



Prodotto realizzato con il contributo dello strumento finanziario LIFE dell'Unione Europea



S.E.POS.S.O.
life project

Supporting Environmental governance for the POSidonia oceanica Sustainable transplanting Operations

LIFE16 GIE/IT/000761

AZIONE B.2

Activity report about monitoring campaigns and their results

22 dicembre 2020



A cura di:

Michele Scardi (Università di Roma, Tor Vergata)
Sebastiano Calvo (Università di Palermo, DISTeM)
Agostino Tomasello (Università di Palermo, DISTeM)
Claudia Bulleri (Autorità di Sistema Portuale de Mar Tirreno Settentrionale)
Cecilia Mancusi (ARPA Toscana)
Fabio Badalamenti (CNR-IAS)
Fabio Bertasi (ISPRA)
Barbara La Porta (ISPRA – Coordinatore di progetto)
Tiziano Bacci (ISPRA – Coordinatore di progetto)

Hanno collaborato:

Monica Targusi, Marina Penna, Paola Gennaro, Paolo Tomassetti - ISPRA;
Luigi Maria Valiante, Franco Di Nuzzo - Università di Roma "Tor Vergata";
Vincenzo Raimondi, Mauro Assenzo - Università di Palermo;
Enrico Cecchi, Luigi Piazzini - ARPAT;
Francesco Sozzi, Michele Magri - Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale



ABSTRACT

Action B2 -Activity report about monitoring campaigns and their results

Action B.2 of the LIFE SEPOSSO project aims at analyzing and evaluating the performance of selected case studies through dedicated monitoring campaigns. This task is especially relevant because, although early experiences of *P. oceanica* transplantation have provided very mixed results, some of the more recent experiences seem to indicate that encouraging results can be obtained, even in large-scale transplants.

The monitoring of the performance of transplants and the analysis of the time series allow to development of the capability to carry out effective interventions. Therefore, within the LIFE SEPOSSO project, monitoring has played a major role

This document analyzes and presents the main results obtained from the monitoring carried out in four transplant sites, all of large spatial scale, but different in terms of the environmental and technical characteristics involved: S. Marinella (10000 m², Lazio), Ischia (1600 m², Campania), Priolo (2500 m², Sicily) and Piombino (1600 m², Tuscany).

The results presented in this report are those obtained in the monitoring campaigns carried out specifically as part of this project, but where possible historical data deriving from other activities were also used. In addition to the trend in the number of shoots per transplant unit, which represents the main target of monitoring, data relating to other parameters, such as leaf length and width, were also analyzed, with the exception of the Priolo transplant, where they were not available.

The report is divided into four independent parts, each relating to one of the investigated sites. From this point of view it is useful to remember that the S. Marinella and Ischia transplants, carried out using concrete frames with wire mesh, share the same approach both in terms of transplantation technique and multi-year monitoring, with the data collected within the SEPOSSO project which resulted complementary to information deriving from long-term monitoring already in place independently of this project. The case studies of Priolo and Piombino differ from the previous two for the different transplantation techniques (star-like supports on

dead matte and clods on soft bottom, respectively) and a very limited pre-existing information base, so that SEPOSSO monitoring represents the first verification of the results obtained.

In the case studies of Ischia and S. Marinella, the results showed that in a time varying between 10 and 15 years the transplantation reached shoot densities equal to or higher, respectively, than those of the neighboring natural meadow. The only differences between the natural meadow and the transplants, in these two cases, lies in the average width of the leaves, which are slightly thinner in the transplanted areas. In Priolo, the number of surviving shoots 4 years after transplantation was about half of the original and it stayed stable in the two years of SEPOSSO monitoring. Finally, in Piombino, the transplanting of clods after 4 years showed an intermediate to good level of conservation of the clods in less than half of the cases and levels of shoot density on the clods significantly lower, in all cases, than those of the neighboring meadow.

Independently of the differences between the case studies, which depend on the transplant techniques used and the characteristics of the transplant sites and substrates, the indications emerging from this report, also taking into account the existing literature, highlight the main aspects that must be considered at the various stages of planning, implementation and monitoring of transplants and will be a useful basis for future studies.

SOMMARIO

PREMESSA.....	6
APPROCCIO METODOLOGICO.....	9
Sito di trapianto di S. Marinella (LAZIO).....	11
Contesto del trapianto.....	11
Materiali e Metodi.....	11
Analisi statistiche.....	16
Risultati.....	17
Analisi dei fasci fogliari nei moduli di trapianto.....	17
Analisi della densità fogliare (aree di trapianto vs prateria naturale).....	25
Analisi dei parametri fenologici (aree di trapianto vs prateria naturale).....	29
Sito di trapianto di Ischia (CAMPANIA).....	33
Contesto del trapianto.....	33
Materiali e Metodi.....	34
Analisi statistiche.....	38
Risultati.....	39
Analisi dei fasci fogliari nei moduli di trapianto.....	39
Analisi della densità fogliare (aree di trapianto vs prateria naturale).....	45
Analisi dei parametri fenologici (aree di trapianto vs prateria naturale).....	50
Sito di trapianto di Priolo (SICILIA).....	54
Contesto del trapianto.....	54
Materiali e Metodi.....	55
Analisi statistiche.....	58
Risultati.....	59
Analisi delle talee e dei fasci fogliari nei moduli di trapianto.....	59
Sito di trapianto di Piombino (TOSCANA).....	73
Contesto del trapianto.....	73
Materiali e Metodi.....	73
Analisi statistiche.....	79

Risultati.....	80
Analisi dello stato di conservazione delle zolle - 2018.....	80
Analisi dello stato di conservazione delle zolle - 2018-2019.....	83
Analisi della densità fogliare (zolle vs prateria naturale) - 2018.....	86
Analisi della densità fogliare (zolle vs prateria naturale) - 2018-2019.....	88
Analisi dei parametri fenologici (zolle vs prateria naturale) - 2018.....	92
Analisi dei parametri fenologici (zolle vs prateria naturale) - 2018-2019.....	95
SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	101
Sintesi e discussione dei risultati (S. Marinella).....	101
Sintesi e discussione dei risultati (Ischia).....	104
Sintesi e discussione dei risultati (Priolo).....	107
Sintesi e discussione dei risultati (Piombino).....	109
Considerazioni conclusive.....	112
Fase di pianificazione.....	112
Fase di trapianto.....	113
Fase di monitoraggio.....	114
Aspetti gestionali.....	116
BIBLIOGRAFIA.....	118

LEGENDA ABBREVIAZIONI USATE

ADSPMTS - Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale

ARPA - Agenzie Regionali e Provinciali per la Protezione dell'Ambiente

CTVA - Commissione Tecnica per le Valutazioni Ambientali

DISTEM - Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (Università di Palermo)

DVA - Direzione Valutazioni Ambientali (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare)

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale

MATM - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

PTSI - Posidonia Transplanting Suitability Index

OTS - Operatori Tecnici Subacquei

SIC - Sito di Importanza Comunitaria

VIA - Valutazione di Impatto Ambientale

ZSC - Zona Speciale di Conservazione

PREMESSA

Le praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile sono attualmente in forte regressione in tutto l'areale della specie, ovvero in tutto il bacino mediterraneo (Boudouresque *et al.*, 2006). Tutto ciò avviene malgrado l'enorme importanza che esse rivestono, riconosciuta a livello internazionale, e quindi malgrado le forme di protezione che sono state attuate.

L'estensione dei fenomeni regressivi fa ritenere che le cause che li hanno determinati siano presenti a livello di bacino e non solo localmente. E' un dato di fatto, comunque, che le praterie di *P. oceanica* siano vulnerabili a diversi tipi di impatti antropici e che, come conseguenza, la loro regressione è particolarmente marcata nelle aree che risentono dell'influenza di una densa popolazione costiera o di aree industriali o portuali (si vedano, ad esempio, Bourcier *et al.*, 1979; Boudouresque & Meinesz, 1982; Meinesz & Lefèvre, 1984; Pérès, 1984; Blanc & Jeudy de Grissac, 1989; Meinesz *et al.*, 1991; Bianchi & Peirano, 1995; Pasqualini *et al.*, 1999; Boudouresque *et al.*, 2006).

Il progredire dei fenomeni regressivi, se si analizza in rapporto alla scala temporale dilatata dei processi naturali di ricolonizzazione del substrato, ha stimolato ricerche ed esperienze pratiche sul tema del restauro delle praterie. In particolare, si è andata diffondendo l'idea che il trapianto possa affiancarsi, ma non sostituire i processi di rigenerazione naturale delle praterie (Meinesz *et al.*, 1990, 1991b; Molenaar & Meinesz, 1992a, 1992b; Calumpang & Fonseca, 2001; Boudouresque *et al.*, 2006). In quest'ottica, è unanimemente raccomandato che la possibilità di eseguire dei trapianti non diventi l'elemento in base al quale si decida di distruggere praterie senza stringentissime motivazioni di carattere socio-economico.

D'altra parte, la lentezza che caratterizza la crescita di *P. oceanica*, a maggior ragione nel caso di una perdurante azione delle sorgenti di disturbo a cui essa è soggetta, rende in molti casi poco verosimile nel breve termine un recupero spontaneo delle funzioni ecosistemiche che essa può assicurare. Il recupero è ancora più incerto nel caso della realizzazione di opere che impattano direttamente sulle praterie *P. oceanica* e che quindi, oltre al disturbo, provocano anche la distruzione diretta di aree dragate, tombate o sottoposte a stress cronici. In questo scenario il trapianto di *P. oceanica* ha la funzione di velocizzare i processi di ricolonizzazione del substrato, sempre che le cause che hanno determinato il degrado siano state rimosse e che il substrato non abbia subito trasformazioni biotiche (es. proliferazione di specie competitori) o abiotiche (es. infangamento) che non sono compatibili con la vita della pianta.

In quest'ottica, è ovvio che la pianificazione di un intervento di trapianto deve tener conto del fatto che si tratta dell'avvio di un lento processo di ricolonizzazione da parte di talee selezionate che, nei casi in cui il trapianto dia esiti positivi, si espandono fino a ricostituire, solamente dopo molti anni, una condizione simile a quella osservabile in una prateria naturale. Non si tratta quindi di una ripiantumazione che possa avere effetti comparabili con quelli che si possono ottenere in ambiti diversi, come ad esempio nella ricostituzione di un tappeto erboso.

Le prime esperienze di trapianto di fanerogame marine sono state associate al tentativo di migliorare lo stato di praterie di fanerogame marine il cui stato di conservazione era stato

compromesso dal generale peggioramento delle condizioni ambientali. E' stato questo, ad esempio, il caso dei trapianti di *Thalassia testudinum* condotti con successo in un'area che era stata sotto l'effetto dell'immissione in mare di reflui termici (Thourhaug, 1979). In Mediterraneo sono stati eseguiti diversi interventi di reimpianto di *P. oceanica*, alcuni quale misura di compensazione. In generale, tuttavia, esse sono stati realizzati senza tenere conto della necessità di utilizzare procedure di trapianto sito-specifiche e soprattutto inserite in più ampi progetti di gestione integrata della fascia costiera (Boudouresque *et al.*, 2006).

Anche se le prime esperienze di trapianto di *P. oceanica* hanno fornito risultati molto variabili, alcune delle esperienze più recenti sembrano indicare che è possibile ottenere risultati incoraggianti in termini di successo delle attività di trapianto, sia su grande scala che nel caso di interventi a piccola scala con talee, semi e giovani plantule di *P. oceanica*, (e.g. Borum *et al.*, 2004; Díaz-Almela & Duarte, 2008; Carannante, 2011).

L'uso dei trapianti come procedura di restauro di praterie distrutte o danneggiate per le cause più svariate è stato esteso, negli ultimi anni e con sempre maggior frequenza, alla compensazione degli impatti associati alla realizzazione di opere costiere, all'interno dei Decreti VIA relativi alle stesse. Se questa tendenza afferma il valore attribuito alle praterie di *P. oceanica*, è doveroso sottolineare come oggi esista concretamente il rischio che le operazioni di compensazione si risolvano esclusivamente in un alibi da esibire nei confronti dell'opinione pubblica. Infatti, secondo Boudouresque *et al.* (2006) "... non esiste una compensazione reale a un danno e la distruzione di una prateria di *P. oceanica* è un fenomeno irreversibile, perché il biotopo è stato definitivamente distrutto". Dunque, la possibilità di attuare misure compensative non dovrebbe mai essere considerata come una condizione sufficiente a permettere la distruzione di una prateria o di parte di essa, a maggior ragione in presenza dei già menzionati fenomeni regressivi a scala di bacino.

