

## **“Produzione primaria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile e caratterizzazione quali-quantitativa del detrito fogliare spiaggiato nelle Pocket Beaches”**

Agostino Tomasello, Cristina Andolina, Elisa Adele Aleo, Sebastiano Calvo, Federica Paola Cassetti, Antonio Mazzola, Simona Noè, Maria Pirrotta, Andrea Savona, Geraldina Signa, Cecilia Doriana Tramati, Salvatrice Vizzini.



# **“Produzione primaria di *Posidonia oceanica* (L.) Delile e caratterizzazione quali-quantitativa del detrito fogliare spiaggiato nelle Pocket Beaches”**

Agostino Tomasello

Cristina Andolina

Elisa Adele Aleo

Sebastiano Calvo

Federica Paola Cassetti

Antonio Mazzola

Simona Noè

Maria Pirrotta

Andrea Savona

Geraldina Signa

Cecilia Doriana Tramati

Salvatrice Vizzini.

DiSTeM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

# Indice

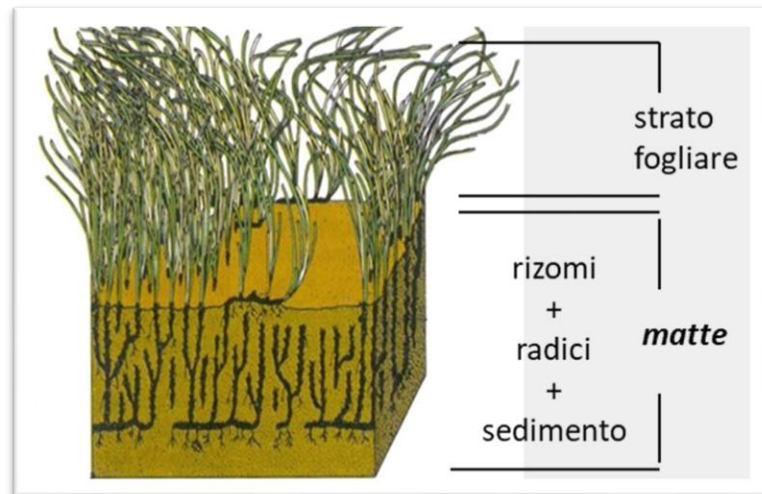
<b>1.</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Materiali e metodi .....</b>	<b>6</b>
2.1	Aree di studio.....	6
2.1.1	Capo Feto .....	6
2.1.2	Maragani.....	7
2.1.3	Scala dei Turchi.....	8
2.1.4	Solanto.....	9
2.2	Misure di densità, biometria fogliare e retrodatazioni di <i>P. oceanica</i> .....	10
2.2.1	Conteggi di densità della prateria e campionamento dei fasci .....	10
2.2.2	Analisi fenologiche.....	11
2.2.3	Analisi lepidocronologiche .....	11
2.2.4	Stima della produzione primaria di <i>P. oceanica</i> .....	12
2.2.5	Datazione al $^{14}\text{C}$ della <i>banquette</i> di Capo Feto .....	13
2.2.6	Datazione al $^{14}\text{C}$ della <i>matte</i> .....	14
2.3	Caratterizzazione quali-quantitativa del detrito fogliare spiaggiato .....	16
2.3.1	Disegno sperimentale, attività di campionamento e di laboratorio .....	16
2.3.2	Processamento dei campioni, analisi di laboratorio ed analisi dei dati .....	16
<b>3.</b>	<b>Risultati .....</b>	<b>18</b>
3.1	Biometria fogliare e retrodatazione di <i>P. oceanica</i> .....	18
3.1.1	Capo Feto .....	18
3.1.2	Maragani.....	21
3.1.3	Scala dei Turchi.....	25
3.1.4	Solanto.....	29
3.1.5	Sintesi dei risultati relativi alla produzione primaria delle praterie .....	33
3.1.6	Datazione al $^{14}\text{C}$ della <i>banquette</i> di Capo Feto .....	35
3.1.7	Datazione al $^{14}\text{C}$ della <i>matte</i> .....	35
3.2	Caratterizzazione quali-quantitativa del detrito fogliare spiaggiato .....	38
<b>4.</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>42</b>

# 1. Introduzione

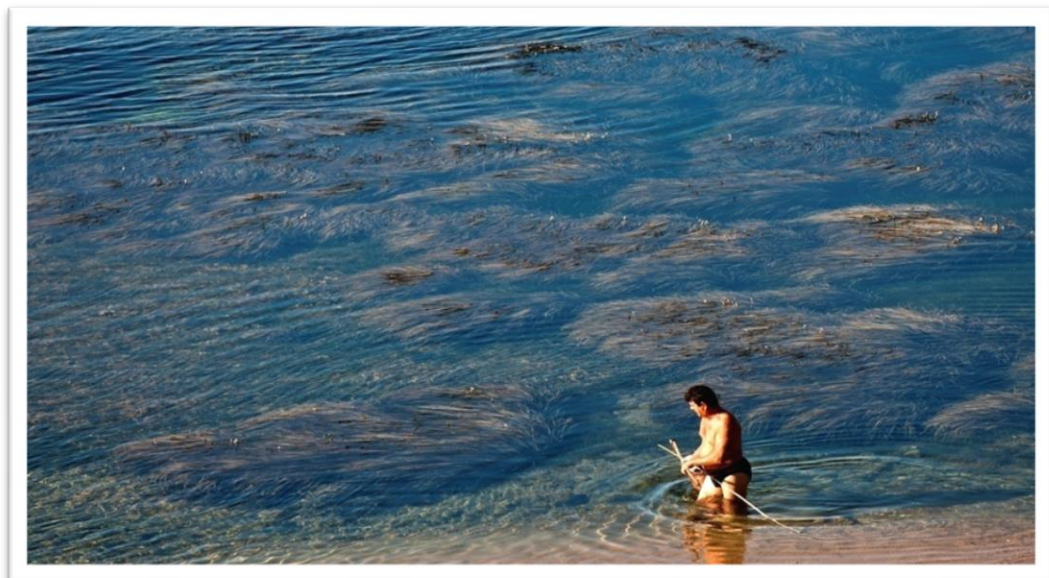
Il Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM) dell'Università degli Studi di Palermo (UNIPA), ha svolto nell'ambito del progetto "BESS" Pocket Beach Management & Remote Surveillance System le seguenti attività:

- stima della produttività primaria di praterie di *Posidonia oceanica* prospicienti le *Pocket Beach* (PB) attraverso retrodatazione;
- caratterizzazione quali-quantitativa dei depositi di detrito fogliare spiaggiato di *P. oceanica* nelle PB e analisi quali-quantitativa delle loro componenti biotiche e abiotiche;
- mappatura delle praterie rilevate nelle PB in sinergia con UNIME di cui rimanda al report pertinente. In questo report si descrivono le metodologie relative alle prime due attività.

Le praterie indagate hanno la particolarità di essere delle praterie superficiali (*récife barrière*), biocostruzioni prodotte a seguito dello sviluppo di una tipica struttura a terrazze della pianta (*matte*), costituita da rizomi intrecciati, radici e sedimenti, che può permettere ai fasci di *P. oceanica* di raggiungere la superficie del mare (Figg. 1 e 2). Queste strutture sono considerate dei veri e propri "monumenti naturali" e hanno ricevuto una crescente attenzione grazie ai potenziali servizi ecosistemici che forniscono nel proteggere le coste dall'erosione, formando nuovi habitat (lagune costiere) e contribuendo alla produzione di detrito che si accumula in formazioni pluristratificate definite *banquette*. Vista la loro importanza, occorre prestare molta attenzione al monitoraggio e alla gestione di tali aree in precario equilibrio.



**Figura 1** – Tipica struttura a terrazze di *P. oceanica* (*matte*).



**Figura 2** – *Récife barrière* di *P. oceanica* (*matte*).

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Aree di studio

Le attività di campionamento e analisi si sono svolte nel periodo compreso tra Ottobre 2018 e Febbraio 2021. Le aree di studio campione scelte (Fig. 3), concordate con gli altri partner, sono quattro tutte caratterizzate dalla presenza di praterie affioranti di *P. oceanica* (*récife barrière*).



**Figura 3** – Mappa delle praterie analizzate in questo report nell’ambito del progetto BESS.

#### 2.1.1 Capo Feto

Capo Feto (Fig. 4) è classificata come area umida e si trova nella costa sud-occidentale della Sicilia a 5 km a ovest rispetto a Mazara del Vallo (37.689167 N, 12.497778E), connessa a Nord con Margi Spanò (Petrosino) e con lo Stagnone e le Saline di Marsala ancora più a Nord, mentre verso sud Capo Feto è connesso con la costa sabbiosa che, dietro Capo Granitola, si estende fino alla foce del fiume Belice (Pernice *et al.*, 2004). L’area costiera di Capo Feto generalmente si presenta secca durante la stagione estiva, eccezion fatta per la rete di canali e dei pochi stagni, mentre in inverno si rivela il classico paesaggio da area umida con stagni, paludi e la presenza di fauna selvatica di uccelli migratori e sedentari (Pernice *et al.*, 2003). Il fondale marino dell’area ospita una delle più estese praterie di *P. oceanica* su *matte* (~30000 ha). I venti



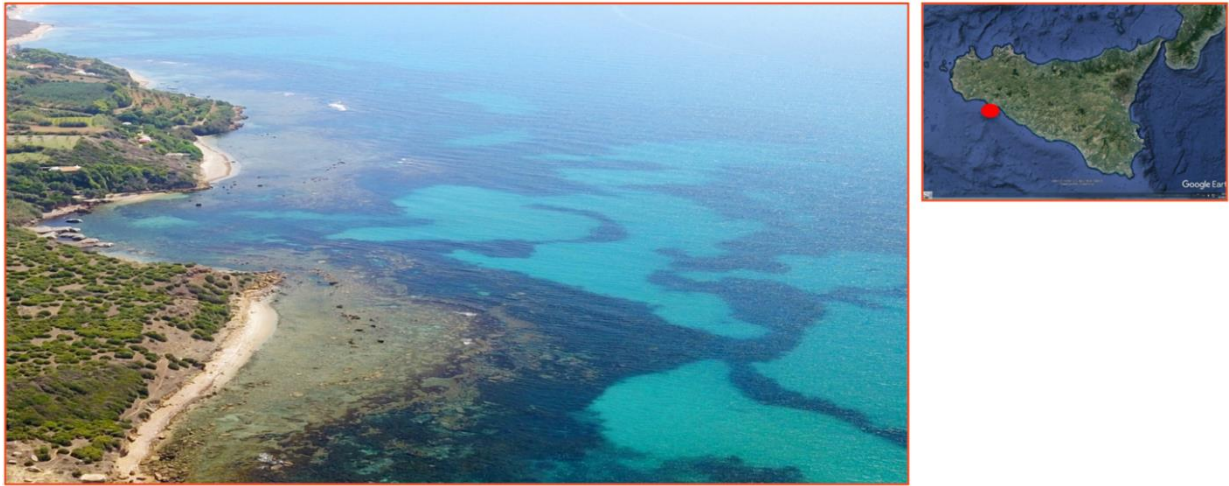
principali, provenienti da SE durante l'inverno e l'estate, creano condizioni di elevato idrodinamismo che si ripercuote sul *reef* di *P. oceanica* ( Di Carlo *et al.*, 2005).



**Figura 4** - Foto aerea dell'area costiera di Capo Feto (TP).

### 2.1.2 Maragani

Maragani (Fig. 5) è una PB che ricade all'interno del Sito di Importanza Comunitaria (SIC) "Fondali di Capo San Marco – Sciacca". L'area è caratterizzata da spiagge rettilinee, con sabbie medio-fini e quarzose, intervallate da scogliere che custodiscono diverse piccole PB. All'interno dell'area *P. oceanica* forma diversi *reef* lungo la costa, in particolare sei *reef* principali sono presenti in modo continuo per circa due km e formano degli ambienti lagunari in cui sono co-presenti altre due fanerogame: *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson e *Zostera noltei* Hornemann (Perzia *et al.*, 2011). In questo studio è stato preso in considerazione proprio il *reef* localizzato di fronte "Maragani" che, attenuando il moto ondoso, determina la formazione di una piccola laguna caratterizzata da bassa profondità, basso idrodinamismo, un fondale caratterizzato da *matte* morta, sedimento fangoso con qualche roccia interspersa (Tomasello *et al.*, 2021).



**Figura 5** - Foto aerea dell'area costiera di Maragani (AG).

### 2.1.3 Scala dei Turchi

Scala dei Turchi (Fig. 6) è una PB che si trova nella costa della Sicilia meridionale, nel territorio di Realmonte (AG) immediatamente ad est del promontorio “Punta di Maiata” (Rio *et al.*, 1984). L'area, che fa parte della sezione di Capo Rossello, è caratterizzata da una serie di scogliere il cui differente grado di resistenza all'erosione è determinato dall'alternanza di strati ora più calcarei (di origine planctonica) ora più argillosi (di origine continentale) che gli conferiscono una struttura simile a quella di una gradinata, da cui deriva il nome “Scala”. Di fronte la PB di Scala dei Turchi si estende una prateria di *P. oceanica* a reef lunga circa 400 m ad una distanza di 80 m dalla costa. Il substrato che ospita la fanerogama è costituito da un mix di *matte* e marna. Qui l'attività erosiva svolta dal dattero bianco *Pholas dactylus* (L.) su questo tipo di substrato roccioso comporta la formazione di cavità, creando così nuovi habitat che possono essere colonizzati da altre specie (Consoli *et al.*, 2015), tra cui *P. oceanica*, che con le sue radici occupa fori e fessure presenti nelle rocce come precedentemente osservato da altri autori (Mazzella *et al.*, 1993; Bellan-Santini *et al.*, 1994; Hemminga & Duarte 2000; Tomasello *et al.*, 2018).





**Figura 6** - Foto aerea dell'area costiera di Scala dei Turchi (AG).

#### 2.1.4 Solanto

Solanto (Fig. 7), è una frazione marina che fa parte del settore di Capo Zafferano, a 20 km da Palermo (Golfo di Termini), che include anche le località di Sant'Elia e Porticello. Il tratto di mare prospiciente è stato dichiarato zona rossa in quanto presenta rischi per la navigazione dati dalla presenza della Secca e dello Scoglio di Formica. La zona risulta di grande interesse dal punto di vista geologico ed archeologico per la presenza di faglie sommerse e dei resti delle antiche civiltà greche e fenice che abitarono l'area. La località di Solanto è caratterizzata dalla costa rocciosa di natura calcarenitica. Il fondale marino è roccioso e ricoperto da *matte* che ospita una prateria di *P. oceanica* affiorante (*reef*). Le acque del tratto di mare che si estende da Capo Zafferano a Solanto ricevono un notevole apporto di acque dolci dai monti vicini ed è possibile osservare nelle grotte semisommerse la fuoriuscita di acqua proveniente da sorgenti sottomarine (Giaccone 1965).



**Figura 7** - Foto aerea dell'area costiera di Solanto (PA).

## **2.2 Misure di densità, biometria fogliare e retrodatazioni di *P. oceanica***

Per valutare le performance di crescita delle praterie di *P. oceanica* analizzate sono state svolte conteggi in situ e analisi in laboratorio del materiale vegetale prelevato.

In particolare, sono state condotte:

- Stime sui conteggi di densità dei fasci;
- Analisi fenologiche;
- Analisi lepidocronologiche;
- Stime di produzione primaria della pianta
- Datazioni al  $^{14}\text{C}$

### **2.2.1 Conteggi di densità della prateria e campionamento dei fasci**

La densità è uno dei descrittori di macroripartizione più in uso nelle indagini sullo stato delle praterie di *P. oceanica*. Essa serve per valutare l'importanza quantitativa di una formazione vegetale (Giraud, 1977; Panayotidis *et al.*, 1981).

La stima della densità è stata effettuata mediante conta *in situ* dei fasci fogliari in quadrati di 40 cm di lato. Tale conta è stata replicata almeno 12 volte per località ed i risultati sono stati estrapolati ad 1 m<sup>2</sup> (Panayotidis *et al.*, 1981). Come metodo di classificazione delle praterie basato sulla densità, è stato utilizzato quello proposto da Pergent *et al.* (1995), che tiene conto della variazione della densità lungo il gradiente batimetrico.

### 2.2.2 Analisi fenologiche

Sui fascicoli fogliari sono state effettuate analisi biometriche secondo Giraud (1977) e Pergent-Martini *et al.* (2005). Queste analisi sono state effettuate su tutti i campioni prelevati in quattro stagioni.

