	26,08	24,02	666,78	614,14
Maratea	MR41	6,00	3,40	4,74	26,84	25,31	764,01	720,44
Maratea	MR42	6,50	3,80	4,99	29,87	30,45	968,17	987,09
Maratea	MR43	5,60	2,90	4,23	23,05	18,88	546,21	447,32
Maratea	MR51	6,10	4,30	4,71	33,65	36,88	966,71	1059,40
Maratea	MR52	6,20	3,30	4,89	26,08	24,02	790,57	728,16
Maratea	MR53	6,60	3,40	5,05	26,84	25,31	893,84	842,87
Gallinara	T1S1	18,70	7,10	4,10	4,88	39,80	41,26	1380,50
Gallinara	T1S2	12,00	8,20	4,20	4,82	41,06	43,14	1621,91

Gallinara	T1S3	4,50	8,80	3,20	4,67	28,47	24,35	1169,82
Gallinara	T2S1	19,10	7,20	4,10	4,97	39,80	41,26	1424,53
Gallinara	T2S2	10,00	7,70	4,10	4,56	39,80	41,26	1396,62
Gallinara	T2S3	4,20	7,20	2,50	4,15	19,66	11,20	587,04
Gallinara	T3S1	17,60	7,20	3,50	4,94	32,25	29,99	1147,50
Gallinara	T3S2	15,00	7,70	4,30	5,00	42,32	45,02	1627,96
Gallinara	T3S3	10,00	7,30	4,40	5,33	43,58	46,90	1694,94

6.2 Tabella dei dati utilizzati per l'analisi multivariata

Sono riportate in rosso le variabili predittive del modello PosiPred e in verde le variabili biologiche relative a ciascun sito

ID	prateria	lat. (gradi decimali)	long. (gradi decimali)	prof. (m)	gradiente	concordanza venti dominanti	esposizione ai venti dominanti	concordanza esposizione	concavo	piano	convesso	runs variazione profilo	"apertura" litorale	sabbia	roccia	matte	ancoraggio	inquinamento	immissioni	densità (fasci m ⁻²)	SF fascio (cm ²)	P. rizoma 3-10anni (mg fascio ⁻¹ anno ⁻¹)	P. fogliare (mg fascio ⁻¹ anno ⁻¹) RMA	N scaglie	fascia batimetrica (1:<10,2:<15,3:<20,4:>20)
CA11	COGOLETO	44,37555	8,63417	17,6	4,91	0,50	0,5	1	0	1	0	4	2	1	0	0	0	1	0	271,3	257,05	56,11	1203,16	7,16	3
CA12	COGOLETO	44,37555	8,63333	14,5	4,91	0,50	0,5	1	0	1	0	3	2	0	0	1	0	1	0	340,0	362,76	83,36	1858,41	8,54	2
CA21	COGOLETO	44,38555	8,65612	19,2	4,91	0,50	0,5	1	0	1	0	4	2	1	0	0	1	1	0	316,3	428,37	80,07	2076,81	7,88	3
CA22	COGOLETO	44,38695	8,65638	11,0	4,91	0,50	0,5	1	0	1	0	3	2	0	0	1	1	1	0	406,3	384,31	79,97	1847,39	8,42	2
CA23	COGOLETO	44,38917	8,65667	3,8	3,37	0,50	0,5	1	0	1	0	4	2	0	1	0	1	1	0	623,8	98,11	105,33	1105,68	7,52	1
CA31	COGOLETO	44,38917	8,68167	17,9	6,75	0,50	0,5	1	0	1	0	4	2	1	0	0	0	1	0	287,5	363,22	115,72	1726,68	7,47	3
CA32	COGOLETO	44,38945	8,68028	12,3	7,71	0,50	0,5	1	0	1	0	3	2	0	0	1	0	1	0	482,5	287,32	121,57	1549,48	7,76	2
CA33	COGOLETO	44,38972	8,67888	9,6	2,45	0,50	0,5	1	0	1	0	4	2	1	0	0	0	1	0	578,8	226,32		1374,40	7,90	1