Tuttavia, se la possibilità di trapiantare non può essere un alibi per la distruzione di praterie, essa può essere una importante opportunità per ridare vitalità, con piccoli interventi mirati, a praterie sottoposte a stress diffusi. Ad esempio, la riduzione della trasparenza delle acque costiere che si osserva in ampi settori dei nostri mari e che è alla base di molti fenomeni regressivi potrebbe essere contrastata attraverso piccoli trapianti di fasci prelevati a quote batimetriche più profonde e pertanto adattati a livelli più modesti di irradianza (Molenaar & Meines, 1992a; Genot *et al.*, 1994; Piazzini *et al.*, 1998).

Anche se, a tutt'oggi, alcuni casi hanno dimostrato che le tecniche di reimpianto di *P. oceanica* possono fornire risultati incoraggianti anche nel medio termine ed a grande scala spaziale, queste devono essere considerate ancora innovative e non del tutto consolidate, con livelli di affidabilità non comparabili con quelli acquisiti dalle tecniche di riforestazione condotte sulla terraferma (Boudouresque *et al.*, 2006).

Non a caso, sono in corso nel nostro Paese diversi progetti per la messa a punto e sperimentazione di nuove tecniche di reimpianto, al fine di individuare modalità operative sempre più affidabili, che siano al contempo economicamente sostenibili, tali da poter essere impiegate anche a grande scala spaziale. E' pertanto necessario e certamente auspicabile che si investa in attività di ricerca volte a migliorare le tecniche di trapianto esistenti ed a svilupparne di nuove,

soprattutto col fine di comprendere la variabilità delle risposte biologiche associate ad esse e di selezionare quelle più idonee caso per caso, in ragione delle specifiche esigenze progettuali.

In quest'ottica, il monitoraggio dei risultati dei trapianti e l'analisi delle serie storiche che esso può consentire di acquisire è un'attività essenziale. Nell'ambito del progetto LIFE SEPOSSO, non a caso, il monitoraggio ha un ruolo centrale e questo documento presenta i principali risultati ottenuti per i quattro siti di trapianto esaminati: S. Marinella (Lazio), Ischia (Campania), Priolo (Sicilia) e Piombino (Toscana).

APPROCCIO METODOLOGICO

Nel presente Report vengono riportate le informazioni principali relative al contesto in cui sono state realizzate le attività di trapianto, alle diverse tecniche di trapianto utilizzate e ai monitoraggi progressi. Per ulteriori dettagli al riguardo si rimanda al Report "Final report on *Posidonia oceanica* transplanting case studies analysis" (A.A.V.V. 2019, Life SEPOSSO Azione A3).

I materiali e i metodi applicati per le attività di monitoraggio vengono illustrati separatamente per ciascun caso di studio riflettendo le specifiche peculiarità dei diversi disegni di campionamento.

L'obiettivo di questo report è presentare i risultati delle campagne di monitoraggio dei quattro trapianti di S. Marinella (Lazio), Ischia (Campania), Priolo (Sicilia) e Piombino (Toscana) (Fig. 1) le relative analisi statistiche, sia di tipo descrittivo, sia di tipo inferenziale, grazie alle quali è stato possibile fornire una valutazione delle performance dei trapianti ad oggi.

I risultati presentati sono quelli ottenuti nelle campagne di monitoraggio svolte specificamente nell'ambito di questo progetto, ma laddove possibile sono stati utilizzati anche dati storici derivanti da altre attività.

Il Report è stato diviso in quattro parti indipendenti, ciascuna relativa ad ognuno dei siti indagati S. Marinella (Lazio), Ischia (Campania), Priolo (Sicilia) e Piombino (Toscana) (Figura 1). Da questo punto di vista è utile ricordare che i trapianti effettuati a S. Marinella e ad Ischia condividono lo stesso metodo in termini di tecnica di trapianto e relativo monitoraggio e che i dati raccolti nell'ambito di questo progetto sono complementari ad informazioni che derivano da monitoraggi di lungo termine precedenti o comunque indipendenti da questo progetto. I casi di studio di Priolo e Piombino si differenziano invece dai due precedenti per le diverse tecniche di trapianto e di monitoraggio ed una base di informazioni preesistenti molto ridotta, così che quanto rilevato nell'ambito di questo progetto rappresenta una prima verifica dei risultati ottenuti.

Le indicazioni emerse dai risultati ottenuti in questo progetto, relativi alla *performance* dei trapianti di *Posidonia oceanica* realizzati su vasta scala in quattro diversi siti in Italia, tenuto conto della letteratura esistente, hanno messo in evidenza i principali aspetti necessari relativi alle diverse fasi di pianificazione, realizzazione e monitoraggio dei trapianti.

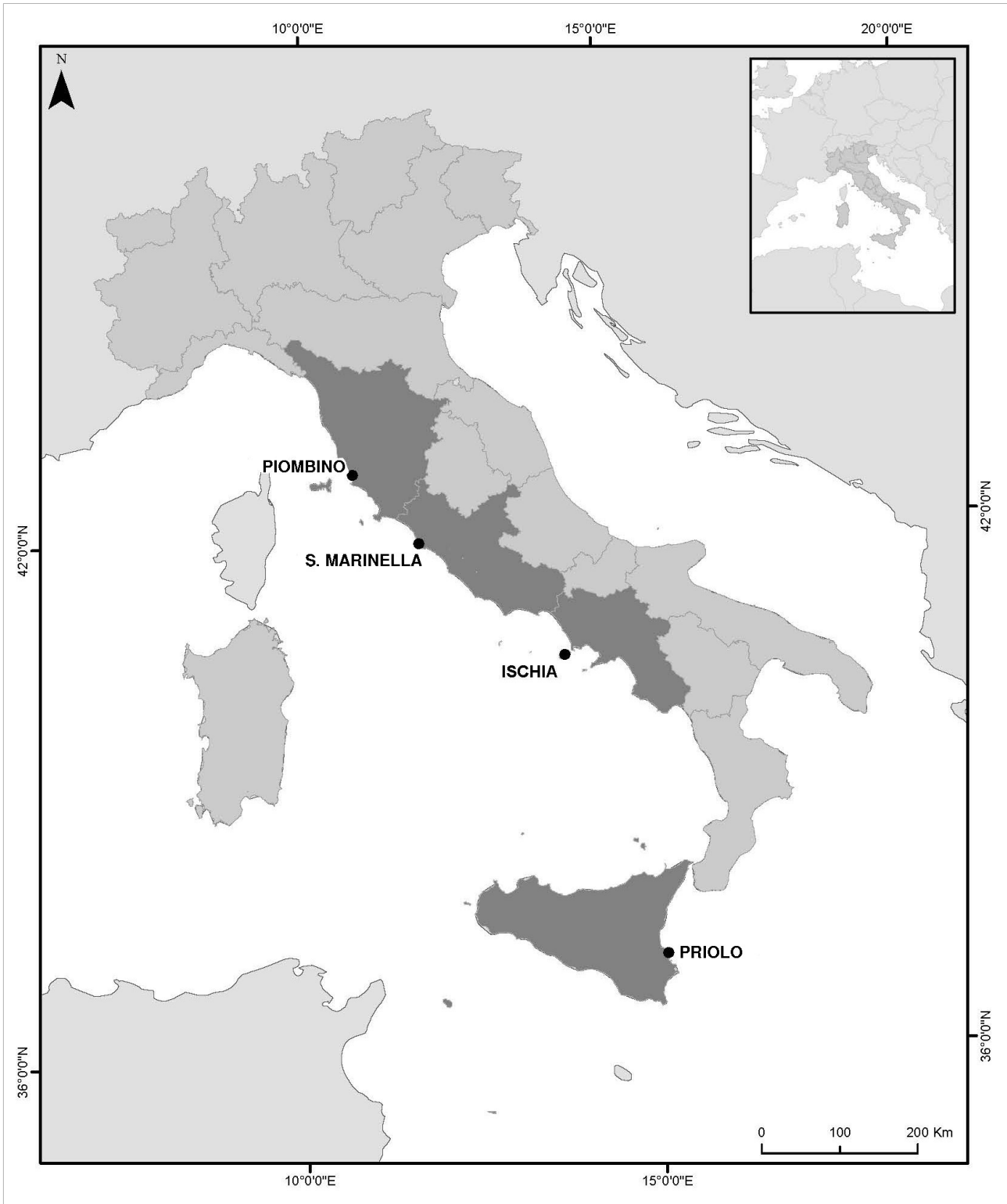


Figura 1- Siti indagati: S. Marinella (Lazio), Ischia (Campania), Priolo (Sicilia) e Piombino (Toscana)

SITO DI TRAPIANTO DI S. MARINELLA (LAZIO)

Contesto del trapianto

Il trapianto di S. Marinella è il più esteso fra quelli monitorati nell'ambito di questo progetto (10.000 m²) ed è anche il primo in ordine di tempo ad essere stato eseguito da Enel Produzione S.p.a. attraverso un'ATS (Associazione Temporanea di Scopo) a cui partecipava anche Econ s.r.l., che oltre che nelle attività di trapianto è stata poi attiva anche in tutte le successive attività di monitoraggio.

La prateria donatrice, situata nella ZSC IT6000005 "Fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara", rappresenta la zona in cui sono stati effettuati i lavori per la realizzazione della Darsena Energetica Grandi Masse (Decreto VIA 6923/2002 e s.s.m.) (A.A.V.V. 2018, Life SEPOSSO Azione B1.2). Su questa prateria furono effettuate prospezioni subacquee per identificare le migliori aree in cui effettuare l'espianto dei fasci di Posidonia da reimpiantare. Furono valutate la qualità dei fasci e la loro densità, cercando di privilegiare siti di espianto che non fossero più superficiali di quelli in cui era previsto il reimpianto.

Il trapianto è stato realizzato in un areale situato nella Zona Speciale di Conservazione (ZSC IT6000007) "Fondali antistanti S. Marinella", a circa 20 km dal sito di espianto (Figura 2) (A.A.V.V. 2019, Life SEPOSSO Azione A3). L'area di intervento è stata indicata come idonea al trapianto da Enel Produzione S.p.a. Non sono stati realizzati trapianti pilota in diverse aree all'interno della ZSC al fine di individuare le aree più idonee al trapianto. Tali aree sono state individuate in base all'acquisizione di dati batimetrici e morfologici del fondo, inoltre è stata effettuata un'ampia prospezione della prateria ricevente, mediante 70 stazioni di monitoraggio. E' stato stimato lo stato di salute apparente della prateria, rilevando le caratteristiche litologiche, la presenza di detrito, *ripple marks*, matte morta, macroalghe e il tipo di limite al margine della prateria. E' stata rilevata, inoltre, la densità fogliare, nonché la presenza di "marcatori" di pressione antropica.

Il trapianto è stato eseguito tra la fine del 2004 e l'inizio del 2005 utilizzando la tecnica delle cornici in cemento con rete metallica, realizzate per l'utilizzo su fondi sabbiosi, con un numero di 8 talee per modulo (32 talee m²), e poi monitorato trimestralmente per i primi 5 anni. Dopo il 5° anno il monitoraggio è stato interrotto e ripreso nel 2015 con frequenza, annuale. Il monitoraggio richiesto dalle prescrizioni del Decreto VIA ed eseguito da Enel Produzione S.p.a., si è articolato su 14 radure contenenti due o più stazioni, per un numero complessivo di 40 stazioni.

Materiali e Metodi

Delle 14 radure previste dal monitoraggio del Decreto VIA, nel progetto SEPOSSO, in totale sono state monitorate 4 radure (n. 59, 6, 70, 4), contenenti nel complesso 13 stazioni di trapianto e 6 stazioni di controllo nella prateria naturale adiacente al sito trapianto (Figura 2, Tabella 1) (nel testo il termine "stazione" e "area" sono da intendersi come sinonimi).

Le 13 aree di trapianto monitorate dal Progetto SEPOSSO sono un campione rappresentativo delle aree superstiti dell'intero sito, che rappresentano il 75% delle aree trapiantate comprese anche quelle che hanno avuto perdite parziali. Le aree trapiantate interamente perse rappresentano il restante 25% della superficie originale di trapianto.

Il monitoraggio è stato condotto secondo lo schema rappresentato in Figura 2 e Figura 3.

Ogni stazione è indagata attraverso il monitoraggio di 20 moduli (il modulo rappresenta la cornice in cemento con rete metallica) opportunamente marcati in fase di posa.