In laboratorio si è quindi proceduto alla dissezione dei fascicoli fogliari prelevati nelle praterie individuate. Le foglie sono state staccate singolarmente seguendo la loro inserzione distica nel fascio e sono state disposte su una superficie piana per le successive misurazioni (Giraud, 1977). Sulle strutture fogliari sono stati rilevati i seguenti dati: categoria di appartenenza ripartita in: foglia adulta, se provvista di base; intermedia, se di lunghezza maggiore di 50 mm e sprovviste di base; giovanile se di lunghezza inferiore a 50 mm; lunghezza della base; lunghezza totale (base inclusa quando presente); larghezza; lunghezza del tessuto bruno; presenza degli apici erosi; peso secco della base della foglia 1/2 (105 °C per 24 h); peso secco del lembo della foglia 1/2 (105 °C per 24 h).

Sulla base di questi dati sono stati stimati i seguenti parametri fenologici: n° medio foglie totali e per categoria; lunghezza e larghezza media delle foglie per categoria (cm); altezza prateria (cm); superficie media per fascicolo fogliare (cm<sup>2</sup>); tessuto bruno (%); coefficiente "A", percentuale di apici erosi (%).

### 2.2.3 Analisi lepidocronologiche

Le misure della performance di crescita dei rizomi di *P. oceanica* sono state ottenute attraverso il metodo lepidocronologico (Pergent & Pergent-Martini, 1990). Questa tecnica, basata sull'analisi delle variazioni cicliche dello spessore delle scaglie lungo i rizomi di *P. oceanica*, ha permesso di isolare e datare segmenti di rizomi corrispondenti ad un periodo di 1 anno (anno lepidocronologico). L'anno lepidocronologico indica convenzionalmente un ciclo delimitato da ogni coppia di scaglie consecutive con spessore minimo (Pergent, 1987). Per ogni fascio, le scaglie sono state staccate dai rizomi e ordinate, secondo il loro grado di inserzione, dal più vecchio (vicino all'inserzione del rizoma) al più recente (vicino al fascio di foglie). Lo spessore minimo è stato rilevato misurando, sotto un micrometro oculare, la parte

centrale di una sottile sezione trasversale di ciascuna scaglia realizzata a circa 10 mm sopra la parte basale. Così, ogni anno lepidocronologico è stato datato dall'apice del rizoma (l'anno di campionamento) verso il basso retrodatando la sequenza dei cicli con i loro segmenti di rizoma corrispondenti, con un errore associato alla determinazione cronologica del tempo di  $\pm 1$  mese (Pergent *et al.*, 1983).

Per ogni frammento annuale di rizoma sono stati misurati la lunghezza e il peso secco per stimare rispettivamente la velocità di crescita e la produzione primaria dei rizomi e il numero di scaglie presenti per valutare la produzione annuale di foglie. Inoltre, è stata determinata l'età dei fasci. In particolare, l'età del fascio viene definita come il tempo trascorso dall'anno di nascita del fascio all'anno di formazione del segmento del rizoma (Pergent & Pergent Martini, 1990), mentre l'età del segmento del rizoma indica il tempo trascorso dalla data di campionamento all'anno di formazione del segmento del rizoma. L'anno di nascita del fascio corrisponde all'inserimento sul rizoma plagiotropo (orizzontale).

Questo metodo ha anche reso possibile rilevare e datare le fioriture pregresse attraverso il ritrovamento, all'interno del ciclo lepidocronologico, dei residui di peduncoli fiorali (Pergent *et al.* 1989).

Per rilevare il modello di fioritura nello spazio e nel tempo, è stato calcolato i seguenti indici Diaz-Almela *et al.* (2006, 2007):

intensità di fioritura (FI) come frazione percentuale dei rizomi che presentano fiori in un determinato anno.

#### 2.2.4 Stima della produzione primaria di *P. oceanica*

La produzione primaria fogliare passata (PI) è stata stimata secondo il metodo di Pergent & Pergent Martini (1991), applicando la formula

$$PI = N \times D \times L,$$

dove:

N = numero medio di foglie annuali (dati lepidocronologici);

D = densità delle foglie (dati fenologici) corrispondente al peso delle foglie per unità di lunghezza (Sand-Jensen, 1975);

$L$  = lunghezza media delle foglie (dati lepidocronologici) stimata utilizzando il rapporto tra la lunghezza della base persistente sul rizoma e la lunghezza complessiva delle foglie cadute (Giraud, 1979; Pergent & Pergent Martini, 1991).

La pendenza e l'intercetta della relazione morfometrica tra la lunghezza della base e la lunghezza totale della foglia sono state stimate mediante regressione lineare dei minimi quadrati applicata ai dati fenologici.

La produzione primaria dei rizomi è stata stimata attraverso la misura del peso secco di ogni rizoma isolato annualmente attraverso il metodo lepidocronologico.

#### 2.2.5 Datazione al $^{14}\text{C}$ della *banquette* di Capo Feto

Per stimare l'età della *banquette* di Capo Feto, nel mese di ottobre 2019 è stato eseguito il campionamento di 4 carote lungo il margine interno della *banquette*, che rappresenta la porzione più compatta e stabile, alta circa 2-4 metri, che non è interessata dalle dinamiche meteomarine stagionali. Il carotaggio è stato condotto mediante l'utilizzo di un vibro *corer* del diametro 10 cm (Fig. 8) che ha consentito di campionare carote comprese tra 200 e 264 cm di lunghezza. Una volta in laboratorio, da ciascuna carota sono state subcampionate 5 sezioni dello spessore di 1 cm, equidistanti tra loro da cui, a loro volta, sono state prelevate delle aliquote da processare per le successive analisi. Ogni aliquota è stata infatti abbondantemente sciacquata con acqua distillata e sottoposta a bagnetto ad ultrasuoni per rimuovere ogni traccia di sedimento e altro materiale estraneo, prima di essere liofilizzata (liofilizzatore ALPHA 1–4 LD plus, Martin Christ). I campioni così trattati sono stati quindi sottoposti a datazione con il metodo del radiocarbonio mediante la tecnica della spettrometria di massa ad alta risoluzione (AMS), presso il Centro di Datazione e Diagnostica (CEDAD) dell'Università del Salento. La concentrazione di radiocarbonio è stata determinata confrontando i valori misurati delle correnti di  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$  ed i conteggi di  $^{14}\text{C}$  con i valori ottenuti da campioni standard (i.e. Saccarosio C6, IAEA). Per la determinazione dell'errore sperimentale nella data del radiocarbonio è stato tenuto conto sia dello *scattering* dei dati intorno al valore medio, sia dell'errore statistico derivante dal conteggio del  $^{14}\text{C}$ .





**Figura 8** - Fasi del carotaggio di *banquette* di Capo Feto.

#### 2.2.6 Datazione al $^{14}\text{C}$ della *matte*

##### Campionamento

La datazione della *matte* dei reef a *Posidonia* è stata effettuata prelevando dei campioni in immersione A.R.A. presso i reef di Solanto, Maragani e nel *plateau* recifale a nord di Capo Feto. In ciascun reef sono state posizionate tre stazioni in ciascuna delle quali sono state effettuate carote orizzontali sullo scalino di *matte* a due quote batimetriche: base della *matte* e quota intermedia rispetto alla sommità del reef vivente. La quota batimetrica è stata rilevata con un profondimetro. Le attività di prelievo sono state effettuate da operatori qualificati in concomitanza di un collegamento audio video in diretta streaming subacquea che ha consentito di dirigere a distanza tutte le operazioni. I campioni sono stati immediatamente trasportati in laboratorio e posti in congelatore.

##### Analisi di laboratorio

I campioni sono stati sottoposti a datazione con il metodo del radiocarbonio mediante la tecnica della spettrometria di massa ad alta risoluzione (AMS). Sono stati esaminati i macrocontaminanti presenti nel campione mediante osservazione al microscopio ottico necessaria per una prima rimozione meccanica. Inoltre, è stato effettuato un trattamento chimico di rimozione delle contaminazioni dal campione sottoponendo il materiale selezionato ad attacchi chimici alternati acido-alcalino-acido. Il materiale estratto è stato successivamente convertito in anidride carbonica mediante combustione a 900°C in ambiente ossidante, e quindi in grafite mediante riduzione. Si è utilizzato H<sub>2</sub> come elemento riducente e polvere di ferro come catalizzatore.

La quantità di grafite estratta dal campione è risultata sufficiente per una accurata determinazione sperimentale dell'età.

La concentrazione di radiocarbonio è stata determinata confrontando i valori misurati delle correnti di <sup>12</sup>C e <sup>13</sup>C, e i conteggi di <sup>14</sup>C con i valori ottenuti da campioni standard di Saccarosio C6 forniti dalla IAEA.

La datazione convenzionale al radiocarbonio è stata corretta per gli effetti di frazionamento isotopico sia mediante la misura del termine  $\delta^{13}\text{C}$  effettuata direttamente con l'acceleratore, sia per il fondo della misura.

Campioni di concentrazione nota di Acido Ossalico forniti dalla NIST (National Institute of Standard and Technology) sono stati utilizzati come controllo della qualità dei risultati.

Per la determinazione dell'errore sperimentale nella data al radiocarbonio è stato tenuto conto sia dello *scattering* dei dati intorno al valore medio, sia dell'errore statistico derivante dal conteggio del <sup>14</sup>C.

La datazione è stata espressa in anni Before Present (BP) intesa convenzionalmente al radiocarbonio non calibrata il cui calcolo implica l'uso del tempo di dimezzamento di Libby (5568 anni) rispetto al valore corretto di 5730 anni (Stuiver & Polach, 1977).

## **2.3 Caratterizzazione quali-quantitativa del detrito fogliare spiaggiato**

### **2.3.1 Disegno sperimentale, attività di campionamento e di laboratorio**

Al fine di valutare la dinamica stagionale degli accumuli di detrito fanerogamico nelle tre aree di studio, il campionamento è stato seguito in quattro stagioni: inverno 2018, primavera, estate e autunno 2019. All'interno di ciascuna area di studio è stato selezionato un sito di campionamento lungo circa 350 m (e largo quanto la spiaggia stessa), lungo il quale sono stati posizionati 5 punti di campionamento equidistanti tra loro. Nella sola area di Capo Feto, data l'elevata complessità strutturale dell'accumulo, sono stati posizionati cinque transetti equidistanti e perpendicolari alla linea di costa e il campionamento è stato eseguito superficialmente, in corrispondenza dei due estremi di ciascun transetto, denominati bordo interno superficiale (fronte terra) e bordo esterno superficiale (fronte mare) dell'accumulo. Inoltre, sul bordo esterno dell'accumulo di Capo Feto, il campionamento è stato eseguito anche nello strato più profondo della porzione emersa, in modo da tener conto dell'effetto della stratificazione.

Ciascun campione è stato prelevato manualmente, mediante l'utilizzo di forbici e paletta, su un volume noto definito da un quadrato di 20x20 cm e da uno spessore variabile tra 2 e 15 cm, a seconda della massa di accumulo depositato sulla spiaggia. I campioni raccolti sono poi stati congelati alla temperatura di -20°C.

### **2.3.2 Processamento dei campioni, analisi di laboratorio ed analisi dei dati**

Ai fini delle analisi di composizione e delle classi dimensionali della *banquette*, un volume noto (14.5 x 12.5 cm, H: 4.5 cm) è stato subcampionato dai campioni di detrito preventivamente congelati. Dopo essere stato pesato, il subcampione ha subito un processo di setacciatura in umido con setacci a maglia decrescente, in modo da separare le seguenti frazioni:

- 5 cm: componenti vegetali grossolane e grandi ciottoli;
- 2 - 5 cm: componenti vegetali meno grossolane e ciottoli;
- 2 mm - 2 cm: detrito vegetale grossolano e ghiaia;
- 2 - 0.063 mm: detrito vegetale fine e sabbia;

- < 0.063 mm: detrito vegetale particellato e pelite.

Dopo la setacciatura, ciascuna frazione di subcampione ha subito un processo di *sorting*, che ha previsto l'identificazione, la separazione, il risciacquo con acqua distillata e la misurazione gravimetrica delle diverse componenti. Per quanto riguarda le classi dimensionali inferiori a 2 stufa a 60°C per circa 48 ore (fino a peso costante) prima della successiva pesatura.

I campioni di tre dei cinque transetti dell'area di studio di Capo Feto sono stati processati anche ai fini delle analisi del carbonio organico totale (TOC), dell'azoto e del fosforo totale (TN e TP). In particolare, tre subcampioni sono stati prelevati da ciascun campione di detrito ancora congelato per ciascun bordo e livello e posti ad essiccare in un liofilizzatore (ALPHA 1-4 LD plus, Martin Christ) per poi essere polverizzati utilizzando un micromolino (Retsch MM20).

Le analisi per la determinazione del TOC e del TN sono state effettuate attraverso uno spettrometro di massa collegato ad un analizzatore di carbonio e azoto CHN (Thermo Flash EA 1112) e ad una trappola CT-CN. Precedentemente, i campioni destinati all'analisi del TOC erano stati acidificati utilizzando HCl 1N al fine di rimuovere la componente carbonatica ed ottenere una corretta misurazione del valore del carbonio organico totale. Le analisi per la determinazione del TP sono state eseguite mediante ICP-OES (Optima 8000, PerkinElmer), previa mineralizzazione dei campioni con miscela di acidi forti a caldo, in un sistema chiuso a microonde (CEM, Modello MARS) al fine di portare in soluzione gli elementi associati alla matrice.

Il peso secco totale (g) dell'intero campione è stato rapportato al volume dello stesso per ottenere il valore di densità dell'accumulo (espresso in  $\text{kgm}^{-3}$ ), mentre il peso di ogni singola frazione è stato rapportato al peso totale del campione ed espresso in percentuale. I dati percentuali di carbonio organico totale, azoto e fosforo totale dei campioni di Capo Feto sono stati rapportati alla densità dell'accumulo ed espressi in  $\text{kgm}^{-3}$ , rispettivamente per ciascuno strato, bordo e stagione.

### **3. Risultati**

#### **3.1 Biometria fogliare e retrodatazione di *P. oceanica***

Complessivamente, 347 fasci ortotropi di *Posidonia oceanica*, per un totale di 2114 segmenti di rizoma annuale, sono stati analizzati utilizzando l'approccio lepidocronologico e un totale di 2386 foglie sono state misurate attraverso le analisi fenologiche. Solo nel 17,3 % dei casi è stato possibile determinare l'età esatta dei rizomi per un valore medio totale di circa 6 anni per fascio.

Di seguito, i risultati ottenuti vengono presentati per ogni singola località scelta ai fini dello studio.

##### **3.1.1 Capo Feto**

I dati medi di densità dei fascicoli fogliari identificano la prateria di Capo Feto nella classe a densità anormale inferiore (Pergent *et al.*, 1995) (Fig. 9).

I risultati dei parametri fenologici (Figg. 10-16) rivelano, in primo luogo, che il numero medio di foglie totali per fascicolo fogliare non mostra grandi differenze nei quattro periodi di campionamento con valori di  $6.5 \pm 0.3$  in primavera 2019 e  $7.2 \pm 0.4$  in estate 2019. Analizzando la singola categoria fogliare, non si evidenziano particolari differenze nell'arco delle stagioni relativamente alle foglie adulte: infatti, il maggior numero di foglie adulte si riscontra in primavera 2019 ( $3.3 \pm 0.2$ ) e il numero più basso in autunno/inverno 2020 ( $2.8 \pm 0.1$ ). Le foglie intermedie mostrano una ciclicità stagionale in termini di numerosità media, che tende infatti a decrescere da autunno/inverno 2018 ( $2.8 \pm 0.1$ ) a estate 2019 ( $1.0 \pm 0.1$ ) per incrementare nella successiva stagione autunno/inverno 2019\_2020. Le foglie giovanili sono costanti in numero in tutte le stagioni ( $\sim 0.8$ ) tranne nella stagione estiva 2019 ( $3.1 \pm 0.2$ ) in cui è stato rilevato un incremento numerico rispetto alla precedente stagione, primavera 2019 ( $0.8 \pm 0.2$ ).

La lunghezza media delle foglie adulte aumenta dalla stagione invernale ( $37.8 \text{ cm} \pm 1.9$ ) a quelle primaverile ( $43.3 \text{ cm} \pm 2.9$ ) ed estiva ( $46.8 \text{ cm} \pm 3.6$ ) e successivamente decresce nella nuova stagione invernale ( $22.7 \text{ cm} \pm 2.3$ ). La lunghezza fogliare media delle foglie intermedie mostra anch'essa la stessa tendenza con i valori



minimi nelle due stagioni autunno/invernali (rispettivamente  $21.9 \text{ cm} \pm 0.8$  e  $26.4 \text{ cm} \pm 1.5$ ) e i valori massimi nelle stagioni più calde ( $55.7 \text{ cm} \pm 4$  e  $41.5 \text{ cm} \pm 4.4$ ). Le foglie giovanili invece mostrano la tendenza opposta con valori più bassi in estate ( $1.0 \text{ cm} \pm 0.2$ ) rispetto a tutte le altre stagioni.