GA11	GALLINARA	44,02667	8,22028	18,7	3,60	0,00	0,0	1	1	0	0	3	1	1	0	0	1	0	0	183,8	258,74	82,44	1431,09	7,08	3
GA13	GALLINARA	44,02638	8,22362	4,5	6,75	0,00	0,0	0	0	0	1	4	1	1	0	0	1	0	0	547,5	246,27	114,63	1000,60	8,90	1
GA21	GALLINARA	44,02695	8,21945	19,1	3,00	0,00	0,0	1	1	0	0	3	1	1	0	0	1	0	1	203,8	369,94	95,03	1476,73	7,23	3
GA22	GALLINARA	44,03112	8,21638	10,0	1,59	0,00	0,0	1	0	1	0	4	3	0	0	1	1	0	1	365,0	286,60	75,58	1447,80	7,63	2
GA31	GALLINARA	44,02000	8,20528	17,6	2,84	0,00	0,0	1	0	1	0	4	3	1	0	0	0	1	0	92,5	208,94	60,02	1067,10	7,21	3
GA32	GALLINARA	44,02055	8,20305	15,0	3,18	0,00	0,0	1	0	1	0	4	3	0	0	1	0	1	0	121,3	295,18	98,03	1731,74	7,47	3
GA33	GALLINARA	44,02112	8,20000	10,0	3,37	0,00	0,0	1	0	1	0	3	3	1	0	0	0	1	0	247,5	144,55	115,58	1823,97	7,31	2
MA12	PUNTA MANARA	44,25445	9,41222	10,1	18,00	0,00	0,0	0	0	1	0	3	1	1	1	0	0	0	0	406,3	198,83	78,82	1317,45	7,87	2
MA13	PUNTA MANARA	44,25472	9,41195	6,5	13,50	0,00	0,0	0	0	1	0	3	1	0	1	0	0	0	0	465,0	171,98	70,13	1290,01	7,88	1
MA21	PUNTA MANARA	44,25305	9,41028	24,2	18,00	0,50	0,0	0	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	158,8	347,56	79,61	1222,25	7,75	4
MA22	PUNTA MANARA	44,25305	9,40972	15,8	13,50	0,50	0,0	0	0	1	0	3	1	1	0	0	0	0	0	385,0	349,03	88,88	1290,01	7,91	3
MA23	PUNTA MANARA	44,25333	9,40917	12,0	13,50	0,50	0,0	0	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	401,3	279,92	111,05	1895,86	8,10	2

ME11	MELORIA	43,58083	10,23000	5,0	0,00	0,00	0,5	1	0	0	1	4	4	1	0	0	1	1	0	500,0	297,85	88,53	646,11	6,26	1
ME12	MELORIA	43,60417	10,21667	10,0	1,00	0,00	0,5	1	1	0	0	2	4	1	0	0	1	1	0	478,8	239,87	111,53	798,87	5,92	2
ME13	MELORIA	43,61167	10,21167	16,0	0,98	0,00	0,5	1	1	0	0	3	4	1	0	1	0	1	0	410,0	192,71	80,37	861,23	6,16	3
ME21	MELORIA	43,57750	10,21333	4,0	0,42	0,00	0,5	1	0	1	0	2	4	1	1	0	1	1	0	502,5	267,86	85,31	587,42	6,10	1
ME22	MELORIA	43,59667	10,19833	10,0	0,98	0,00	0,5	1	0	1	0	2	4	1	0	1	1	1	0	438,8	302,12	101,00	799,60	6,66	2
ME23	MELORIA	43,60300	10,19417	18,0	1,06	0,00	0,5	1	0	1	0	2	4	1	0	1	0	1	0	423,8	257,61	107,76	622,83	6,30	3
ME31	MELORIA	43,57083	10,20500	5,0	0,44	0,00	0,5	1	0	1	0	3	4	1	0	0	1	1	0	532,5	264,23	106,00	961,31	6,32	1
ME32	MELORIA	43,58750	10,18700	10,0	0,36	0,50	0,5	1	0	0	1	2	4	1	0	0	1	1	0	452,5	313,44	80,33	527,08	6,17	2