Nel 2018 (primo anno di monitoraggio SEPOSSO) le indagini di campo si sono svolte dal 25 al 29 giugno. Di seguito si riportano esclusivamente i parametri monitorati oggetto delle analisi del presente Report:

- Numero di fasci per modulo: conta del numero di fasci per modulo nelle stazioni di trapianto;
- Parametri fenologici: determinazione della lunghezza, della larghezza e del tessuto bruno della foglia più lunga (*sensu* Giraud, 1977) in cinque fasci sia nelle stazioni di trapianto che nelle stazioni della prateria naturale mediante monitoraggio non distruttivo;

Nel 2019 (secondo anno di monitoraggio SEPOSSO) le indagini di campo si sono svolte dal 22 al 25 luglio. Pur replicando il monitoraggio nelle medesime stazioni del 2018, le attività eseguite si sono differenziate da quest'ultimo, al fine di acquisire ulteriori informazioni delle aree oggetto di studio. Nella campagna 2019, infatti, essendo comunque i dati relativi al monitoraggio dei moduli di trapianto disponibili attraverso le attività di monitoraggio effettuate da Enel Produzione S.p.a., le attività di questo Progetto si sono orientate verso una procedura alternativa. Preso atto che le aree trapiantate (con l'esclusione di quelle che sono andate interamente perse, per circa il 25% della superficie originale) hanno assunto nel tempo caratteristiche quasi indistinguibili dalla prateria naturale e che la densità dei fasci all'interno dei moduli è vincolata dalla superficie dei moduli stessi, portando inevitabilmente ad una crescita che si estende al di fuori dei moduli stessi, si è deciso di misurare la densità delle aree trapiantate con il medesimo metodo adottato per la prateria naturale. I dati relativi ai trapianti sono frutto di attività di questo Progetto, mentre quelli relativi alla prateria naturale sono stati acquisiti dalle contemporanee attività di monitoraggio effettuate da Enel Produzione S.p.a.

Di seguito si riportano esclusivamente le attività eseguite oggetto del presente Report:

- Densità fogliare: stime di densità fogliare sia nelle aree di trapianto, all'interno di un'area circoscritta di 10 x 10 m, sia nelle aree della prateria naturale, mediante conte di fasci in quadrati 40 x 40 cm posizionati *random* (numero di quadrati in ciascuna stazione variabile da 5 a 20) (Panayotidis *et al.*, 1981).

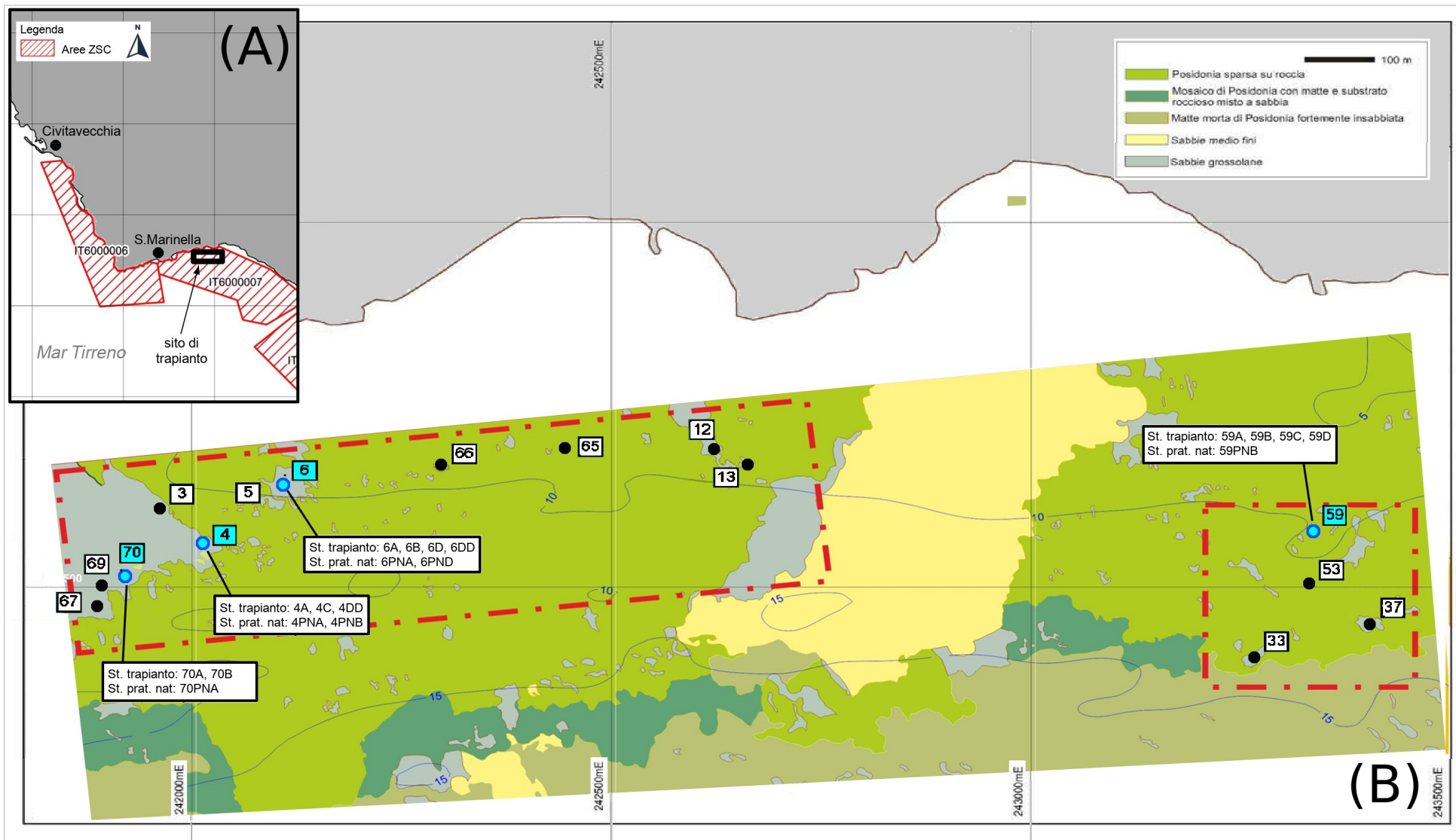


Figura 2 - S. Marinella – (A) Inquadramento del sito di trapianto e (B) dettaglio delle radure di trapianto (etichette numerate). Le radure indagate nel progetto SEPOSSO (in blu, 59, 6, 70, 4) costituiscono un sub-campione delle 14 radure monitorate nelle attività di monitoraggio pregresse (in nero). Le etichette evidenziano la localizzazione nelle radure delle 13 stazioni di trapianto e delle 6 stazioni di prateria naturale monitorate.

Tabella 1 - Coordinate e profondità delle stazioni di trapianto e di prateria naturale monitorate nel progetto SEPOSSO a S. Marinella

ID Radura	ID stazione	ID Stazione (denominazione utilizzata nei report di monitoraggio per la verifica delle ottemperanze)	Coordinate E (UTM - fuso 32T)	Coordinate N (UTM - fuso 32T)	profondità (m)
Radura 59	59A	P.1	740025	4657988	9
	59B	P.2	740010	4657991	9
	59C	P.3	740000	4657997	9
	59D	P.3onew	740001	4658005	9,5
	59PNB	M.2	740026	4657994	9
Radura 4	4A	P.12	738660	4657842	10,5
	4C	P.14	738647	4657850	10,5
	4DD	P.16	738650	4657870	10,5
	4PNA	M.8	738679	4657836	10,5
	4PNB	M,9	738668	4657847	10
Radura 6	6A	P.21	738766	4657978	8,5
	6B	P.22	738774	4657960	8,5
	6D	P.24	738780	4657990	8,5
	6DD	P.25	738760	4657992	8,5
	6PNA	M.12	738777	4657960	8
	6PND	M.13	738782	4657998	8
Radura 70	70A	P.38	738639	4657784	12
	70B	P.39	738677	4657800	11,7
	70PNA	M.20	738649	4657775	11

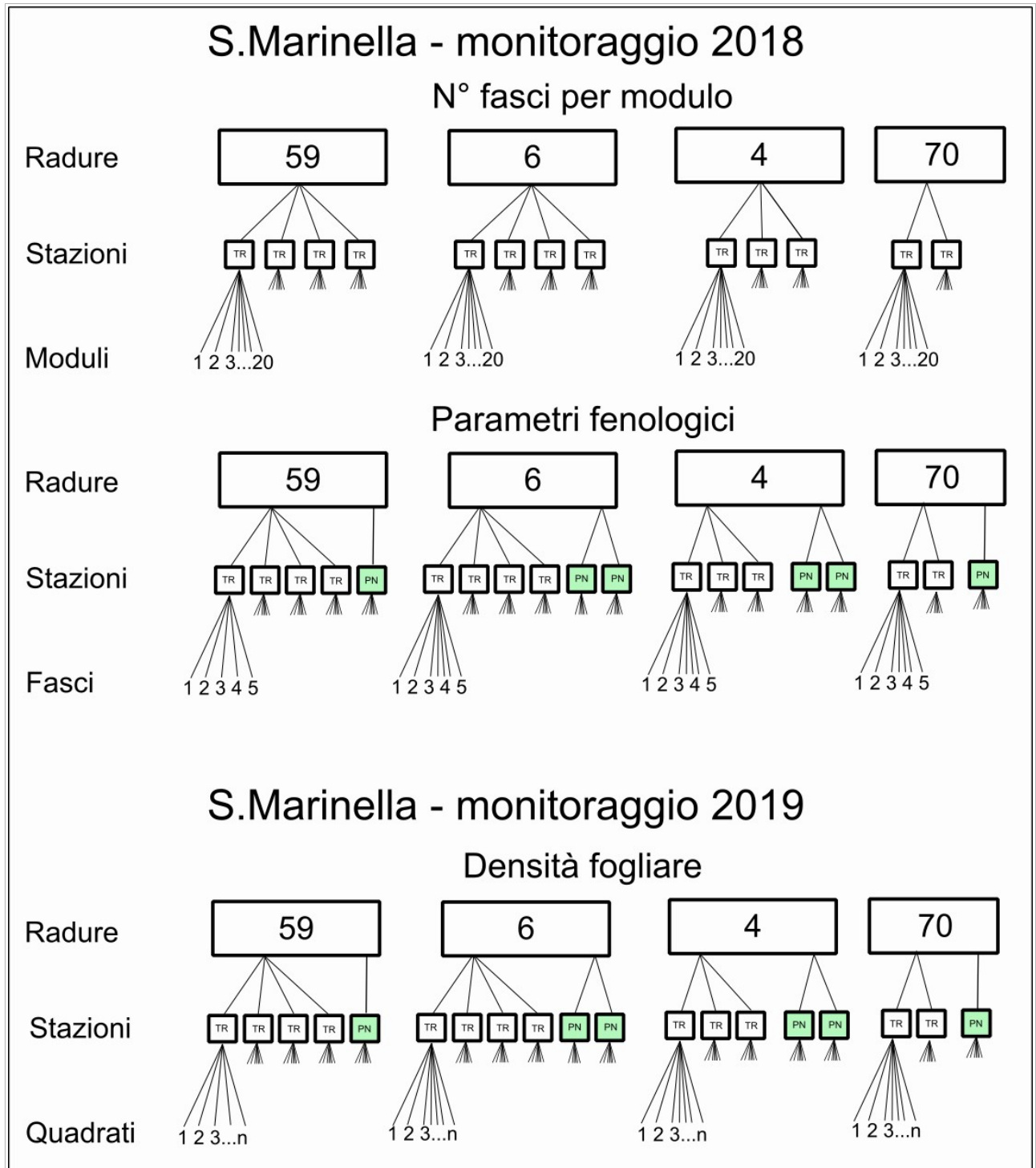


Figura 3 - Schema di campionamento dei parametri indagati nel sito di S. Marinella nel 2018 e 2019. TR: stazione di trapianto; PN: stazione di prateria naturale.

Analisi statistiche

Per ciascuna variabile oggetto di indagine, al fine di testare statisticamente le differenze tra i termini a confronto, sono stati utilizzati i seguenti test statistici parametrici e non-parametrici:

- **Numero di fasci per modulo:**
 - test di Kruskal-Wallis (uguaglianza delle mediane tra stazioni di trapianto), seguito da
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra) con correzione di Bonferroni.