In merito alla larghezza media delle foglie (Fig. 4), tutte le categorie fogliari mostrano lo stesso andamento seguendo il classico periodo stagionale. In particolare, le foglie adulte e intermedie hanno larghezza media molto simile tra di loro e tra le stagioni ( $\sim 0.9 \text{ cm}$ ), mentre la stagionalità del risultato è più evidente per le foglie giovanili con valori tra  $0.51 \text{ cm} \pm 0.06$  e  $0.82 \text{ cm} \pm 0.04$ .

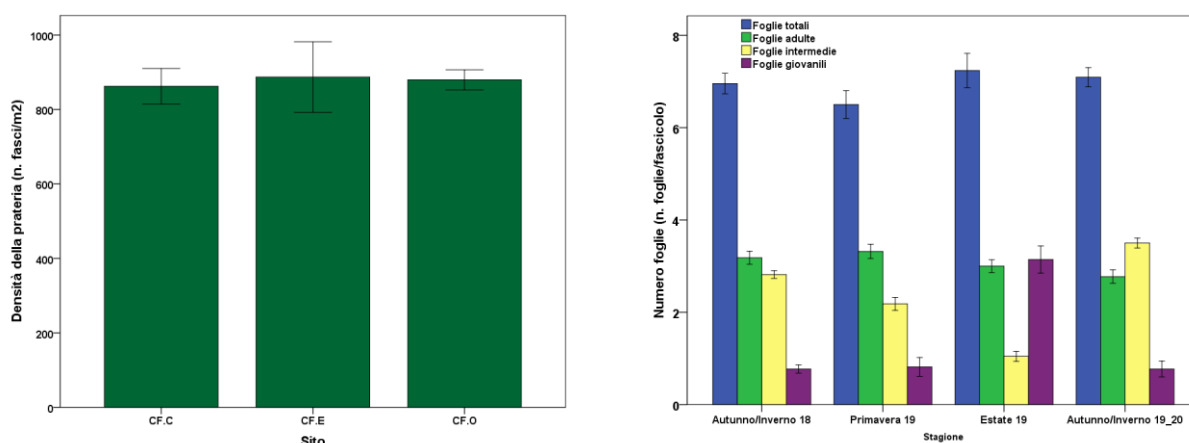


Figura 10

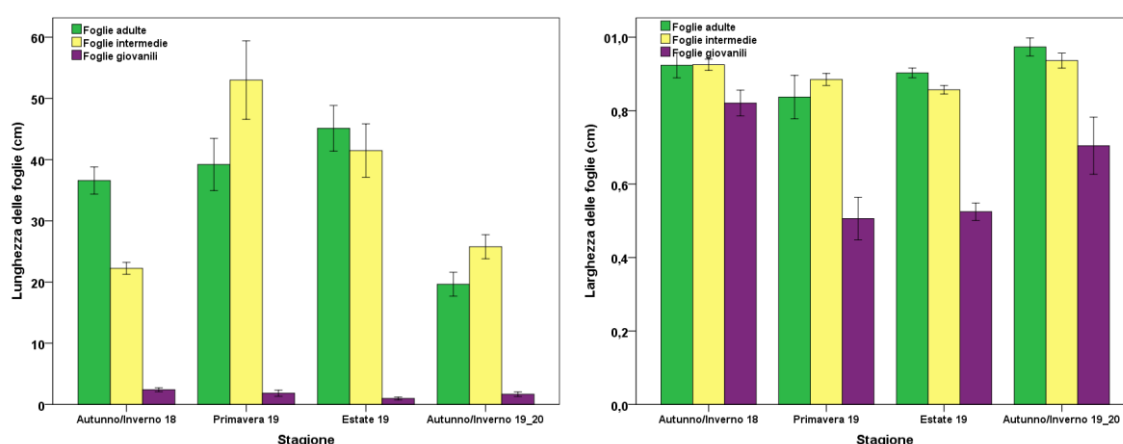
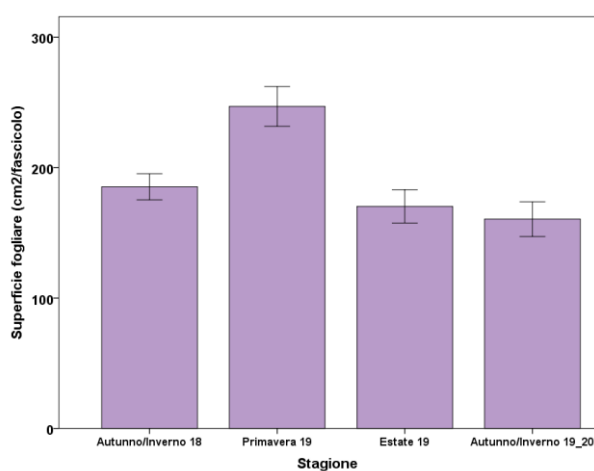


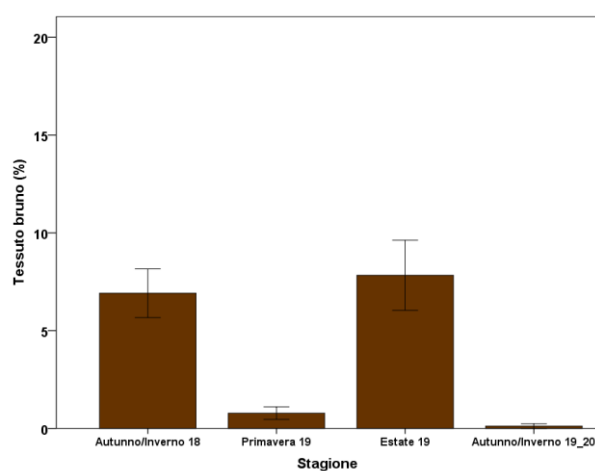
Figura 11

Figura 12

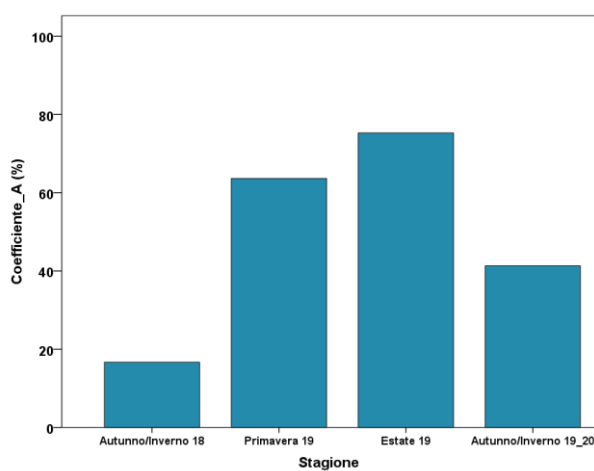
La superficie fogliare media nella località di Capo Feto mostra carattere stagionale con il valore massimo che si riscontra in primavera 2019 ( $247 \text{ cm}^2 \pm 15.2$ ). La quantità di tessuto bruno è quasi nulla in primavera e in autunno/inverno '19\_20 mentre è più elevata in autunno/inverno '18 ed estate '19. Il coefficiente A % evidenzia un incremento dall'inverno 2018 all'estate 2019 ed un successivo decremento. Infine, l'altezza della prateria si mantiene tra 80 cm e 100 cm nei periodi compresi tra autunno/inverno 2018 ed estate 2019 e diminuisce in autunno/inverno 19\_20 (~60 cm).



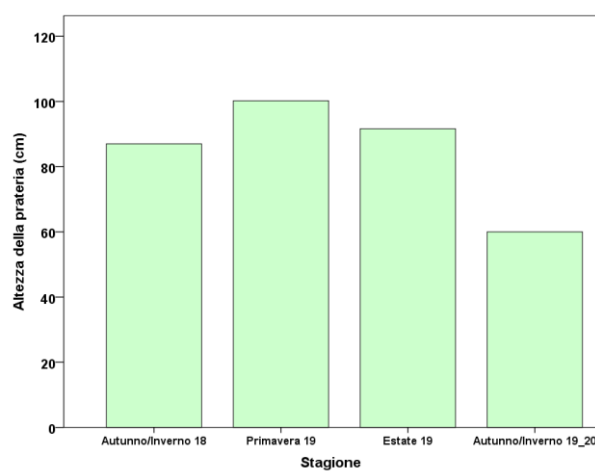
**Figura 13**



**Figura 14**



**Figura 15**



**Figura 16**

Riguardo ai risultati delle analisi lepidocronologiche (Figg. 17-20), si osserva che l'età dei fasci nella località è di 7/8 anni per fascio e che la velocità annuale di crescita dei rizomi ha un andamento costante nel corso degli anni pari a ~ 8 mm per anno, nonostante una certa variabilità naturale interna. Anche la produzione di foglie è

costante con quasi 6 foglie prodotte ogni anno. Relativamente alla produzione primaria dei rizomi, sono stati registrati valori medi compresi tra 50 mg ps/rizoma/anno e 60 mg ps/rizoma/anno, seppur sono evidenti dei picchi di produzione in alcuni anni, per cui il valore medio si assesta a  $83,3 \pm 9,7$  mg ps/rizoma/anno.

Gli eventi riproduttivi sessuati verificatisi negli anni più recenti (2013, 2014, 2015 e 2019) hanno consentito di calcolare l'intensità di fioritura in percentuale nella prateria di Capo Feto, che risulta compresa tra 2 % e 3 %. La frequenza e la probabilità di fioritura si assestano a 0,19 e 0,008, rispettivamente, con i 4 anni in cui sono state riscontrate fioriture rispetto ai 21 anni analizzati.

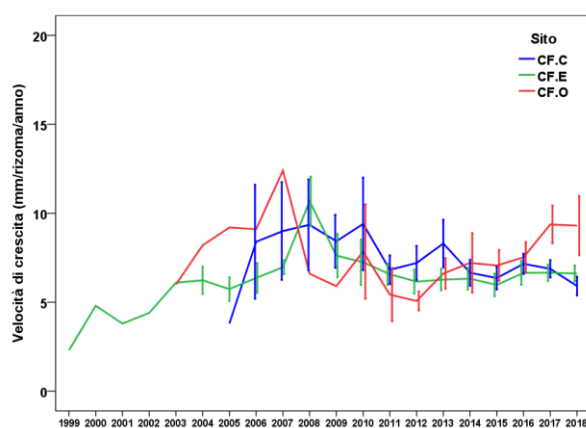


Figura 17

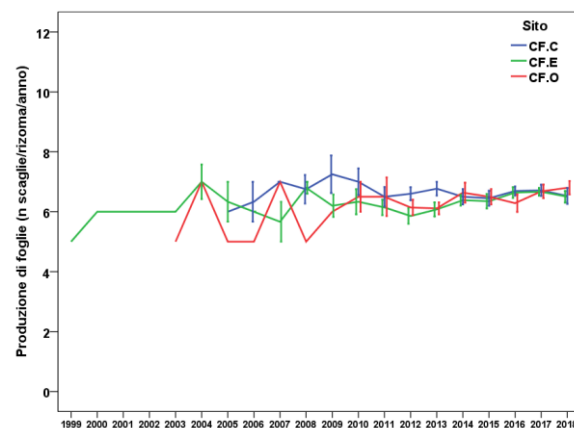


Figura 18

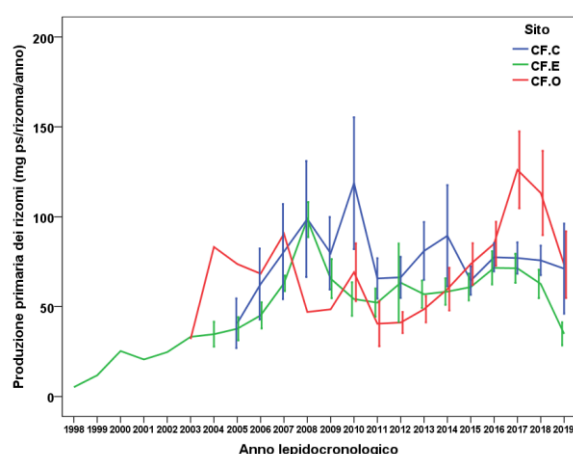


Figura 19

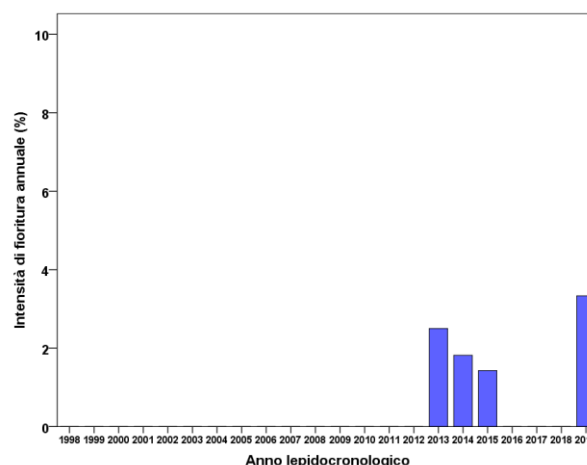


Figura 20

### 3.1.2 Maragani

La densità dei fascicoli fogliari misurata nella località di Maragani (Fig. 21), ricade nella categoria subnormale inferiore (Pergent *et al.*, 1995). I risultati dei parametri

fenologici (Figg. 22-28) per la località di Maragani mostrano che il numero medio di foglie totali, dopo un leggero decremento tra l'autunno/inverno 2018 ( $7 \pm 0.3$ ) e la primavera 2019 ( $6.5 \pm 0.1$ ), aumenta gradualmente nelle stagioni successive fino a un valore massimo in autunno/inverno 2019\_2020 ( $8.5 \pm 0.3$ ). Questa tendenza non dipende dal numero di foglie adulte che si mantiene pressochè costante (circa 3 foglie), ma piuttosto dalle variazioni del numero di foglie intermedie e giovanili. Le intermedie hanno un andamento sinusoidale nei 4 periodi di campionamento con valori più elevati in primavera 2019 ( $3.5 \pm 0.1$ ). Le foglie giovanili hanno valori bassi in autunno/inverno 2018 ( $1 \pm 0.1$ ) e primavera 2019 (0) e più alti e simili nelle ultime due stagioni di campionamento (circa 3 foglie).

In merito alla lunghezza media fogliare delle foglie adulte si registra, successivamente a una diminuzione tra l'autunno/inverno 2018 ( $47.8 \text{ cm} \pm 3.2$ ) e la primavera 2019 ( $40.4 \text{ cm} \pm 2.4$ ), un lieve ma progressivo aumento nelle successive stagioni fino a un valore massimo in autunno/inverno 2019\_2020 ( $49.6 \text{ cm} \pm 2.6$ ). La lunghezza fogliare media delle foglie intermedie aumenta da autunno/inverno 2018 ( $17.4 \text{ cm} \pm 1$ ) fino all'estate 2019 ( $51.8 \text{ cm} \pm 4.5$ ) e cala poi drasticamente in autunno/inverno 2019\_2020 ( $15.0 \text{ cm} \pm 0.9$ ). La lunghezza media delle foglie giovanili risulta maggiore nelle prime due stagioni di campionamento (autunno/inverno 2018 =  $2.4 \text{ cm} \pm 0.2$  e primavera 2019 =  $4.5 \text{ cm} \pm 0$ ) e inferiore nelle successive stagioni (estate 2019 =  $0.4 \text{ cm} \pm 0.2$  e autunno/inverno 2019\_2020 =  $1.1 \text{ cm} \pm 0.2$ ).

Per le larghezze medie fogliari suddivise per classi e stagioni si evidenzia un graduale, seppur lieve, decremento della larghezza delle foglie adulte che è pari a  $0.86 \text{ cm} \pm 0.02$  in autunno inverno 2018 e  $0.75 \text{ cm} \pm 0.01$ . Lo stesso andamento si osserva per le foglie intermedie. Mentre le foglie giovanili hanno mostrato i valori più elevati in autunno/inverno 2018 ( $0.78 \text{ cm} \pm 0.03$ ) e primavera 2019 (0.8 cm) rispetto alle successive due stagioni estate 2019 ( $0.3 \text{ cm} \pm 0.02$ ) e autunno/inverno 2019\_2020 ( $0.47 \text{ cm} \pm 0.04$ ).

