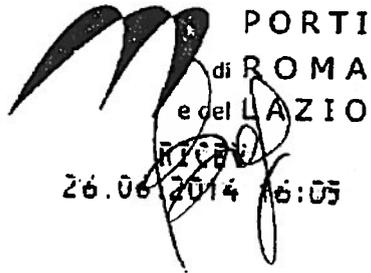




UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche (DEB)



All'Autorità Portuale
di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta
Molo Vespucci – Porto di Civitavecchia
00053 Civitavecchia

Alla c.a. Dell'ing. Calogero Burgio

Civitavecchia, li 25.06.2013

Oggetto: circoscrizione portuale di Civitavecchia;
addendum n.2 del 02.08.2011 (prot. AP. 9350 del 03.08.2011);
relazione attività.

Allegati:

- Relazione analisi delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo il tratto di costa compreso tra S. Severa e Tarquinia - Anno 2013.

REL-176-MON-0614-AP	25/06/14
Redatto	
Dott.ssa Selvaggia Cognetti de Martiis	
Dott.ssa Valentina Gnisci	
Dott Filippo Carli	
Dott.ssa Monica Giovacchini	
Approvato	
Prof. Marco Marcelli	



A.P. Civitavecchia - PORTILAZIO

Prot. **0008735** del 28/06/2014 ore 10:12:00

Tit.

Registro: E

Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina,
Porto di Civitavecchia-Molo Vespucci-Imbarco Fs, snc 00053 Roma - Tel/Fax 0766-366538
Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche (DEB)
L.go dell'Università snc - Blocco C I° piano, 01100 Viterbo Tel +39 0761357742; FAX +39 0761357751
P.L. 00575560560 C.F. 80029030568



Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB - Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche

**ANALISI DELLE PRATERIE DI *POSIDONIA OCEANICA*
LUNGO IL TRATTO DI COSTA COMPRESO TRA S. SEVERA E TARQUINIA
ANNO 2013**

INDICE

1	Premessa	3
2	Oggetto e scopo	4
3	Descrizione delle attività	5
4	Materiali e metodi	7
	<i>4.1. Strumenti e metodologie di campionamento per la caratterizzazione e valutazione delle praterie di Posidonia oceanica</i>	<i>7</i>
	<i>4.2. Stima dei descrittori strutturali (macroripartizione) e funzionali</i>	<i>7</i>
	<i>4.3. Strumentazione per il campionamento</i>	<i>7</i>
	<i>4.4 Procedura di campionamento e prelievo dei campioni</i>	<i>8</i>
	<i>4.5. Trattamento dei dati</i>	<i>11</i>
5	Risultati	12
6	Discussioni e Conclusioni	44
7	Risultati scientifici	46
	BIBLIOGRAFIA	48

1. Premessa

Le Fanerogame marine rivestono un ruolo di grande importanza negli ambienti marini costieri, ruolo ampiamente riconosciuto dalla comunità scientifica; in particolare, le praterie sommerse di *Posidonia oceanica*, pianta endemica del Mar Mediterraneo, costituiscono una delle realtà più studiate e più rappresentative del piano infralitorale del nostro mare (Duarte, 2002).

Il ruolo della *Posidonia oceanica* nel sistema costiero è spiegato dalle molteplici funzioni che essa svolge a livello ecologico. Le praterie producono ed esportano grandi quantità di biomassa, sono siti importantissimi di fissazione biologica del carbonio ed alimentano sia la catena del pascolo, sia la catena del detrito. Queste due catene formano reti trofiche molto complesse, che si intersecano e si sovrappongono in un insieme di relazioni intra e inter-specifiche in cui sono coinvolti organismi della prateria e delle biocenosi limitrofe, con le quali avviene un reciproco scambio di sostanza organica. L'ecosistema "posidonieto", in generale, è un sistema complesso, altamente strutturato e con una biomassa fogliare pari in media ad 1 kg/m² in peso secco, un valore paragonabile a quello dei grandi complessi forestali della terraferma. La prateria è, infatti, spesso paragonata ad una foresta di querce, di cui sembra possedere anche le medesime caratteristiche, quali lento accrescimento, riproduzione sessuata rara, debole competitività a breve termine (T. Dolce, 2010).

L'associazione *Posidonietum oceanicae* FUNK BALLESTEROS (1992, 1995), BALLESTEROS & Ros (1989), è altamente strutturata e ospita un elevato numero di specie animali e vegetali. Foglie e rizomi creano un ambiente peculiare che dà rifugio ad una quantità di esseri viventi esigendo, nel contempo, una serie di adattamenti specifici. Un altro motivo che giustifica l'interesse scientifico verso questa fanerogama è l'influenza che essa esercita sulle dinamiche di sedimentazione: la prateria, agendo come barriera naturale, produce un'attenuazione dell'energia del moto ondoso 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"): prevenendo in questo modo l'erosione costiera, la *Posidonia oceanica* diviene anche una specie di forte interesse economico per le nostre coste.

Sulla base di quanto accennato, si può comprendere come l'importanza delle praterie di *Posidonia oceanica* nel mantenimento degli equilibri degli ecosistemi costieri del Mediterraneo, sia

ormai ampiamente 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 costiero.

Negli ultimi decenni, l'intenso uso della fascia costiera (costruzione di opere costiere, allargamento di porti, lavori di dragaggio), insieme ad altre attività (quali la pesca a strascico e gli ancoraggi), ha costituito una seria minaccia per l'ambiente marino. In particolare, il tratto di costa preso in considerazione in questo studio, compreso tra Marina di Tarquinia e Santa Severa (nord del Lazio), ospita uno dei porti turistici più grandi d'Europa (Civitavecchia) e un importante polo energetico (Centrale di Torrevaldaliga).

La notevole sensibilità della pianta alle perturbazioni naturali e/o artificiali, ha spinto le autorità nazionali, europee ed internazionali ad azioni volte alla sua protezione.

Possono considerarsi misure di salvaguardia dirette, 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 mappature delle praterie di *P. oceanica* presenti 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.

2. Oggetto e scopo

L'obiettivo del presente documento è di studiare le praterie di *Posidonia oceanica* in un'area particolarmente antropizzata ed in particolare oggetto di numerose opere costiere.

Il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM-DEB-Università degli Studi della Tuscia) ha strutturato un progetto di ricerca con lo scopo di valutare lo stato di

salute delle praterie di *Posidonia oceanica* lungo il tratto di costa compreso tra S. Severa e Tarquinia, al fine di analizzare i potenziali effetti delle diverse attività, con particolare attenzione alle ultime attività di dragaggio effettuate per il potenziamento dell'Hub portuale di Civitavecchia. Il progetto infatti prevede il campionamento e lo studio delle praterie in due fasi: una al termine delle attività di dragaggio, una trascorsi quattro anni dal primo monitoraggio.

Nel seguente documento vengono riportati i risultati relativi alla campagna di caratterizzazione delle praterie di *Posidonia oceanica* eseguita tra Maggio e Giugno del 2013 dagli operatori subacquei del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia marina. Mediante rilievi in immersione subacquea, sono state eseguite misure *in situ* ed effettuati campionamenti di tipo distruttivo in 18 punti compresi tra Marina di Tarquinia e Santa Severa, che hanno permesso di valutare lo stato di salute delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti in questo tratto di costa.

3. Descrizione delle attività

Il campionamento è stato effettuato in 18 stazioni, comprese tra 7.5 e 16 m di profondità, riportate di seguito in Tabella 1, lungo il tratto di costa compreso tra Marina di Tarquinia e Santa Severa (Fig. 1).

Stazioni	Coordinate geografiche WGS 84 in gg° mm.mm'		
	Latitudine	Longitudine	Profondità (m)
CV01 - POS.01	42°13.07'	11°41.42'	12
CV03 - POS.02	42°12.33'	11°42.27'	9
CV05- POS.03	42°11.07'	11° 42.43'	9
CV09- POS.04	42°08.82'	11°43.88'	9
CV10- POS.05	42°08.08'	11°44.43'	7.5
CV14- POS.06	42°07.10'	11°45.20'	11
CV18- POS.07	42°03.03'	11°48.93'	8.5
CV19- POS.08	42°01.88'	11°54.88'	10
CV21- POS.09	42°01.98'	11°48.93'	16
CV23- POS.10	42°02.43'	11°48.98'	11
CV25- POS.11	42° 04.34'	11°48.05'	14
CV33- POS.12	42°01.28'	11°50.68'	12

CV34- POS.13	42°01.72'	11°51.27'	10
CV36- POS.14	42°01.98'	11°52.60'	10
CV40- POS.15	42°00.97'	11°56.68'	10
POS.17	42°00.4'	11°55.0'	13.5
POS.19	42° 4.81'	11° 47.84'	7.5
POS.20	42°3.33'	11°48.76'	10

Tab. 1. Punti di campionamento selezionati per il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica*. Per le stazioni viene riportata la denominazione (CV) usata per i precedenti monitoraggi (Scardi, 2005) e quella attuale (POS). Rispetto al precedente allegato sono state aggiunte 3 nuove stazioni di monitoraggio: POS_17 per sostituire la POS_06 sulla quale non è stato possibile effettuare immersioni subacquee data la vicinanza alla Centrale di Torre Valdaliga. Inoltre sono state aggiunte la stazione POS.19 e POS.20 per aumentare la densità dei campionamenti nell'intorno del porto di Civitavecchia.

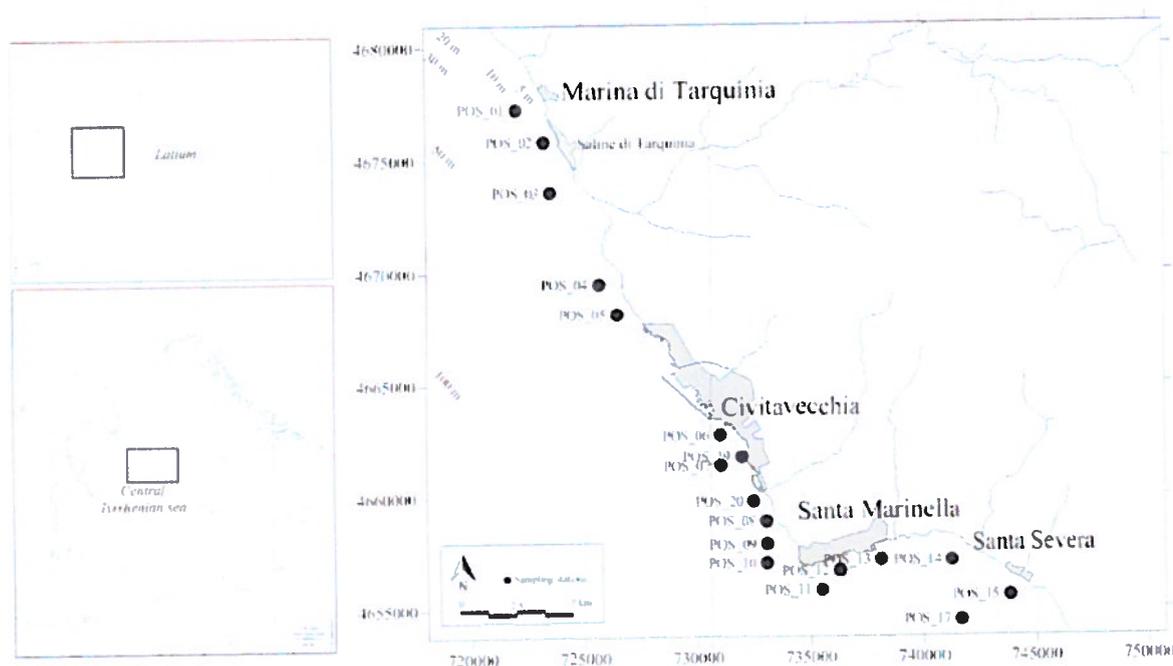


Fig. 1. Piano di campionamento per il monitoraggio delle praterie di *Posidonia oceanica* nell'intera area di studio.

4.4 Procedura di campionamento e prelievo dei campioni

Densità

La strategia di campionamento utilizzata è quella descritta dal “Manuale di metodologie di campionamento e studio del Benthos marino mediterraneo” (ICRAM, APAT, SIBM, 2003). In corrispondenza di ogni stazione viene definita un'area di 400m² all'interno della quale vengono identificate 3 sottoaree, distanziate tra loro di 10m. In ciascuna di esse vengono eseguite le seguenti operazioni: 3 repliche per le misure di densità (Fig. 2), 3 repliche per la copertura (Fig. 3), 10 prelievi di fasci fogliari (6 destinati alla fenologia e 4 alla lepidocronologia). Le repliche in una stessa sottoarea devono essere distanziate tra loro di almeno 1 metro. In totale vengono effettuate quindi 9 misure di densità, 9 misure di copertura e 30 prelievi di campioni per ciascuna stazione.



Fig. 2. Rilievo fotografico effettuato da un operatore subacqueo durante la conta dei fasci fogliari in un quadrato 40 x 40 cm.

4. Materiali e metodi

4.1. Strumenti e metodologie di campionamento per la caratterizzazione e valutazione delle praterie di *Posidonia oceanica*

Sulle praterie di *Posidonia oceanica* interessate dalle attività di dragaggio sono stati eseguiti i campionamenti per la stima dei descrittori strutturali (densità e copertura) e funzionali (fenologia) dello stato di salute delle praterie. I rilievi sono stati eseguiti in immersioni subacquee dal personale del Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina dell'Università degli Studi della Toscana.

4.2. Stima dei descrittori strutturali (macroripartizione) e funzionali

La macroripartizione è un descrittore fondamentale della struttura della prateria di *Posidonia oceanica*; questa comprende la stima della copertura, della densità assoluta e della densità relativa.

La densità della vegetazione, intesa come numero di fasci fogliari per m² (Giraud, 1977), rappresenta uno dei principali descrittori sintetici dello stato di salute delle praterie.

La copertura è espressa come percentuale (%) di substrato ricoperto dalle piante, rispetto a quello non ricoperto (sabbia, roccia, "matte" morta, etc.).

Le stime dei descrittori strutturali e funzionali vengono effettuate in due tempi; una prima serie di campionamenti dopo i lavori di dragaggio (Maggio 2013) ed una seconda dopo 4 anni, al termine del monitoraggio.

4.3. Strumentazione per il campionamento

I campionamenti sono stati eseguiti in immersione con autorespiratori ad aria, attraverso l'utilizzo di quadrati di riferimento 40x40 cm per la conta dei fasci fogliari, per la stima della densità assoluta dei fasci fogliari delle praterie e di un quadrato 1x1m suddiviso in 12 subquadrati, per la valutazione della copertura percentuale del substrato da parte delle piante.

Copertura

Per ottenere il valore medio di ricoprimento percentuale, in ogni stazione vengono effettuate 10 repliche. L'operatore posiziona sul fondo un quadrato di 1x1m suddiviso in 12 sub-quadrati e stima visivamente il numero di quadrati in cui la *Posidonia oceanica* è presente. La misura in dodicesimi viene poi convertita in percentuale. Al fine di ottenere una maggiore precisione nella conta dei quadrati per la percentuale di copertura, viene eseguito un rilievo fotografico per ciascuna replica (esempio in Fig.3).

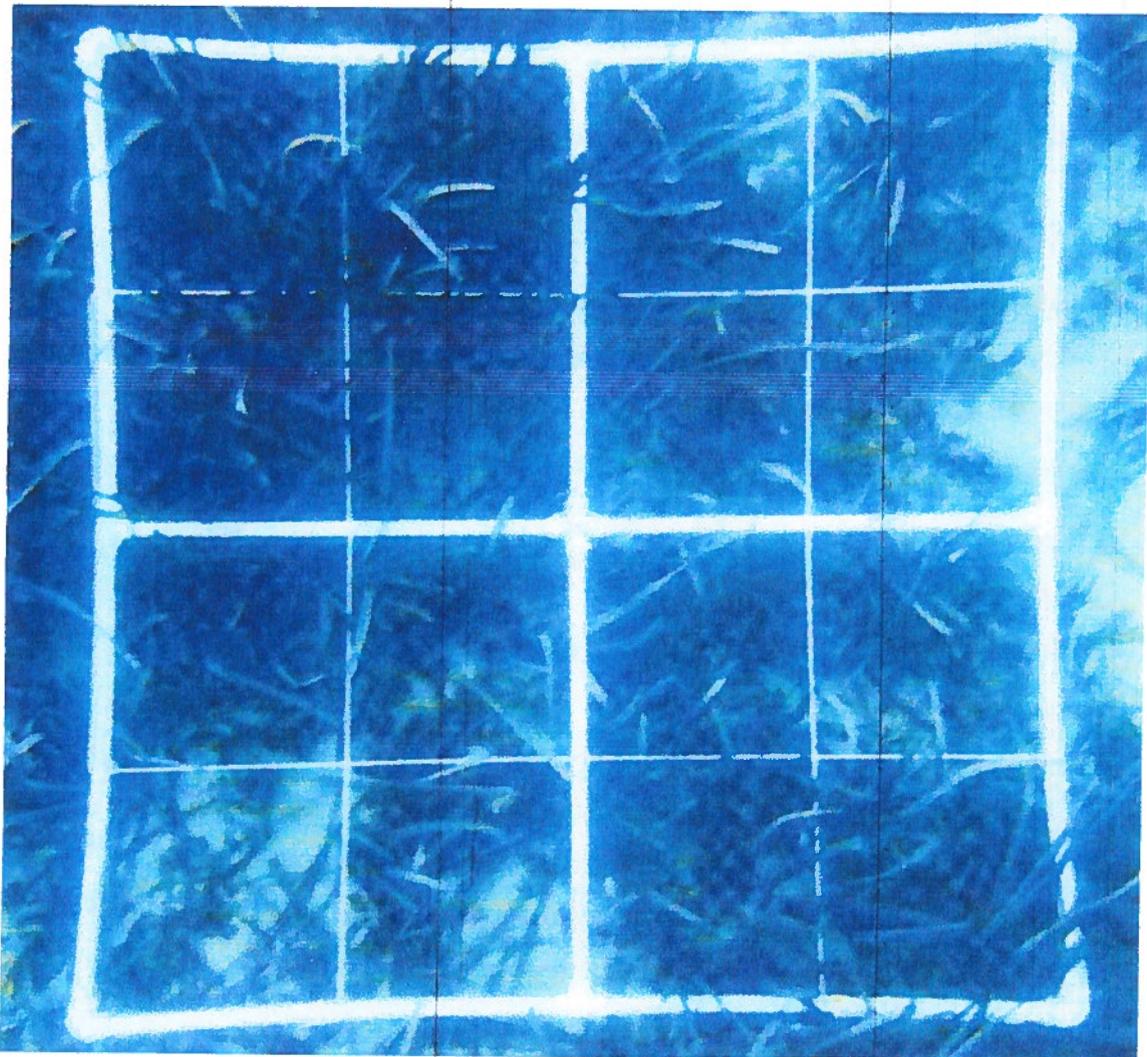


Fig. 3. Rilievo fotografico effettuato per la stima della copertura percentuale della *Posidonia oceanica*.