- **Densità fogliare:**
 - test di Kruskal-Wallis (uguaglianza delle mediane tra stazioni di trapianto e di prateria naturale raggruppate per radura), seguito da
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra) con correzione di Bonferroni;
 - test di t Student (uguaglianza delle medie tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)
 - test di Mann-Whitney (uguaglianza delle mediane tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)
 - test di Kolmogorov-Smirnov (uguaglianza delle distribuzioni tra tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)

- **Parametri fenologici (lunghezza foglia, larghezza foglia, larghezza tessuto bruno):**
 - test di Mann-Whitney (uguaglianza delle mediane tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)

Risultati

Analisi dei fasci fogliari nei moduli di trapianto

In Figura 4 sono mostrati gli andamenti del numero di fasci per modulo di trapianto (in particolare, all'interno dello stesso, su una superficie utile di 0.16 m²) come medie per stazione di monitoraggio (tenendo conto anche delle fallanze e dei danni meccanici come moduli persi per ancoraggi o altro). I simboli vuoti all'estremità di ciascuna curva indicano i dati raccolti nell'ambito di questo progetto, mentre i rimanenti sono dati d'archivio.

Come si può notare, in tutte le stazioni si osserva un aumento del numero dei fasci, che partiva da 8 per modulo e che è andato evolvendo nel tempo con una combinazione di fallanze (che si notano nella leggera flessione iniziale di tutte le curve), mortalità, quasi sempre legata a danni meccanici, e crescita di nuovi fasci. In tutti i casi il numero dei fasci è ampiamente aumentato, con un incremento di un fattore compreso fra 4x e 16x, incluse tutte le perdite di fasci e moduli per danni meccanici e da agenti meteo-marini. In particolare, si deve rilevare come l'incremento nel numero dei fasci diventi sensibile soprattutto nel medio-lungo termine e comunque ben oltre i 5 anni per cui era stato prescritto il monitoraggio dei trapianti in origine.

A 10-15 anni dal trapianto, la gran parte dei moduli mostra densità nell'ordine di grandezza di quella di una prateria naturale. Come per una prateria naturale, la densità all'equilibrio è molto variabile e quindi densità apparenti simili si possono osservare a fronte di densità effettive anche piuttosto diverse fra loro, purché nell'ambito di valori comunque elevati.

In Figura 5 è riportato l'andamento del coefficiente di variazione del numero di fasci per modulo per ciascuna stazione di monitoraggio ed i simboli vuoti indicano i dati acquisiti nell'ambito di questo progetto. Si noti come il coefficiente di variazione si stabilizzi dopo circa 5 anni, dopo una fase di crescita iniziale. In altre parole, nei primi anni aumenta la variabilità fra i moduli di trapianto in misura più o meno grande rispetto alla media del numero dei fasci. I massimi, non a caso, si osservano nelle stazioni con densità più basse (6A e 6DD) ed i minimi in quella che ha raggiunto le densità più elevate (6D).

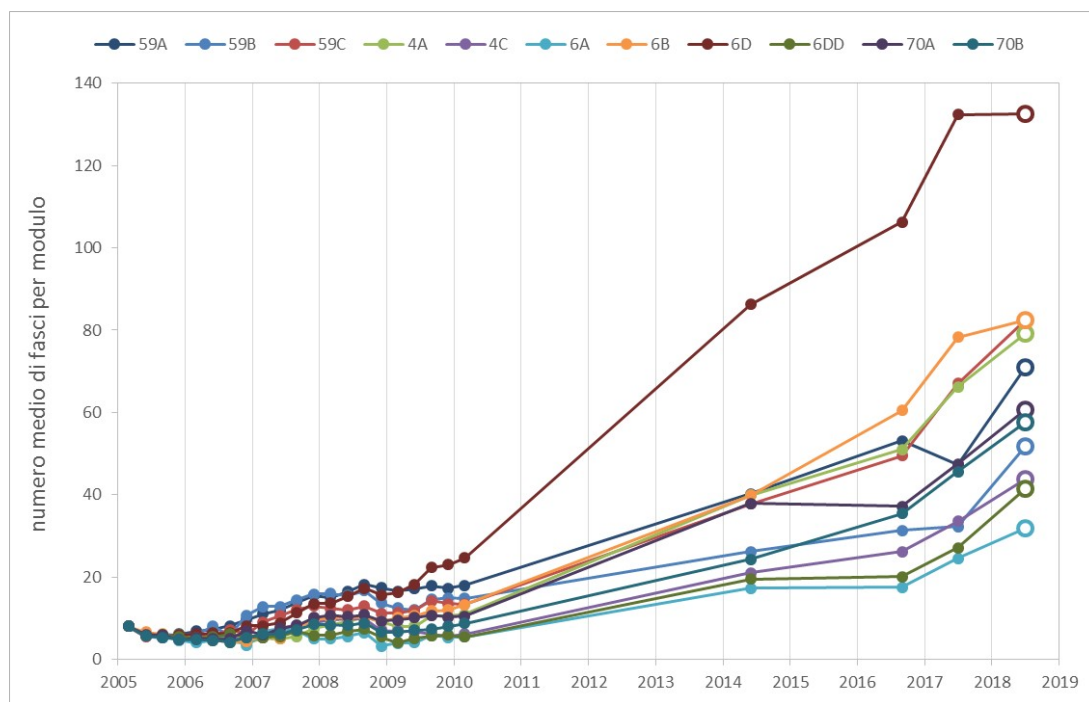


Figura 4 - Andamenti del numero medio di fasci per modulo di trapianto (area 0.16 m²) per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO dove era disponibile anche il dato pregresso d'archivio (11 stazioni). I simboli vuoti sono relativi ai dati acquisiti nell'ambito di SEPOSSO nel 2018.

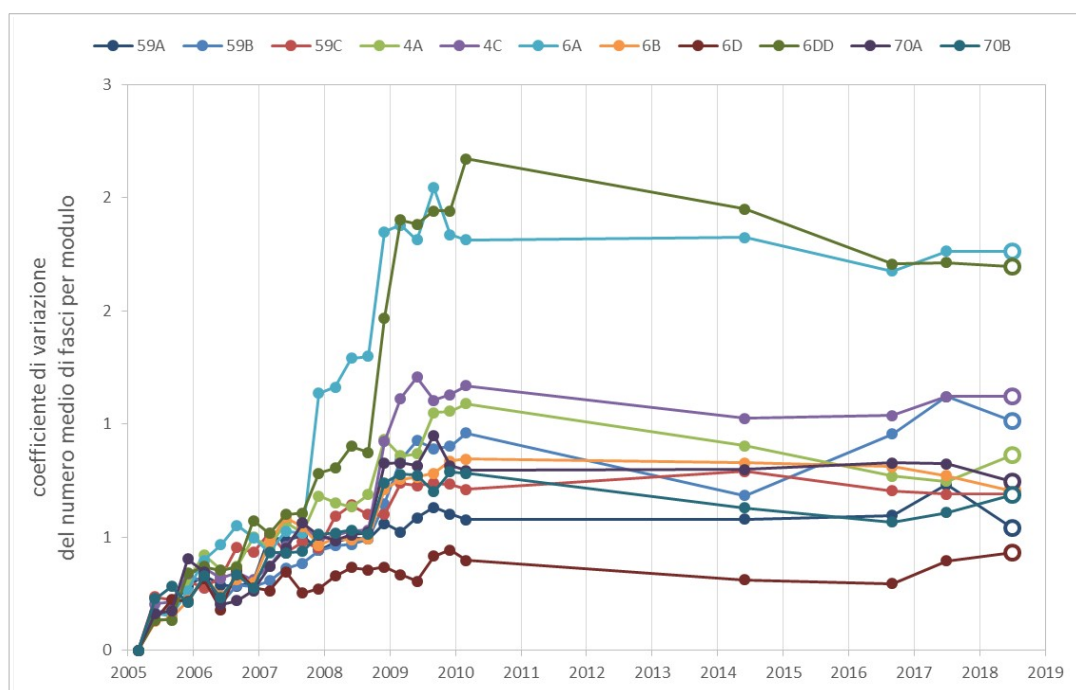


Figura 5 - Andamenti del coefficiente di variazione del numero di fasci per modulo per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO dove era disponibile anche il dato pregresso d'archivio (11 stazioni). I simboli vuoti sono relativi ai dati acquisiti nell'ambito di SEPOSSO nel 2018.

Data la natura dei processi soggiacenti, è inevitabile che la variabilità del numero di fasci per modulo manifesti una certa dipendenza dalla media. È per questo motivo che il coefficiente di variazione, pesando la deviazione standard del numero di fasci per modulo sulla loro media, può esprimere il livello di eterogeneità in maniera indipendente dalla densità.

In particolare, il coefficiente di variazione cresce fino a quando si osservano variazioni nel numero dei fasci che fanno aumentare l'eterogeneità fra i diversi moduli, mentre tendono a stabilizzarsi nel momento in cui, a prescindere dalle densità conseguite, la mortalità non gioca più un ruolo rilevante (Figura 5). Dunque, un coefficiente di variazione stabile è un indice di maturità del trapianto, quale che sia il livello complessivo di densità, che dipende evidentemente anche da fallanze ed altre cause di mortalità.

Nel 2019 le attività SEPOSSO non hanno previsto, per il sito di S. Marinella, la replica del monitoraggio dei moduli di trapianto effettuato nel 2018. I dati, tuttavia, sono stati comunque acquisiti, in quanto prodotti nell'ambito di un monitoraggio abitualmente condotto da Enel Produzione S.p.a..

In Figura 6 si può osservare l'andamento complessivo delle stazioni monitorate nel 2018 anche per l'anno successivo, sia come numero di fasci medio per modulo, sia come coefficiente di variazione.

Si noti come il numero di fasci medio per modulo abbia subito un calo sia nelle prime fasi successive al trapianto (2008-2009), sia successivamente al monitoraggio SEPOSSO nel 2019. In entrambi gli episodi, tali decrementi nelle aree trapiantate, hanno avuto un riscontro anche più intenso nella prateria naturale adiacente, con perdite stimate dei fasci fino al 10% tra il 2018 e 2019 (comm. pers. Econ S.r.l.). Il fenomeno sembra dovuto in parte ad estesi danni meccanici (sia ai trapianti sia alla prateria naturale) causati da attività di pesca a strascico illegale ed in parte a condizioni meteo marine particolarmente severe (queste ultime non episodiche, come mostra la flessione di tutte le curve in Figura 4 fra il 2008 ed il 2009). Si noti anche come il coefficiente di variazione, che aveva raggiunto i valori massimi nel 2010, si è stabilizzato nel tempo ed addirittura tende lentamente a decrescere.

Se si considera, sempre facendo riferimento ai dati del monitoraggio condotto da Enel Produzione S.p.a., l'insieme del trapianto, con 40 stazioni, ciascuna con 20 moduli-campione, monitorate dal 2005 (Figura 7), l'andamento complessivo è molto simile a quella di cui si è appena detto (cfr. Figura 6). I valori del numero di fasci medio per modulo riportati in sono inferiori a quelli della Figura 6 a causa del fatto che comprendono anche aree che sono stati interamente persi per cause prevalentemente esogene, con la perdita complessiva di circa $\frac{1}{4}$ delle superfici trapiantate. I moduli persi complessivamente nel sito di S. Marinella, sia per danni meccanici o per morte di tutti i fasci, sono stati stimati al 60% nel 2019 (Scardi *et al.*, in press). Tra le cause possibili della perdita di fasci potrebbe aver contribuito anche il fatto che le operazioni di espianto e di trapianto sono state svolte non esclusivamente da qualificati operatori subacquei con conoscenze dei sistemi biologici ed ecologici marini e con esperienza specifica nel manipolare fasci o talee di Posidonia nei trapianti ma anche da Operatori Tecnici Subacquei (OTS) generici. Tuttavia, l'andamento complessivo rimane lo stesso, sia per il numero medio di fasci per modulo, sia per il coefficiente di variazione, mostrato nella Figura 6 e Figura 8. In queste due figure il

tempo è riportato come numero di anni dalla prima campagna di monitoraggio, effettuata dopo tre mesi dal termine delle operazioni di trapianto, nel giugno 2005.