ME33	MELORIA	43,59667	10,17583	20,0	0,56	0,00	0,5	1	0	1	0	2	4	1	0	1	0	1	0	425,0	209,94	86,88	1027,51	6,00	4
ME41	MELORIA	43,55750	10,21167	3,5	1,04	0,00	0,5	1	0	0	1	2	4	0	1	0	1	1	0	582,5	68,97	78,62	495,16	6,76	1
ME42	MELORIA	43,55667	10,18500	13,0	0,34	0,50	0,5	1	0	1	0	0	4	0	1	0	1	1	0	460,0	323,82	90,81	573,71	6,00	2
ME43	MELORIA	43,55417	10,15750	22,5	0,81	0,00	0,5	1	0	1	0	2	4	1	0	1	0	1	0	323,8	140,12	86,53	869,80	6,58	4
ME51	MELORIA	43,54583	10,22000	4,0	2,70	0,00	0,5	0	0	0	1	3	4	0	1	0	1	1	0	617,5	130,45	84,40	752,69	6,20	1
ME52	MELORIA	43,53583	10,19667	12,0	0,65	0,00	0,5	1	0	1	0	2	4	0	1	1	1	1	0	515,0	293,09	92,83	1104,28	6,13	2
ME53	MELORIA	43,52800	10,17567	24,0	3,37	0,00	0,5	1	0	1	0	4	4	1	0	1	0	1	0	352,5	252,48	59,30	835,84	6,08	4
MM11	MONTEROSSO	44,13917	9,64528	20,2	4,91	0,00	0,0	0	0	1	0	4	2	1	0	0	0	0	0	348,8	350,66	89,49	1185,24	7,52	4
MM12	MONTEROSSO	44,13972	9,64417	11,2	9,00	0,00	0,0	0	0	1	0	3	1	1	0	0	0	0	0	407,5	371,62	86,93	1758,87	7,64	2
MM21	MONTEROSSO	44,13805	9,64333	21,8	6,75	0,00	0,0	0	0	1	0	3	2	1	0	0	0	0	0	176,3	249,45	88,97	1123,49	7,24	4
MM22	MONTEROSSO	44,13805	9,64195	12,0	10,80	0,00	0,0	0	0	1	0	3	1	1	1	0	0	0	0	325,0	307,49	50,31	1105,23	7,60	2
MM23	MONTEROSSO	44,13833	9,64028	7,0	6,00	0,00	0,0	0	0	1	0	3	1	0	1	0	0	0	0	413,8	158,49	69,26	1972,26	7,32	1
MO11	MORTOLA	43,77778	7,53888	25,1	3,86	0,00	0,0	1	0	0	1	4	3	1	0	0	0	0	0	153,8	257,05	93,72	1734,08	7,38	4
MO12	MORTOLA	43,77972	7,53862	15,0	2,70	0,00	0,0	1	0	1	0	3	3	0	0	1	0	0	0	335,0	288,37		845,55	8,36	3
MO13	MORTOLA	43,78195	7,53888	3,6	5,40	0,00	0,0	1	0	1	0	3	3	1	1	0	0	0	0	655,0	237,24	59,95	1538,27	8,38	1
MO21	MORTOLA	43,77612	7,55250	26,1	2,40	0,00	0,0	1	1	0	0	2	3	1	0	0	0	0	0	157,5	247,53	54,90	1176,24	7,08	4
MO31	MORTOLA	43,77917	7,56222	20,4	3,86	0,00	0,0	0	0	1	0	3	3	1	0	0	0	0	0	151,3	300,03	104,71	1899,41	7,40	4
MO33	MORTOLA	43,78167	7,55862	3,3	5,40	0,00	0,0	0	0	1	0	2	3	0	1	0	0	0	0	488,8	293,09	65,34	1945,57	7,24	1
MR12	MARATEA	40,03850	15,64517	20,0	16,20	0,00	0,0	0	0	1	0	2	2	1	0	1	0	0	0	305,0	168,19	50,48	776,24	6,15	4
MR22	MARATEA	40,02767	15,67150	19,0	3,60	0,00	0,0	0	0	1	0	3	2	0	0	1	0	0	0	263,8	294,79	75,26	1230,58	5,81	3
MR31	MARATEA	40,00133	15,68650	6,0	5,40	0,00	0,0	1	0	1	0	2	2	0	1	0	0	0	0	431,3	143,54	44,46	737,81	6,69	1
MR42	MARATEA	39,97233	15,71750	16,0	4,15	0,50	0,5	1	0	1	0	4	3	0	0	1	0	0	0	345,0	145,40	61,77	987,09	6,49	3