Fenologia

Le indagini fenologiche riguardano le strutture anatomiche visibili della pianta e sono state effettuate nelle 3 sottoaree nelle quali è stata stimata la densità fogliare; per ogni sottoarea vengono prelevati 6 rizomi ortotropi (non terminali e non in divisione), per un totale di 18 rizomi per ogni stazione di campionamento. I rizomi vengono raccolti in sacchetti di plastica all'interno dei quali sono inserite etichette prenumerate.

I rizomi vengono conservati umidi e al buio fino all'arrivo in laboratorio in contenitori termici. Nel caso in cui non venga subito effettuata l'analisi morfometrica, i campioni sono conservati a -20°C .

Analisi fenologiche dei campioni di Posidonia oceanica

I fasci fogliari raccolti in ognuna delle stazioni di campionamento sono stati trasportati in laboratorio, dove sono state effettuate le analisi fenologiche. Tutti i campioni sono stati lavati in acqua dolce prima di essere analizzati. Sui campioni prelevati sono state eseguite misurazioni bioetriche di:

- larghezza delle foglie giovanili;
- lunghezza totale delle foglie giovanili;
- lunghezza totale delle foglie intermedie;
- lunghezza tessuto bruno delle foglie intermedie;
- larghezza delle foglie adulte;
- lunghezza tessuto bruno foglie adulte.

Per effettuare tali misurazioni ogni fascio fogliare è stato separato nelle singole foglie che lo compongono, mediante l'utilizzo di una pinzetta, procedendo dalla foglia più esterna a quelle più interne e disponendo le foglie in successione di classe decrescente su un piano.

Dopo le misurazioni, le foglie sono state suddivise nelle seguenti categorie:

- giovanili, lunghe meno di cinque centimetri e senza ligula;
- intermedie, lunghe più di cinque centimetri e senza ligula;
- adulte, con ligula.

Si ricava il numero di foglie sia totale che per categoria (foglie adulte, intermedie e giovanili).

4.5. Trattamento dei dati

Macroripartizione

La densità assoluta è stata ottenuta come valore medio dei dati rilevati nei singoli quadrati ed espressa in numero di fasci m^{-2} (Giraud, 1977), mentre la densità relativa è stata calcolata correggendo la densità assoluta in funzione del ricoprimto del substrato stimato in decimi (i.e. (Densità Assoluta/10)*Copertura in decimi). Sulla base di questi dati si può determinare lo stato di salute di una prateria ed individuare la presenza di gradienti di densità al suo interno.

Calcolo dei parametri fenologici

Sulla base delle misurazioni effettuate sull'apparato fogliare, sono stati calcolati i seguenti parametri fenologici:

- numero medio di foglie per ciuffo delle varie categorie ed in totale;
- coeff. A delle foglie adulte (% di apici rotti sul numero totale di foglie adulte);
- coeff. A delle foglie intermedie (% di apici rotti sul numero totale di foglie intermedie);
- lunghezza media delle foglie per categorie ed in totale;
- larghezza media delle foglie per categorie ed in totale;
- indice fogliare (LAI) per fascio e per m^2 calcolato con la seguente formula:

$$\text{Indice fogliare per fascio} = \frac{\text{lunghezza del tessuto verde} \times \text{larghezza delle foglie}}{\text{n}^\circ \text{ di fasci analizzati}}$$

L'indice fogliare per m^2 è calcolato moltiplicando l'indice fogliare per fascio per la densità dei fasci nella stazione di campionamento.

I parametri fenologici possono fornire una descrizione estremamente sintetica dello stato di vitalità delle piante che costituiscono la prateria. In particolare, gli indici fogliari esprimono la vitalità della pianta e soprattutto le sue variazioni nel tempo.

5. Risultati

I rilievi eseguiti *in situ* hanno permesso di valutare la struttura delle praterie indagate e il loro stato di salute attraverso la stima dei descrittori strutturali (densità assoluta, densità relativa e copertura del substrato) e funzionali (fenologia).

Macroripartizione

La stima della densità assoluta per stazione è stata eseguita calcolando il valore medio e mediano dei dati rilevati nei singoli quadrati di conta, espressa in numero di fasci fogliari al metro quadro (Buia et al., 2003).

La complessità geomorfologica dell'area di studio porta ad una elevata eterogeneità strutturale delle praterie di *Posidonia oceanica* presenti: la maggior parte di queste infatti si sviluppa su substrato roccioso interrotto da numerosi catini sabbiosi, con evidenti ripercussioni sulla copertura e sulla densità assoluta dei fasci al m². Per tale motivo, oltre ai valori medi dei dati rilevati, che tendono ad appiattare l'informazione, vengono calcolati anche i valori mediani, che riescono a dare un'informazione più precisa della situazione riscontrata *in situ*. L'immagine qui di seguito riportata mette in evidenza la complessità geomorfologica dell'area di studio e le differenti tipologie di substrato colonizzate dalle praterie oggetto di studio. Come si osserva dall'immagine (Fig.4), la maggior parte delle operazioni di campionamento sono state eseguite su substrato roccioso a profondità comprese tra i 5m ed i 16 m di profondità.

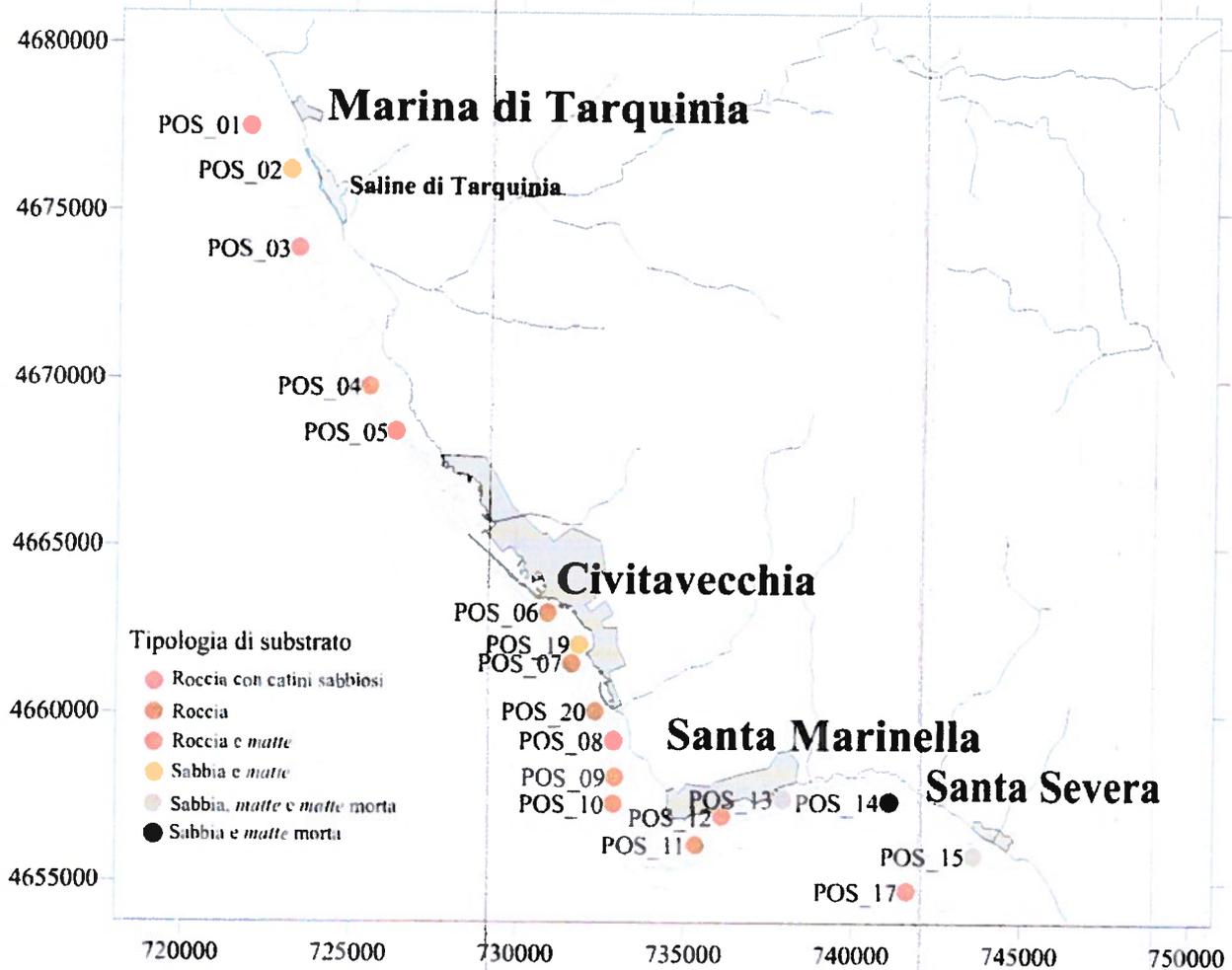


Fig. 4. Tipologie di substrato delle praterie di *Posidonia oceanica* campionate.

I valori di densità assoluta dei fasci fogliari sono stati rapportati ad una scala di valutazione dello stato di salute delle praterie, recentemente proposta (Pergent *et al.*, 1995; Pergent-Martini e Pergent, 1996). Tale classificazione evidenzia come la densità della prateria vari in funzione della profondità, seguendo un modello di tipo logaritmico e come la sua variabilità sia spiegata 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 (Tab. 2):

- "praterie molto disturbate", con densità anormale (DA) che corrisponde a situazioni critiche, in cui

la vitalità della prateria è estremamente bassa;

- "praterie disturbate", con densità bassa (DB) che corrisponde ad una riduzione della vitalità della prateria e deve costituire un segnale di allarme ai fini di intraprendere azioni di risanamento;
- "praterie in equilibrio" con densità nella norma (DN), che corrisponde a valori di vitalità soddisfacenti, osservabili quando non esistono segni di pressione antropica;
- "praterie in equilibrio" con densità eccezionale (DE) che corrisponde a situazioni particolarmente eccezionali in termini di vitalità della pianta o di estensione batimetrica della prateria.

Profondità (m)	Densità anormale (DA)	Densità bassa (DB)	Densità normale (DN)	Densità eccezionale (DE)
1	<822	da 822 a 934	da 934 a 1158	>1158
2	<646	da 646 a 758	da 758 a 982	>982
3	<543	da 543 a 655	da 655 a 879	>879
4	<470	da 470 a 582	da 582 a 806	>806
5	<413	da 413 a 525	da 525 a 749	>749
6	<367	da 367 a 479	da 479 a 703	>703
7	<327	da 327 a 439	da 439 a 663	>663
8	<294	da 294 a 406	da 406 a 630	>630
9	<264	da 264 a 376	da 376 a 600	>600
10	<237	da 237 a 349	da 349 a 573	>573
11	<213	da 213 a 325	da 325 a 549	>549
12	<191	da 191 a 303	da 303 a 527	>527
13	<170	da 170 a 282	da 282 a 506	>506
14	<151	da 151 a 263	da 263 a 487	>487
15	<134	da 134 a 246	da 246 a 470	>470
16	<117	da 117 a 229	da 229 a 453	>453
17	<102	da 102 a 214	da 214 a 438	>438
18	<88	da 88 a 200	da 200 a 424	>424
19	<74	da 74 a 186	da 186 a 410	>410
20	<61	da 61 a 173	da 173 a 397	>397
21	<48	da 48 a 160	da 160 a 384	>384
22	<37	da 37 a 149	da 149 a 373	>373
23	<25	da 25 a 137	da 137 a 361	>361
24	<14	da 14 a 126	da 126 a 350	>350
25	<4	da 4 a 116	da 116 a 340	>340
26	0	da 0 a 106	da 106 a 330	>330
27	0	da 0 a 96	da 96 a 320	>320
28	0	da 0 a 87	da 87 a 311	>311
29	0	da 0 a 78	da 78 a 302	>302
30	0	da 0 a 70	da 70 a 294	>294

Tab. 2. Classificazione della prateria sulla base della densità assoluta (n fasci fogliari/m³) in funzione della profondità per i primi 30 metri di profondità, secondo Pergent-Martini.

Come si osserva dalla figura 4, in 5 stazioni (su 18) le praterie sono "molto disturbate", 10 praterie sono "disturbate" e 3 praterie risultano essere "in equilibrio" (Fig. 8).

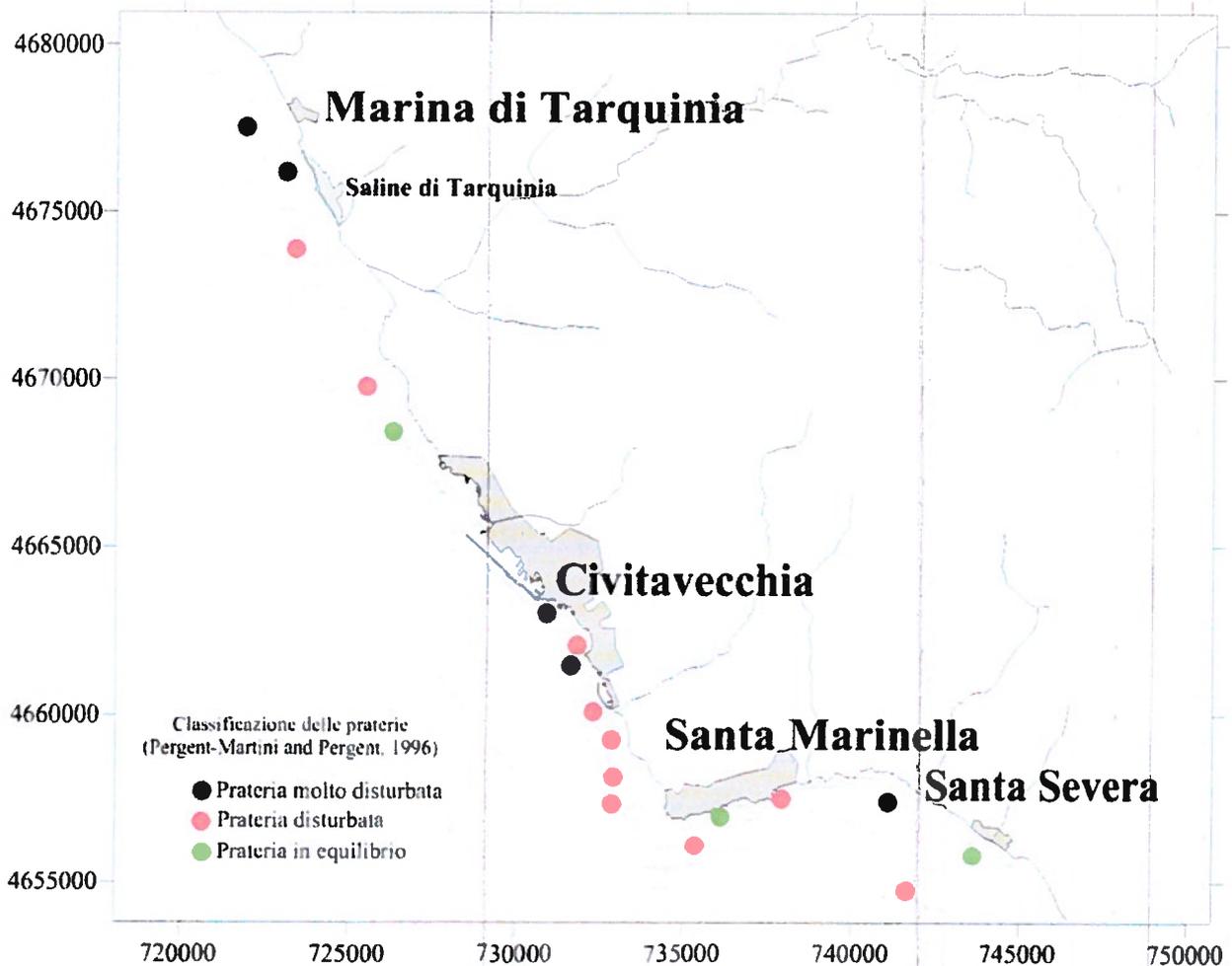


Fig. 4. Classificazione delle praterie sulla base della scala proposta da Pergent-Martini (1996)

L'area di campionamento può essere suddivisa in tre settori (Fig. 5):

- settore a Nord (SN) del Porto di Civitavecchia, comprendente le stazioni POS_01, POS_02, POS_03, POS_04 e POS_05;
- settore centrale (SC) compreso tra il Porto di Civitavecchia e Capo Linaro, con le stazioni POS_06, POS_19, POS_07, POS_20, POS_08, POS_09 e POS_10;
- settore a sud (SS) di Capo Linaro, in cui si trovano le stazioni di campionamento POS_11,

POS_12, POS_13, POS_14, POS_15 e POS_17.

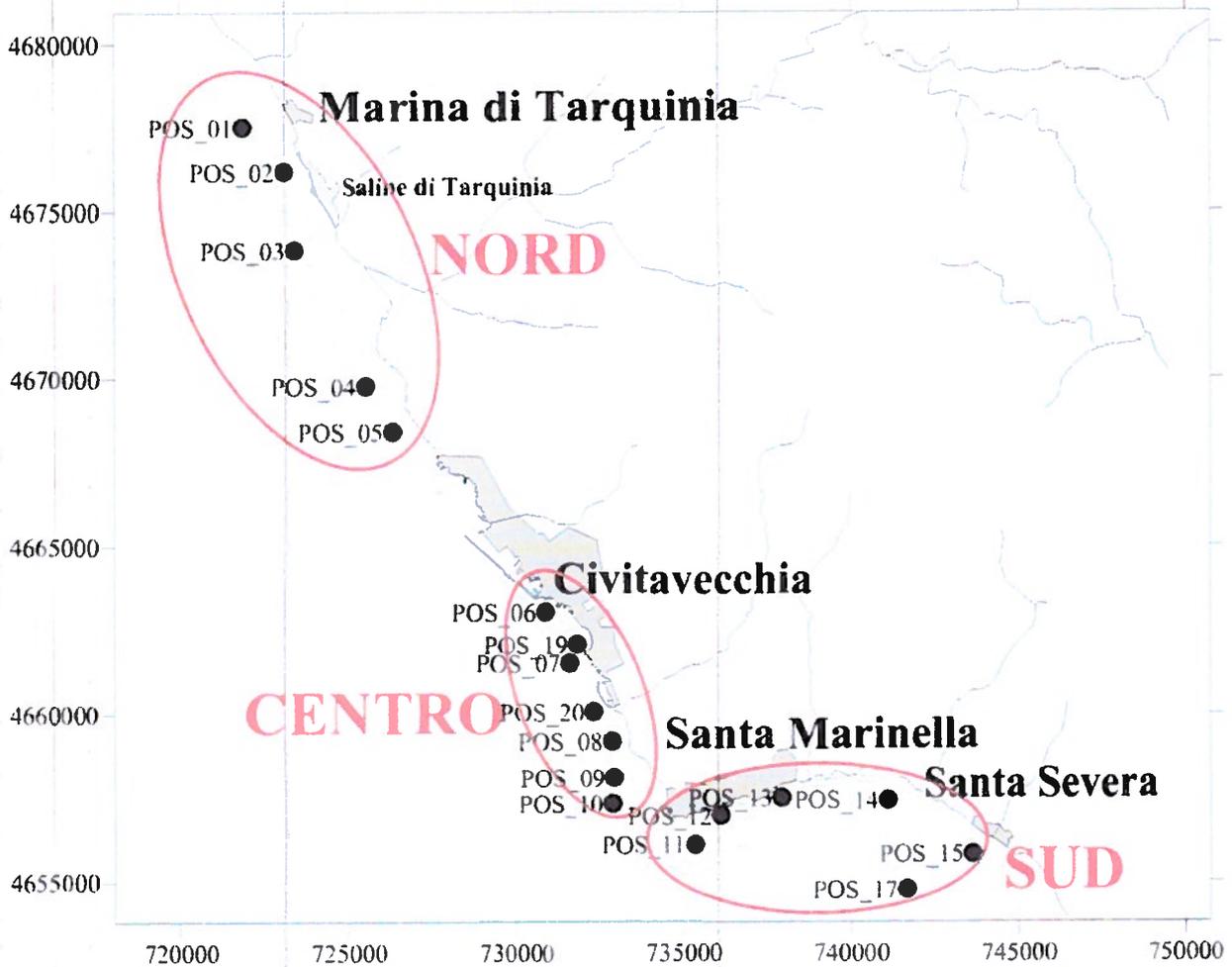


Fig. 5. Suddivisione dell'area di campionamento in 3 settori: Nord (Marina di Tarquinia-Porto di Civitavecchia), Centro (Porto di Civitavecchia-Capo Linaro) e Sud (Capo Linaro-Santa Severa).