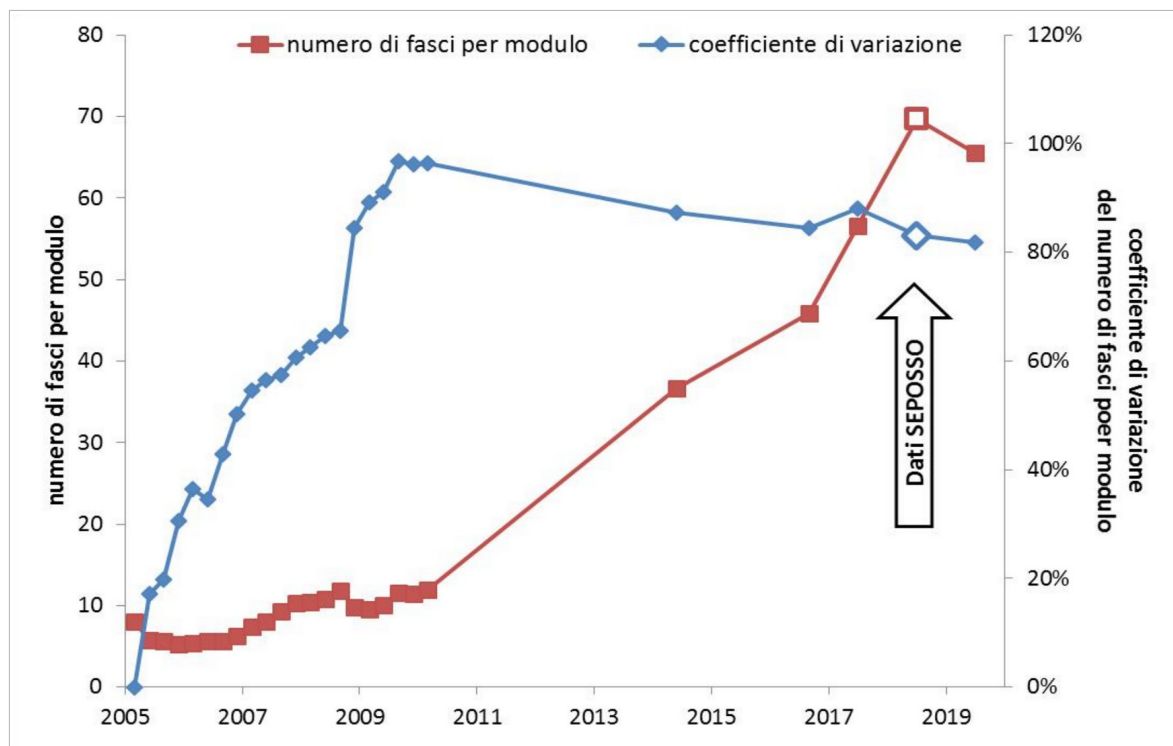


Figura 6 - Andamento complessivo del numero di fasci medio per modulo e del coefficiente di variazione per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO dove era disponibile anche il dato pregresso d'archivio (11 stazioni). I simboli con l'interno vuoto sono relativi ai dati acquisiti nell'ambito di SEPOSSO nel 2018, inoltre sono inclusi i dati del 2019.

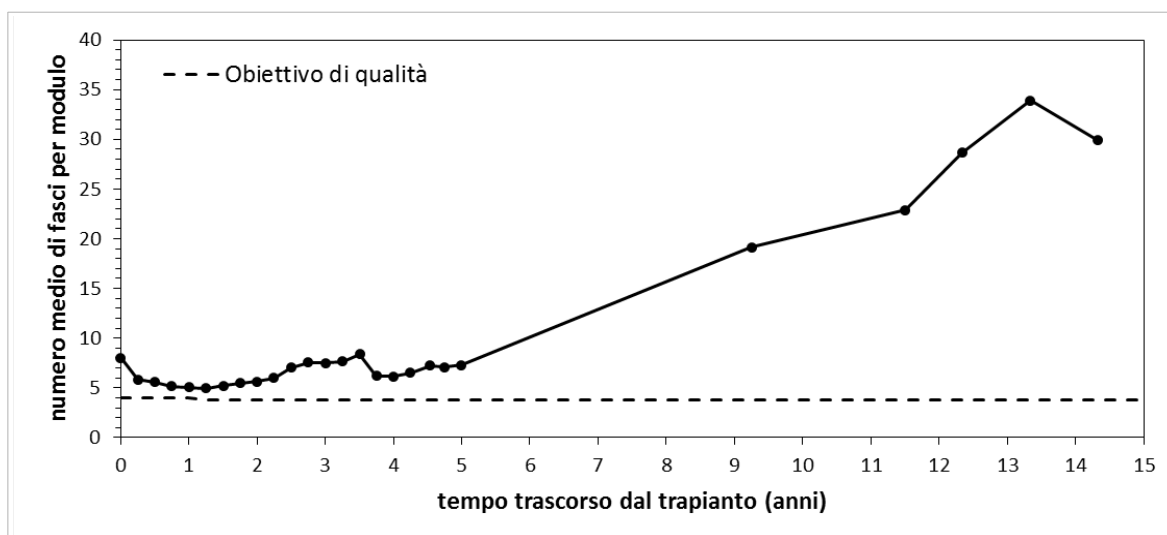


Figura 7 - Andamento complessivo del numero di fasci medio per modulo sull'intero sito di trapianto (40 stazioni) in relazione al numero di anni trascorsi dalla prima campagna di monitoraggio. L'obiettivo di qualità mostrato in figura (linea tratteggiata) si riferisce a quanto prescritto dal MATTM nel decreto VIA.

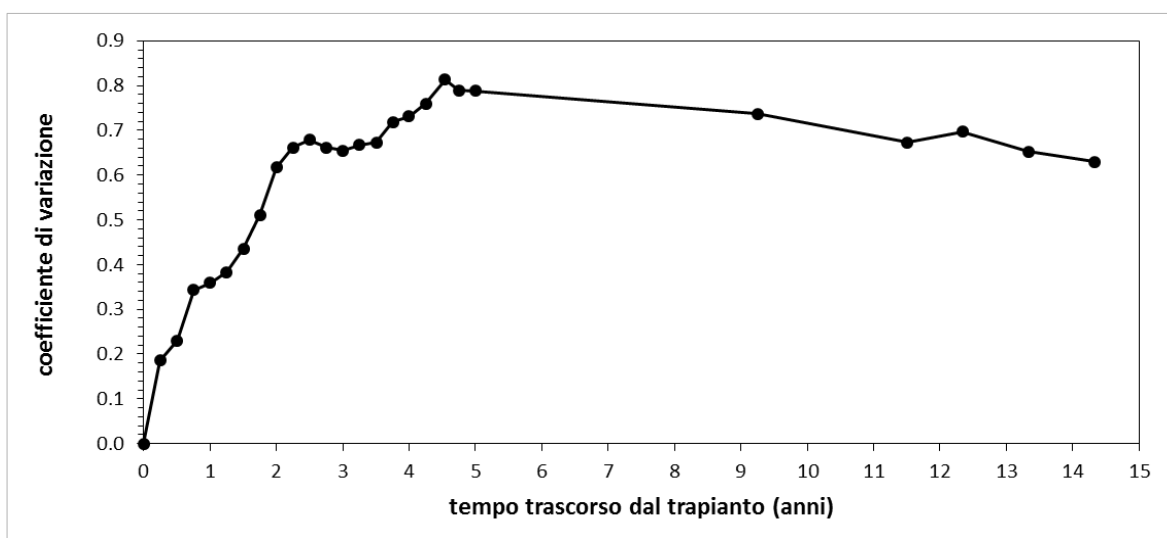


Figura 8 - Andamento complessivo del coefficiente di variazione per il numero di fasci medio per modulo sull'intero sito di trapianto (40 stazioni) in relazione al numero di anni trascorsi dalla prima campagna di monitoraggio.

Ritornando alle attività di monitoraggio di tutti i moduli di trapianto effettuata nel 2018 dal Progetto SEPOSSO, la distribuzione del numero di fasci per modulo nelle 13 stazioni prese in esame (2 stazioni aggiuntive sono state monitorate dal Progetto SEPOSSO dove non era disponibile il dato pregresso d'archivio) è mostrata in Figura 9. Come si può notare, la variabilità nei 20 moduli considerati per ciascuna stazione è ampia, soprattutto verso l'alto. In tre casi il minimo è diverso da zero (59D, 4DD e 6D), mentre, all'estremo opposto, in due casi addirittura la mediana è nulla (6A e 6DD). Le statistiche descrittive relative alle 13 stazioni esaminate nel 2018 sono riportate nella Tabella 2. I valori medi si collocano fra un minimo di 31.95 ed un massimo di

132.5, con una evidente influenza, nel computo delle medie, dei valori nulli, ovvero dei moduli privi di fasci a causa di fallanze o di impatti di natura meccanica.

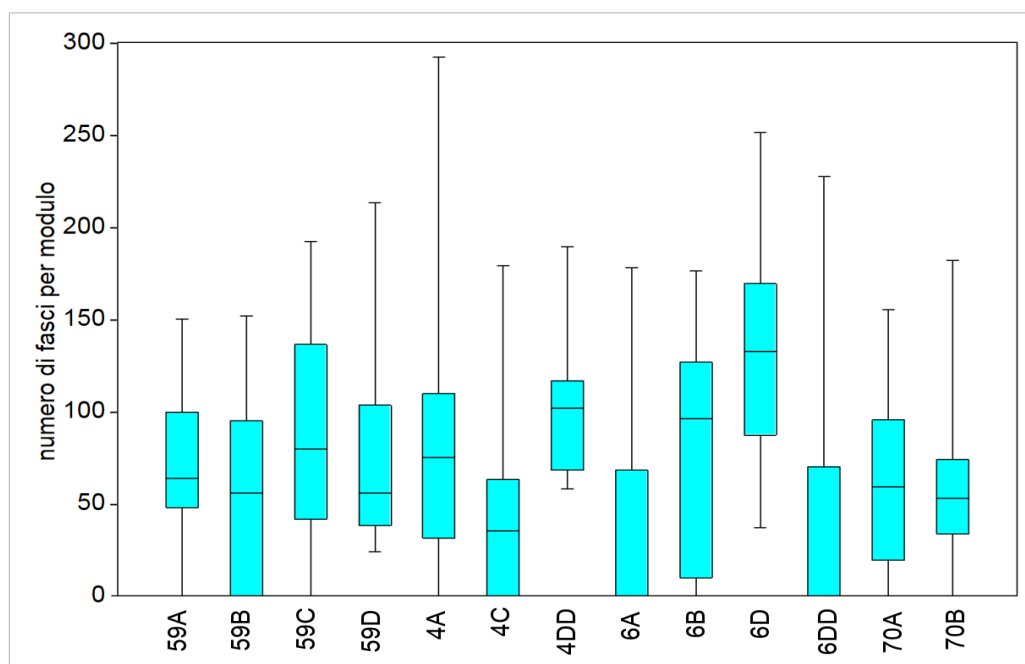


Figura 9 - Box plot della distribuzione del numero di fasci per modulo per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO (13 stazioni) durante il monitoraggio del 2018.

Per confrontare il numero di fasci nelle diverse stazioni esaminate, si è fatto ricorso, stante la distribuzione palesemente asimmetrica dei valori in parecchi casi, al test di Kruskal-Wallis, i cui risultati sono riportati in Tabella 3. Come si può facilmente rilevare, coerentemente con alcune divaricazioni fra i boxplot in Figura 7, l'ipotesi di uguali mediane deve essere rigettata, essendo supportata da un livello di probabilità estremamente piccolo.

In Tabella 4, a complemento del test di Kruskal-Wallis, sono riportati i risultati dei confronti a coppie effettuati con il test di Mann-Whitney. I valori riportati sono quelli di probabilità, con correzione di Bonferroni, associati all'ipotesi nulla di uguali mediane ed in rosso sono visualizzati quelli inferiori alla soglia di significatività ($\alpha = 0.05$), che quindi indicano i casi in cui le mediane del numero di fasci per modulo differiscono fra due stazioni. La stazione 6D è quella che differisce, per eccesso, da tutte le rimanenti ad eccezione di 59C, 4A, 4DD e 6B, che sono quelle che più gli si avvicinano. Si notano anche alcune altre differenze significative, ma nel complesso, su 78 confronti a coppie, solo 11 su 78 sono risultati significativi.

A proposito di numero di fasci per modulo, va ricordato che per rapportare questi valori al metro quadro è necessario moltiplicarli per 6.25, essendo riferiti ad un'area di 0.16 m^{-2} . Tuttavia, poiché alcuni fasci in effetti si posizionano al di fuori dell'impronta del modulo per effetto della crescita dei rizomi, la conversione dal numero di fasci per modulo al numero di fasci per metro quadro non sempre può essere effettuata in maniera esatta e comunque può comportare una leggera sovrastima della seconda grandezza.

Tabella 2 - Statistiche descrittive per il numero di fasci per modulo relative alle 13 stazioni esaminate nel 2018.