MR51	MARATEA	39,94567	15,73600	7,0	4,91	0,50	0,5	1	0	1	0	3	3	0	0	1	0	0	0	432,5	210,28	74,08	1059,40	6,13	1
MR52	MARATEA	39,94550	15,73217	22,0	9,00	0,50	0,5	0	0	1	0	3	3	1	0	1	0	0	0	185,0	118,85	52,84	728,16	6,20	4
MR53	MARATEA	39,94550	15,72817	26,0	4,76	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	0	0	1	0	0	0	127,5	144,22	52,11	842,87	6,55	4
OT11	OTRANTO	40,23333	18,46517	6,5	2,25	0,50	0,5	1	1	0	0	2	3	0	1	1	0	0	0	460,0	108,55	87,87	706,15	6,13	1
OT12	OTRANTO	40,23367	18,46783	13,0	4,70	0,50	0,5	1	0	1	0	3	3	0	1	0	0	0	0	216,3	179,33	80,36	1058,07	6,17	2
OT23	OTRANTO	40,21517	18,47450	17,0	2,00	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	1	1	1	0	0	1	250,0	201,73	79,24	801,77	6,34	3
OT32	OTRANTO	40,18383	18,47483	11,0	3,60	0,50	0,5	1	0	1	0	2	2	0	1	0	0	0	0	322,5	171,43	52,43	670,15	5,80	2
OT41	OTRANTO	40,16367	18,48717	6,5	5,40	0,00	0,5	1	0	1	0	2	2	0	1	1	0	0	0	348,8	132,63	137,26	1288,51	6,55	1
OT42	OTRANTO	40,16517	18,48700	12,0	7,20	0,50	0,5	1	0	1	0	4	2	0	0	1	0	0	0	322,5	217,35	91,46	1087,43	6,09	2
OT43	OTRANTO	40,16600	18,48617	24,0	5,14	0,50	0,5	1	1	0	0	4	2	1	0	1	0	0	0	115,0	188,62	46,90	390,23	5,74	4
OT51	OTRANTO	40,14783	18,50033	4,5	2,70	0,50	0,5	0	0	1	0	2	2	0	1	1	0	0	0	473,8	135,11	54,24	542,79	5,92	1
OT52	OTRANTO	40,14917	18,50167	10,0	3,00	0,50	0,5	0	0	1	0	3	2	0	1	1	0	0	0	283,8	174,36	49,27	676,91	5,93	2
PA12	PAGANA	44,33638	9,22667	7,8	8,10	0,50	0,5	0	0	1	0	2	1	1	0	0	1	0	0	473,8	313,40	45,36	1647,44	7,72	1

PA13	PAGANA	44,33667	9,22583	4,7	8,10	0,00	0,5	0	0	1	0	2	1	1	0	0	1	0	0	630,0	275,64	51,09	1952,90	7,86	1
PA21	PAGANA	44,33972	9,22945	13,4	1,86	0,50	0,5	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	368,8	331,17	89,32	1695,24	7,63	2
PA22	PAGANA	44,34000	9,22862	9,5	9,00	0,50	0,5	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	572,5	260,03	47,85	1328,36	7,19	1
PA23	PAGANA	44,34028	9,22750	2,8	5,40	0,50	0,5	1	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	487,5	149,17	43,82	887,74	7,47	1
SM11	SANTA MARINELLA	42,04450	11,82052	5,0	10,81	0,00	1,0	1	1	0	0	2	5	0	0	1	0	0	0	636,3	203,36		698,16	5,64	1
SM12	SANTA MARINELLA	42,04038	11,81780	10,0	1,93	0,00	1,0	1	0	0	1	4	5	1	1	0	0	0	0	458,8	216,71	98,20	994,86	6,27	2
SM13	SANTA MARINELLA	42,03788	11,81690	15,0	1,93	0,00	1,0	1	0	0	1	2	5	1	1	0	0	0	0	258,8	270,83	43,98	812,05	6,09	3