Nella figura 6 sono riportati i valori di densità assoluta (mediane) rilevati in ogni stazione di campionamento.

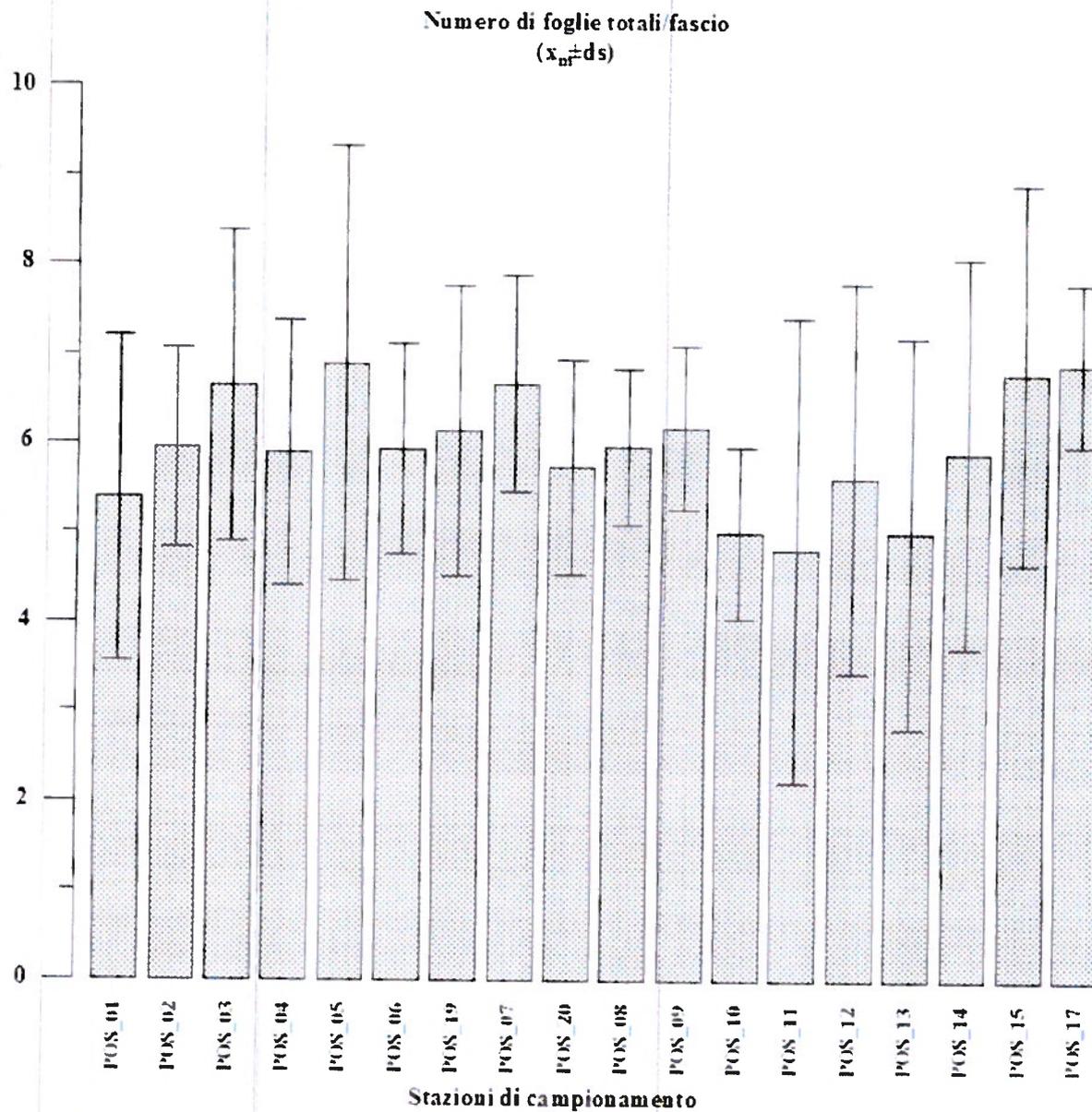


Fig.7. Valori medi di densità assoluta in ogni stazione di campionamento

Come si osserva nel *box-plot* (Fig.8) qui di seguito non si rilevano differenze significative nei valori di densità assoluta delle stazioni posizionate nei 3 settori: l'area centrale presenta valori di densità meno variabili rispetto ai settori adiacenti con un coefficiente di variazione del 26.5% contro il 45.1% ed il 66.9%, rispettivamente nella zona sud e nella zona nord.

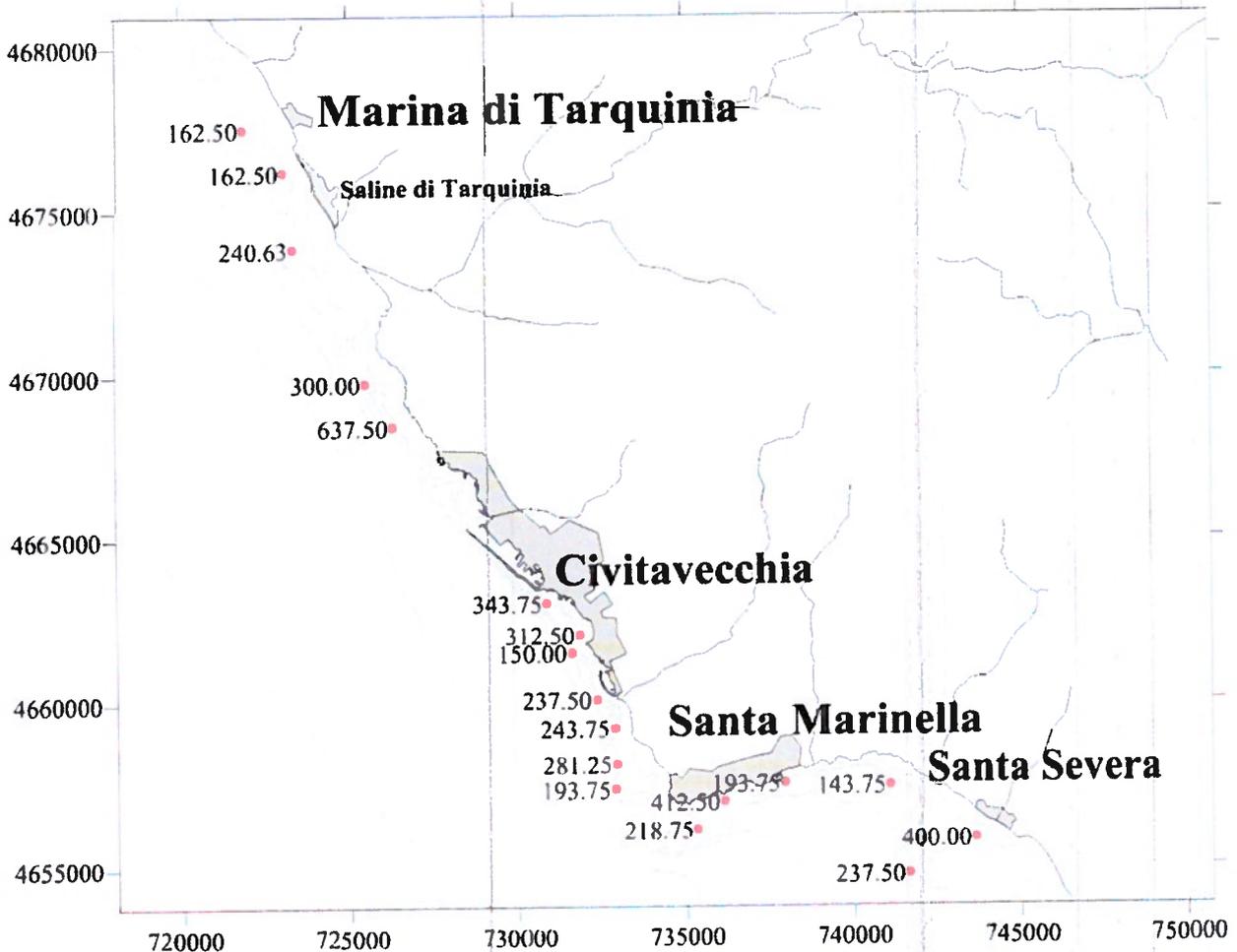


Fig. 6. Valori mediani di densità assoluta dei fasci fogliari rilevati nelle 18 stazioni di campionamento.

Il valore mediano di densità assoluta per stazione varia da un minimo di 150 fasci fogliari/m², misurati nella stazione POS_07, posta a sud del Porto di Civitavecchia, in corrispondenza di Punta del Pecoraro, ad un massimo di 637.5 fasci fogliari/m² nella stazione POS_05, situata subito a nord del porto; nella figura 7 sono riportati, in una diagramma a barre, i valori medi di densità assoluta rilevati nelle stazioni di campionamento.

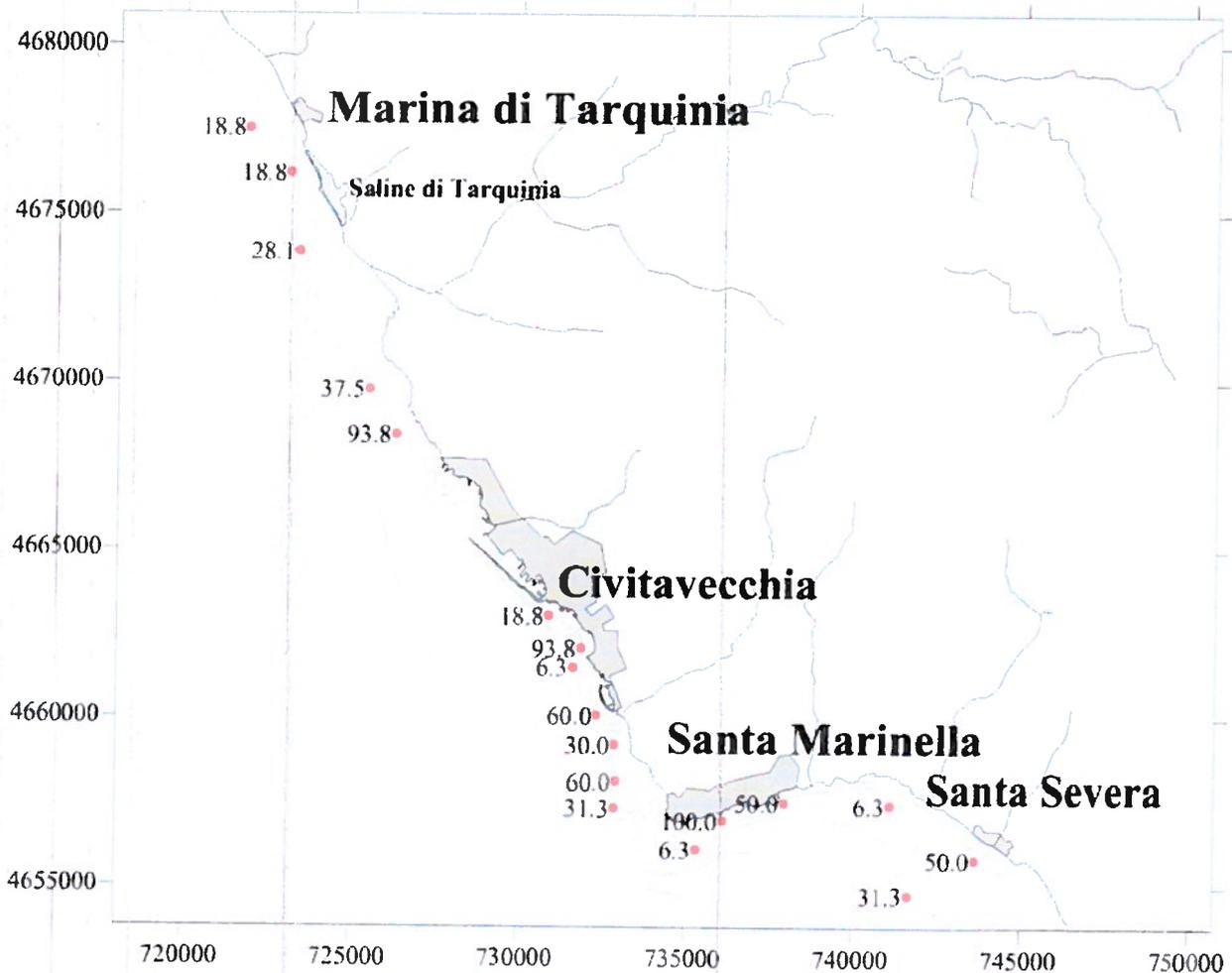


Fig. 9. Valori medi di copertura del substrato da parte di *Posidonia oceanica* rilevati nelle 18 stazioni di campionamento

Il valore massimo di copertura mediana è stato rilevato nella stazione POS_12 (SS) con il 100% del substrato coperto da *Posidonia*: stazioni con una buona copertura del fondale si trovano anche nelle altre due aree, in particolare nella stazione POS_05 (SN) e nella stazione POS_19 (SC), entrambe con il 93.8% di substrato coperto dalla pianta (Fig. 10). Per quanto riguarda i valori medi di copertura, la stazione POS_05 presenta una percentuale più bassa rispetto al valore mediano, mentre per le stazioni POS_12 e POS_19 il valore medio e quello mediano coincidono.

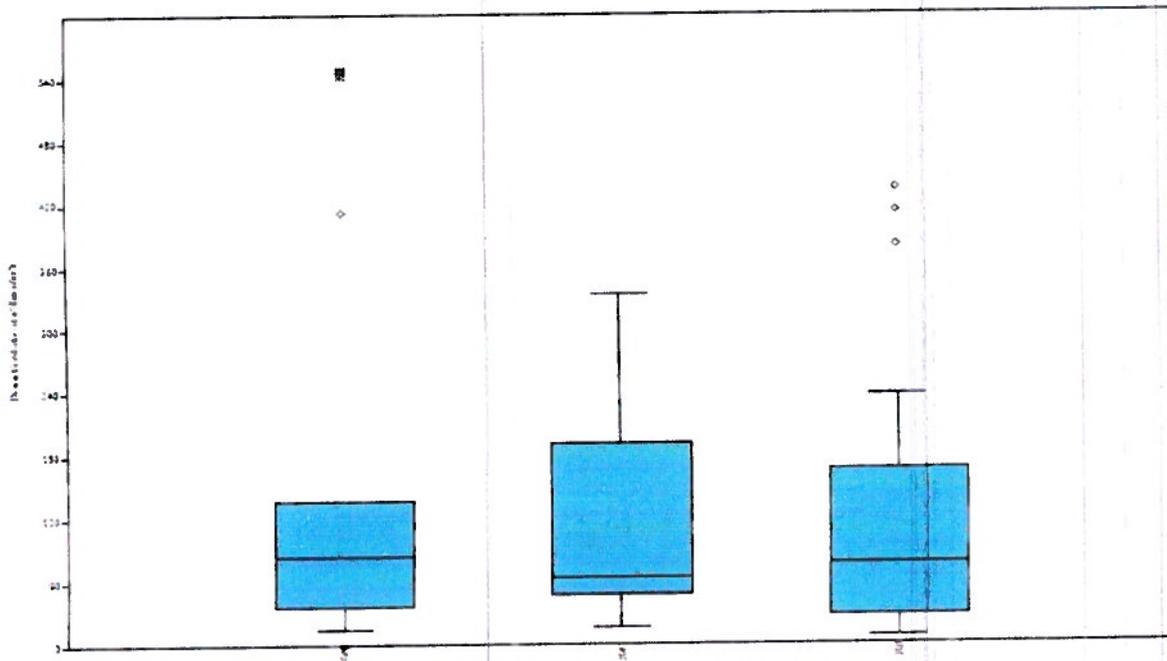


Fig. 8. Densità assoluta dei fasci fogliari nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*. L'area colorata in azzurro contiene il 50% dei dati del data set, con gli estremi inferiore e superiore che rappresentano rispettivamente il primo (25° percentile) ed il terzo (75° percentile) quartile; il segmento interno coincide con la mediana del data set ed i baffi sono il valore minimo ed il valore massimo

Osservando valori di copertura del substrato da parte della pianta (Fig. 9), rilevati nei tre settori, è possibile notare che non sono presenti praterie continue nell'area di studio, ma che la pianta colonizza il substrato in modo discontinuo, distribuendosi talvolta a *patches* con pochi ciuffi sparsi, talvolta dando luogo macchie di estese dimensioni che coprono totalmente il substrato.