	59A	59B	59C	59D	4A	4C	4DD	6A	6B	6D	6DD	70A	70B
N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Min	0	0	0	24	0	0	58	0	0	37	0	0	0
Max	150	152	192	213	292	179	189	178	176	251	227	155	182
Sum	1418	1036	1649	1414	1585	874	2021	639	1650	2650	827	1211	1154
Mean	70.90	51.80	82.45	70.70	79.25	43.70	101.05	31.95	82.50	132.50	41.35	60.55	57.70
Std. error	8.59	11.74	12.72	10.45	15.24	10.97	8.72	12.59	13.00	12.78	15.68	10.09	8.87
Variance	1475.15	2757.43	3233.95	2183.80	4645.46	2406.64	1522.47	3168.79	3378.16	3265.42	4915.29	2035.84	1572.96
Stand. dev	38.41	52.51	56.87	46.73	68.16	49.06	39.02	56.29	58.12	57.14	70.11	45.12	39.66
Median	64.00	56.00	79.50	56.00	75.00	35.50	102.00	0.00	96.00	132.50	0.00	59.00	53.00
25 prcnil	47.75	0.00	41.50	38.00	31.25	0.00	68.00	0.00	9.75	87.25	0.00	19.25	33.50
75 prcnil	99.75	95.00	136.25	103.50	109.75	63.25	116.75	68.25	126.75	169.25	70.25	95.50	74.00
Skewness	0.33	0.29	0.02	1.61	1.47	1.52	1.04	1.68	-0.33	0.39	1.61	0.29	1.49
Kurtosis	-0.13	-1.44	-0.76	3.21	3.99	2.38	0.32	1.85	-1.20	-0.18	1.52	-0.56	4.35
Coeff. var	54.17	101.37	68.97	66.10	86.00	112.26	38.61	176.19	70.45	43.13	169.55	74.52	68.74
std err	8.59	11.74	12.72	10.45	15.24	10.97	8.72	12.59	13.00	12.78	15.68	10.09	8.87
conf low	52.92	27.22	55.84	48.83	47.35	20.74	82.79	5.60	55.30	105.76	8.54	39.43	39.14
conf high	88.88	76.38	109.06	92.57	111.15	66.66	119.31	58.30	109.70	159.24	74.16	81.67	76.26

Tabella 3 –Risultati del test di Kruskal-Wallis per le differenze nel numero di fasci per modulo tra le 13 stazioni esaminate nel 2018. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	55.88
Hc (tie corrected):	56.65
p (same):	9.13E-08
There is a significant difference between sample medians	

Tabella 4 - Risultati del test di Mann-Whitney per le differenze nel numero di fasci per modulo tra le 13 stazioni esaminate nel 2018. In rosso i valori significativi.

Mann-Whitney test		59A	59B	59C	59D	4A	4C	4DD	6A	6B	6D	6DD	70A	70B
59A		1	1	1	1	1	1	1	0.229	1	0.048	0.700	1	1
59B	1		1	1	1	1	1	0.822	1	1	0.022	1	1	1
59C	1	1		1	1	1	1	0.483	1	1	1	1	1	1
59D	1	1	1		1	1	0.576	0.160	1	0.046	0.523	1	1	1
4A	1	1	1	1		1	1	0.597	1	0.335	1	1	1	1
4C	1	1	1	1	1		0.009	1	1	0.002	1	1	1	1
4DD	1	0.822	1	0.576	1	0.009		0.009	1	1	0.086	0.553	0.015	
6A	0.229	1	0.483	0.160	0.597	1	0.009		0.489	0.002	1	0.917	1	
6B	1	1	1	1	1	1	1	0.489		1	1	1	1	1
6D	0.048	0.022	1	0.046	0.335	0.002	1	0.002	1		0.009	0.019	0.005	
6DD	0.700	1	1	0.52	1	1	0.086	1	1	0.009		1	1	
70A	1	1	1	1	1	1	0.553	0.917	1	0.019	1		1	
70B	1	1	1	1	1	1	0.015	1	1	0.005	1	1		

Analisi della densità fogliare (aree di trapianto vs prateria naturale)

I dati acquisiti nel 2019 relativi alla densità fogliare delle stazioni di monitoraggio sono stati accorpati per radure (59, 4, 6 e 70) e comparati con quelli relativi alle corrispondenti stazioni della prateria naturale, adiacente alle diverse radure.

In Figura 10 emerge con chiarezza che le densità sono risultate sempre maggiori, sia come valori medi che come valori massimi, nelle aree trapiantate rispetto a quelle di prateria naturale, a dimostrazione della forte vitalità delle prime. Le differenze fra le diverse aree, trapiantate e naturali, sono risultate altamente significative al test di Kruskal-Wallis (Tabella 5). Analizzando le differenze fra coppie, si può notare come le differenze siano largamente da imputare a quelle rilevate fra la stazione 6 trapiantata e tutte le rimanenti, trapiantate o naturali, con l'eccezione della prateria naturale nella medesima stazione (Tabella 6). Poiché, trattandosi di confronti multipli non indipendenti, è stata applicata la correzione di Bonferroni ai valori di probabilità e ciò ha reso i test molto più conservativi rispetto all'ipotesi nulla di uguali mediane.

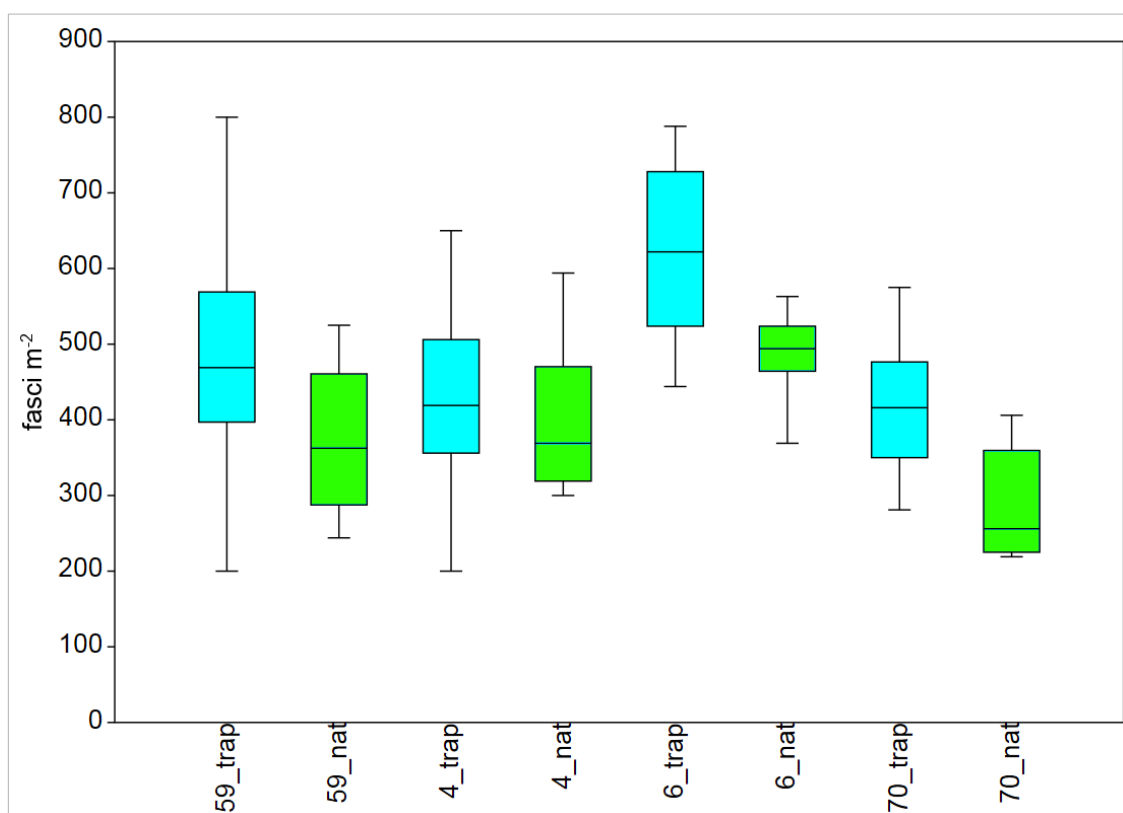


Figura 10 - Box-plot del numero di fasci per m² tra l'insieme delle stazioni di trapianto (trap) e di prateria naturale (nat) in ciascuna radura (59, 4, 6 e 70) nel 2019.

Tabella 5 - Risultati del test Kruskal-Wallis per le differenze nel numero di fasci $\cdot m^{-2}$ tra l'insieme delle stazioni di trapianto e di prateria naturale in ciascuna radura nel 2019. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	64.44
Hc (tie corrected):	64.47
p (same):	1.92E-11
There is a significant difference between sample medians	

Tabella 6 – Risultati del test Mann-Whitney per le differenze nel numero di fasci $\cdot m^{-2}$ tra l'insieme delle stazioni di trapianto (trap) e di prateria naturale (nat) in ciascuna radura (59, 4, 6 e 70) nel 2019. In rosso i valori significativi.

	59_trap	59_nat	4_trap	4_nat	6_trap	6_nat	70_trap	70_nat
59_trap		0.2251	0.3187	0.6632	0.000298	1	0.1914	0.0573
59_nat	0.2251		1	1	0.000711	0.2536	1	1
4_trap	0.3187	1		1	8.02E-08	1	1	0.2261
4_nat	0.6632	1	1		0.0018	0.7892	1	1
6_trap	0.000298	0.000711	8.02E-08	0.0018		0.0571	9.06E-08	0.01347
6_nat	1	0.2536	1	0.7892	0.0571		0.2390	0.1120
70_trap	0.1914	1	1	1	9.06E-08	0.239		0.1243
70_nat	0.0573	1	0.2261	1	0.01347	0.112	0.1243	

Cumulando tutte le osservazioni si ottiene una base di dati di riferimento più solida e comunque rappresentativa dell'intero sito oggetto di studio. La distribuzione dei dati relativi alle aree trapiantate è più ampia e si estende da 200 a 800 fasci m^{-2} , ovvero di oltre 200 unità oltre il limite superiore osservato per la prateria naturale, che è pari a 594 fasci m^{-2} (Figura 11). Anche la mediana delle densità relative alle aree trapiantate è superiore a quella della prateria naturale, che si colloca più o meno in corrispondenza del limite del primo quartile delle aree trapiantate (Figura 11).

Il confronto fra le medie e fra le mediane dei due gruppi mostra come i valori relativi alle aree trapiantate siano in entrambi i casi significativamente più elevati di quelli relativi alla prateria naturale, come si evince dalla Tabella 7. In particolare, è rilevante il risultato relativo alle mediane, ottenuto mediante un test di Mann-Whitney, poiché la distribuzione del numero di fasci m^{-2} devia dalla normalità per le aree trapiantate. Anche se il test *t* di Student è molto robusto rispetto a deviazioni dall'assunzione di normalità, sembra dunque logico considerare prioritariamente il risultato della sua alternativa non-parametrica, con cui peraltro concorda in pieno.

Un discorso diverso riguarda la forma delle due distribuzioni (Figura 11). Come si è detto, quella dell'area trapiantata è più ampia, ma chiaramente unimodale, mentre quella per la prateria naturale sembra più compatta e simmetrica intorno alla mediana, ma è, sia pure debolmente, bimodale. Per confrontare la forma delle due distribuzioni si è fatto ricorso al test di Kolmogorov-

Smirnov, in base al quale l'ipotesi nulla di uguali distribuzioni è stata rigettata, confermando anche da un punto di vista formale quanto osservato in precedenza.