SM21	SANTA MARINELLA	42,02658	11,83822	5,0	3,70	0,00	1,0	1	0	0	1	3	5	0	1	0	0	0	0	713,8	142,36	103,64	1392,76	7,02	1
SM22	SANTA MARINELLA	42,02377	11,83425	10,0	1,74	0,00	1,0	1	0	0	1	4	5	0	1	0	0	0	0	567,5	173,32	67,39	999,73	6,37	2
SM31	SANTA MARINELLA	42,02642	11,84690	5,0	3,37	0,00	1,0	1	0	0	1	4	5	1	1	0	0	0	0	562,5	85,34	79,50	785,72	5,85	1
SM32	SANTA MARINELLA	42,02032	11,84733	10,0	2,25	0,00	1,0	0	0	0	1	4	5	1	1	0	0	0	0	371,3	222,88	74,51	659,54	5,61	2
SM41	SANTA MARINELLA	42,03700	11,88432	5,0	2,45	0,33	0,7	1	0	0	1	3	4	0	1	0	0	0	0	403,8	150,16	76,91	682,70	5,84	1
SM51	SANTA MARINELLA	42,03783	11,89935	17,0	0,90	0,33	0,7	1	0	1	0	4	4	0	1	0	0	0	0	343,8	168,40	73,69	1472,14	6,66	3
SM52	SANTA MARINELLA	42,03620	11,90000	15,0	6,75	0,00	0,7	1	0	1	0	4	4	1	1	0	0	0	0	218,8	213,32	48,04	900,34	6,22	3
SM61	SANTA MARINELLA	42,03033	11,92122	9,0	2,16	0,00	0,7	1	0	1	0	4	4	1	0	1	0	0	0	146,3	116,23	67,66	914,46	6,62	1
SM72	SANTA MARINELLA	42,01562	11,94343	14,0	0,53	0,00	0,7	1	0	1	0	2	4	0	1	0	0	0	0	167,5	132,44	72,28	1201,60	6,49	2
SP13	S. PIETRO (TA)	40,46333	17,12633	15,4	2,00	0,25	0,3	0	0	1	0	4	1	1	0	1	0	1	0	192,5	180,46	80,79	917,74	6,23	3
SP21	S. PIETRO (TA)	40,45050	17,14050	7,0	4,50	0,25	0,3	0	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	0	485,0	243,84	71,16	949,68	6,03	1
SP22	S. PIETRO (TA)	40,45050	17,13533	13,0	0,89	0,25	0,3	0	0	1	0	2	1	0	1	1	0	0	0	287,5	196,34	98,91	1161,79	6,21	2
SP23	S. PIETRO (TA)	40,44817	17,12667	17,5	6,00	0,25	0,3	0	0	1	0	3	1	1	0	1	0	0	0	180,0	231,98	74,23	1100,78	6,28	3
SP32	S. PIETRO (TA)	40,44633	17,14000	10,0	1,08	0,25	0,3	0	0	1	0	2	1	1	0	1	0	0	0	310,0	233,26	56,14	1392,03	6,50	2
SP41	S. PIETRO (TA)	40,44383	17,16017	3,5	3,24	0,25	0,3	0	0	1	0	2	1	0	1	1	0	0	0	491,3	87,87	65,82	811,61	6,58	1
SP42	S. PIETRO (TA)	40,44250	17,16000	9,0	3,86	0,25	0,3	1	0	1	0	3	1	0	0	1	0	0	0	397,5	231,71	81,80	1368,54	6,68	1
SP43	S. PIETRO (TA)	40,44150	17,15983	14,5	5,40	0,25	0,3	0	0	1	0	3	1	1	1	0	0	0	0	263,8	173,08	50,85	865,64	6,18	2
SP52	S. PIETRO (TA)	40,43883	17,17200	11,0	6,75	0,25	0,3	1	0	1	0	2	1	0	0	1	0	1	0	241,3	275,41	71,93	1291,08	6,89	2
SP53	S. PIETRO (TA)	40,43850	17,17117	14,0	5,40	0,25	0,3	1	0	1	0	2	1	1	0	1	0	1	0	168,8	185,34	83,10	936,38	6,30	2
TA12	TALAMONE	42,55167	11,14333	10,0	0,62	1,00	1,0	1	1	0	0	2	2	0	0	1	0	1	0	460,0	211,14	83,97	467,37	6,89	2