La superficie fogliare media presenta valori decisamente più alti in primavera 2019 ( $251.6 \text{ cm}^2 \pm 14$ ) rispetto alle altre stagioni in cui rimane compresa tra  $158 \text{ cm}^2$  e  $196 \text{ cm}^2$ . Il tessuto bruno ha mostrato carattere di stagionalità, infatti è basso in primavera ( $2.8 \% \pm 0.9$ ) ed aumenta gradualmente in estate 2019 ( $6.4 \% \pm 1.2$ ) per

raggiungere i valori più elevati nei periodi autunno/inverno 2018 ( $13.1 \% \pm 1.9$ ) e 2019\_2020 ( $13.9 \% \pm 1.8$ ).

A Maragani risulta che gli apici fogliari hanno, più o meno, lo stesso grado d'integrità in tutte le stagioni tranne che in estate 2019, periodo durante il quale la percentuale di erosione è superiore (48.5%). L'altezza della prateria oscilla tra 90 e 110 cm.

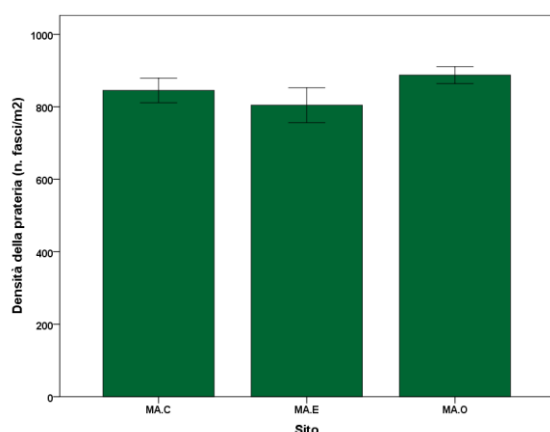


Figura 21

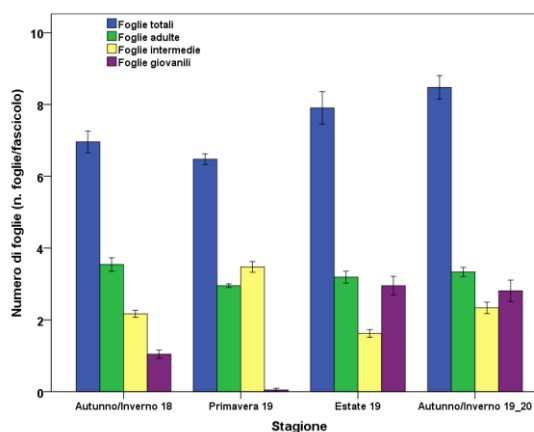


Figura 22

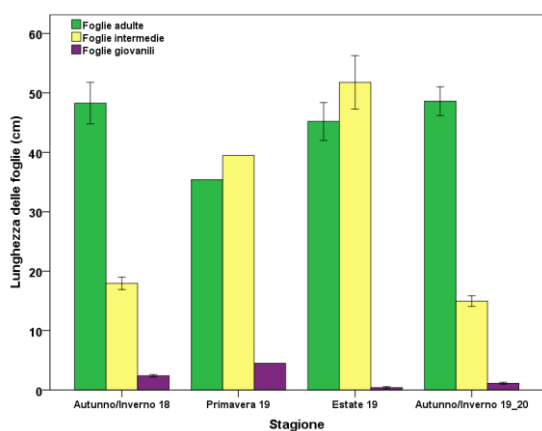


Figura 23

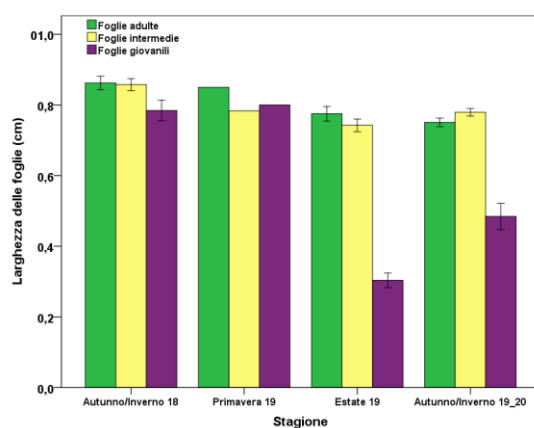


Figura 24

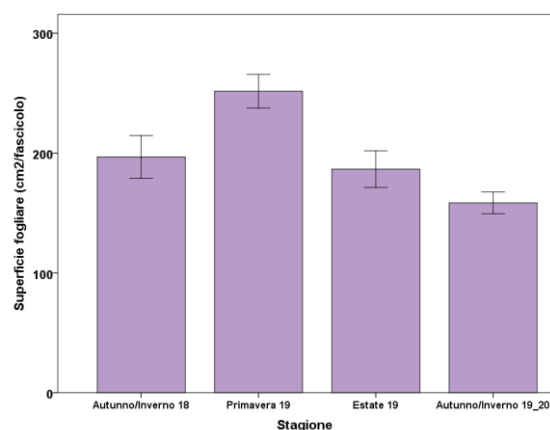


Figura 25

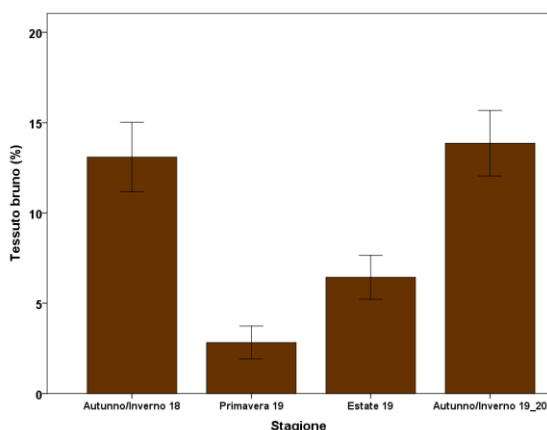
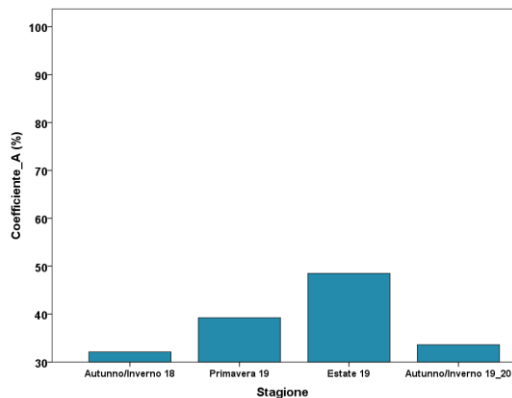
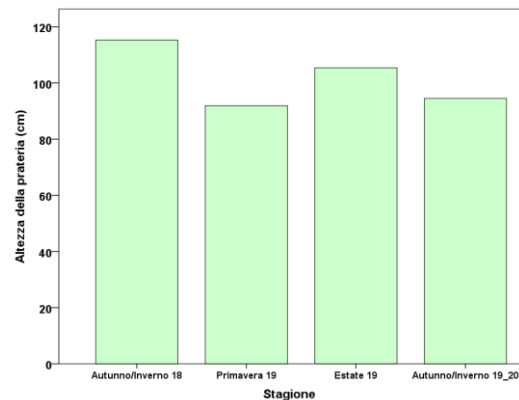


Figura 26





**Figura 27**



**Figura 28**

Riguardo ai risultati delle analisi lepidocronologiche (Figg. 29-32), è possibile osservare l'andamento della velocità annuale di crescita dei rizomi in cui è evidente una cospicua variabilità negli anni più vecchi, tra il 2002 e il 2008, in cui i valori medi di crescita annuale dei rizomi differiscono anche di 10 mm per anno tra un sito e l'altro, che diminuisce man mano che ci si avvicina agli anni più recenti finché si ha una buona sovrapposizione con valori medi di crescita dei rizomi di circa 6-8 mm per anno. La produzione media di foglie è costante nell'arco degli anni tra i siti ed è pari a circa 7 foglie prodotte ogni anno. La produzione primaria dei rizomi è caratterizzata, anche in questo caso, da un andamento abbastanza omogeneo tra i siti e si registra un andamento di tipo sinusoidale ripercorrendo gli anni. Gli anni di produzione più elevata ricadono tra il 2008 e il 2010 e poi nel 2016, mentre la produzione risulta inferiore negli anni più recenti. E' stata rilevata la presenza di eventi riproduttivi pari al 6% grazie alla presenza di fioriture pregresse in 3 anni (2010, 2012, 2013). La frequenza e la probabilità di fioritura si assestano a 0,15 e 0,009, rispettivamente, con i 3 anni in cui sono state riscontrate fioriture rispetto ai 21 anni analizzati.

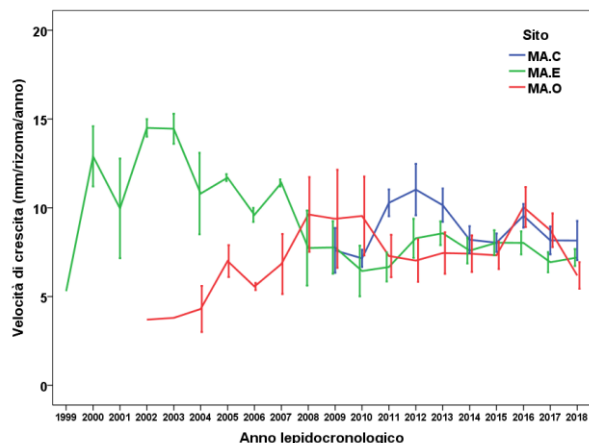


Figura 29

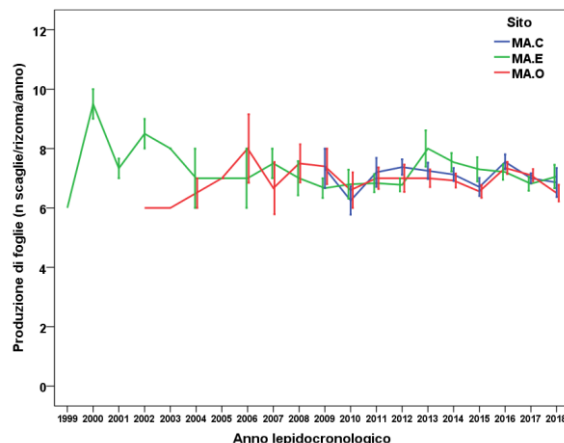


Figura 30

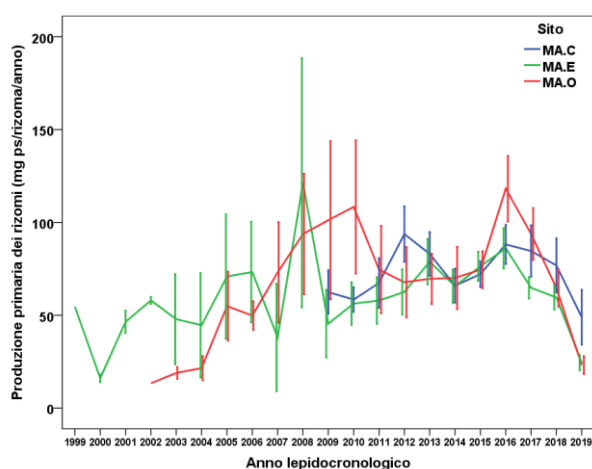


Figura 31

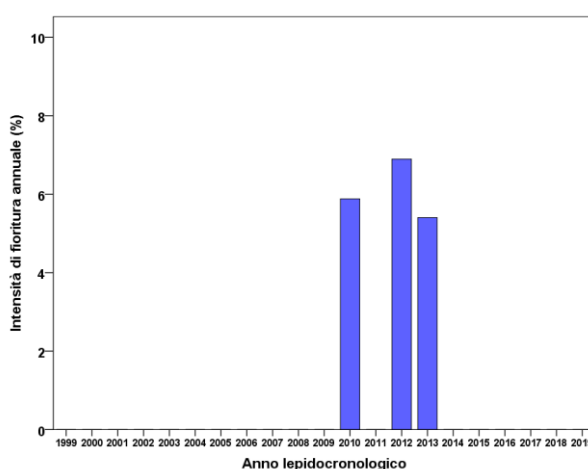


Figura 32

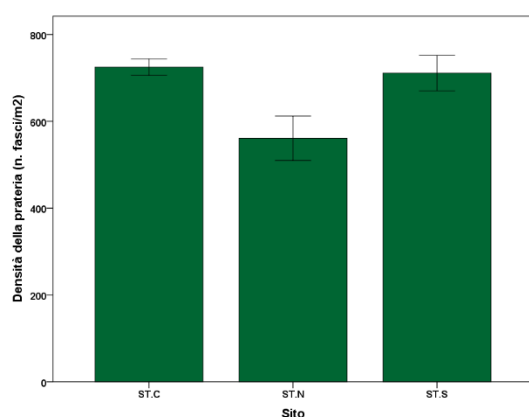
### 3.1.3 Scala dei Turchi

La densità dei fascicoli fogliari misurata nella località di Scala dei Turchi (Fig. 33) fa ricadere la prateria nella classe di anormalità in base a quanto riportato da Pergent *et al.* (1995).

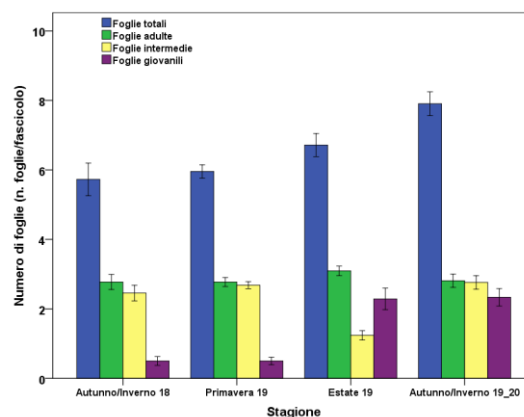
I risultati dei parametri fenologici (Figg. 34-40) rivelano, relativamente al numero totale di foglie, un progressivo incremento nel corso delle stagioni che va da  $5.7 \pm 0.5$  in autunno/inverno 2018 a  $7.9 \pm 0.3$  in autunno/inverno 2019\_2020. Questo progressivo aumento non è dovuto alla numerosità delle foglie adulte, che resta più o meno costante con valori compresi tra 2.8 e 3.1 nell'arco delle stagioni, così come non è nemmeno attribuibile alle foglie intermedie la cui numerosità media è compresa tra 2.5 e 2.8 tranne in estate 2019 in cui si registra calo ( $1.2 \pm 0.1$ ) rispetto alle altre stagioni. La differenza nella numerosità delle foglie totali sembra risiedere nelle variazioni

riscontrate nella numerosità delle foglie giovanili in cui si passa da valori di  $\sim 0.5$  in autunno/inverno 2018 e primavera 2019 a valori di  $\sim 2.3$  in estate 2019 e autunno inverno 2019\_2020.

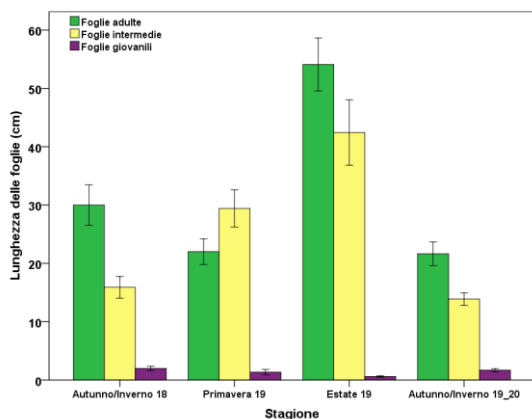
In merito alla lunghezza media delle foglie si può notare come le foglie adulte mostrino un picco in estate 2019, in cui è stato registrato il valore massimo di  $56.8 \text{ cm} \pm 4.4$ , mentre negli altri periodi di campionamento la lunghezza media è inferiore di almeno 20 cm. Anche le foglie intermedie mostrano un trend simile con la lunghezza media maggiore in estate 2019 ( $44.4 \text{ cm} \pm 5.3$ ) rispetto alle altre stagioni. La lunghezza media delle foglie giovanili, al contrario, risulta più bassa in estate 2019 ( $0.6 \text{ cm} \pm 0.1$ ) rispetto che negli altri periodi in cui si registrano lunghezze comprese tra  $\sim 1.3 \text{ cm}$  e  $\sim 2 \text{ cm}$ . Dall'osservazione dei valori di larghezza media delle foglie risulta che le foglie adulte e intermedie sono molto simili tra loro e tra i diversi periodi di campionamento, con valori medi compresi tra  $\sim 0.72 \text{ cm}$  e  $\sim 0.78 \text{ cm}$  per le adulte, e  $\sim 0.72 \text{ cm}$  e  $\sim 0.76 \text{ cm}$  per le intermedie. La larghezza media delle foglie giovanili è più variabile e risulta più elevata in autunno/inverno 2018 ( $0.62 \text{ cm} \pm 0.06$ ), mentre nelle risulta diminuita nelle stagioni successive con valori compresi tra  $\sim 0.42 \text{ cm}$  e  $\sim 0.47 \text{ cm}$ .