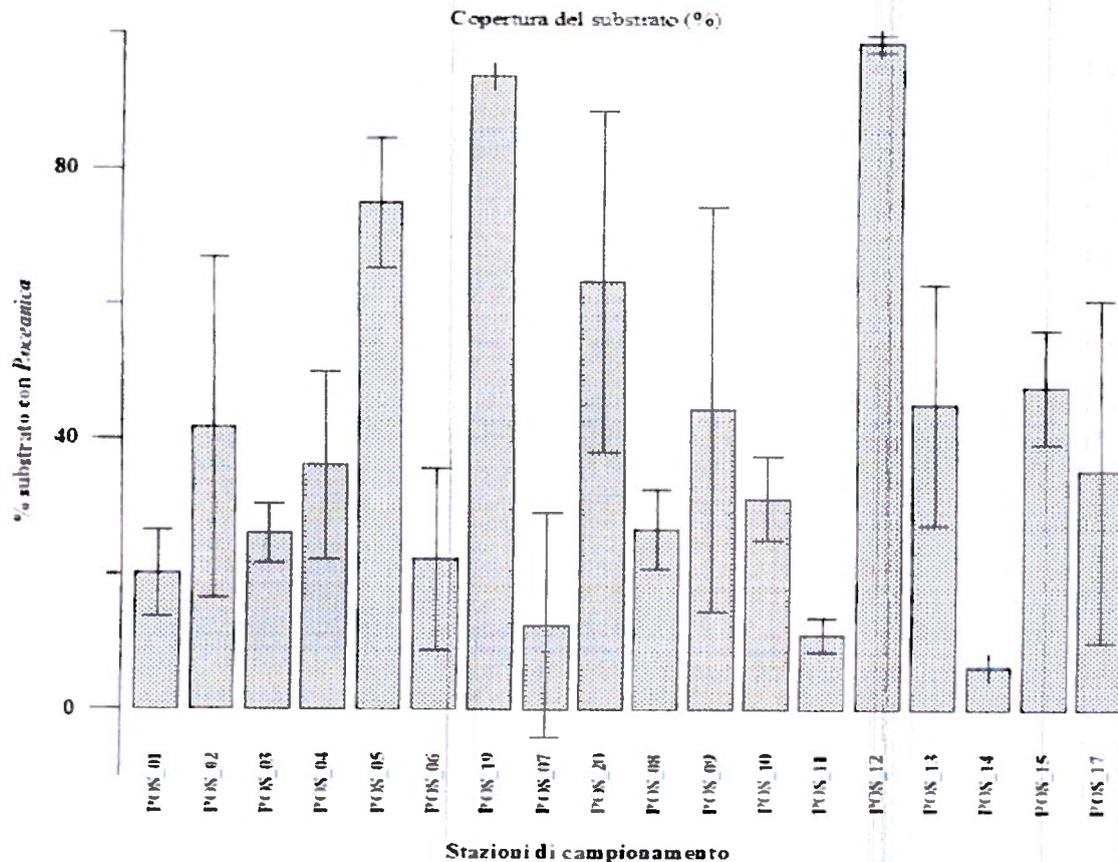


Fig. 10. Valori medi di copertura del substrato in ogni stazione di campionamento

Come si osserva dal *box plot* della figura 11 tutta l'area di studio è caratterizzata da una elevatissima eterogeneità strutturale, senza una vera e propria prateria, estesa ed uniforme, ma con la presenza di realtà estremamente frammentate e più o meno isolate tra loro, con diversi gradi di copertura: gli elevati valori del coefficiente di variazione mettono in evidenza proprio l'elevata disomogeneità nelle percentuali di copertura da parte della pianta, in tutta l'area di studio.

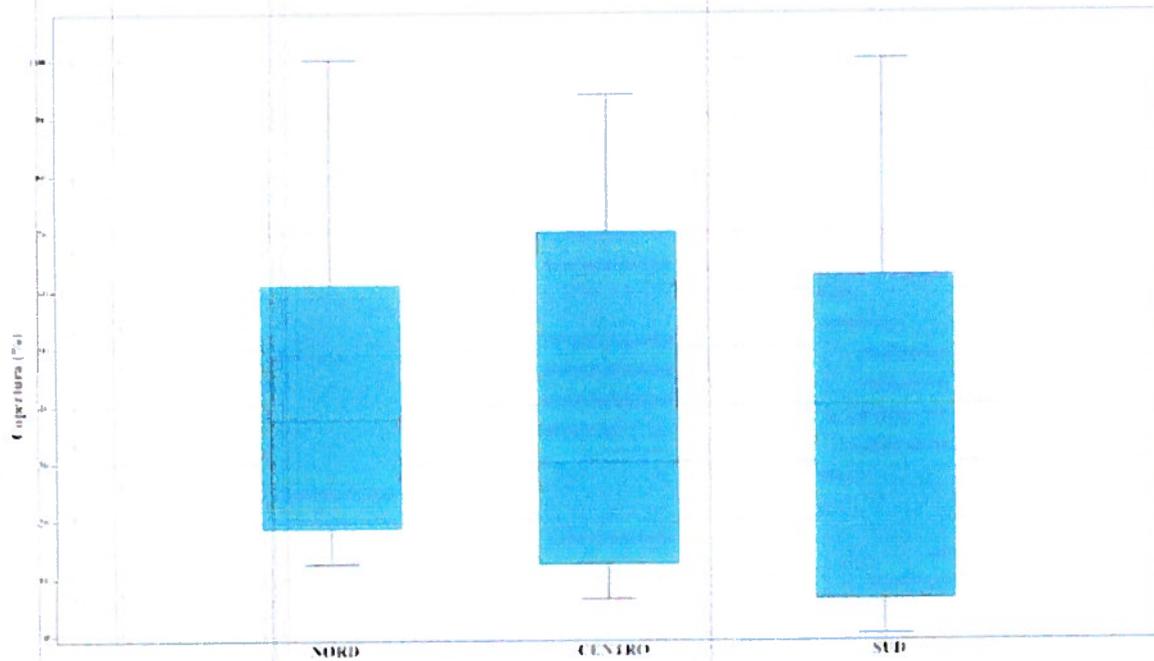


Fig. 11. Valori di copertura del substrato nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*

Le osservazioni eseguite sulla densità assoluta dei fasci fogliari e sulla copertura del fondale da parte di *Posidonia oceanica*, si riflettono anche sui valori di densità relativa dei fasci fogliari in tutta l'area (Fig. 12).

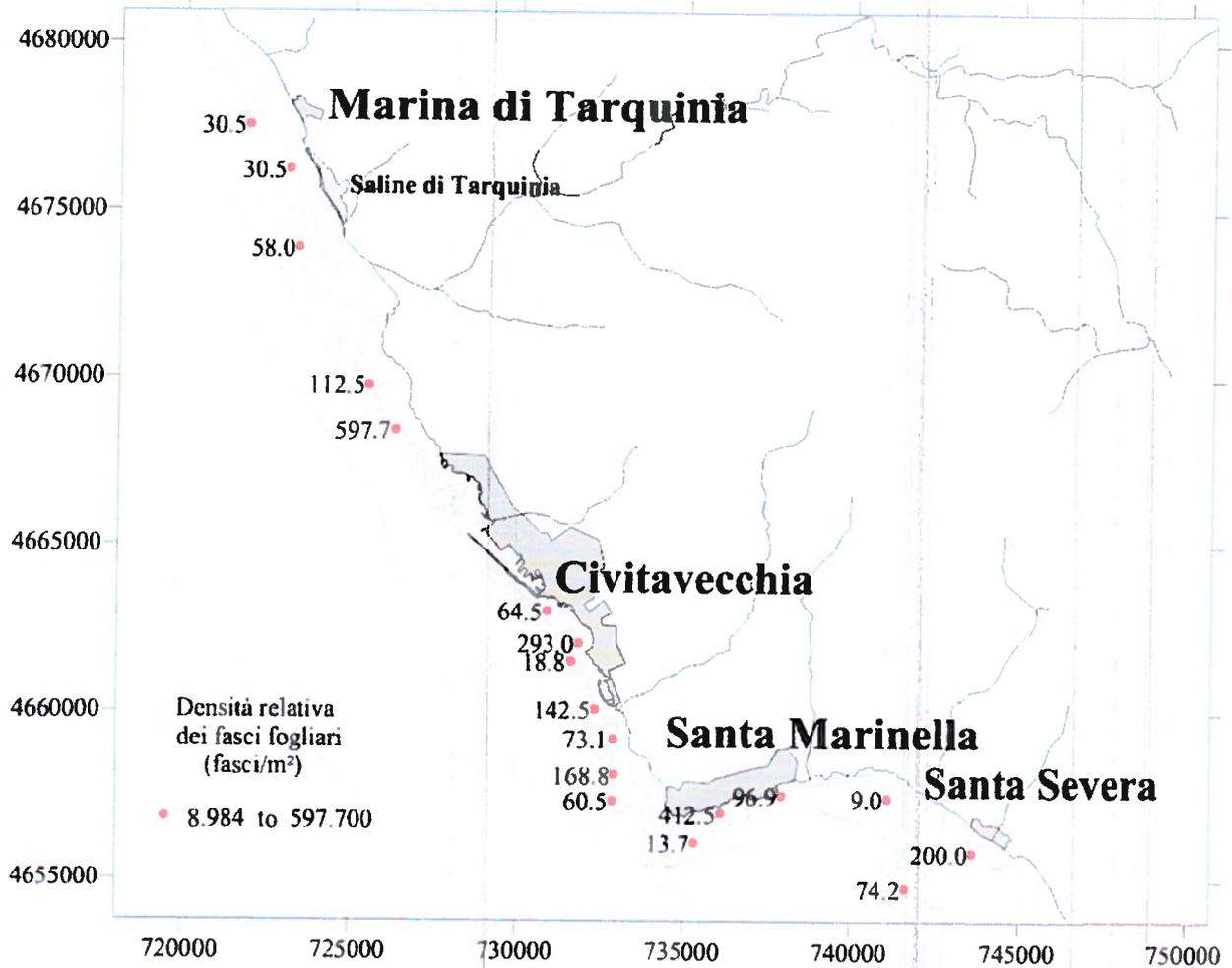


Fig. 12. Valori medi di densità relativa dei fasci fogliari da parte di *Posidonia oceanica* rilevati nelle 18 stazioni di campionamento.

Il valore minimo di densità relativa dei fasci fogliari è stato stimato nella stazione POS_14 con soli 9 fasci/m², mentre il valore massimo nella stazione POS_05 con 597 fasci/m² (Fig. 13).

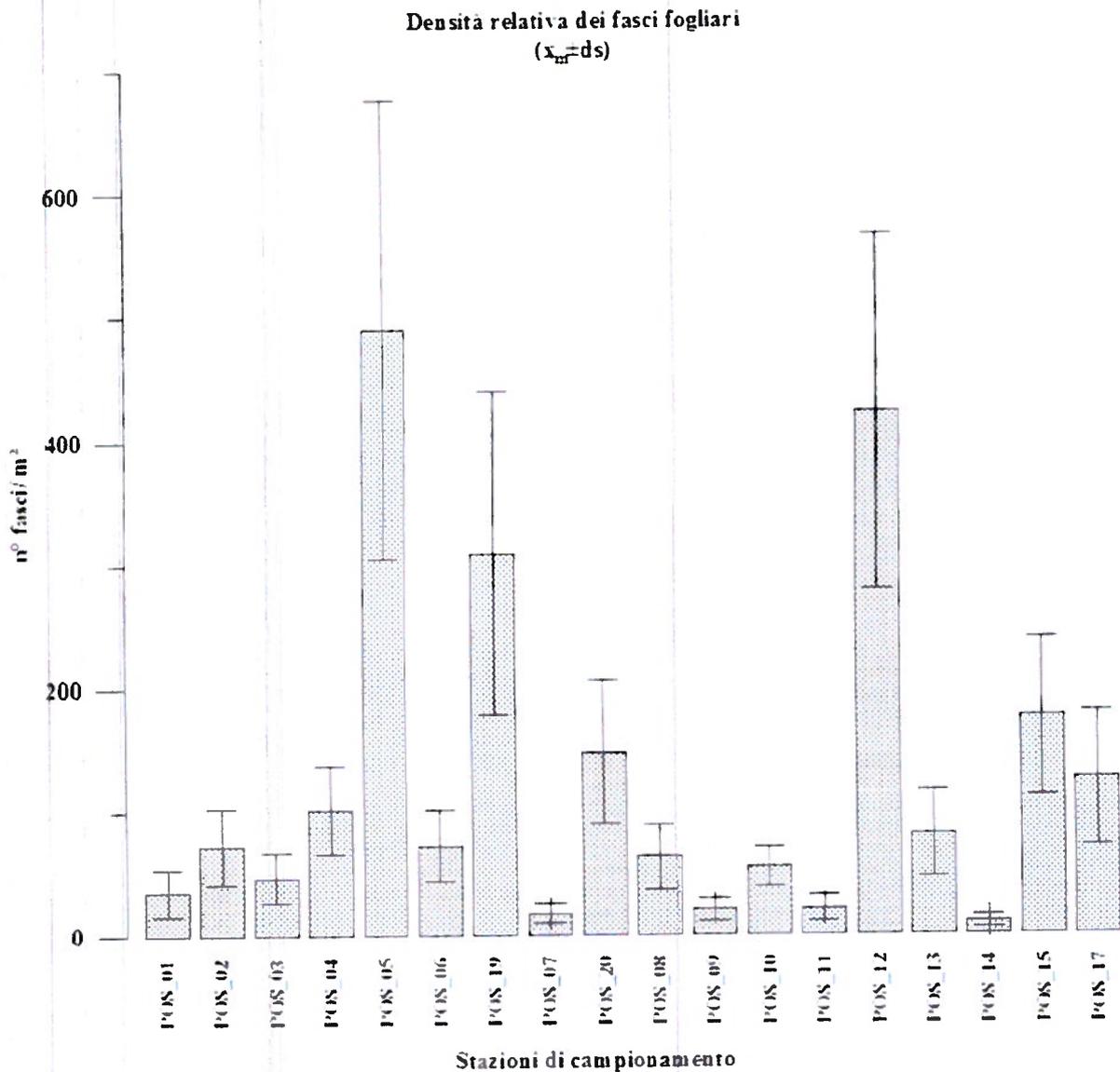


Fig. 13. Valori medi di densità relativa nelle stazioni di campionamento

Il *box-plot* (Fig. 14) mostra che i settori nord e sud (valori medi rispettivamente 159.8 ± 190.7 e 131.2 ± 143.7 fasci/m²) sono caratterizzati da una più elevata variabilità rispetto al settore centrale (116.6 ± 93.1 fasci/m²).

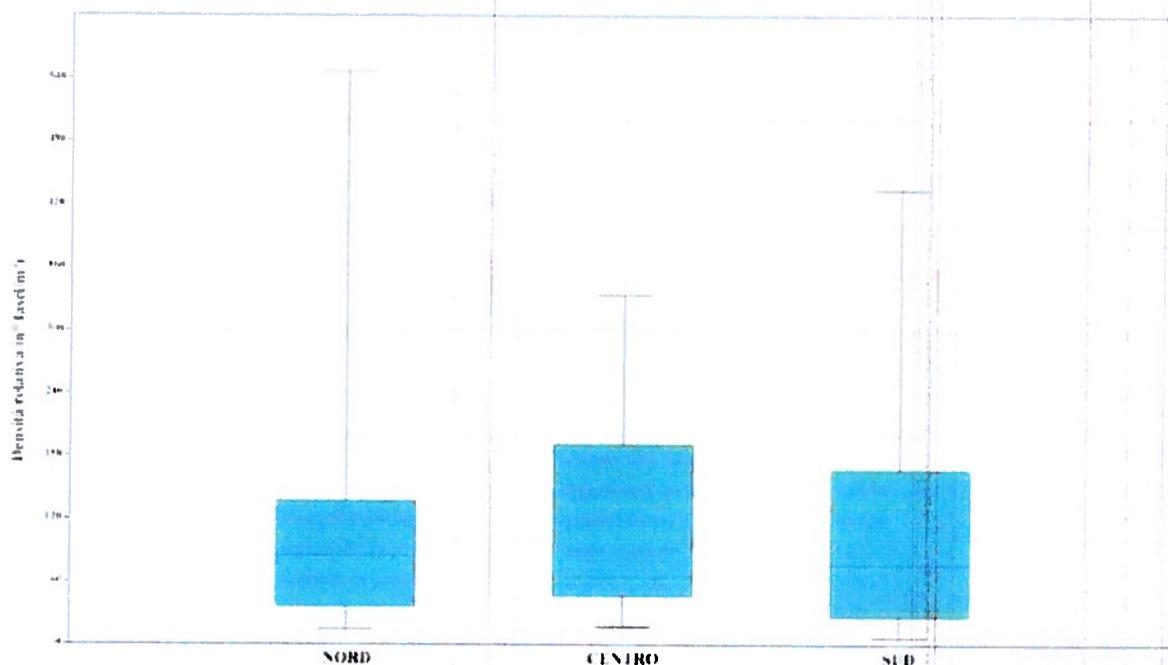


Fig. 14. Valori di densità relativa dei fasci fogliari nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box-plot*.

L'analisi dei descrittori strutturali ha mostrato che le praterie di *Posidonia oceanica* presenti nell'area di studio sono generalmente caratterizzate, in generale, da una elevata complessità strutturale, senza differenze significative tra i diversi settori analizzati. La prateria, infatti, presenta ampie radure e canali, si presenta non continua e con una distribuzione spaziale a "patches". Tale morfologia tende a semplificarsi con l'aumentare della profondità in quanto diminuisce il grado di copertura, con tendenza alla scomparsa della prateria che diviene semi-prateria.

Da questo si evince che il fattore che con molta probabilità determina la struttura osservata delle praterie indagate, sia la complessità geomorfologica dell'area di studio, piuttosto che la presenza di fattori di disturbo di origine antropica.

Fenologia

Sulla base delle misurazioni effettuate sull'apparato fogliare dei campioni prelevati nell'area

di studio, sono stati calcolati i seguenti parametri fenologici:

- numero medio di foglie per ciuffo delle varie categorie ed in totale;
- lunghezza media delle foglie per categoria ed in totale;
- larghezza media delle foglie per categoria ed in totale;
- indice fogliare per fascio e per m²;
- coefficiente A.

Fra questi parametri l'indice fogliare per fascio corrisponde alla superficie di tessuto verde (e quindi fotosintetizzante) per fascio. Per convenzione nel calcolo si considera una sola lamina fogliare. L'indice fogliare per fascio sarà quindi ottenuto come:

$$\text{Indice fogliare} = \frac{\text{Lunghezza del tessuto verde} \cdot \text{Larghezza delle foglie}}{\text{numero di fasci analizzati}}$$

L'indice fogliare per m² è ottenuto moltiplicando l'indice fogliare per fascio per la densità dei fasci nella stazione studiata (Drew, 1971). Infine, il coefficiente A è pari alla frazione di foglie con apice eroso sul numero totale di foglie.

I parametri fenologici appena citati, possono fornire una descrizione estremamente sintetica dello stato di vitalità delle piante che costituiscono la prateria.

Qui di seguito sono riportati i risultati delle analisi fenologiche eseguite sui rizomi campionati.

Numero medio di foglie totali e per categoria in ogni fascio

Nella figura 15 è riportato il numero medio di foglie per fascio in ogni stazione di campionamento.