TA21	TALAMONE	42,54800	11,16083	5,0	0,60	0,00	1,0	0	0	1	0	2	2	0	1	0	0	0	1	532,5	205,17	104,22	654,72	6,43	1
TA23	TALAMONE	42,54000	11,14167	15,0	0,74	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	1	462,5	159,12	67,83	716,10	6,55	3
TA31	TALAMONE	42,54167	11,17083	5,0	0,56	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	491,3	168,82	79,91	502,05	6,73	1
TA32	TALAMONE	42,53700	11,15833	10,0	0,68	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	547,5	219,33	87,89	696,13	6,61	2
TA33	TALAMONE	42,53267	11,14833	15,0	0,61	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	462,5	202,42	97,94	743,30	6,72	3
TA41	TALAMONE	42,53333	11,17467	5,0	0,40	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	517,5	167,39	92,92	608,83	6,63	1
TA42	TALAMONE	42,53033	11,16500	10,0	0,36	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	536,3	202,32	115,85	683,78	6,95	2
TA43	TALAMONE	42,52583	11,15167	14,0	0,95	1,00	1,0	1	0	1	0	2	3	0	0	1	0	0	0	452,5	212,18	99,33	718,53	7,49	2
TA51	TALAMONE	42,52533	11,18000	5,0	0,53	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	460,0	157,04	101,63	649,86	6,86	1
TA52	TALAMONE	42,52250	11,17167	10,0	0,53	1,00	1,0	1	0	1	0	2	2	0	0	1	0	0	0	522,5	116,63	92,76	1001,54	6,80	2
TA53	TALAMONE	42,51783	11,15917	14,0	0,71	1,00	1,0	1	0	1	0	2	3	0	0	1	0	0	0	407,5	181,74	78,72	808,06	6,89	2
TE11	TERRACINA	41,22930	13,10620	6,0	0,62	0,00	1,0	0	0	1	0	0	4	0	0	1	0	0	0	228,8	232,41	86,29	821,10	6,80	1
TE12	TERRACINA	41,22590	13,10892	10,0	1,80	0,00	1,0	1	0	1	0	4	4	1	0	1	0	0	0	147,5	367,56	99,53	822,45	6,29	2
TE14	TERRACINA	41,20433	13,12217	20,0	1,11	0,00	1,0	1	0	0	1	4	4	1	0	0	0	0	0	240,0	303,22	104,48	973,66	6,45	4
TE15	TERRACINA	41,18917	13,13517	28,0	0,38	0,00	1,0	1	0	0	1	4	4	1	0	1	0	0	0	251,3	258,89	105,18	1711,57	6,25	4
TE21	TERRACINA	41,24955	13,13440	10,0	3,17	0,00	0,5	0	0	1	0	4	3	1	0	0	0	0	0	292,5	227,33	50,42	692,27	6,84	2

TE22	TERRACINA	41,24540	13,14912	19,0	0,68	0,00	0,5	1	0	1	0	0	3	1	0	0	0	1	202,5	262,37	56,50	689,57	5,90	3	
TE31	TERRACINA	41,27103	13,20988	20,5	0,66	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	0	0	1	0	1	80,0	215,65	104,17	1437,28	6,42	4	
TE41	TERRACINA	41,28385	13,27913	15,0	0,79	0,00	0,5	1	0	1	0	0	3	1	0	0	0	1	230,0	552,65	48,28	417,44	6,16	3	