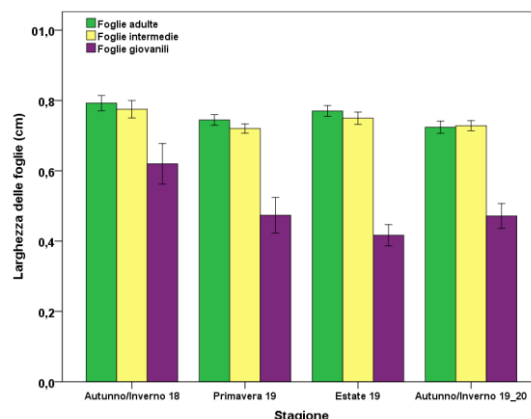
**Figura 33**



**Figura 34**



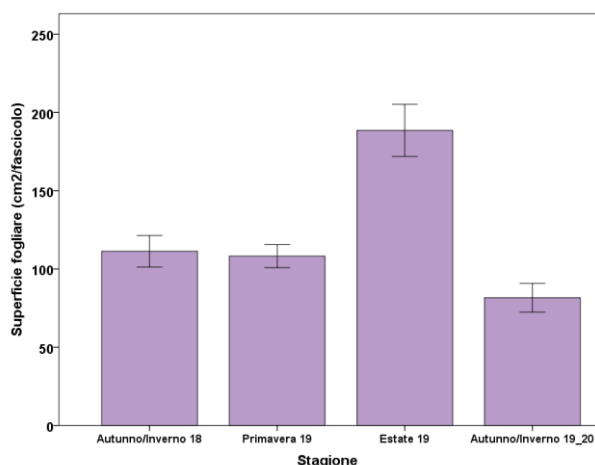
**Figura 35**



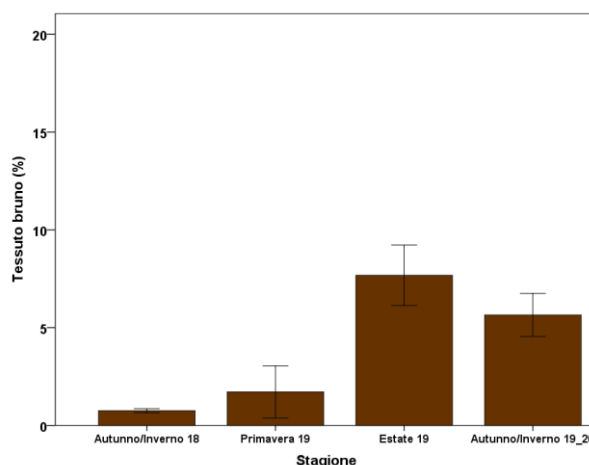
**Figura 36**

La superficie fogliare media dei fascicoli rimane pressoché costante nelle prime due stagioni di campionamento ( $111.3 \text{ cm}^2 \pm 10.1$  e  $108.2 \text{ cm}^2 \pm 7.4$ , rispettivamente) mentre mostra un deciso incremento nel periodo estivo ( $188.6 \text{ cm}^2 \pm 16.7$ ) per poi diminuire in autunno/inverno 2019\_2020 ( $81.7 \text{ cm}^2 \pm 9.2$ ). Il tessuto bruno % evidenzia marcate differenze a seconda dei periodi con valori medi piuttosto bassi in autunno/inverno 2018 ( $0.8 \% \pm 0.1$ ) e primavera 2019 ( $1.7 \% \pm 1.3$ ) che aumentano più del doppio nelle successive stagioni, estate 2019 ( $7.7 \% \pm 1.5$ ) e autunno/inverno 2019\_2020 ( $5.6 \% \pm 1.1$ ).

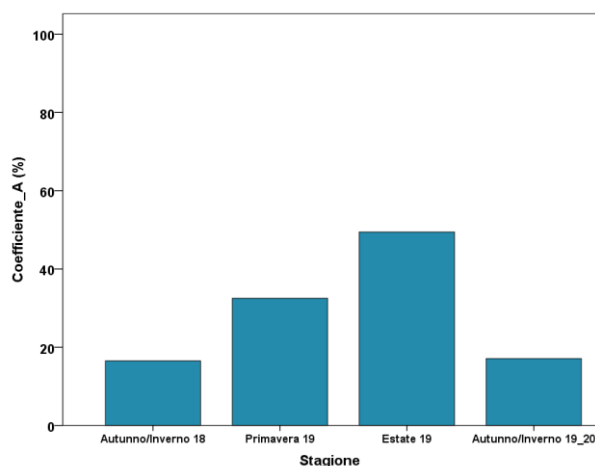
I valori di coefficiente A % mostrano che il grado di erosione raddoppia dalla stagione autunno/inverno 2018 (16.5%) a quella primavera 2019 (32.5%) per aumentare ancora in estate 2019 (49.5%) e per ritornare infine a valori molto simili a quelli iniziali in autunno/inverno 2019\_20 (17.1%). L'altezza della prateria (Fig.32) mostra valori simili a fasi alterne: tra ~ 100 cm e ~ 110 cm in autunno/inverno 2018 ed estate 2019; ~ 60 cm in primavera 2019 e autunno/inverno 2019\_20.



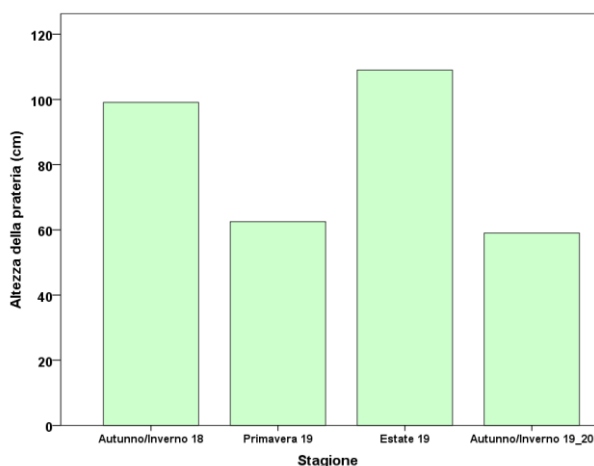
**Figura 37**



**Figura 38**



**Figura 39**



**Figura 40**

Riguardo ai risultati delle analisi lepidocronologiche (Figg. 41-44), si osserva una certa variabilità all'interno della prateria stessa tra i siti in termini di velocità di crescita dei rizomi. In particolare, il sito a sud (ST.S.) ha valori medi di crescita più omogenei nel corso degli anni che si aggirano intorno a 5 mm all'anno. Il sito centrale (ST.C) ha valori medi di crescita superiori ma meno omogenei intorno a 8 mm all'anno. Infine il sito a nord (ST.N) mostra tassi di accrescimento molto differenti negli anni con un incremento di circa il triplo dal 2006 (~ 4 mm per anno) al 2008 che si mantiene fino al 2012 (~ 13 mm all'anno) per poi diminuire gradualmente e stabilizzarsi a ~ 5 mm annui nel 2016. La produzione di foglie si mantiene tra 6 e 8 foglie mediamente prodotte ogni anno.

La produzione primaria dei rizomi mostra un andamento simile alla velocità di crescita dei rizomi con valori che variano tra 50 mg ps/rizoma/anno fino a ~ 110 mg ps/rizoma/anno.

E' stata rilevata la presenza di eventi riproduttivi grazie alla presenza di fioriture pregresse solo in 1 anno (2011) con una percentuali di circa 6%. La frequenza e la probabilità di fioritura si assestano a 0,05 e 0,002, rispettivamente, visto l'unico anno di fioritura rispetto ai 21 anni analizzati.



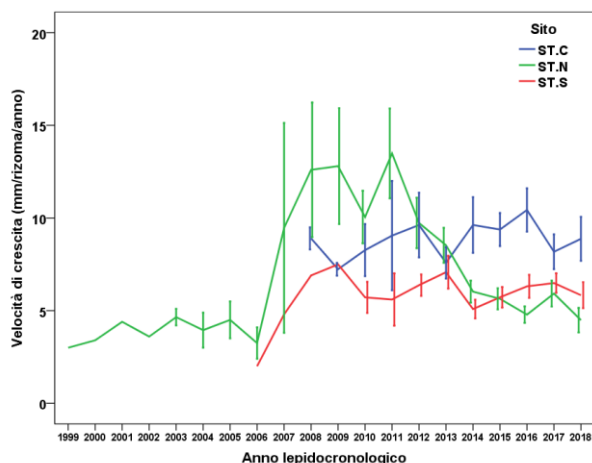


Figura 41

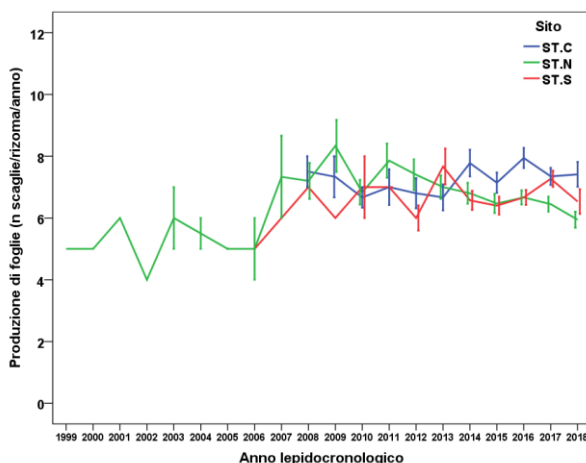


Figura 42

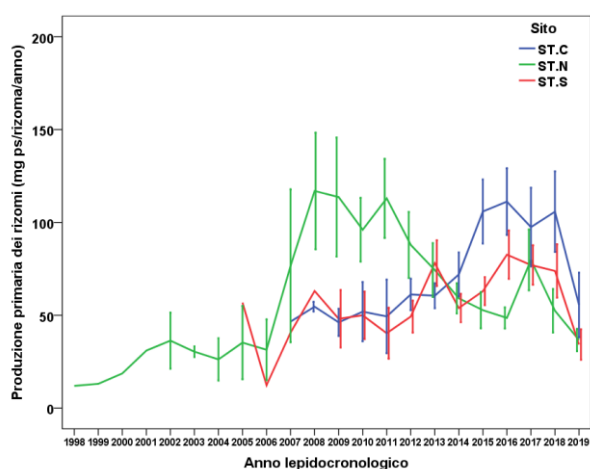


Figura 43

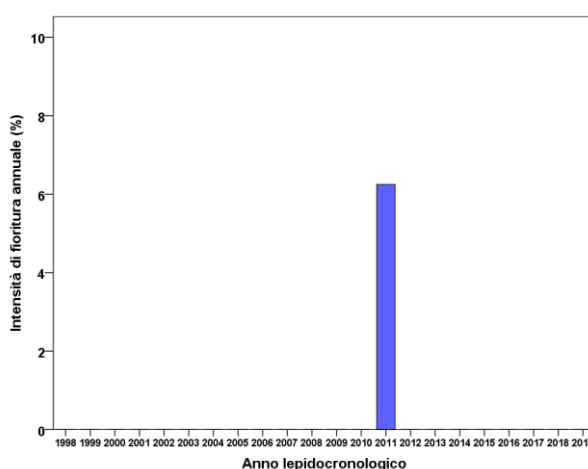


Figura 44

### 3.1.4 Solanto

La densità dei fascicoli fogliari (Fig. 45) mostra valori medi inferiori 822 n. fasci/m<sup>2</sup>, per cui, in accordo alla classificazione proposta da Pergent *et al.*(1995), la prateria di *P. oceanica* di Solanto ricade nella classe anormale.

I valori dei parametri fenologici (Figg. 46-52) rivelano un numero medio di foglie totali costante nei primi tre periodi di campionamento. Infatti, il numero medio di foglie totali è  $6.4 \pm 0.3$  in autunno/inverno 2018,  $5.9 \pm 0.4$  in primavera 2019 e  $6.1 \pm 0.2$  in estate 2019. In autunno/inverno 2019\_20 è stato osservato un incremento, infatti il numero medio totale di foglie è pari a  $8.4 \pm 0.3$ . Il numero medio di foglie adulte si mantiene stabile in autunno/inverno 2018 e primavera 2019 (in entrambi i casi  $3.0 \pm 0.2$ ); diminuisce lievemente in estate 2019 ( $2.9 \pm 0.2$ ) e aumenta nuovamente in autunno/inverno 2019\_2020 ( $3.5 \pm 0.2$ ). Il numero medio di foglie intermedie è anche

questo abbastanza omogeneo nei primi due periodi, rispettivamente  $2.3 \pm 0.1$  in autunno/inverno 2018 e  $2.1 \pm 0.1$  in primavera 2019, ma subisce un evidente calo in estate 2019 ( $0.8 \pm 0.1$ ) e cresce nuovamente in autunno/inverno 2019\_20 ( $2.2 \pm 0.1$ ). Il numero medio di foglie giovanili varia, diminuendo dalla prima stagione autunno-invernale ( $1.1 \pm 0.1$ ) alla successiva primaverile ( $0.4 \pm 0.1$ ), aumentando poi in estate 2019 ( $2.1 \pm 0.2$ ) e mantenendosi costante in autunno/inverno 2019\_20 ( $2.7 \pm 0.2$ ).

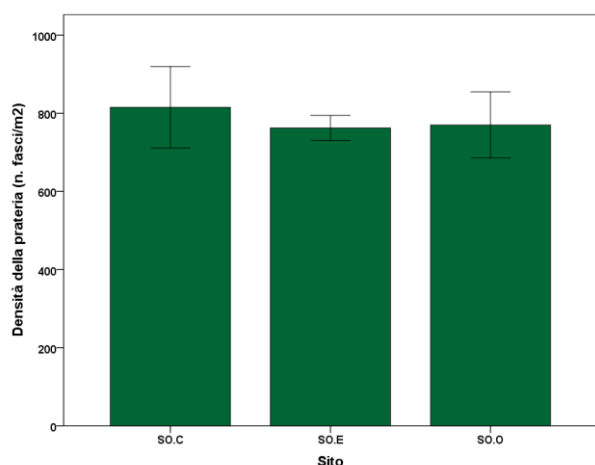


Figura 45

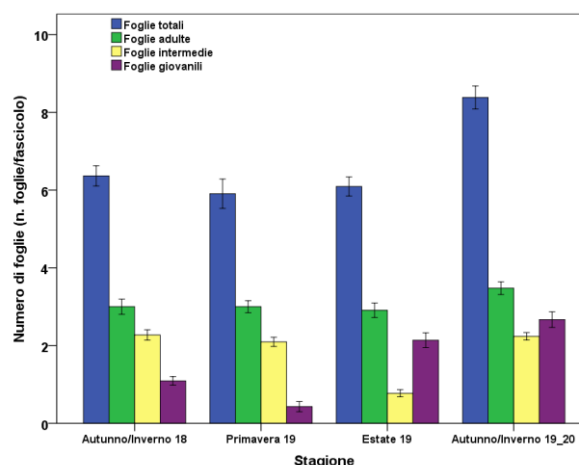
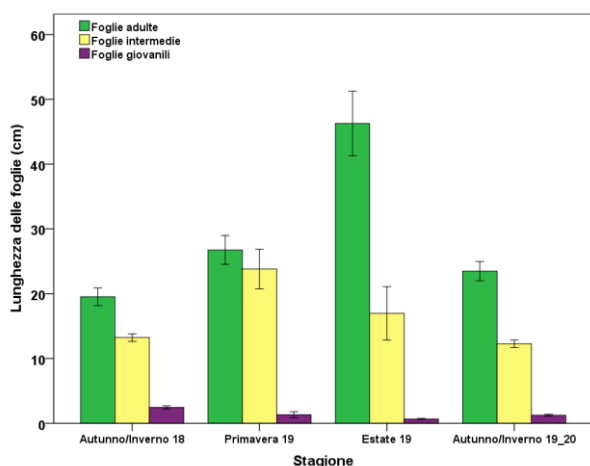