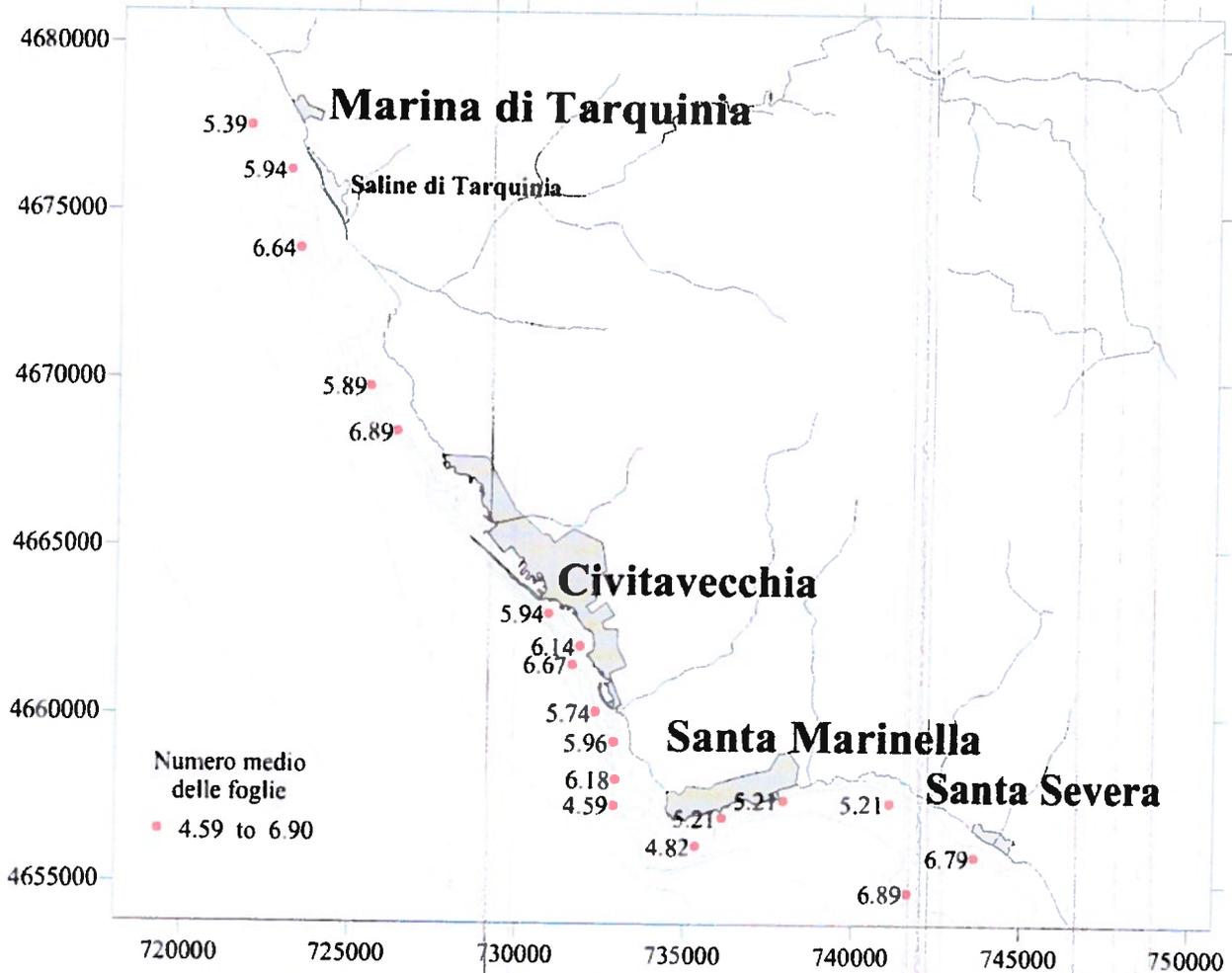


Fig.15. Numero di medio di foglie per fascio di *Posidonia oceanica*

Dalle analisi fenologiche è risultato che il numero medio di foglie per fascio è 5.9 ± 1.03 ; il numero minimo di foglie per fascio è stato rilevato nella stazione POS_10 posta in prossimità di Capo Linaro, in cui sono state contate in media 4.59 ± 2.46 foglie/fascio, mentre il numero massimo è stato rilevato nella stazione POS_05 e nella stazione POS_17 con rispettivamente 6.89 ± 2.42 e 6.89 ± 0.9 foglie totali per fascio (Fig. 16).

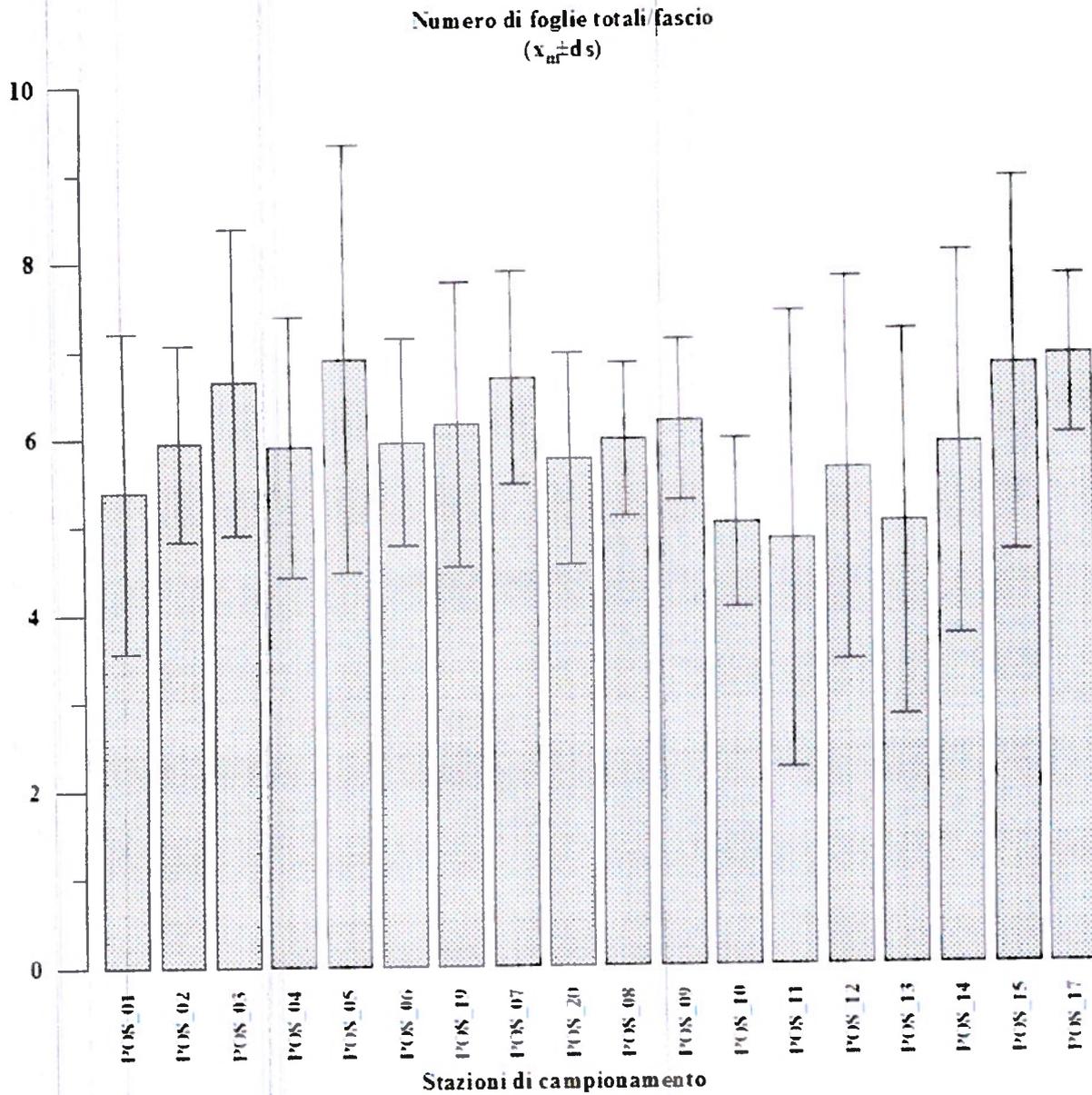


Fig. 16. Valori medi di densità relativa nelle stazioni di campionamento.

In merito alla distribuzione delle singole categorie fogliari per ciuffo i dati ci mostrano che il fascio, mediamente, è costituito da circa 6 foglie di cui 0.47 foglie giovanili, 3.05 foglie intermedie e 2.53 foglie adulte (Fig. 17).

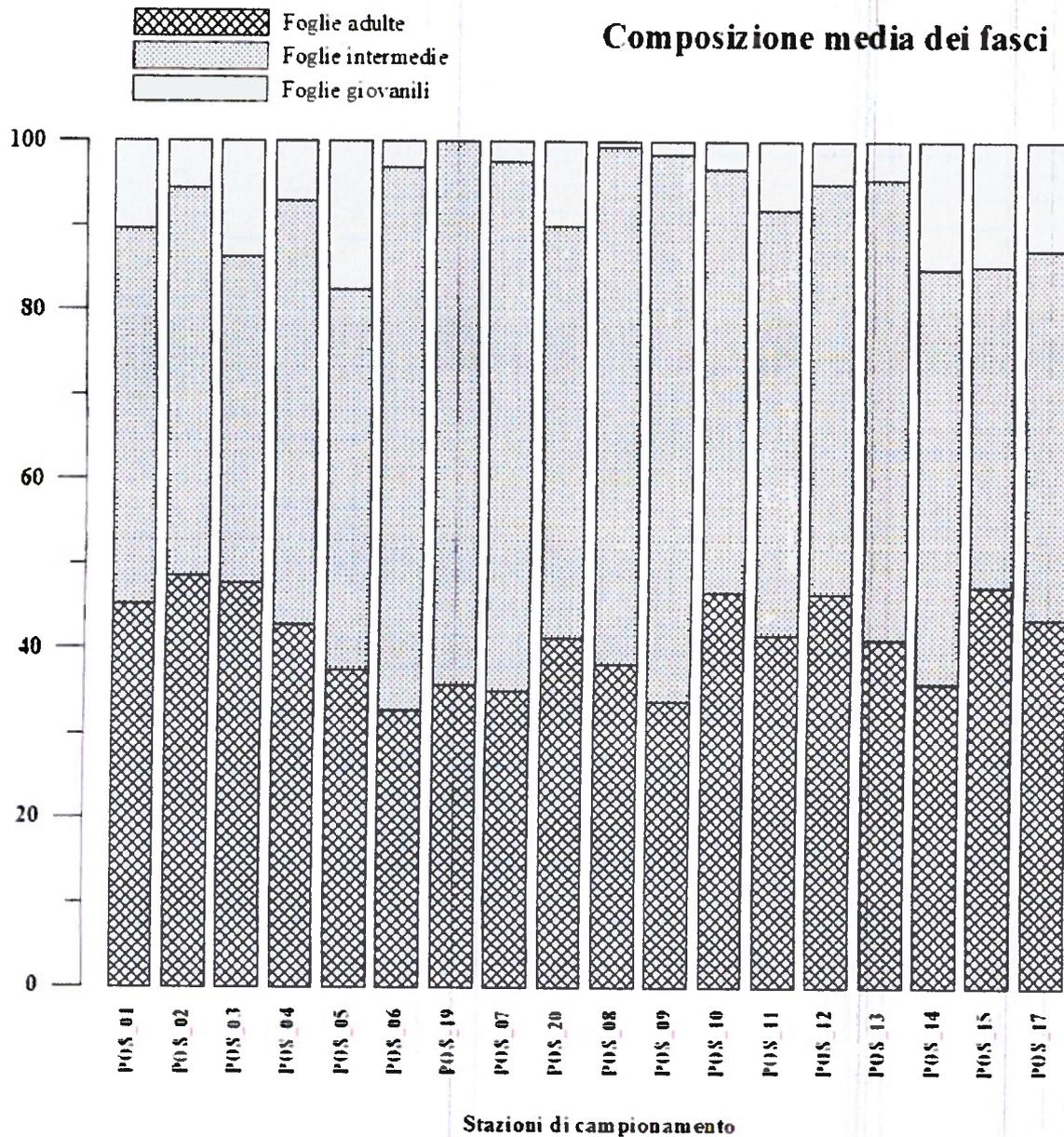


Fig. 17. Composizione media del fascio nelle stazioni di campionamento.

Il numero medio di foglie per ogni categoria (giovanili, intermedie ed adulte) rispecchia il periodo stagionale (Maggio-Giugno) in cui ha avuto luogo il campionamento. Nel periodo Aprile-Giugno, infatti, si ha l'inizio del risveglio vegetativo della pianta con un'accelerazione nella crescita delle foglie intermedie, mentre ha ancora luogo la caduta delle foglie adulte e senili (non si osserva

un aumento del numero delle foglie adulte rispetto a quello delle intermedie).

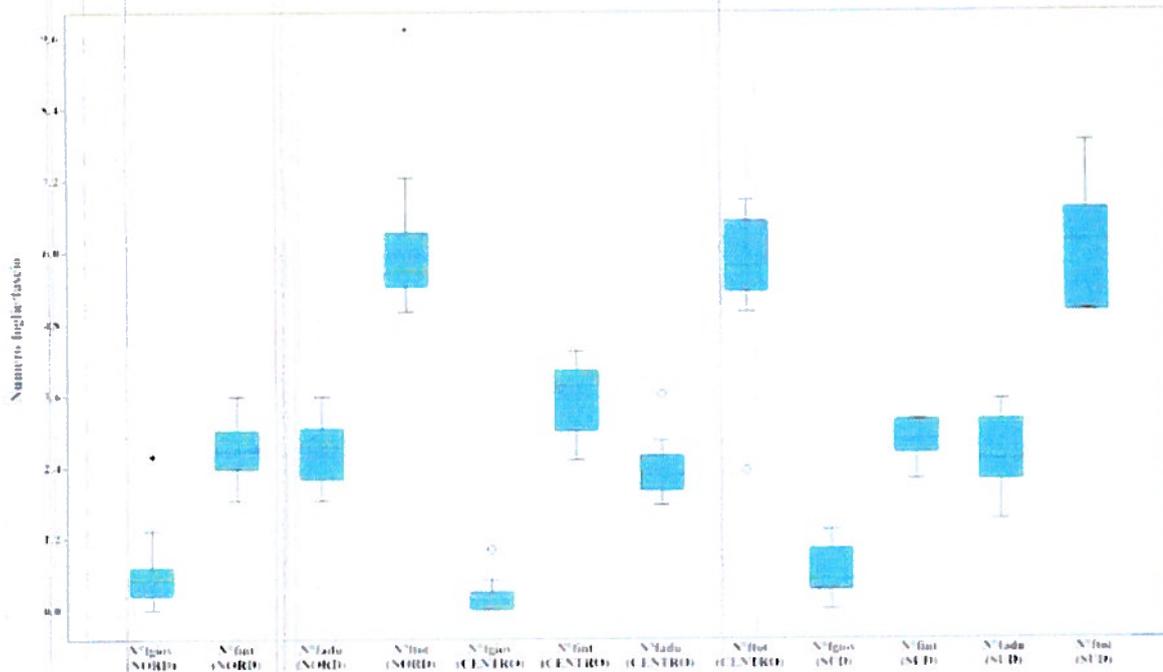


Fig. 18. Numeri medi di foglie totali e per categoria per fascio fogliare nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*

Nel *box-plot* (Fig. 18) è riportato il numero medio di foglie totali e per categoria per le tre aree analizzate. Si osserva che nel settore centrale il numero di foglie intermedie è più alto rispetto agli altri due settori, non accompagnato da un maggiore numero di foglie totali.

Lunghezza media del fascio totale e per categoria

Nella figura 19 è riportata la lunghezza media totale delle foglie per fascio in ogni stazione di campionamento.

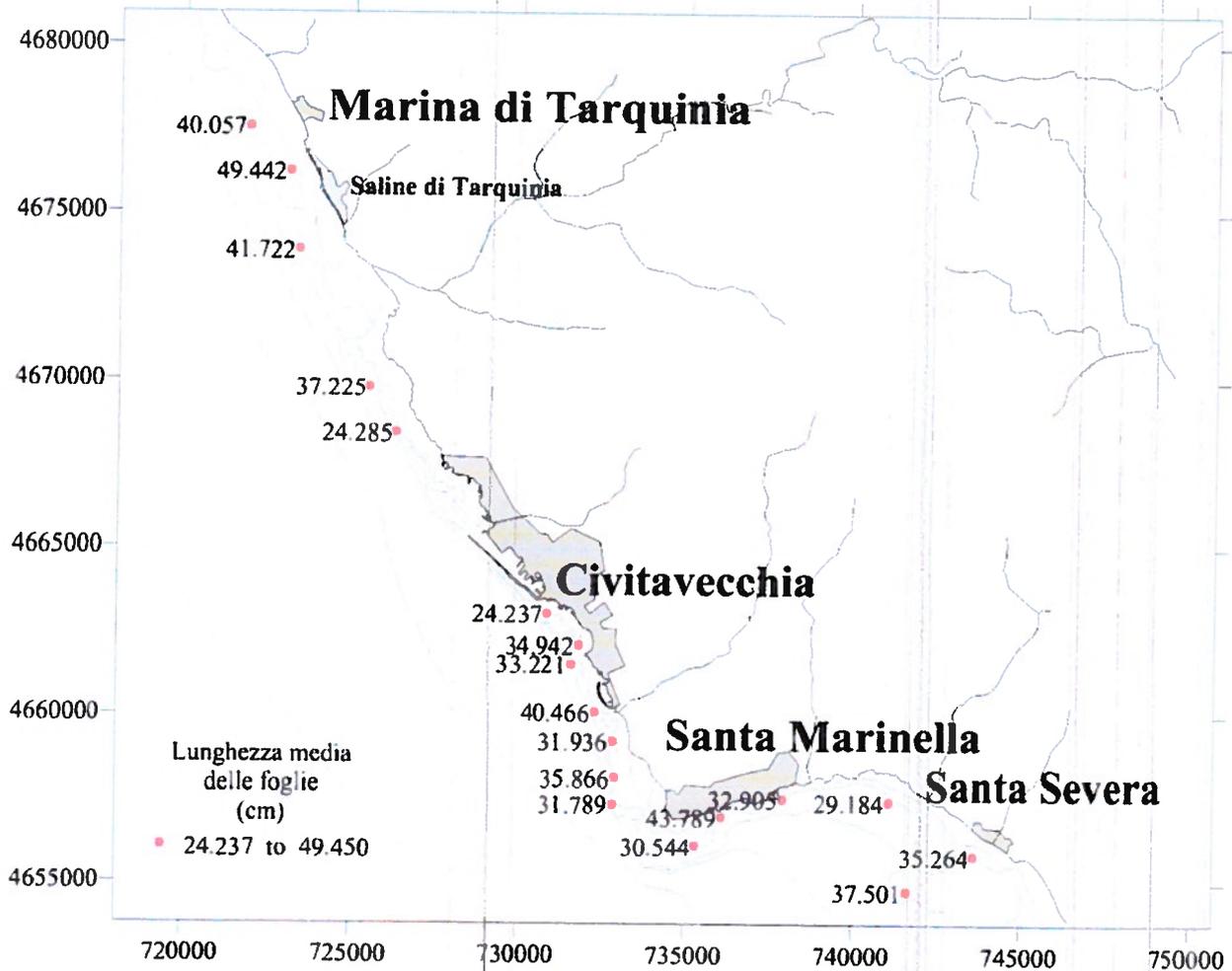


Fig. 19. Lunghezza media delle foglie nelle 18 stazioni di campionamento.