TE42	TERRACINA	41,28187	13,27933	17,0	0,78	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	0	0	1	0	1	212,5	273,98	54,82	1474,15	6,65	3	
TE51	TERRACINA	41,28100	13,34177	12,0	1,12	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	1	0	0	0	0	190,0	377,18	102,22	1370,97	7,00	2	
TE52	TERRACINA	41,27850	13,34050	15,0	1,15	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	0	0	1	0	0	197,5	341,06	68,43	638,67	6,23	3	
TR12	TREMITI	42,11367	15,49333	14,0	9,00	0,00	0,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	236,3	185,62	52,77	1263,81	6,03	2	
TR13	TREMITI	42,11367	15,49417	18,0	9,00	0,00	0,0	1	0	1	0	2	2	1	0	0	0	0	243,8	269,09	67,23	979,29	5,81	3	
TR21	TREMITI	42,12367	15,49383	17,0	10,80	0,00	1,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	230,0	253,85	81,59	1302,66	5,80	3	
TR22	TREMITI	42,12383	15,49417	18,0	10,80	0,00	1,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	258,8	251,22	87,56	1069,55	6,15	3	
TR23	TREMITI	42,12400	15,49433	19,0	10,80	0,00	1,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	291,3	214,23	72,93	1246,95	5,78	3	
TR32	TREMITI	42,12183	15,50267	10,0	6,75	0,00	1,0	0	1	0	0	2	1	1	0	0	1	0	316,3	139,74	52,74	898,18	6,29	2	
TR33	TREMITI	42,12300	15,50417	17,5	4,91	0,00	1,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	258,8	176,72	44,20	791,45	5,88	3	
TR43	TREMITI	42,11683	15,49667	14,0	18,00	0,00	0,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	238,8	161,49	44,68	708,12	5,57	2	
TR51	TREMITI	42,11467	15,49367	11,5	27,00	1,00	0,0	0	1	0	0	2	1	1	1	1	0	0	241,3	196,73	56,88	1124,53	5,88	2	
TR52	TREMITI	42,11417	15,49400	15,0	6,75	0,00	0,0	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	227,5	177,48	38,90	821,87	5,69	3	
TR53	TREMITI	42,11417	15,49433	17,0	6,00	0,00	0,0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0	0	248,8	156,17	55,23	1092,41	5,81	3	
VA11	VADA	43,32667	10,43700	4,0	0,34	0,50	0,5	1	0	0	1	2	3	0	1	0	0	1	0	533,8	311,21	87,05	750,24	6,39	1
VA12	VADA	43,33333	10,41917	12,0	0,96	0,00	0,5	1	1	0	0	2	3	0	1	0	0	1	0	458,8	207,64	91,89	1031,04	6,54	2
VA13	VADA	43,34000	10,40167	24,0	1,64	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	1	0	0	0	1	0	407,5	249,30	90,74	817,44	6,42	4
VA21	VADA	43,31750	10,37500	5,0	0,73	0,00	0,5	0	0	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0	598,8	311,86	93,36	759,08	6,21	1