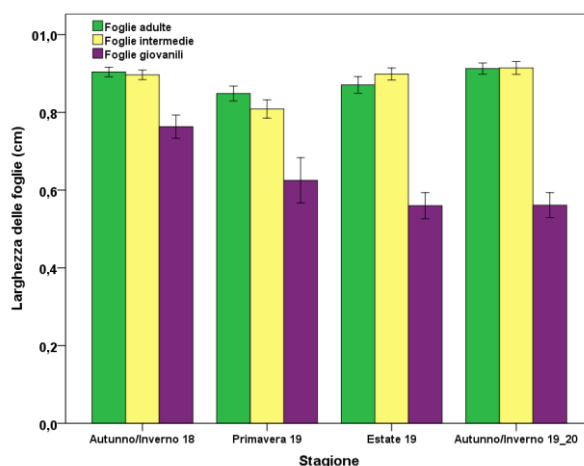
Figura 46

La lunghezza media delle foglie adulte cresce da autunno/inverno 2018 ( $20.2 \text{ cm} \pm 1.3$ ) a primavera 2019 ( $32.6 \text{ cm} \pm 2.1$ ) e ancora in estate 2019 ( $46.3 \text{ cm} \pm 4$ ) e decresce nella successiva stagione ( $23.5 \text{ cm} \pm 1.5$ ). Per le foglie intermedie, il trend relativo alla lunghezza media è differente rispetto alle adulte. Infatti, si ha una crescita tra autunno/inverno 2018 ( $13 \text{ cm} \pm 0.5$ ) e primavera 2019 ( $29.1 \text{ cm} \pm 3.4$ ) seguita da un decremento in estate 2019 ( $18.7 \text{ cm} \pm 4.3$ ) che continua in autunno/inverno 2019\_20 ( $12.3 \text{ cm} \pm 0.6$ ). La lunghezza media delle foglie giovanili diminuisce dall'autunno/inverno 2018 ( $2.5 \text{ cm} \pm 0.3$ ) alla primavera 2019 ( $1.3 \text{ cm} \pm 0.5$ ) e questa tendenza prosegue anche in estate 2019 ( $0.7 \text{ cm} \pm 0.1$ ) mentre in inverno/autunno 2019\_2020 la lunghezza media ritorna a valori simili a quelli estivi ( $1.3 \text{ cm} \pm 0.1$ ). Le larghezze medie delle foglie mostrano per le foglie adulte valori medi piuttosto simili nell'arco dei quattro periodi di campionamento. Le foglie intermedie mostrano valori medi di larghezza un po' più bassi nella stagione primavera 2019 ( $0.79 \text{ cm} \pm 0.02$ ) rispetto alle altre stagioni in cui i valori medi sono compresi tra  $\sim 0.89 \text{ cm}$  e  $\sim 0.91 \text{ cm}$ . La larghezza media delle foglie giovanili va da  $0.77 \text{ cm} \pm 0.03$  in autunno/inverno 2018

a  $0.63 \text{ cm} \pm 0.06$  in primavera e risulta pari a  $0.56 \text{ cm} \pm 0.03$  in estate 2019 e autunno/inverno 2019\_20.



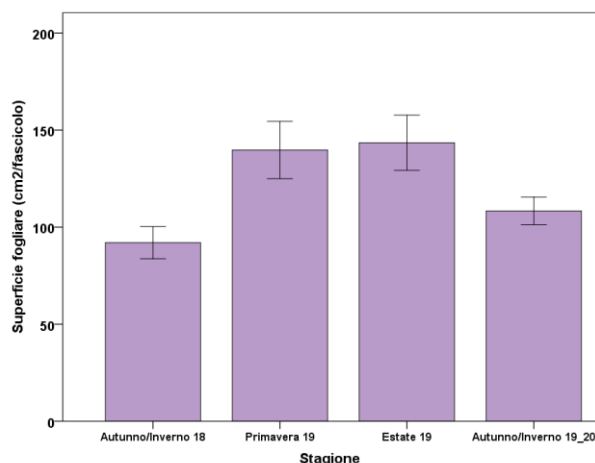
**Figura 47**



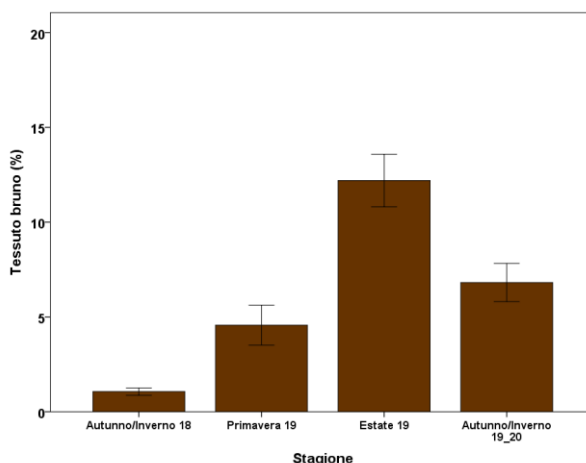
**Figura 48**

La superficie fogliare media della prateria di Solanto, mette in evidenza come questo parametro sia nettamente inferiore nelle due stagioni autunno/inverno (2018= $92 \text{ cm}^2 \pm 8.3$ ; 2019\_2020= $108.4 \text{ cm}^2 \pm 7.1$ ) rispetto alle stagioni primavera 2019 ( $139.8 \text{ cm}^2 \pm 14.8$ ) ed estate 2019 ( $143.5 \text{ cm}^2 \pm 14.3$ ). La stima del tessuto bruno sottolinea che questo tende ad aumentare procedendo dall'autunno/inverno 2018 ( $1.1\% \pm 0.24$ ) verso le stagioni più calde primavera 2019 ( $4.6\% \pm 1.1$ ) ed estate 2019 ( $12.2\% \pm 1.4$ ) in cui raggiunge i valori massimi e tende invece a diminuire nella successiva stagione inverno 2019\_2020 ( $6.8\% \pm 1$ ).

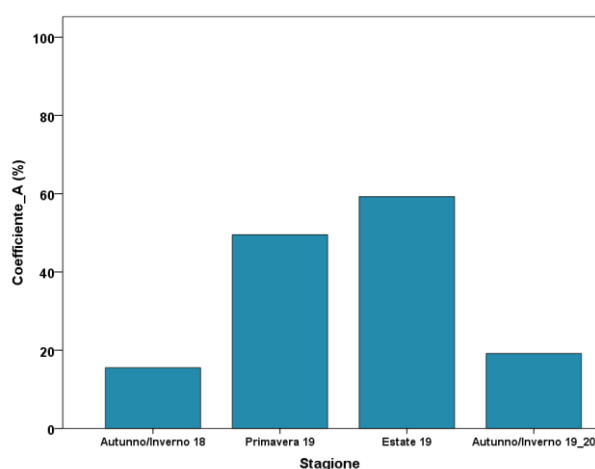
La percentuale di erosione degli apici fogliari mostra i valori più bassi nelle stagioni autunno/inverno (2018= $15.5\%$ ; 2019\_2020= $19.2\%$ ) mentre si registrano valori più elevati in primavera 2019 ( $49.5\%$ ) ed estate 2019 ( $59.3\%$ ). L'altezza della prateria aumenta gradualmente dall'autunno/inverno 2018 ( $\sim 70\text{cm}$ ) all'estate 2019 ( $\sim 110\text{cm}$ ) e diminuisce di nuovo in inverno 2019\_2020 ( $\sim 70\text{cm}$ ).



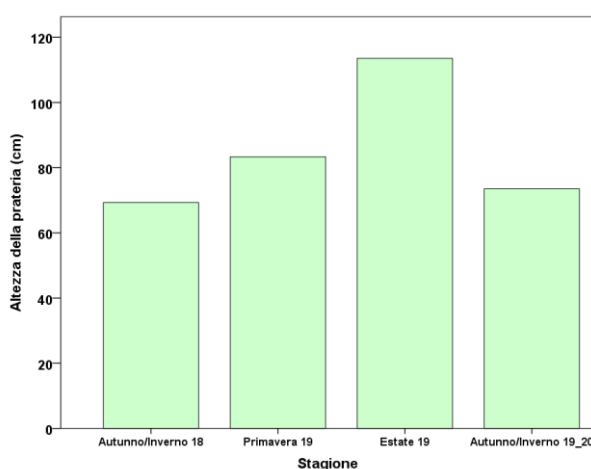
**Figura 49**



**Figura 50**



**Figura 51**



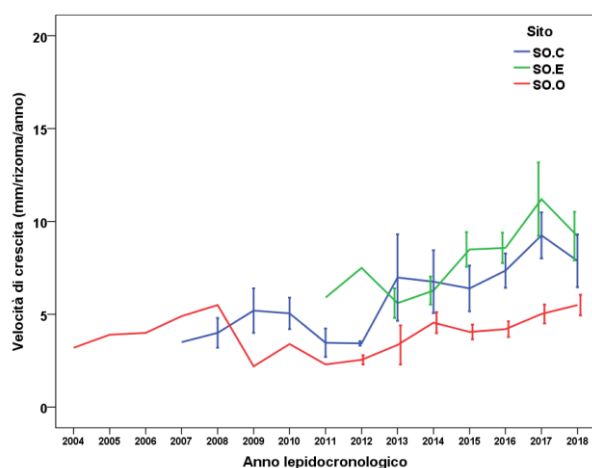
**Figura 52**

Riguardo ai risultati delle analisi lepidocronologiche (Figg. 53-55), la velocità media di crescita dei rizomi mostra un trend in crescita. Questo aumento è poco pronunciato nel sito ad ovest (SO.O), dove l'incremento comincia 2012 con 4 mm annui fino a 5 mm annui nel 2018. Nel sito a centro (SO.C) questa tendenza è più evidente (da ~5 mm annui a ~8mm annui) e nel sito a est (SO.E) si ha un progressivo aumento nella velocità media di crescita che da poco più di 5 mm annui raddoppia a 10mm annui nel 2018.

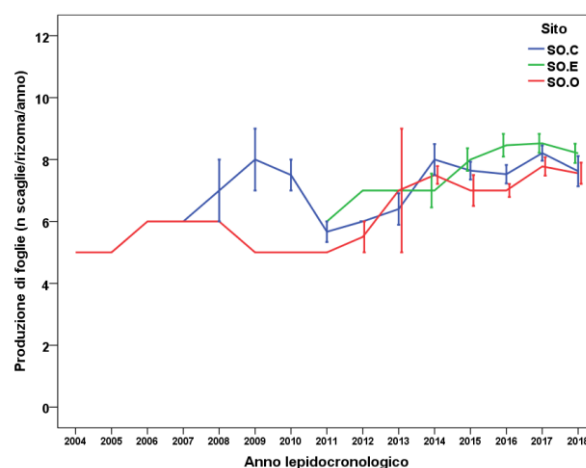
La produzione media di foglie è abbastanza costante con un numero medio di foglie prodotte per anno di ~ 8.

La produzione primaria media dei rizomi mostra una crescita più evidente per le sub-stazioni est e centro e meno cospicua per la sub-stazione ovest, ma comunque presente. Infatti; la parte ovest della prateria ha registrato un incremento della produzione media che va da ~ 25 mg ps per anno nel 2012 a ~ 50mg ps per anno nel

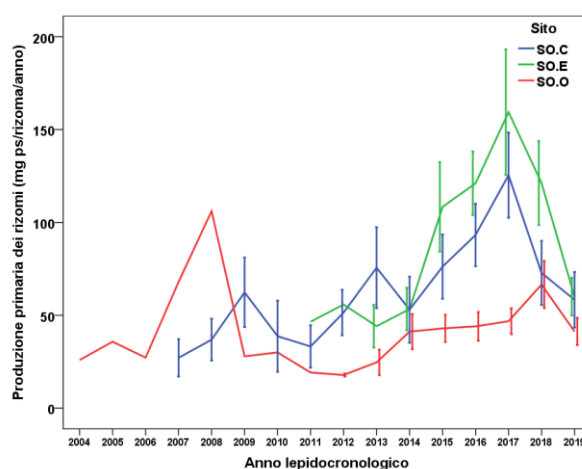
2018; la parte centrale da ~ 40mg ps per anno nel 2011 registra un graduale aumento fino ~ 120 mg ps per anno; la parte est da ~ 50 mg ps per anno nel 2013 arriva ad un picco di produzione di ~ 150 mg ps per anno nel 2018. Nella prateria di Solanto non sono stati registrati eventi riproduttivi sessuati.



**Figura 53**



**Figura 54**



**Figura 55**

### 3.1.5 Sintesi dei risultati relativi alla produzione primaria delle praterie

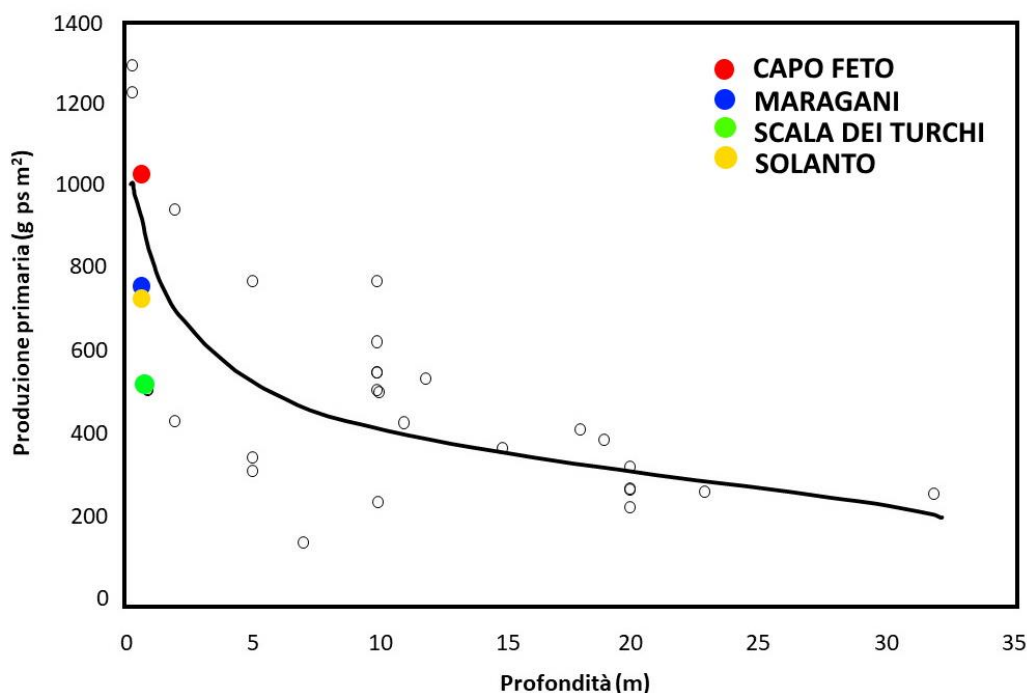
La relazione tra la base e la lunghezza totale delle foglie di *P. oceanica* delle praterie studiate era  $y = 12,2 + 4,9 x$  ( $R^2 = 0,1$ ,  $P < 0,01$ ). Sulla base di questa equazione è stata calcolata una lunghezza media teorica delle foglie che variava da un valore medio minimo di 26,1 cm a Solanto e un valore massimo di 34,6 cm a Capo Feto.

Il numero medio di foglie, calcolato in base al numero di scaglie per ciclo lepidocronologico, mostrava un andamento opposto con i valori minori a Capo Feto ( $6,5 \pm 0,05$ ) e quelli maggiori a Solanto ( $7,6 \pm 0,1$ ). La densità fogliare variava da  $3,7 \text{ mg ps cm}^{-1}$  nelle due località di Maragani e Scala dei Turchi a  $4,9 \pm 0,16 \text{ mg ps cm}^{-1}$  di Capo Feto. La lunghezza media delle basi fogliari era a Solanto di soli 2,8 cm mentre raggiunge i 4,6 cm a Capo Feto.

La combinazione dei parametri precedentemente descritti ha permesso di stimare la produzione primaria fogliare passata mostrando valori che variavano da  $0,7 \text{ g ps rizoma}^{-1}\text{anno}^{-1}$  a Scala dei Turchi a  $1,1 \text{ g ps rizoma}^{-1}\text{anno}^{-1}$  a Capo Feto. La produzione primaria del rizoma variava invece da  $0,07 \pm 0,003 \text{ g ps rizoma}^{-1}\text{anno}^{-1}$  a Capo Feto a  $0,09 \pm 0,006 \text{ g ps rizoma}^{-1}\text{anno}^{-1}$  a Solanto. A questo punto è stata calcolata la produzione primaria totale e sono stati osservati valori di  $0,8 \text{ g ps rizoma}^{-1}\text{anno}^{-1}$  a Scala dei Turchi e  $1,2 \text{ g ps rizoma}^{-1}\text{anno}^{-1}$  a Capo Feto, come valore massimo.