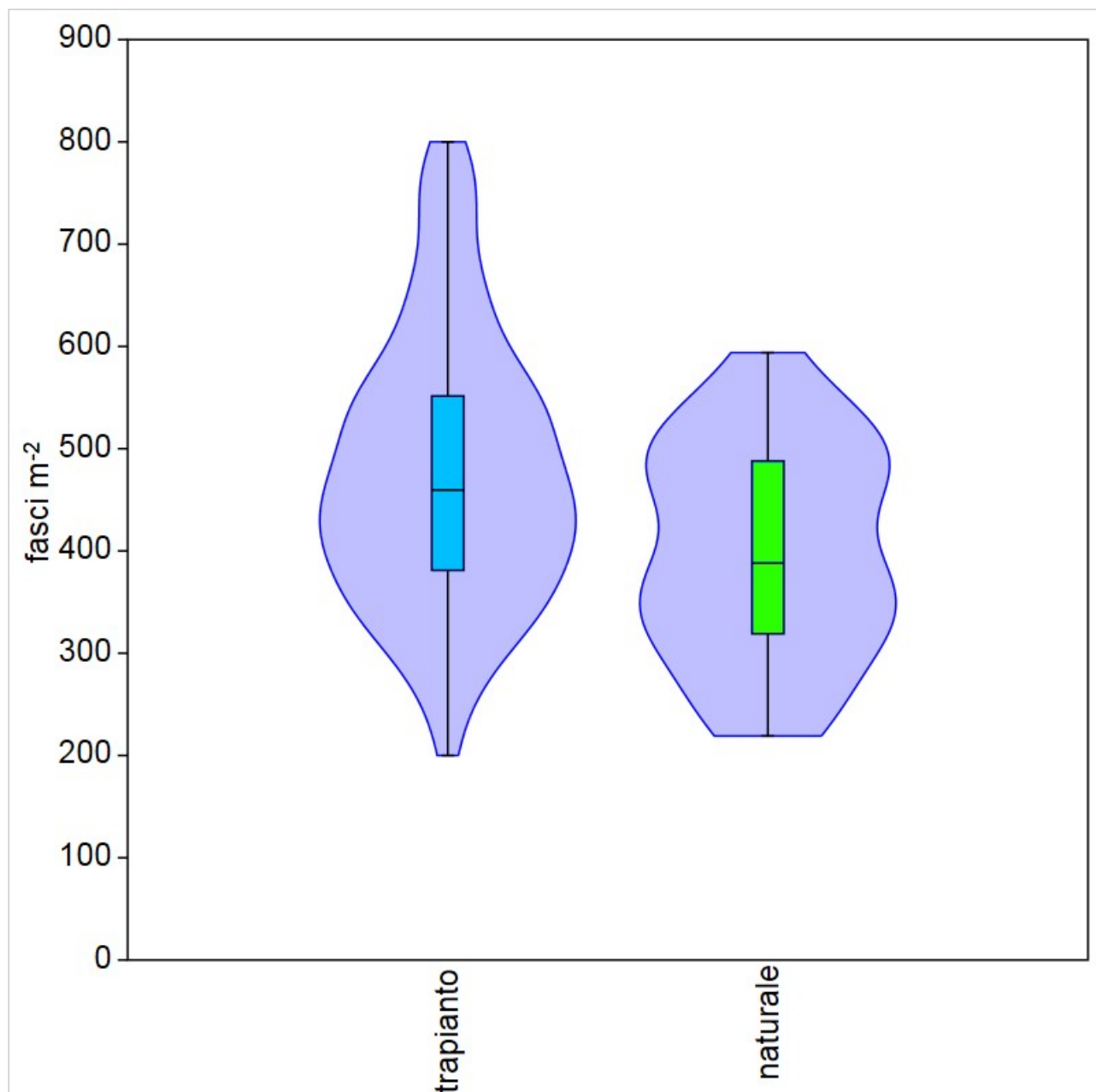


Figura 11 - Box-plot e distribuzione del numero di fasci · m⁻² relativi all'insieme delle conte effettuate sulle superfici di trapianto e sulla prateria naturale nel 2019.

Tabella 7 – A) Risultati del test t di Student (confronto tra medie), B) del test Mann-Whitney (confronto tra mediane) e C) del test di Kolmogorov-Smirnov (confronto tra distribuzioni) per il numero di fasci · m⁻² tra le aree di trapianto e la prateria naturale nel 2019. In rosso i valori significativi.

A)				
Tests for equal means (t Student)				
trapianto		naturale		
N:	206	N:	35	
Mean:	475.96	Mean:	399.26	
95% conf.:	(457.95 493.97)	95% conf.:	(363.65 434.87)	
Variance:	17189	Variance:	10747	
Difference between means:	76.704			
95% conf. interval (parametric):	(30.761 122.65)			
95% conf. interval (bootstrap):	(37.248 114.88)			
t :	3.2889	p (same mean):	0.00116	
Uneq. var. t :	3.8816	p (same mean):	0.00028	
Monte Carlo permutation:	p (same mean) 0.0011			
B)				
Tests for equal medians (Mann-Whitney)				
trapianto		naturale		
N:	206	N:	35	
Mean rank:	108.27	Mean rank:	12.726	
Mann-Whitney U :	2437			
z :	3.0623	p (same med.):	0.0022	
Monte Carlo permutation:	p (same mean) 0.0018			
C)				
Kolmogorov-Smirnov test for equal distributions				
trapianto		naturale		
N:	206	N:	35	
D :	0.27587	p (same dist.):	0.01663	
Monte Carlo permutation:	p (same mean) 0.0019			

Analisi dei parametri fenologici (aree di trapianto vs prateria naturale)

Il confronto fra caratteristiche delle stazioni delle aree trapiantate e della prateria naturale adiacente è stato effettuato per la lunghezza della foglia adulta più lunga, per la larghezza della stessa e per l'estensione del tessuto bruno.

A S. Marinella nel 2018 alcune caratteristiche delle foglie sono state oggetto di comparazione fra le aree trapiantate e la prateria naturale, che è anch'essa oggetto di monitoraggio proprio per fornire un riferimento in base a cui valutare l'andamento dei trapianti, come ed esempio nel caso della riduzione del 10% della densità della prateria naturale osservata fra il 2018 ed il 2019 e menzionata nella Figura 6.

I confronti fra trapianti e prateria naturale sono stati effettuati cumulando tutti i dati del 2018, per poter disporre di numeri adeguati. Infatti, le misure rilevate riguardano 5 foglie per stazione e, pur essendo possibile, da un punto di vista strettamente formale, impostare dei test stazione per stazione, i numeri in gioco li renderebbero poco efficienti. Inoltre l'abbinamento tra stazioni delle aree trapiantate e stazioni della prateria naturale non è univoco, con le seconde in numero ridotto rispetto alle prime. Un confronto complessivo, come si vedrà, mette comunque in evidenza delle chiare differenze.

La lunghezza delle foglie, ad esempio è risultata significativamente maggiore nella prateria naturale rispetto alle aree trapiantate (Tabella 8). Come si può osservare nei box-plot in Figura 12, le foglie delle aree naturali sono più lunghe, in media, di poco più di 20 cm rispetto a quelle delle aree trapiantate, con una dispersione dei valori non troppo dissimile nei minimi, ma con maggiori differenze fra i quartili superiori.

La larghezza delle foglie è risultata anch'essa differente fra le stazioni trapiantate e la prateria naturale, con valori significativamente superiori in quest'ultima, così come per la lunghezza (Tabella 9). Come si può notare nel diagramma a barre in Figura 13, gran parte delle foglie delle stazioni trapiantate sono larghe tra 0.8 e 0.9 cm, mentre quelle della prateria naturale mostrano una classe modale prossima a 1 cm. La maggiore variabilità delle prime trova riscontro nel coefficiente di variazione, che è leggermente inferiore per la prateria naturale. In sintesi, le foglie trapiantate sono significativamente un po' più strette e un po' più corte di quelle della prateria naturale. Questa caratteristica sembra indicare che la pianta investe più nella crescita del rizoma (soprattutto plagiotropa) nelle aree trapiantate e più nel tessuto fogliare nella prateria naturale, coerentemente con la necessità di espandersi nelle prime e di aumentare l'attività fotosintetica locale nelle seconde. In sintesi: maggior numero di fasci, caratterizzati da minor superficie fogliare nelle stazioni trapiantate, minor numero di fasci ma con maggior superficie fogliare nelle stazioni naturali.

Infine, anche la lunghezza del tessuto bruno al momento del campionamento è risultata differente fra trapianti e prateria naturale, con valori significativamente superiori nel primo caso (Tabella 10). I valori in gioco sono comunque abbastanza modesti, come dimostra il fatto che in molti casi essi sono risultati addirittura nulli anche nelle aree trapiantate. Queste ultime hanno comunque mostrato una variabilità molto maggiore e, pur senza grandi differenze nei valori massimi, hanno certamente una maggiore incidenza di valori superiori alla media (Figura 14).

Nel complesso, le foglie della prateria trapiantata sono risultate, a fronte di densità dei fasci simili o superiori alla prateria naturale, più piccole di quelle di quest'ultima. Tuttavia, il confronto non è tra fasci che hanno la stessa modalità di accrescimento, essendo solo ortotropa nella prateria naturale e prevalentemente (ma non esclusivamente) plagiotropa nelle aree trapiantate.

Tabella 8 - A) Statistiche riassuntive e B) test di Mann-Whitney per le differenze nella lunghezza delle foglie tra le aree trapiantate (L trap) e la prateria naturale (L nat) durante il monitoraggio del 2018. In rosso i valori significativi.

A)			
	L trap	L nat	
N	65	30	
Min	28	33	
Max	91	108	
Sum	3652.94	2240.00	
Mean	56.20	74.67	
Std. error	1.83	3.94	
Variance	218.28	465.61	
Stand. dev	14.77	21.58	
Median	55.00	76.00	
25 prcnil	45.00	58.25	
75 prcnil	66.50	94.25	
Skewness	0.25	-0.34	
Kurtosis	-0.65	-1.11	
Coeff. var	26.29	28.90	
B)			
Tests for equal medians			
	L nat		L trap
N:	65	N:	30
Mean rank:	27.90	Mean rank:	20.10
Mann-WhitnU :	505.5		
z :	3.756	p (same med.):	0.000172
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	0.0003	

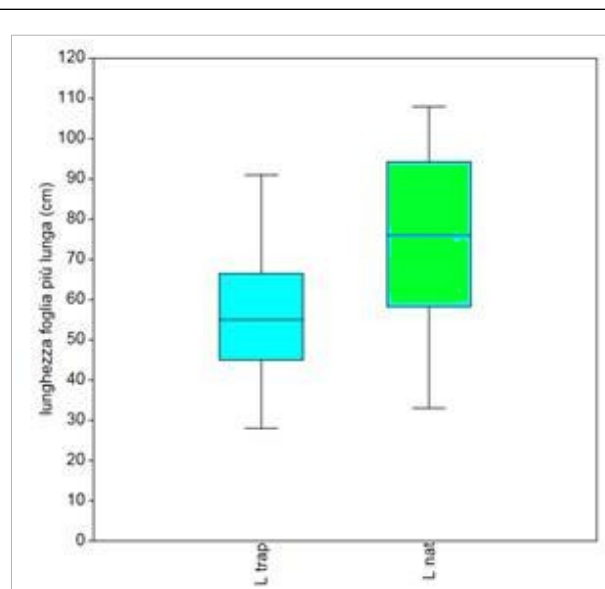


Figura 12 - Box plot della lunghezza delle foglie nelle aree trapiantate (L trap) e nella prateria naturale (L nat) durante il monitoraggio del 2018.

Tabella 9 - A) Statistiche riassuntive e B) test di Mann-Whitney per le differenze nella larghezza delle foglie tra le aree trapiantate (W trap) e la prateria naturale (W nat) durante il monitoraggio del 2018. In rosso i valori significativi.

A)		
	W trap	W nat
N	65	30
Min	0.5	0.7
Max	1	1.1
Sum	54.70	29.20
Mean	0.84	0.97
Std. error	0.01	0.02
Variance	0.01	0.01
Stand. dev	0.10	0.10
Median	0.80	1.00
25 prcntil	0.80	0.90
75 prcntil	0.90	1.00
Skewness	-0.46	-1.06
Kurtosis	0.69	1.12
Coeff. var	12.05	10.07

B)				
Tests for equal medians				
	W nat		W trap	
N:	65	N:	30	
Mean rank:	26.19	Mean rank:	21.81	
Mann-WhitnU :	343.0			
z :	5.224	p (same med.):	1.76E-07	
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	0.0001		

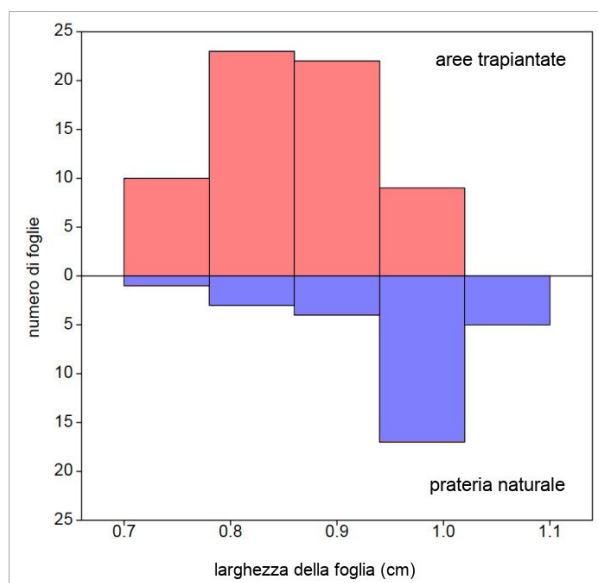


Figura 13 - Istogramma invertito della distribuzione della larghezza delle foglie nelle aree trapiantate (rosso) e nella prateria naturale (blu) durante il monitoraggio del 2018.