VA22	VADA	43,32667	10,37833	14,0	1,42	0,00	0,5	0	0	1	0	2	3	1	0	1	0	0	0	541,3	351,58	119,86	1413,52	6,75	2
VA23	VADA	43,34000	10,38383	25,0	0,69	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	1	0	0	0	0	0	401,3	212,44	99,17	967,67	6,43	4
VA31	VADA	43,32667	10,36417	4,0	1,38	0,00	0,5	0	0	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0	830,0	330,37	118,73	668,20	6,67	1
VA32	VADA	43,33250	10,36167	15,0	0,71	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	1	0	1	0	0	0	526,3	311,21	82,20	526,87	6,36	3
VA33	VADA	43,34583	10,35917	32,0	3,48	0,00	0,5	0	0	1	0	4	3	1	1	0	0	0	0	428,8	192,31	92,00	890,59	6,53	4
VA41	VADA	43,32000	10,36117	5,0	0,72	0,00	0,5	0	0	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0	778,8	310,63	118,82	790,57	6,82	1
VA42	VADA	43,30917	10,35833	16,0	0,67	0,50	0,5	0	0	1	0	0	3	1	0	1	0	0	0	573,8	347,20	98,72	991,51	6,35	3
VA43	VADA	43,29667	10,35333	23,0	0,68	0,00	0,5	0	0	1	0	4	3	1	1	0	0	0	0	472,5	381,89	97,75	912,67	6,52	4
VA51	VADA	43,31917	10,42417	5,0	0,31	0,00	0,5	1	0	1	0	2	3	1	1	0	0	0	0	617,5	318,88	118,80	1298,60	6,56	1
VA52	VADA	43,30000	10,41083	13,0	0,35	0,50	0,5	0	0	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	476,3	192,03	92,45	1154,13	6,59	2
VE12	VENTOTENE	40,78560	13,42568	15,0	4,15	0,00	0,5	1	0	1	0	4	4	1	0	0	0	0	0	519,3	189,72	64,25	1442,74	6,23	3
VE13	VENTOTENE	40,78322	13,42587	22,0	4,91	0,00	0,5	1	0	1	0	4	4	1	0	0	0	0	0	309,4	258,06	70,21	1708,95	6,99	4
VE32	VENTOTENE	40,78910	13,43648	13,0	2,70	0,00	0,5	1	1	0	0	4	4	1	0	0	0	0	0	529,7	255,40	61,37	1848,92	7,47	2
VE33	VENTOTENE	40,78653	13,43860	23,0	7,72	0,00	0,5	1	0	1	0	4	4	1	0	1	0	0	0	319,8	304,32	61,30	1188,64	6,05	4
VE41	VENTOTENE	40,79475	13,43617	9,0	9,00	0,00	0,5	0	0	1	0	3	4	1	1	0	0	0	0	587,0	174,71		886,44	5,52	1
VE42	VENTOTENE	40,79332	13,44067	13,0	1,50	0,00	0,5	0	0	1	0	4	4	1	1	0	0	0	0	497,9	258,86	66,49	1085,01	5,90	2
VE43	VENTOTENE	40,79130	13,44440	19,0	6,75	0,00	0,5	1	0	0	1	4	4	1	0	1	0	0	0	360,4	340,29		812,75	5,41	3
VE51	VENTOTENE	40,80185	13,42817	5,0	3,60	0,00	0,0	0	0	1	0	2	5	0	1	1	0	0	0	431,3	112,65	61,80	1605,31	5,72	1
VE52	VENTOTENE	40,80457	13,42843	15,0	3,86	0,00	0,0	0	0	1	0	3	5	1	0	1	0	0	0	458,9	215,70	60,71	1320,40	6,28	3
VE53	VENTOTENE	40,80730	13,42845	25,0	4,50	0,00	0,0	0	0	1	0	3	5	1	0	1	0	0	0	324,5	253,50	76,89	1150,83	5,82	4