Considerando i dati di densità delle praterie ricavati dai conteggi effettuati *in situ*, è stato quindi possibile estrapolare i valori di produzione primaria fogliare e dei rizomi al  $\text{m}^2$ . La densità dei fasci di *P. oceanica* ha mostrato valori che variavano da  $665,6 \pm 30,3 \text{ n. fasci m}^{-2}$  a Scala dei Turchi a  $876,5 \pm 33,2 \text{ n. fasci m}^{-2}$  a Capo Feto. I valori di produzione primaria delle foglie variavano da 473 a  $963 \text{ g ps m}^2\text{anno}^{-1}$ , rispettivamente a Scala dei Turchi e a Capo Feto. I valori della produzione primaria dei rizomi erano  $50,6 \text{ g ps m}^2 \text{ anno}^{-1}$  a Scala dei Turchi e  $70,2 \text{ g ps m}^2 \text{ anno}^{-1}$  a Solanto. Pertanto, la produzione primaria totale per  $\text{m}^2$  risultava in misura minima a Scala dei Turchi con valori di  $523,4 \text{ g ps m}^2 \text{ anno}^{-1}$  e in misura massima a Capo Feto con valori di  $1028,1 \text{ g ps m}^2 \text{ anno}^{-1}$ .

Considerando i dati calcolati per le praterie studiate, è stato possibile rapportare i valori di produzione primaria dei quattro *récife barrière* di *P. oceanica* siciliani, ai valori misurati nell'intero bacino Mediterraneo (Fig. 56).



**Figura 56** – Distribuzione della produzione primaria delle praterie analizzate in funzione della profondità in Mediterraneo (Modificato da Pergent *et al.*, 1997).

### 3.1.6 Datazione al $^{14}\text{C}$ della *banquette* di Capo Feto

La maggioranza dei campioni prelevati dalla *banquette* di Capo Feto ai fini della datazione al  $^{14}\text{C}$  sono risultati essere più recenti del 1950 AD. Un unico campione, corrispondente alla sezione prelevata a 133-134 cm di profondità della *banquette*, ha presentato un'età corrispondente a  $158 \pm 40$  anni BP. Questo dimostra che il detrito organico intrappolato nella *banquette*, costituito prevalentemente da fibre di foglie, rizomi e radici di *P. oceanica*, è in grado di rimanere stoccato in questi sistemi anche per molti anni.

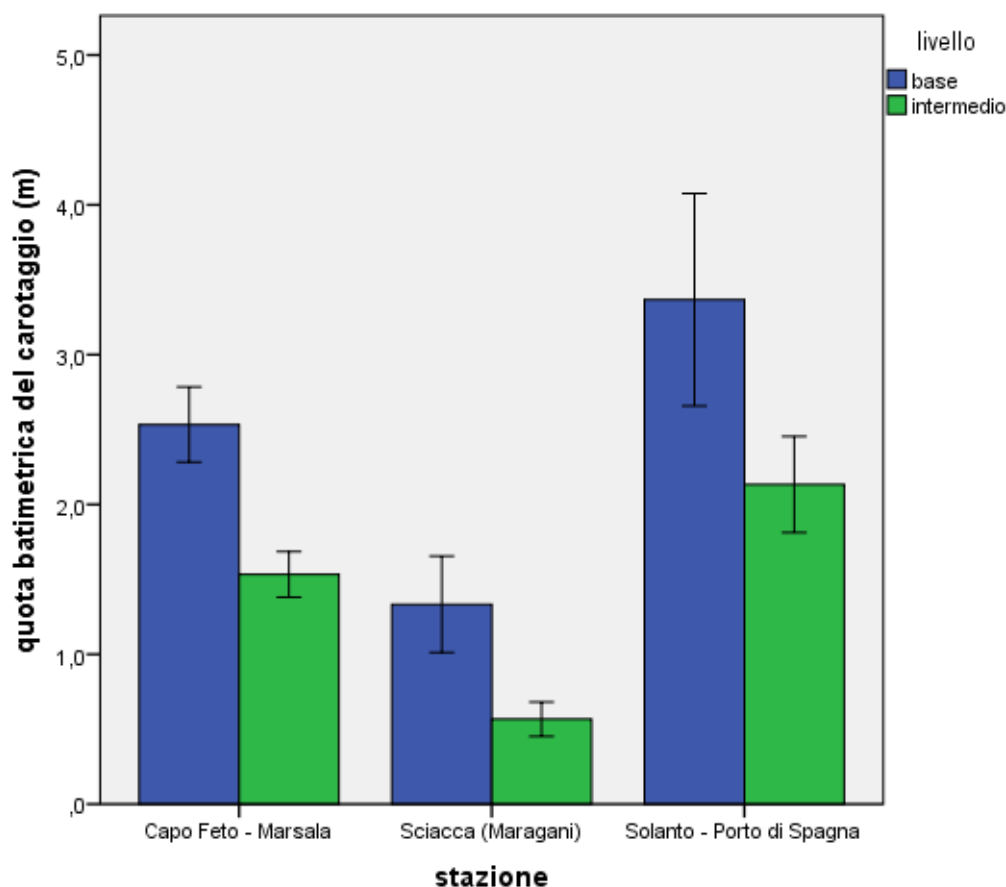
### 3.1.7 Datazione al $^{14}\text{C}$ della *matte*

L'attività di carotaggio della *matte* ha consentito di prelevare dei campioni utili alla retrodatazione a differenti quote batimetriche (Figura 57). In particolare la batimetria media di prelievo corrispondente alla base dello scalino di *matte* del reef oscilla fra 1,3 m (Maragani) e 3,5 m (Solanto-Porto di Spagna). La batimetria media del livello intermedio dello scalino di *matte* oscilla fra 0,6 m (Maragani) e 2,2 m (Solanto-Porto di Spagna). Mentre la quota media della sommità del reef sovrastante i carotaggi con prateria viva oscilla fra 0,3 m (Maragani) e 1,1 m (Solanto-Porto di Spagna).

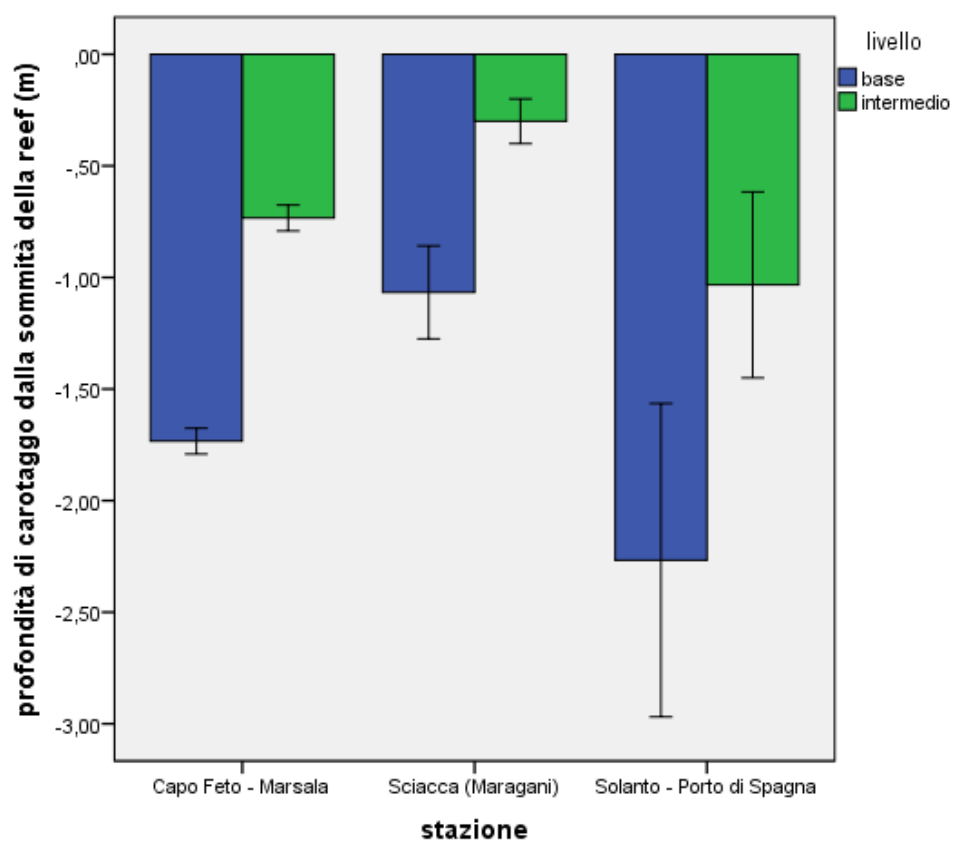


La profondità media di carotaggio rispetto alla sommità del *reef* oscilla fra -1,07 m (Maragani) e -2,27 m (Solanto-Porto di Spagna). La profondità del livello intermedio oscilla fra -0,3 m (Maragani) e -1,03 m (Solanto-Porto di Spagna) (Figura 58).

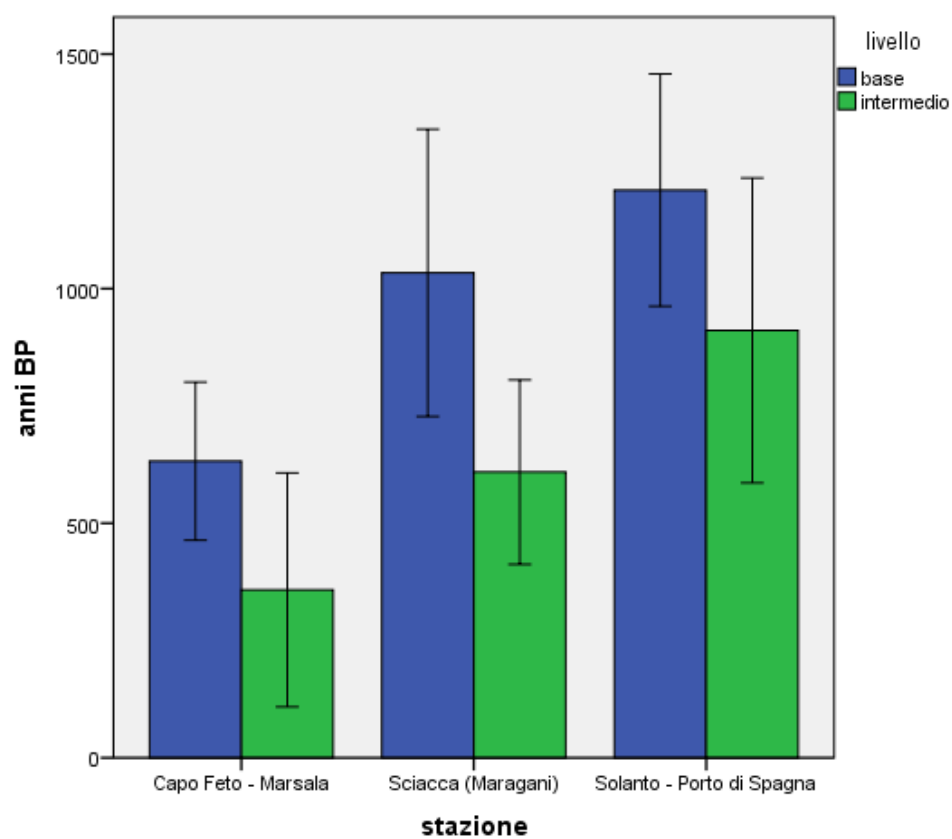
La retrodatazione al  $^{14}\text{C}$  ha consentito di determinare l'età dei *reef* alle differenti quote di prelievo. L'età media della base del *reef* oscilla fra 632 anni BP (Before Present) a Capo Feto –Marsala e 1210 anni BP a Solanto-Porto di Spagna (Figura 59). In particolare in quest'ultimo *reef* è stato registrato il valore massimo assoluto che pone a 1392 anni BP la sua formazione relativamente alla porzione visibile in forma di scalino di *matte*.



**Figura 57** – Valori medi delle quote batimetriche di prelievo delle carote orizzontali sugli scalini di *matte*.



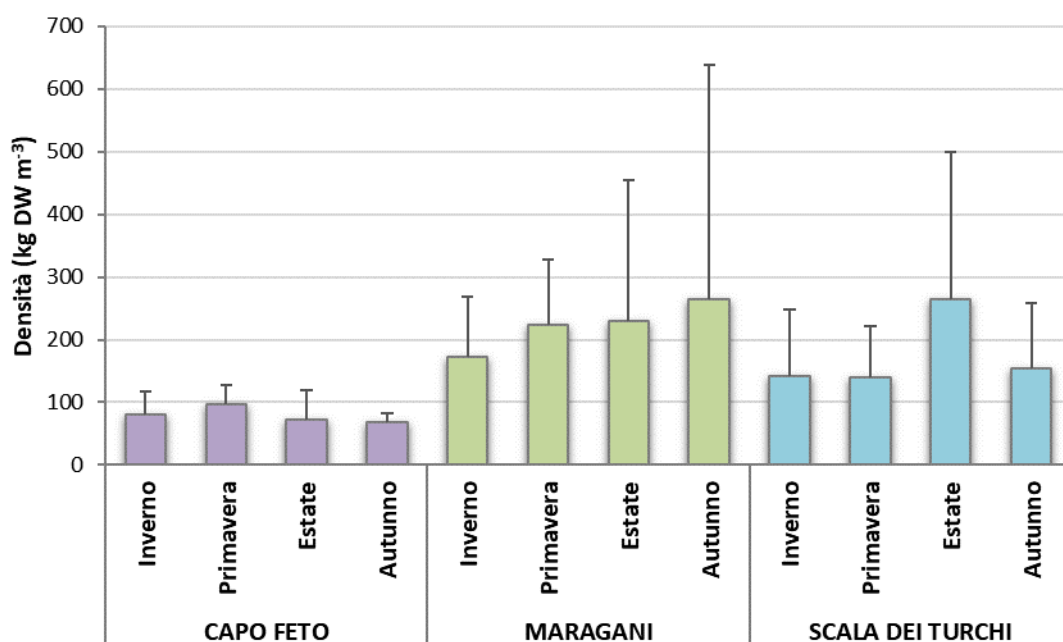
**Figura 58** – Valori medi delle profondità di carotaggio rispetto alla sommità del *reef* qui posta = 0.



**Figura 59** – Età media della base dei *reef*.

### 3.2 Caratterizzazione quali-quantitativa del detrito fogliare spiaggiato

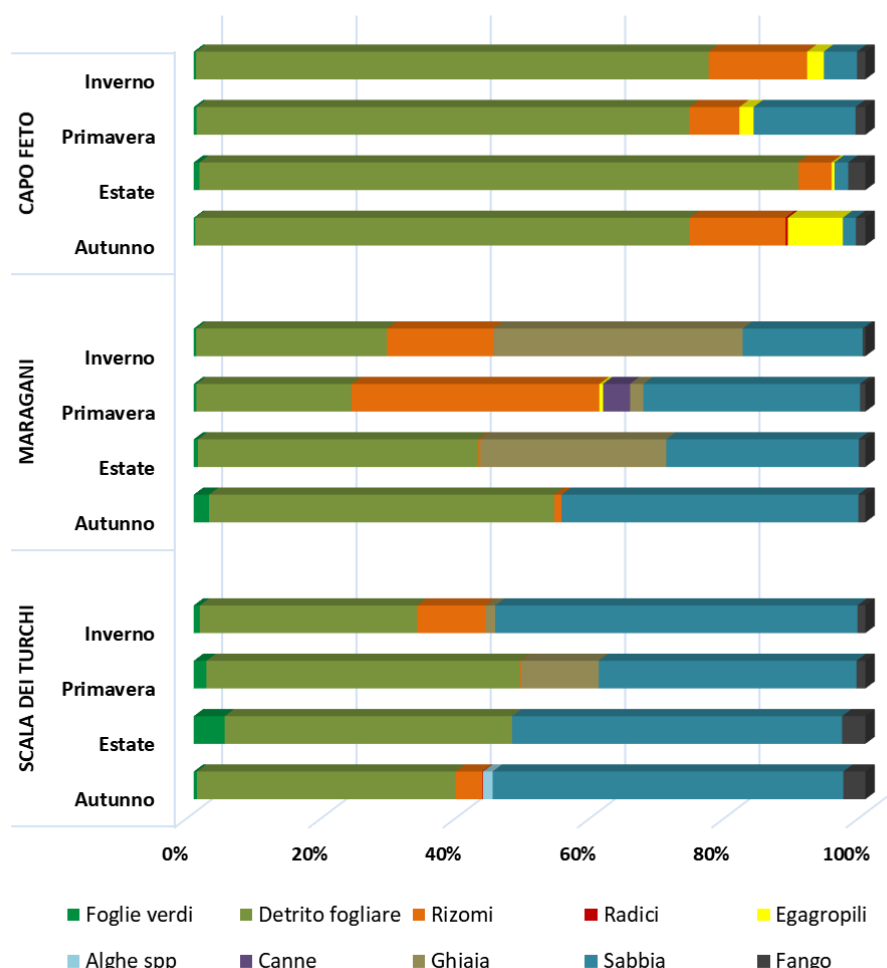
La densità degli accumuli di detrito di *Posidonia oceanica* nelle tre aree di studio (Fig. 60) ha mostrato valori complessivamente maggiori per le aree di Maragani e Scala dei Turchi rispetto a quanto osservato Capo Feto. Mentre nelle prime due aree di studio la densità dell'accumulo è risultata essere compresa tra  $139.9 \pm 81.5 \text{ kg m}^{-3}$  e  $264.1 \pm 375.1 \text{ kg m}^{-3}$ , a Capo Feto questa è risultata compresa tra  $68.4 \pm 14.1 \text{ kg m}^{-3}$  e  $79.7 \pm 36.9 \text{ kg m}^{-3}$ . Diversamente, la variabilità stagionale è risultata complessivamente trascurabile.