La lunghezza delle foglie presenta valori medi compresi tra 24.237 ± 14.22 cm (stazione POS_06) e 49.4 ± 17.11 cm (stazione POS_02), con un valore medio di 35.05 ± 7.3 cm (Fig. 20).

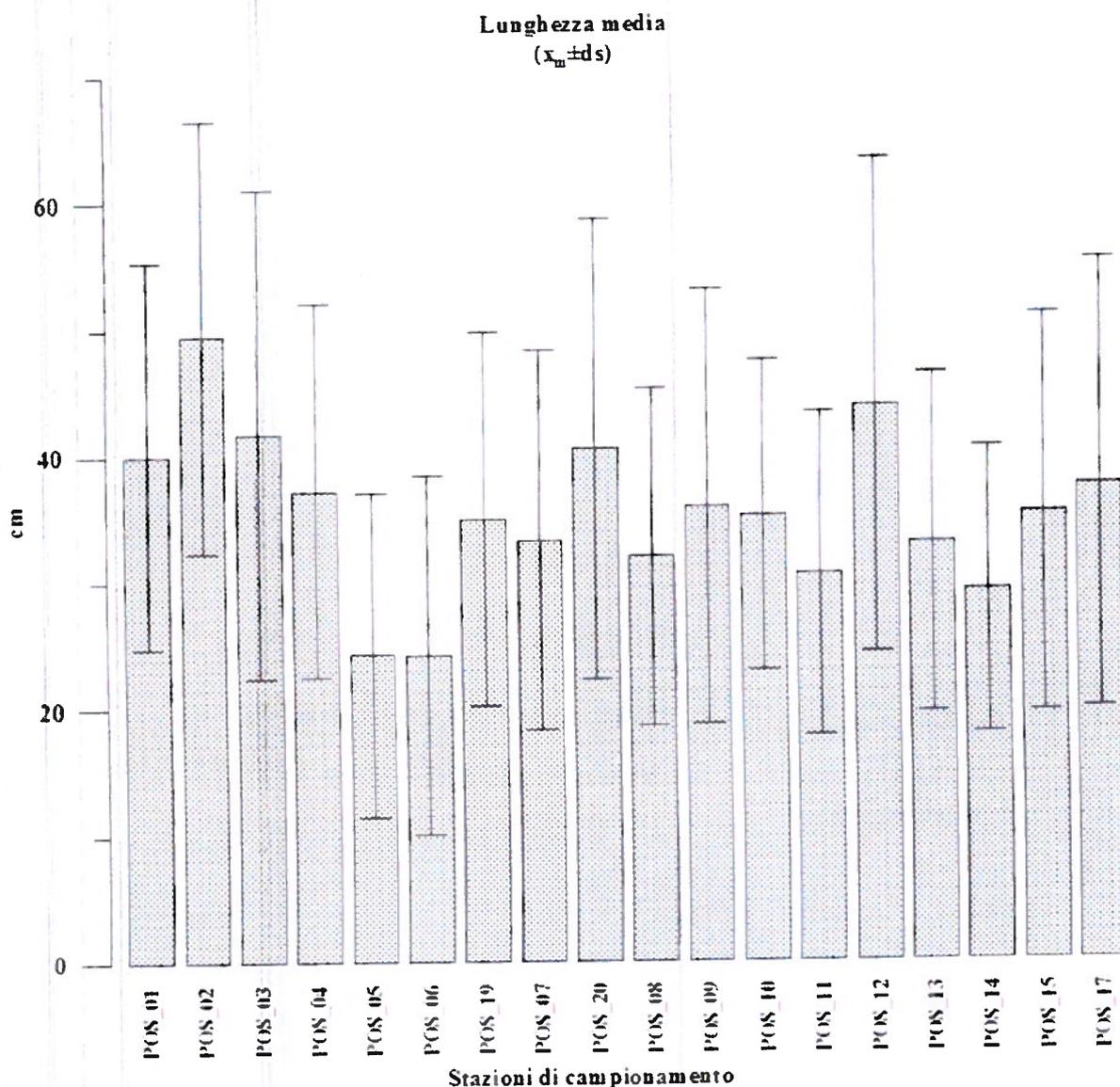


Fig. 20. Lunghezza media totale delle foglie.

L'immagine riportata qui di seguito mostra che anche la lunghezza delle foglie intermedie ed adulte rispecchia il periodo stagionale di campionamento (tarda primavera), (Fig. 21); le foglie intermedie, infatti, risultano essere molto più lunghe delle foglie adulte a causa della variazione nel tasso di crescita delle foglie con il trascorrere delle stagioni; nel periodo primaverile si osserva generalmente un aumento del tasso di crescita delle foglie nuove che tendono a crescere più velocemente delle precedenti (Fig. 22).

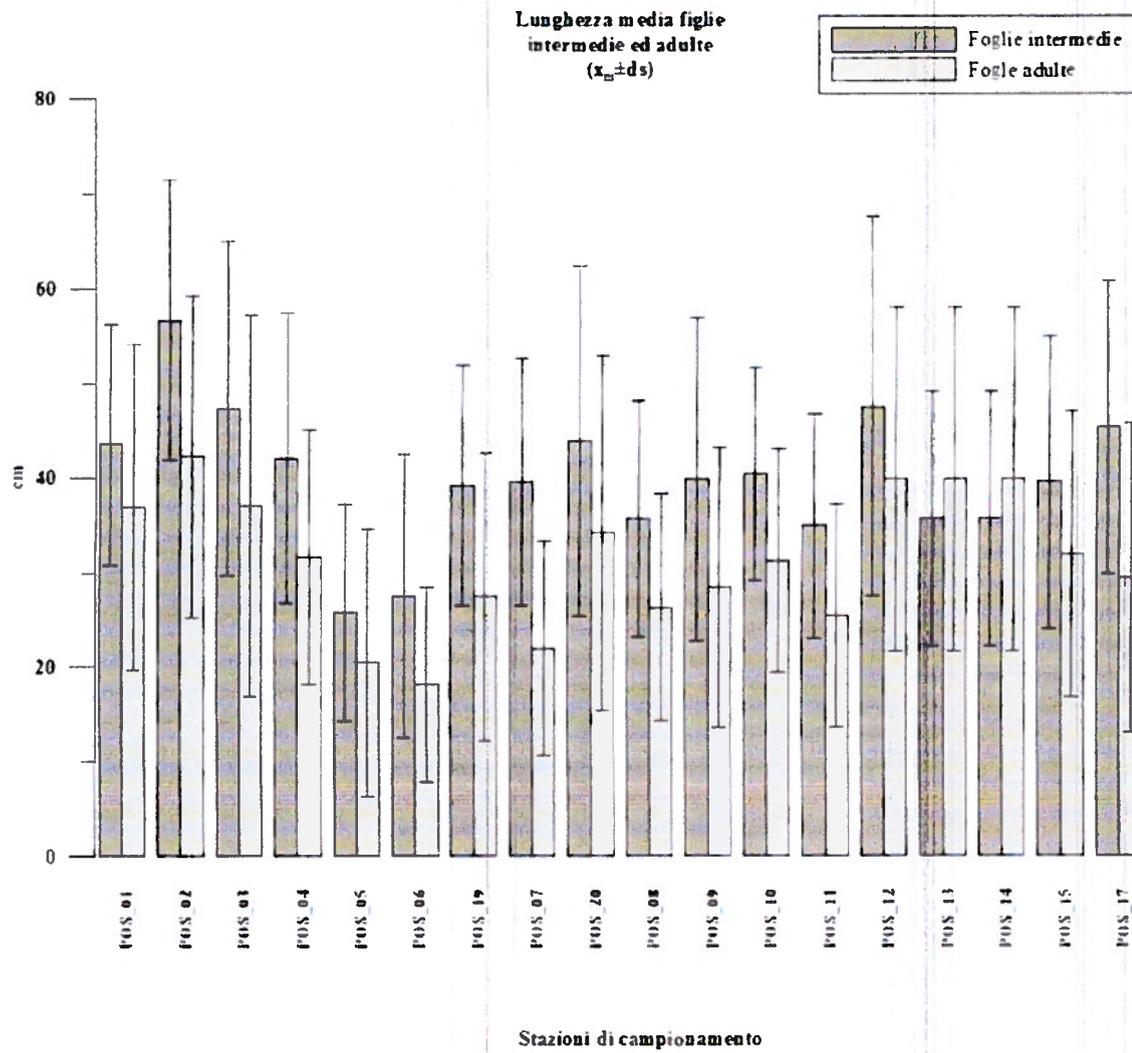


Fig. 21. Lunghezza media delle foglie intermedie ed adulte

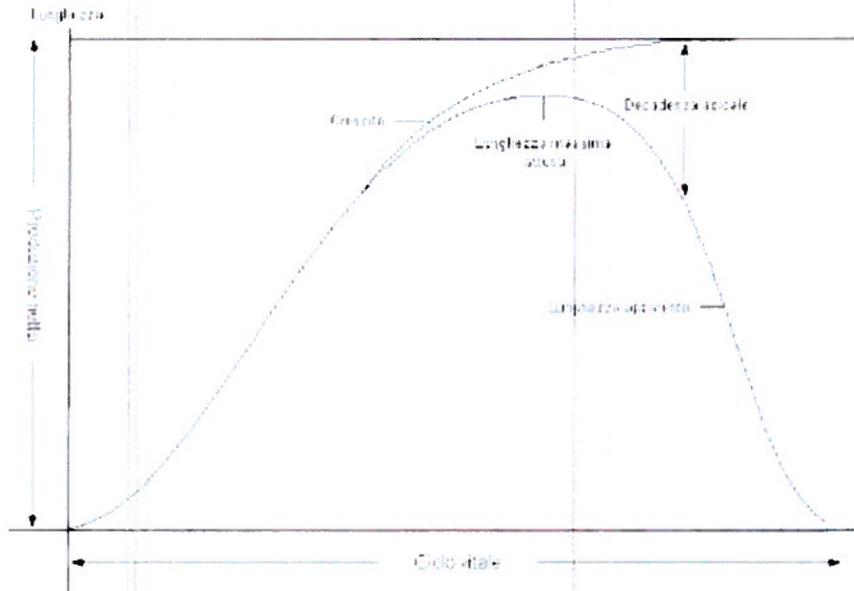


Fig. 22 Curva sigmoideale rappresentante il ciclo vitale di una foglia di *Posidonia oceanica* (da Ott. 1980).

La figura 21 mostra che in tutte le stazioni di campionamento, ad eccezione della POS_13 e POS_14, la lunghezza del lembo fogliare delle foglie intermedie è maggiore della lunghezza delle foglie adulte.

La lunghezza media delle foglie nei tre settori esaminati è piuttosto omogenea, con bassi coefficienti di variazione, ed oscilla intorno a valori medi di 38.1 ± 2.55 nel SN, 33.11 ± 1.51 nel SC e 34.7 ± 1.28 nel SS.

Il *box-plot* in Fig. 23 mostra la lunghezza media delle foglie nei 3 diversi settori (lunghezza totale, delle foglie intermedie e delle foglie adulte).

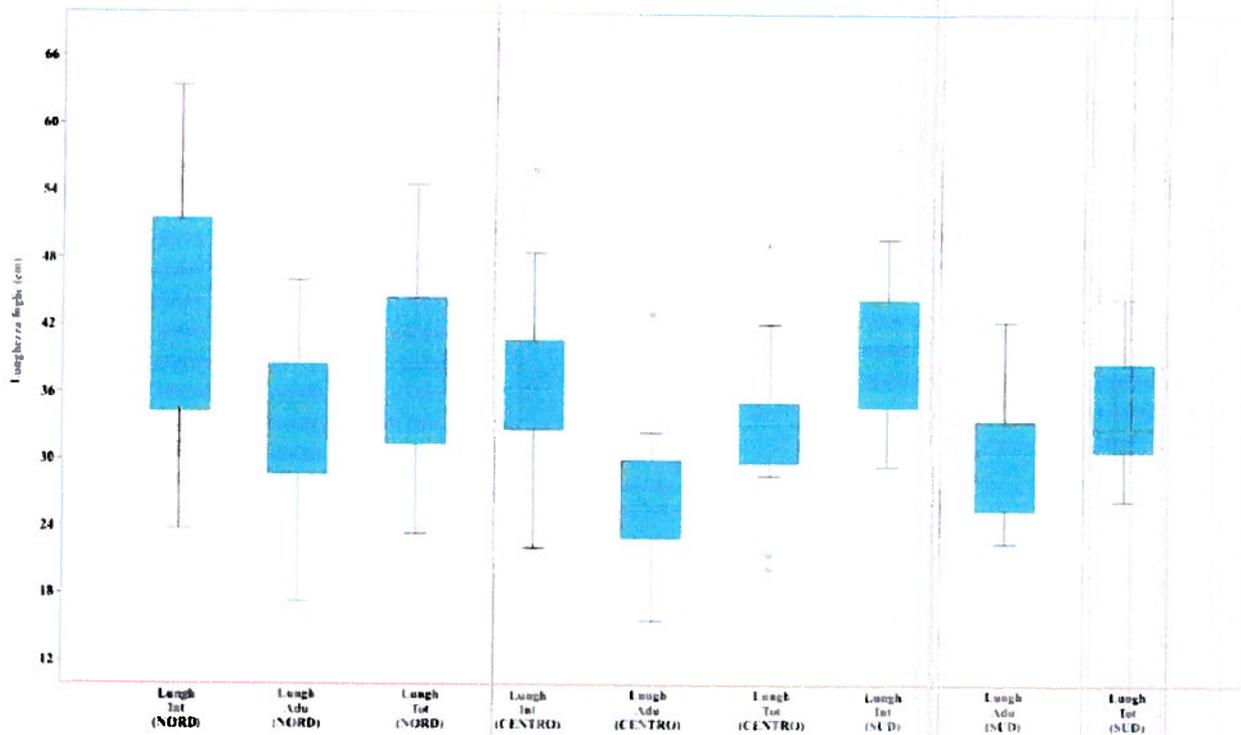


Fig. 23. Lunghezza media totale e per categoria per fascio fogliare nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*

Si può notare come la lunghezza media delle foglie intermedie e adulte e la lunghezza media totale sia più bassa nel settore centrale rispetto ai settori adiacenti; inoltre si osserva anche una diminuzione nella variabilità del dato, sia per le singole categorie sia per il valore medio totale, dal settore settentrionale al settore meridionale.

Larghezza del lembo fogliare

In figura 24 è riportata la larghezza media del lembo fogliare per ciascuna stazione di campionamento.

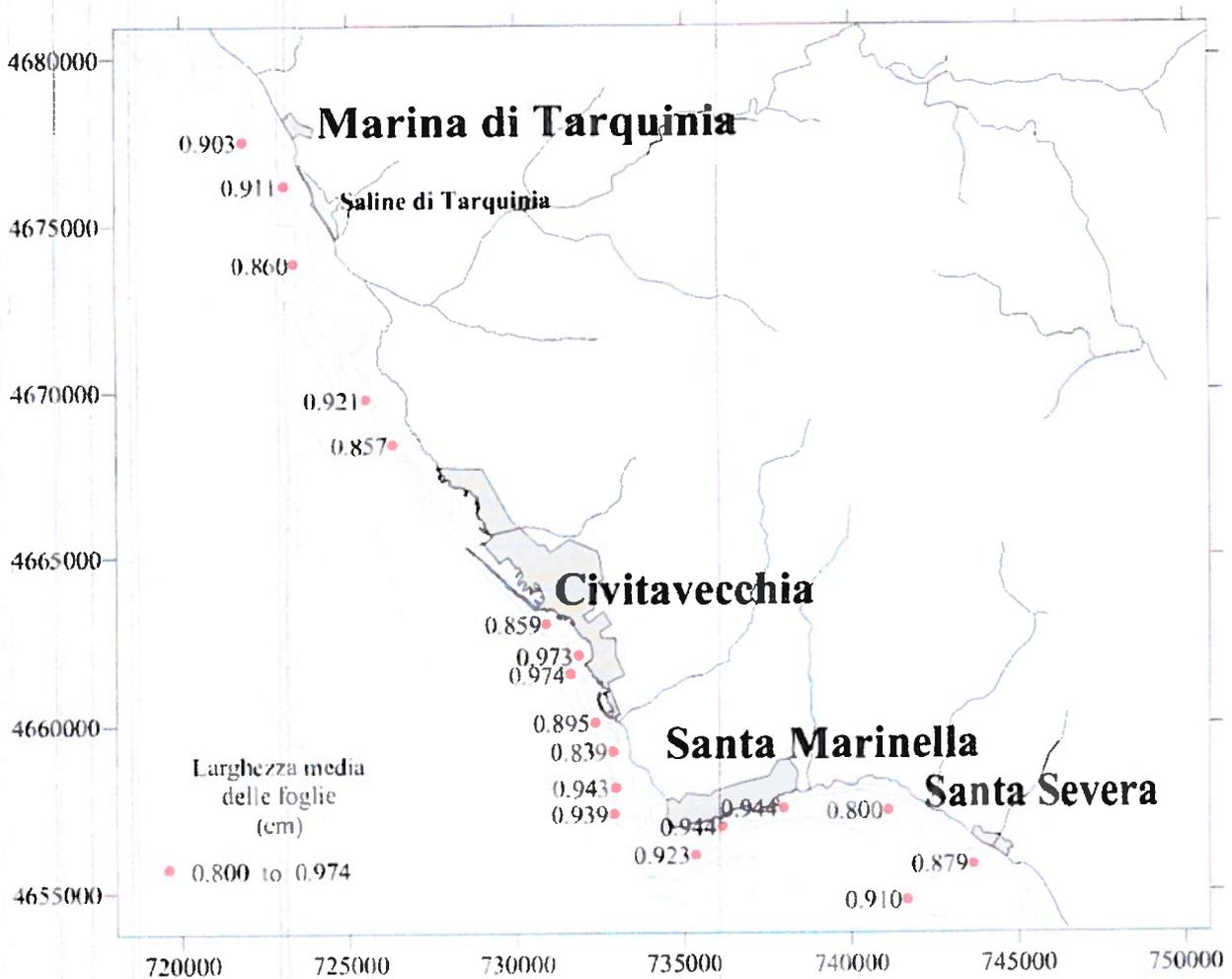


Fig. 24. Larghezza media delle foglie nelle 18 stazioni di campionamento

La larghezza del lembo fogliare presenta valori compresi tra 0.8 ± 0.0848 cm della stazione POS_14 e 0.974 ± 0.0909 cm della stazione POS_07 (Fig. 25).