**Figura 60** - Densità ( $\text{kg m}^{-3} \pm \text{s.d.}$ ) degli accumuli di detrito di *Posidonia oceanica* nelle tre aree di studio di Capo Feto, Maragani e Scala dei Turchi, nelle quattro stagioni esaminate.

I risultati della composizione degli accumuli di detrito spiaggiati nelle tre aree di studio (Fig. 61) hanno evidenziato la scarsa influenza stagionale in tutte e tre le aree, rispetto alla variabilità spaziale. Dal grafico risulta evidente come la composizione è, invece, maggiormente variabile a seconda dell'area considerata presumibilmente in funzione del diverso livello di produttività della prateria antistante. Nell'area di Capo Feto, caratterizzata da una prateria antistante ad alta produttività, la componente dominante della *banquette* è risultata essere il detrito fogliare (ed in percentuale minore rizomi ed

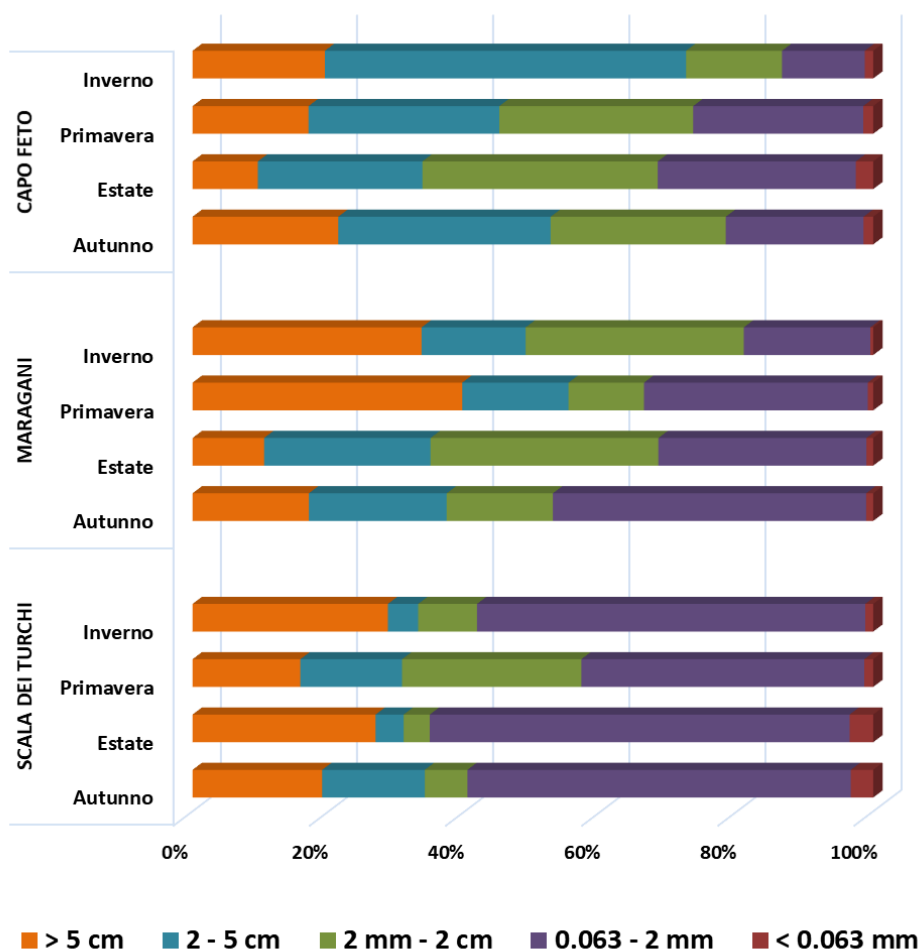
egagropili), componente che decresce via via che il livello di produttività della prateria antistante si riduce. Viceversa, la componente sedimentaria (costituita prevalentemente da sabbia) è risultata essere più abbondante nei siti a bassa e media produttività (Scala dei Turchi e Maragani) rispetto a quello a più alta produttività (Capo Feto).



**Figura 61** - Percentuale (% p.s) delle diverse componenti degli accumuli di detrito di *Posidonia oceanica* nelle tre aree di studio di Capo Feto, Maragani e Scala dei Turchi, nelle quattro stagioni esaminate.

Per quanto riguarda le classi dimensionali delle componenti costituenti gli accumuli, anche quest'analisi ha evidenziato differenze più marcate tra le aree esaminate, rispetto alle stagioni (Fig. 62). Complessivamente, è risultato evidente un andamento crescente delle classi di taglia minori di 2 mm da Capo Feto a Scala dei Turchi, rispettivamente aree a più alta e più bassa produttività, contrariamente a quanto evidenziato per le classi di taglia maggiori di 2mm. Questo è certamente legato alla natura delle componenti che rientrano in queste classi di taglia, in quanto a classi di taglia

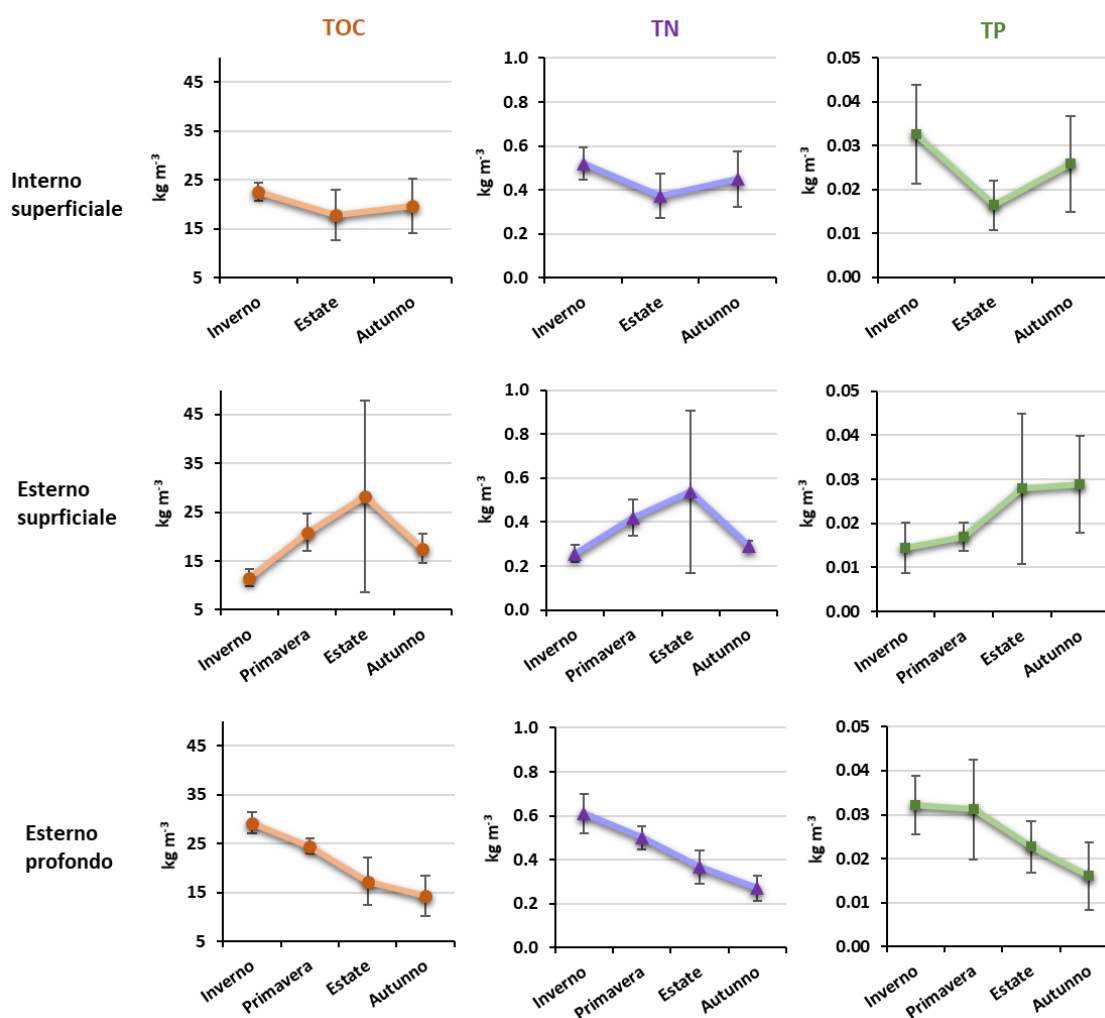
maggiore corrisponde prevalentemente materiale vegetale mentre a classi di tagli inferiori corrisponde prevalentemente materiale sedimentario.



**Figura 62** - Percentuale (% p.s.) delle classi dimensionali delle componenti costituenti gli accumuli di detrito di *Posidonia oceanica* nelle tre aree di studio di Capo Feto, Maragani e Scala dei Turchi, nelle quattro stagioni esaminate.

Infine, i risultati delle analisi del contenuto in carbonio organico, azoto e fosforo totale (TOC, TN e TP) delle tre diverse porzioni della *banquette* di Capo Feto hanno mostrato andamenti molto simili tra loro con evidenti variazioni stagionali per alcune delle porzioni considerate (Fig. 63). In maggiore dettaglio, la porzione del bordo interno superficiale della *banquette* ha mostrato valori medi di TOC, TN e TP più bassi in estate rispetto all'inverno e all'autunno. Nella porzione del bordo esterno superficiale, invece, il contenuto medio in TOC, TN e TP ha mostrato un *trend* crescente dall'inverno

all'estate, per poi decrescere in autunno. Infine, un *trend* costantemente decrescente è stato rilevato per tutti e tre gli analiti nella porzione profonda del bordo esterno della *banquette*. Complessivamente, tra tutte le porzioni di *banquette* considerate, i valori medi di TOC sono risultati compresi tra  $11.59 \pm 1.69$  e  $29.24 \pm 2.20 \text{ kg m}^{-3}$ , mentre i valori medi di TN tra  $0.26 \pm 0.04$  e  $0.61 \pm 0.09 \text{ kg m}^{-3}$  e quelli del TP tra  $0.014 \pm 0.006$  e  $0.033 \pm 0.011 \text{ kg m}^{-3}$ .



**Figura 63** - Contenuto medio ( $\text{kg m}^{-3} \pm \text{s.d.}$ ) di Carbonio organico totale (TOC), azoto totale (TN) e fosforo totale (TP) presente nelle diverse porzioni della *banquette* di Capo Feto (bordo interno superficiale, esterno superficiale ed esterno profondo) nelle quattro stagioni esaminate.

## 4. Bibliografia

- Bellan-Santini D., Lacaze J.C. Poizat C. (1994). Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives. In: Collection Patrimoines Naturels, vol.19. Secrétariat de la Faune et de la Flore/MNHN. pp.246.
- Consoli P., Scotti G., Nicastro A., Romeo T., Andaloro F. (2016). New finding of *Pholas dactylus* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Pholadidae) on marl rocks from the Central Mediterranean Sea: an insight into this protected species and its rare habitat of high conservation value. CAHIERS DE BIOLOGIE MARINE, 57(4), 397-401.
- Diaz-Almela E., Marbà N., Alvarez E., Balestri E., Ruiz-Fernandez J.M., Duarte C.M. (2006). Patterns in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering in the Western Mediterranean. Marine Biology, 148, 723–742.
- Diaz-Almela E., Marbà N., Duarte C.M. (2007). Consequences of Mediterranean warming events in seagrass (*Posidonia oceanica*) flowering records. Global Change Biology, 13, 224–235.
- Di Carlo G., Badalamenti F., Jensen A. C., Koch E. W., Riggio S. (2005). Colonisation process of vegetative fragments of *Posidonia oceanica* (L.) Delile on rubble mounds. Marine Biology, 147(6), 1261-1270.
- Giaccone G. (1965). Le fitocenosi marine nel settore rosso di Capo Zafferano. Lavori Istit. bot. Palermo, 22, 1-69.
- Giraud G., (1977). Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat 3ème Cycle, Université d'Aix-Marseille II, 150 pp.
- Giraud G., (1979). Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille, 39, 33-39.
- Hemminga M.A., & Duarte C.M. (2000). Seagrass ecology. Cambridge University Press.
- Mazzella L., Scipione M.B., Gambi M.C., Buia M.C., Lorenti M., Zupo V., Cancemi G. (1993). The Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*: a comparative overview. In: Ozhaen E. (Ed.), Proceedings of the First International Conference on the Mediterranean Coastal Environment 93. MEDCOAST, pp.103–116.
- Panayotidis P., Boudouresque C.F., Marcot-Coqueugniol J. (1981). Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Botanica Marina 24, 115-124.
- Pergent G., Boudouresque C.F., Crouzet A. (1983). Variations cycliques dans les écailles des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica*. Travaux Scientifiques du Parc National de



Port- Cros, 9, 107-148.

- Pergent G. (1987). Recherches lépidochronologiques chez *Posidonia océanica* (potamogetonaceae): fluctuation des paramètres anatomiques et morphologiques des écailles des rhizomes, Aix-Marseille 2.
- Pergent G., Boudouresque C.F., Crouzet A., Meinesz A. (1989). Cyclic Changes along *Posidonia oceanica* Rhizomes (Lepidochronology): Present State and Perspectives, *Marine Ecology*, 10 (3), 221-230.
- Pergent G., Pergent-Martini C. (1990). Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, 33, 299-310.
- Pergent G., Pergent-Martini C. (1991). Leaf renewal cycle and primary production of *Posidonia oceanica* in the Bay of Lacco Ameno (Ischia, Italy) using lepidochronological analysis. *Aquatic Botany*, 42, 49-66.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F. (1995). Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54, 3-27.
- Pergent G., Rico-Raimondino V., Pergent-Martini C. (1997). Fate of primary production in *Posidonia oceanica* meadows of the Mediterranean. *Aquatic Botany*, 59 (3-4), 307-321.
- 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., Piazza L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri A., Shili A., Tomasello A., Velimirov B. (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecological Indicators*, 5, 213-230.
- Pernice G., Patti I., Maccarrone V., & Apollo F. (2003). Capo Feto Wetland-Italy. Italian Lagoon Observational Network, LaguNet.
- Pernice G., Placenti F., Spina A. (2004). Long-term analysis (1863–2002) of environmental change in the Capo Feto area (Mediterranean Sea). *Chemistry and Ecology*, 20 (sup1), 185-193.
- Perzia P., Falautano M., Castriota L., Cillari T., Vivona P., Toccaceli M., Scotti G., Andaloro, F. (2011). Indagine geomorfologica e bionomica dei fondali di Sciacca (AG). *Biogeographia—The Journal of Integrative Biogeography*, 30(1).
- Rio D., Sprovieri R., Raffi I. (1984). Calcareous plankton biostratigraphy and biochronology of the Pliocene-Lower Pleistocene succession of the Capo Rossello area, Sicily. *Marine Micropaleontology*, 9(2), 135-180.

- Sand-Jensen K. (1975). Biomass net production and growth dynamics in an eelgrass (*Zostera marina* L.) population in Vellerup Vig, Denmark. *Ophelia*, 14, 185-201.
- Stuiver M., Polach H.A., (1977). Reporting of  $^{14}\text{C}$  Data. *Radiocarbon*, 19(3), 355-363.
- Tomasello A., Perrone R., Colombo P., Pirrotta M. (2018). Root hair anatomy and morphology in *Posidonia oceanica* (L.) Delile and substratum typology: First observation of a spiral form. *Aquatic botany* 145, 45-48.
- Tomasello A., Cassetti F.P., Savona A., Pampalone V., Pirrotta M., Calvo S., Signa G., Andolina C., Mazzola A., Vizzini S., Muzirafuti A., Lanza S., Randazzo G., 2021. The use of very high-resolution images for studying *Posidonia oceanica* reefs. *Vie et Milieu – Life and Environment*, 2020, (in stampa).