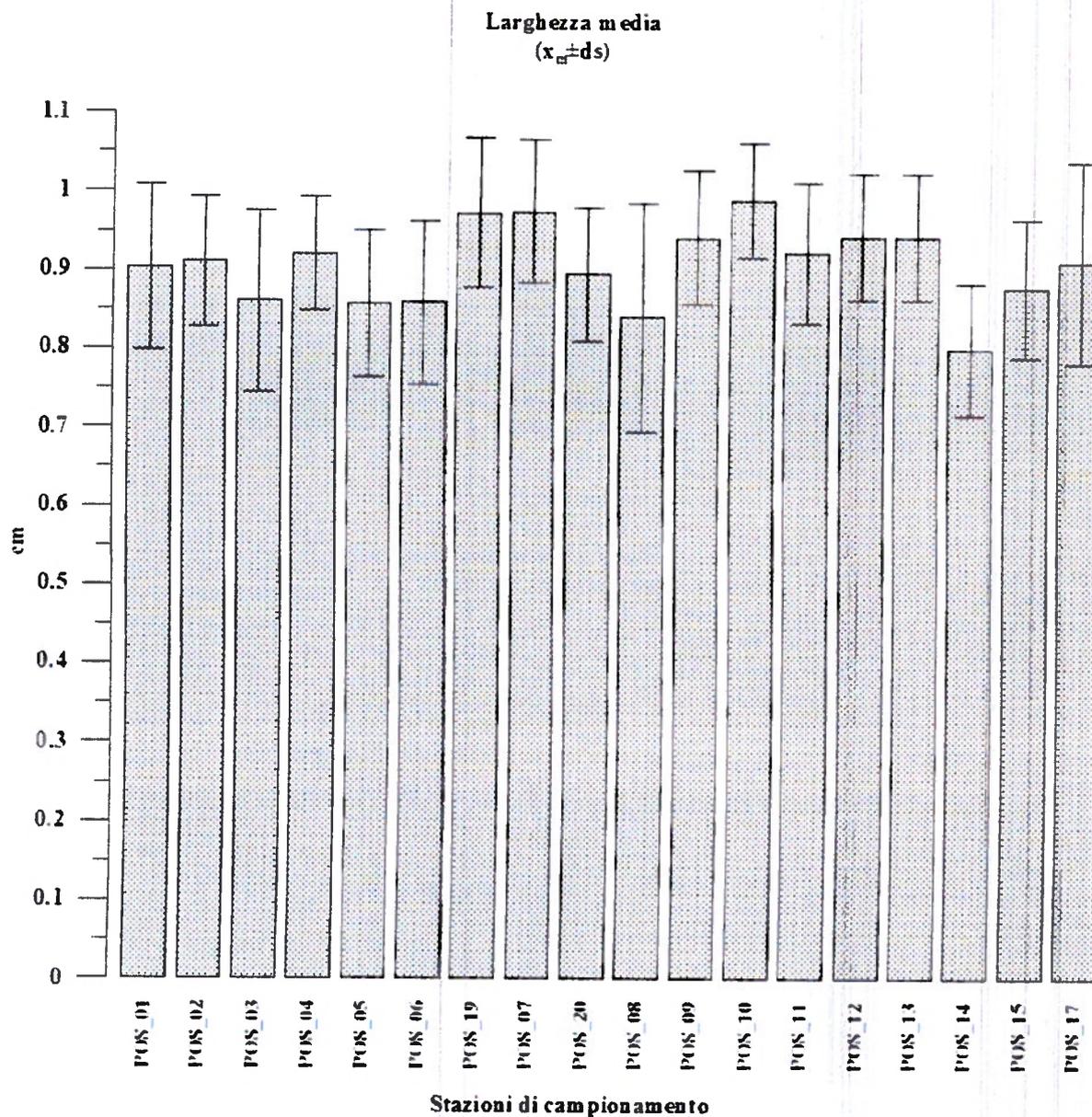


Fig. 25. Larghezza media del lembo fogliare

Non risultano differenze significative nei valori di larghezza tra i tre settori (nord, centro e sud) con il valore medio che va da 0.89 ± 0.01 cm nei settori nord e sud a 0.91 ± 0.01 cm del settore centrale, con coefficienti di variazione molto bassi (rispettivamente 4.33, 6.25% e 6.12%). Anche in questo caso il settore centrale presenta valori di dispersione intorno al valore medio più elevati rispetto agli altri due ($IQR(\text{CENTRO})=0.08$; $IQR(\text{NORD})=0.06$; $IQR(\text{SUD})=0.04$), (Fig.26).

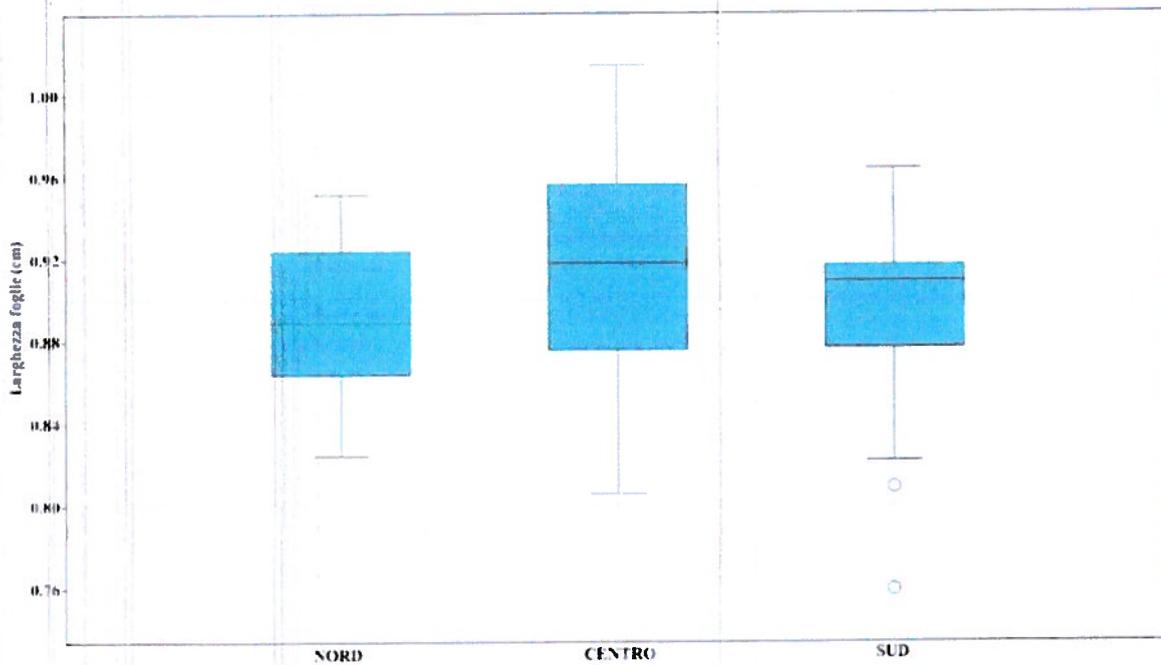


Fig. 26. Larghezza media totale del lembo fogliare nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *boxplot*

Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index-LAI)

La figura 27 mostra i valori del LAI nelle singole stazioni di campionamento.

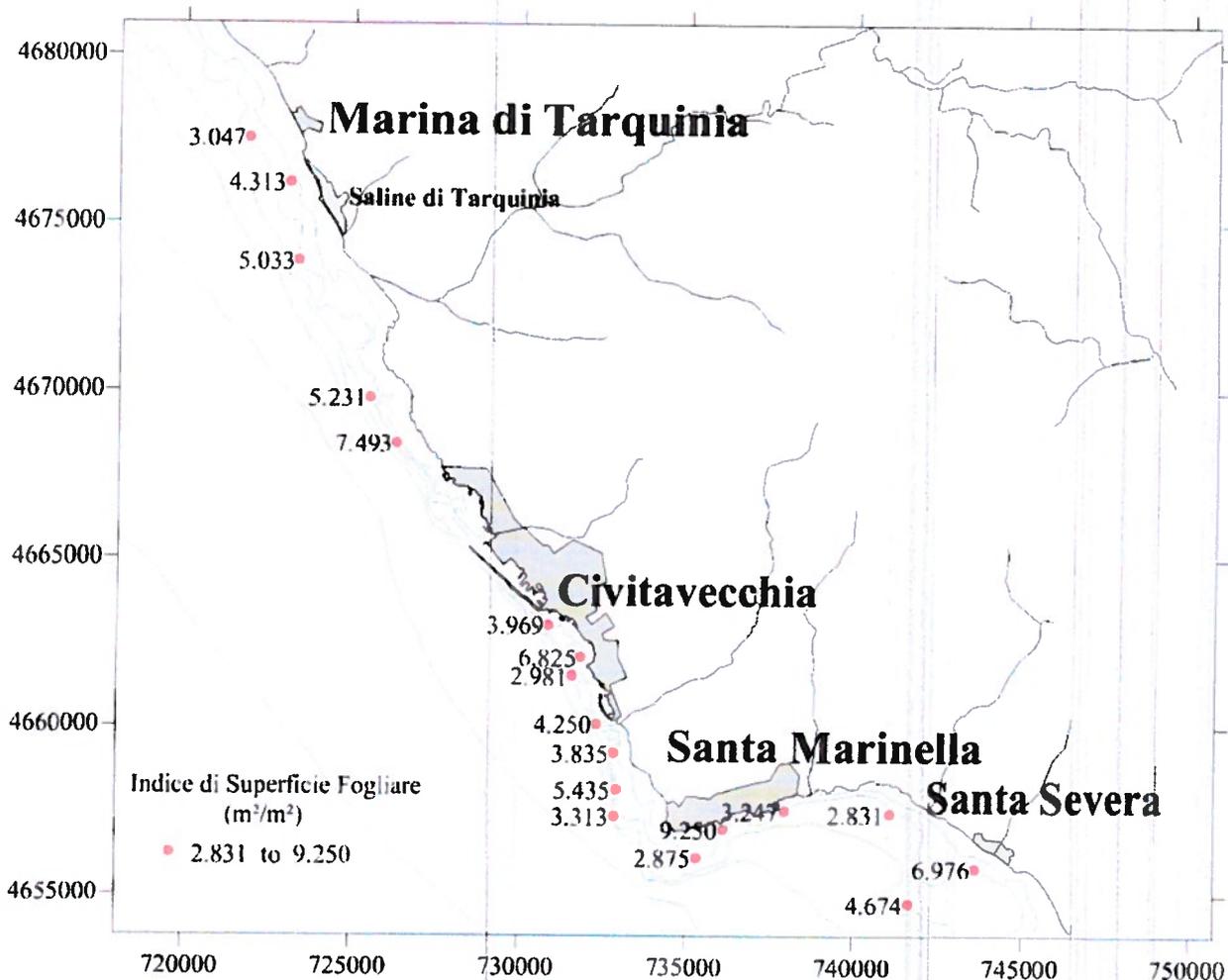


Fig. 27. Indice di superficie fogliare nelle 18 stazioni di campionamento

L'indice di superficie fogliare varia tra 2.831 m²/m² rilevato nella stazione POS_14 a 9.25 m²/m² rilevato nella stazione POS_12, entrambe site nel settore sud dell'area di studio con un valore medio di 4.61 m²/m².

Il settore Sud presenta il LAI medio più alto (5.01±3.31 m²/m²) ma anche il coefficiente di varianza maggiore (66%), (Fig. 28), proprio per la presenza delle due stazioni con il valore massimo e minimo di tale valore (POS_12 e POS_14).

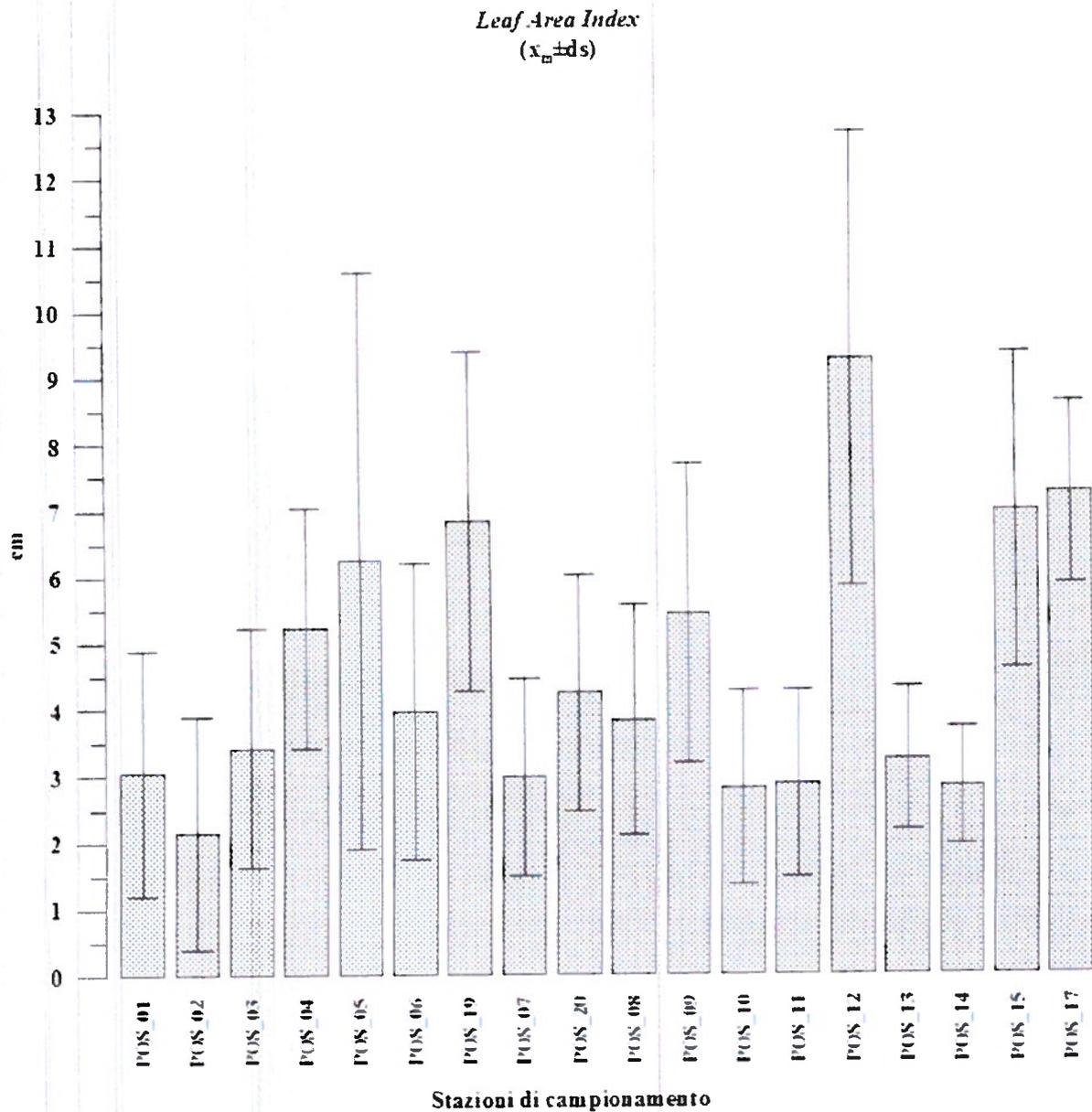


Fig. 28. *Leaf Area Index*

Il *box-plot* in figura 29, evidenzia che il LAI del SS presenta i valori di dispersione maggiori, evidenziando l'elevata variabilità sia in termini di macroripartizione sia in termini di caratteristiche morfometriche (lunghezza e larghezza medie delle foglie).

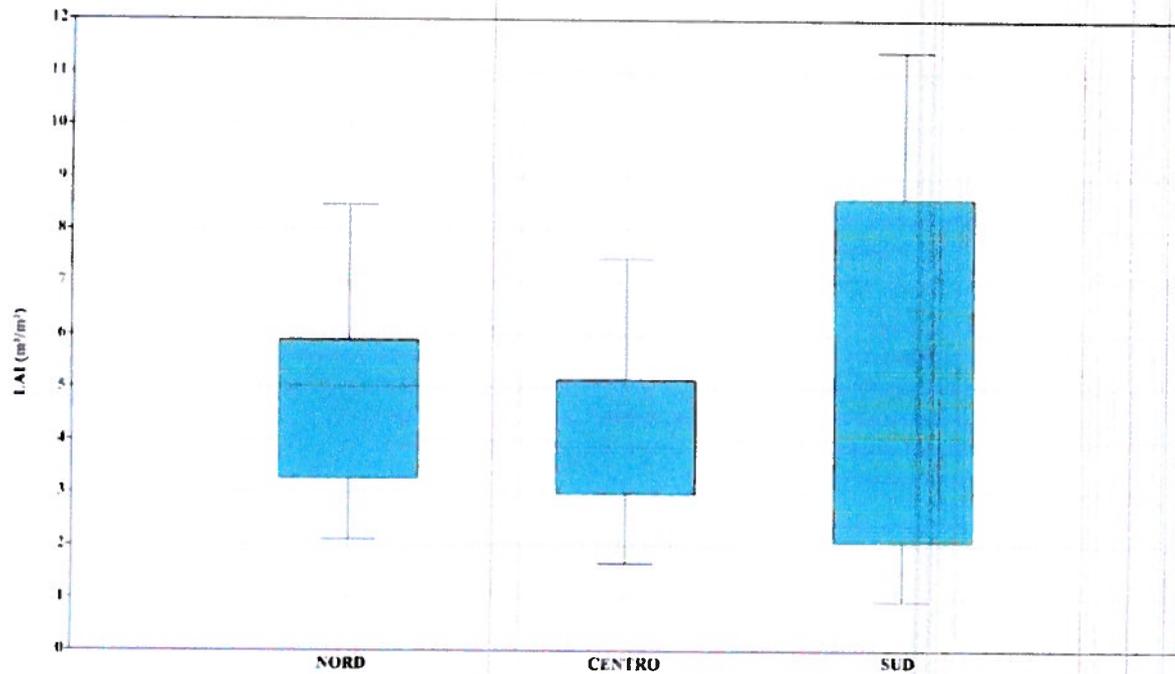


Fig. 29. Leaf Area Index nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*

Coefficiente A

Il coefficiente A da un'informazione relativa allo stress subito dalla pianta, sia di tipo idrodinamico sia dovuto a *grazing*.

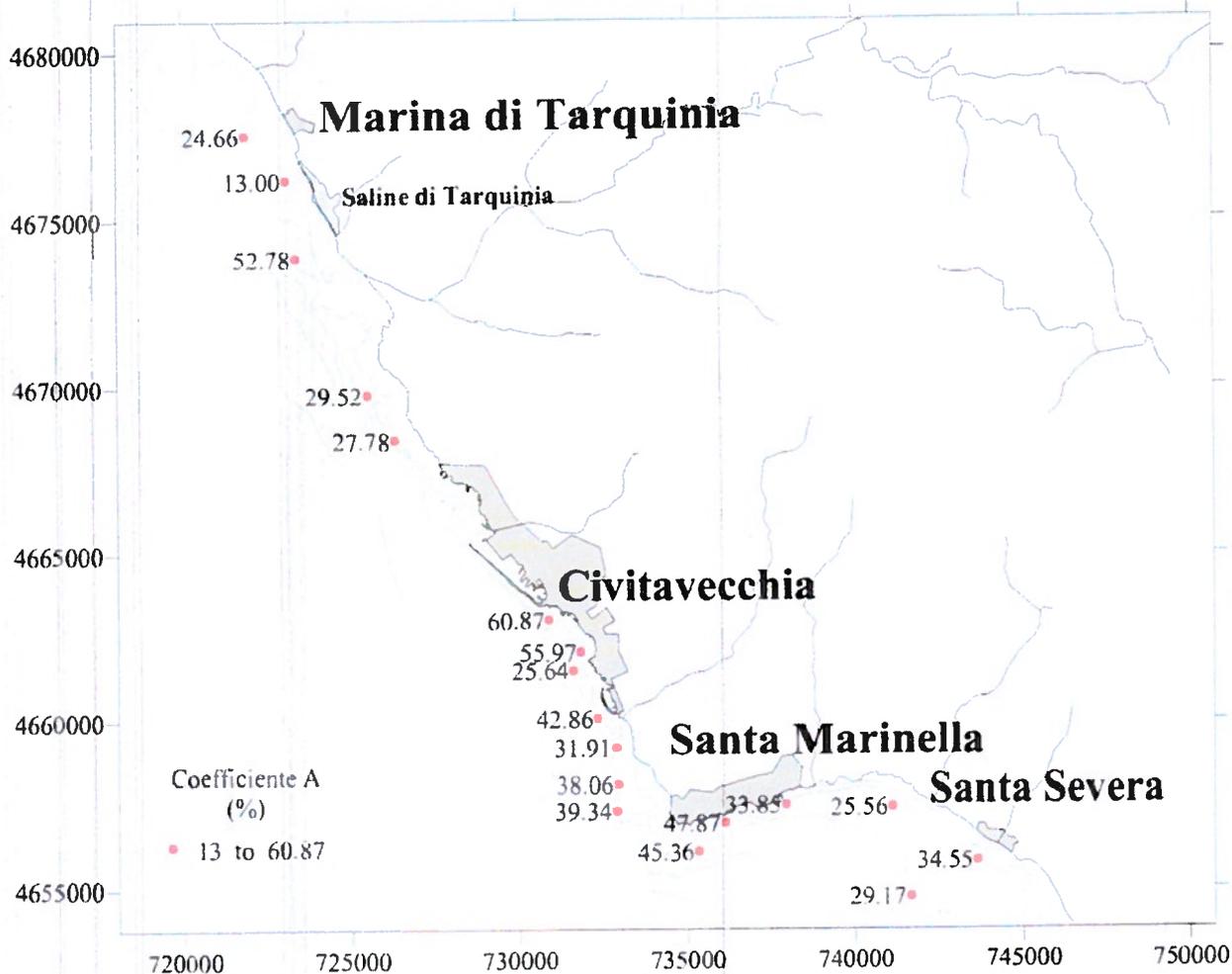


Fig. 30. Coefficiente A nelle 18 stazioni di campionamento

Il valore massimo di coefficiente A è stato rilevato nella stazione POS_06 con il 60.87% di apici erosi, mentre il valore minimo è stato rilevato nella stazione POS_02 con il 13% di apici erosi.

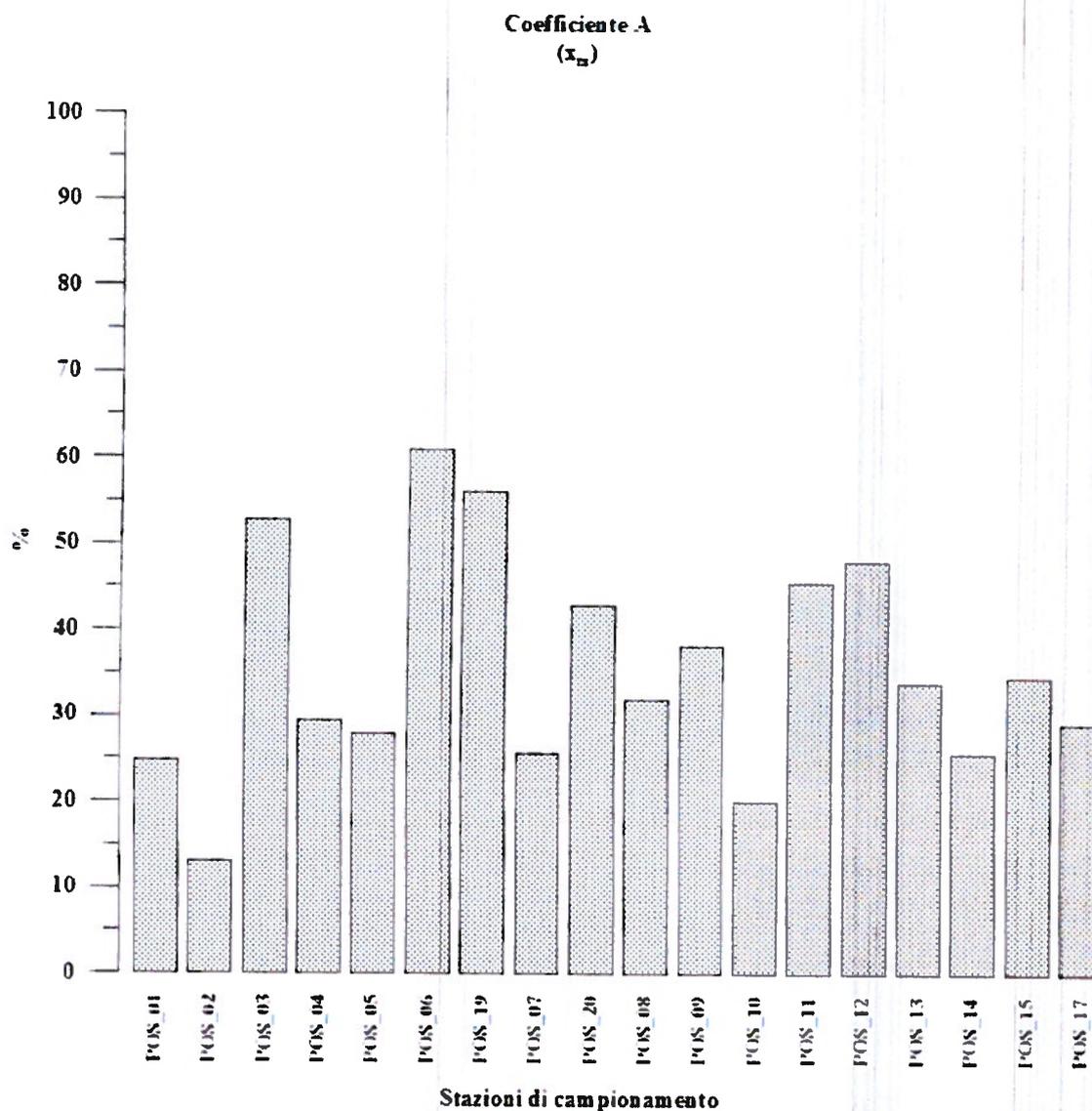


Fig. 31. Coefficiente A rilevato nelle stazioni di campionamento

Il settore sud risulta essere quello in cui si osserva il maggior numero di foglie con apici erosi con un valore medio di $40.63\% \pm 16.27$, mentre il settore nord è quello in cui la maggior parte delle foglie presentano l'apice intero ($27.34\% \pm 16.17$); anche in questo caso il settore sud è quello che presenta la maggiore variabilità, presentando in assoluto i valori minimi e massimi di coefficiente A (7.41% e 85.71%).

La figura 32 mostra i *box-plot* dei tre settori analizzati: è evidente come il settore nord presenti un coefficiente A molto più basso rispetto agli altri due settori.

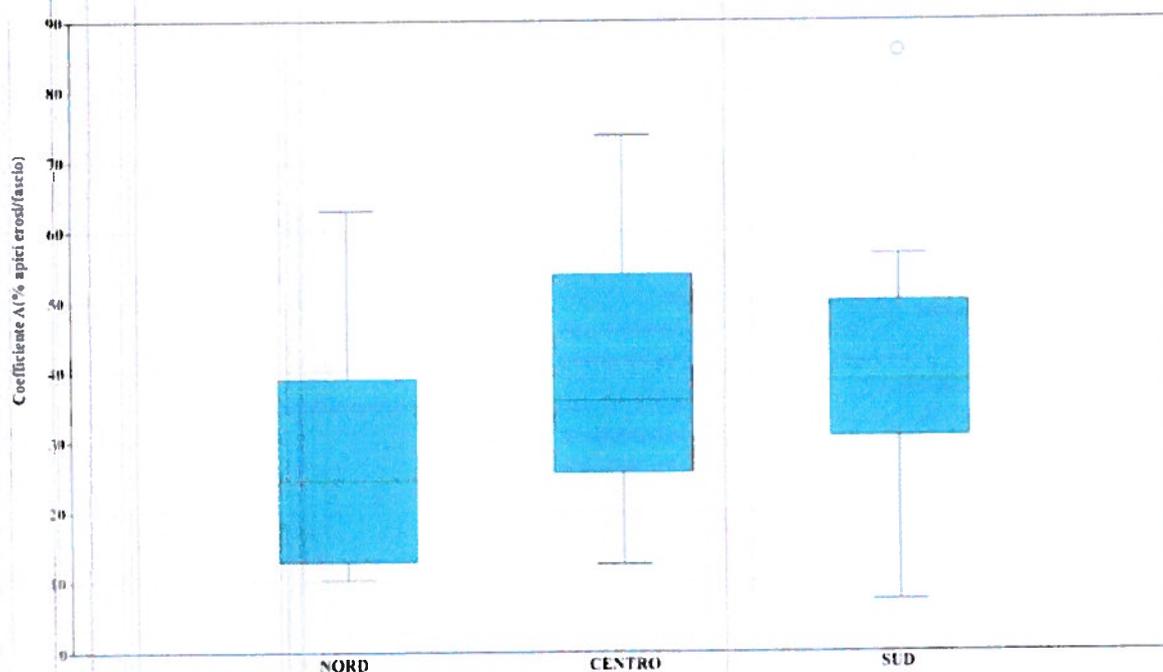


Fig. 32. Percentuale di apici erosi nei tre settori dell'area di studio, rappresentate con *box plot*

6. Discussioni e conclusioni

I rilievi eseguiti *in situ* hanno permesso di valutare la struttura delle praterie indagate attraverso la stima dei descrittori strutturali (densità assoluta, densità relativa e copertura del substrato) e funzionali (fenologia).

Uno dei parametri più utili per la valutazione delle praterie di *Posidonia oceanica* è la densità assoluta, che è risultata essere distribuita disomogeneamente all'interno dell'area di studio.

L'intervallo comprende valori che variano da un minimo di 150 fasci fogliari/m², misurati nella stazione POS_07, (posta a sud del Porto di Civitavecchia, in corrispondenza di Punta del Pecoraro), ad un massimo di 637.5 fasci fogliari/m² nella stazione POS_05, (posizionata subito a

nord del porto).

Osservando invece i valori di copertura percentuale è possibile notare che non sono presenti praterie continue nell'intera area di studio, la pianta colonizza il substrato in modo discontinuo, infatti la sua distribuzione varia da *patches* isolate con ciuffi sparsi e poco numerosi, a macchie di estese dimensioni che coprono totalmente il substrato. Il valore mediano massimo di copertura è stato rilevato nella stazione POS_12 (SS) con il 100%; altre due stazioni che presentano un'elevata copertura del fondale sono POS_05 (SN) e POS_19 (SC), entrambe con il 93.8%. Per quanto riguarda i valori medi di copertura, la stazione POS_05 presenta una percentuale più bassa rispetto al valore mediano, mentre per le stazioni POS_12 e POS_19 il valore medio e quello mediano coincidono.

Le osservazioni eseguite sulla densità assoluta dei fasci fogliari e sulla copertura del fondale da parte di *Posidonia oceanica*, si riflettono anche sui valori di densità relativa dei fasci fogliari in tutta l'area: infatti il valore minimo di densità relativa dei fasci fogliari è stato registrato nella stazione POS_14, con soli 9 fasci/m², mentre il valore massimo nella stazione POS_05, con 597 fasci/m².

L'analisi dei descrittori strutturali ha mostrato che le praterie di *Posidonia oceanica* presenti nell'area di studio sono generalmente caratterizzate da una elevata complessità strutturale, senza ampie differenze tra i diversi settori analizzati.

Dalle analisi fenologiche è risultato che il numero medio di foglie per fascio è 5.9 ± 1.03 ; il numero minimo di foglie per fascio è stato rilevato invece nella stazione POS_10, posta in prossimità di Capo Linaro, mentre il numero massimo è stato rilevato nella stazione POS_05 e nella stazione POS_17.

In merito alla distribuzione dei singoli ranghi fogliari per fascio, i dati mostrano che ciascun fascio è costituito, in media, da 6 foglie, delle quali 0.47 sono giovanili, 3.05 sono intermedie e 2.53 sono adulte.

La lunghezza delle foglie presenta valori medi compresi tra 24.237 ± 14.22 cm (stazione POS_06) e 49.4 ± 17.11 cm (stazione POS_02), con un valore medio di 35.05 ± 7.3 cm.

La larghezza del lembo fogliare presenta valori compresi tra 0.8 ± 0.0848 cm della stazione POS_14 e 0.974 ± 0.0909 cm della stazione POS_07, mentre non risultano differenze evidenti nei valori di larghezza tra i 3 settori (nord, centro, sud).

L'indice di superficie fogliare varia tra 2.831 m²/m² rilevato nella stazione POS_14 a 9.25

m^2/m^2 rilevato nella stazione POS_12, entrambe site nel settore sud dell'area di studio con un valore medio di $4.61 m^2/m^2$.

Il settore Sud presenta il LAI medio più alto ma anche il coefficiente di varianza maggiore (66%), proprio per la presenza delle due stazioni con il valore massimo e minimo di tale valore (POS_12 e POS_14).

Il valore massimo di coefficiente A è stato rilevato nella stazione POS_06 con il 60.87% di apici erosi, mentre il valore minimo è stato rilevato nella stazione POS_02 con il 13% di apici erosi.

Per la maggior parte dei parametri considerati, la variabilità del dato è risultata essere maggiore nel settore sud e minore nel settore centrale dell'area di studio.

Per concludere, basandosi sulla scala di valutazione dello stato di salute delle praterie, (Pergent *et al.*, 1995; Pergent-Martini e Pergent, 1996) le 18 stazioni monitorate sono state così suddivise:

- 5 praterie sono "molto disturbate" (POS_01, POS_02, POS_06, POS_07, POS_14);
- 10 praterie sono "disturbate" (POS_03, POS_04, POS_08, POS_09, POS_10, POS_11, POS_12, POS_17, POS_19, POS_20);
- 3 praterie sono "in equilibrio" (POS_05, POS_13, POS_15).

I risultati ottenuti da questa prima attività saranno di fondamentale importanza per monitorare le possibili variazioni dello stato di salute delle praterie nel tempo, che saranno oggetto di campionamento e studio nei prossimi anni. In particolare i campioni analizzati sono stati oggetto di una prima analisi genetica, i cui risultati saranno riportati in una specifica relazione integrativa.

7. Risultati scientifici

I dati raccolti durante questa prima campagna di campionamento sono stati oggetto di diversi lavori scientifici e di pubblicazione internazionale, come seguito riportato:

- Gnisci V., Cognetti de Martiis S., Belmonte A., Micheli C., Carli F.M., Marcelli M., "Preliminary investigation on morphological and genetic variability of *Posidonia oceanica* (L. Delile) along the coast of Civitavecchia (Central Tyrrhenian Sea)" (2012), Riunione di Algologia (Ischia), 9-10 novembre 2012.

Valentina Gnisci, Selvaggia Cognetti, Alessandro Belmonte, Carla Micheli, Flavio Borfecchia, Luigi De Cecco, Sandro Martini, Viviana Piermattei, Marco Marcelli. "Biomass trend of *Posidonia oceanica* (L) Delile recorded along the central Tyrrhenian sea". Agosto 2013, 18-19 ottobre 2013, Gruppo di Algologia, Venezia.

F. Borfecchia, C. Micheli, F. Carli, S. Cognetti De Martis, V. Gnisci, V. Piermattei, A. Belmonte, L. De Cecco, S. Martini, M. Mercalli (2013). Mapping spatial pattern of *Posidonia oceanica* meadow by means of Daedalus ATM airborne sensor in the coastal area of Civitavecchia (central Tyrrhenian sea, Italy). *Remote Sensing*, 5, 4877-4899; doi:10.3390/rs5104877.

BIBLIOGRAFIA

APAT-ICRAM-SIBM, 2003. Manuale di metodologie di campionamento e studio del Benthos marino mediterraneo.

Benzécri J.P. et al., 1973. L'Analyse des Données. 2 vols. Dunod, Paris, France.

Bertrandy M.C., Boudouresque C.F., Foret P., Lefevre J.R., Meinesz A., 1986. Réseau de surveillance Posidonies. Rapport 1985. GIS Posidonie Publ., Marseille, Fr. 1-61.

Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Meinesz A., 1984. Relation entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Eds. International workshop on *Posidonia oceanica* Beds. GIS Posidonie publ., Fr., pp. 185-191.

Boudouresque C.F., Bertrandy 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

Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. 2003. I sistemi a fanerogame marine. In: Gambi M.C., Dappiano M. (Editors). Manuale di Metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Biol. Mar. Med. 19 (Suppl.): 145-198.

Cicero A.M., Di Girolamo I. (Ed), 2001 Metodologie analitiche di riferimento del Programma di Monitoraggio dell'ambiente marino costiero (Triennio 2001-2003). Roma. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, ICRAM.

Den Hartog G., 1970. The seagrasses of the World. *Koninklijke Nederl. Akad.*

Dolce T., 2010. "Analisi della produzione primaria in *Posidonia oceanica*". Dottorato di ricerca in ecologia e gestione delle risorse biologiche- XXI CICLO.

DREW E.A., 1971. An introduction to experiments by divers. Botany. Underwater Science. J.D. Woods, J.N. Lithgoe Eds., Academic Press., London: 175-233

Duarte, 2002. The future of scagrass meadows. Environmental conservation. Volume issue 02: 192-206.

Giraud G., 1977. Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile. Botanica Marina, XX:487-491.

Meinesz A. & Laurent R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France). Botanica marina: 21, 513-526.

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-Raimondo V., Pergent G., 1995. Nutrient impact on *Posidonia oceanica* seagrass meadows: preliminary data. Mar. Life 5: 3-9.