Tabella 10 - A) Statistiche riassuntive e B) test di Mann-Whitney per le differenze nella lunghezza del tessuto bruno tra le aree trapiantate (Br trap) e la prateria naturale (Br nat) durante il monitoraggio del 2018. In rosso i valori significativi.

A)			
	Br trap	Br nat	
N	65	30	
Min	0	0	
Max	18	14	
Sum	255.00	52.00	
Mean	3.92	1.73	
Std. error	0.62	0.71	
Variance	24.76	15.10	
Stand. dev	4.98	3.89	
Median	2.00	0.00	
25 prcntil	0.00	0.00	
75 prcntil	8.00	0.50	
Skewness	1.13	2.47	
Kurtosis	0.22	5.49	
Coeff. var	126.84	224.18	
B)			
Tests for equal medians			
	Br nat		Br trap
N:	65	N:	30
Mean rank:	35.91	Mean rank:	12.09
Mann-WhitnU :	683.5		
z :	2.564	p (same med.):	0.010337
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	0.0097	

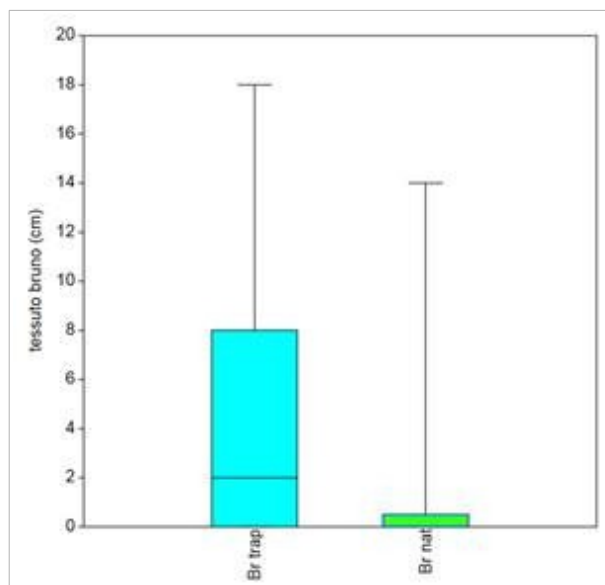


Figura 14 - Box plot della lunghezza del tessuto bruno nelle aree trapiantate (Br trap) e nella prateria naturale (Br nat) durante il monitoraggio del 2018

SITO DI TRAPIANTO DI ISCHIA (CAMPANIA)

Contesto del trapianto

Il sito di Ischia ospita un trapianto più recente di circa 4 anni rispetto a quello di S. Marinella, ma effettuato con la medesima tecnica (cornici in cemento con 8 talee per modulo) e consente quindi di comparare i risultati.

La prateria donatrice è situata all'interno della ZSC IT8030010 "Fondali marini di Ischia, Procida e Vivara", facente parte dell'Area Marina Protetta "Regno di Nettuno", in cui furono effettuate prospezioni subacquee per identificare le migliori aree in cui effettuare l'espianto dei fasci di Posidonia da reimpiantare. I siti potenzialmente utili erano quelli strettamente corrispondenti al tracciato della trincea, ovvero quelli che sarebbero stati dragati per la posa della condotta (Decreto VIA 10/2008) (A.A.V.V. 2018, LIFE SEPOSSO Azione B1.2.). Furono valutate la qualità dei fasci e la loro densità, cercando di privilegiare siti di espianto che non fossero più superficiali di quelli in cui era previsto il reimpianto.

Il trapianto è stato eseguito tra la fine del 2008 e l'inizio del 2009 da Econ s.r.l. per conto di Ischia Gas S.r.L. (per conto di Concordia CPL). Il trapianto, realizzato su un'area complessiva di 1600 m², è situato nella Zona Speciale di Conservazione (ZSC IT8030010) "Fondali marini di Ischia, Procida e Vivara", nonché Area Marina Protetta "Regno di Nettuno" (Figura 15), a poche centinaia di metri dal sito di espianto. L'area di intervento è stata indicata come idonea al trapianto da Ischia Gas S.r.L..

Non sono stati realizzati trapianti pilota in diverse aree all'interno della ZSC al fine di individuare le aree più idonee al trapianto. Tali aree sono state, invece, individuate in base a acquisizione di dati bati-morfologici, e prospezioni subacquee in 24 stazioni, in cui è stata effettuata misure di densità, stime di copertura e determinazione dei parametri fenologici. E' stata data preferenza alle radure sabbiose meno superficiali. Nelle radure candidate è stato stimato lo stato di salute apparente della prateria naturale, rilevando: litologia, presenza di detrito, *ripple marks*, matte morta, macroalghe e il tipo di limite della prateria. E' stata rilevata, inoltre, anche la presenza di "marcatori" di pressione antropica quali: reti abbandonate, segni di ancoraggi ripetuti, corpi morti, detriti e rifiuti. Nella scelta delle radure sono state privilegiate quelle di dimensioni pari a circa 200-300 m², protette dalla prateria circostante ed esenti da evidenti fenomeni erosivi e di mobilità del sedimento.

Il monitoraggio del trapianto, eseguito da Econ s.r.l. per conto di Ischia Gas S.r.L., è stato trimestrale per i primi 5 anni, come richiesto dalle prescrizioni del Decreto VIA, con due successive campagne annuali svolte su base volontaria tra il 2015 e il 2017. Il monitoraggio, si è articolato su 5 radure, tra i 7 e i 9 metri di profondità, contenenti una o più stazioni, per un numero complessivo di 6 stazioni.

Materiali e Metodi

In ragione della minore superficie trapiantata rispetto a S. Marinella, le attività svolte nell'ambito di questo progetto hanno consentito il monitoraggio di tutte le stazioni su cui si erano articolati sia il monitoraggio quinquennale prescritto nel Decreto VIA, sia le due successive campagne svolte su base volontaria da Econ s.r.l., già esecutrice del trapianto e del monitoraggio prescritto per conto di Ischia Gas.

Una sola stazione di trapianto è individuata in ciascuna delle 4 Radure (R2, R3, R7) indagate, da cui prende il nome, ad eccezione della la Radura R6, la quale è caratterizzata da due stazioni di trapianto (rispettivamente R6A e R6B). La radura R8 non è stata monitorata perché completamente persa in origine poco dopo le attività di trapianto nel 2009 (Figura 15e Tabella 11). In totale si sono monitorate 5 stazioni di trapianto e 4 stazioni di controllo nelle rispettive praterie naturali adiacenti all'area di trapianto (nel testo il termine "stazione" e "area" sono da intendersi come sinonimi).

Analogamente a quanto riportato per il monitoraggio di S, Marinella, ogni stazione di monitoraggio è indagata attraverso il monitoraggio di 20 moduli (il modulo rappresenta la cornice in cemento con rete metallica) opportunamente marcati in fase di posa. Il monitoraggio è stato condotto secondo lo schema rappresentato in Figura 16.

Nel 2018 (primo anno di monitoraggio SEPOSSO) le indagini di campo si sono svolte dal 17 al 20 settembre, in analogia con quanto eseguito nel monitoraggio di S. Marinella. Di seguito si riportano i parametri monitorati oggetto delle analisi del presente Report:

- Numero di fasci per modulo: conteggio del numero di fasci per modulo nelle stazioni di trapianto;
- Parametri fenologici: determinazione della lunghezza, della larghezza e del tessuto bruno della foglia più lunga (*sensu* Giraud, 1977) in cinque fasci sia nelle stazioni di trapianto che nelle stazioni della prateria naturale mediante monitoraggio non distruttivo;

Nel 2019 (secondo anno di monitoraggio SEPOSSO) le indagini di campo si sono svolte dal 23 al 25 settembre. in analogia con quanto eseguito nel monitoraggio di S. Marinella. Di seguito si riportano esclusivamente le attività eseguite oggetto del presente Report:

- Densità fogliare: stime di densità fogliare sia nelle aree di trapianto, all'interno di un'area circoscritta di 10 x 10 m, che nelle aree della prateria naturale, mediante conte di fasci in quadrati 40 x 40 cm posizionati *random* (numero di quadrati in ciascuna stazione variabile da 5 a 20) (Panayotidis *et al.*, 1981);

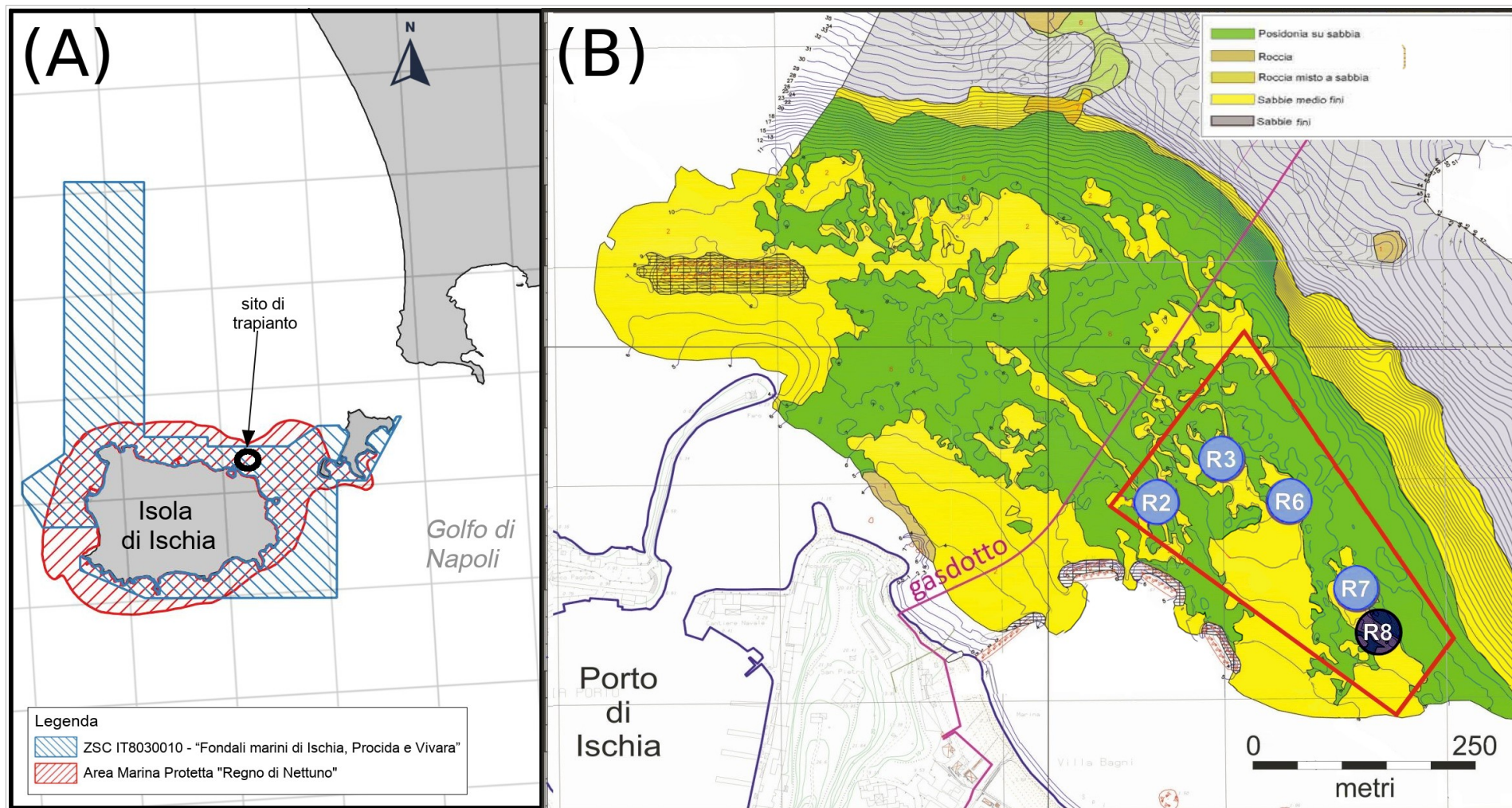


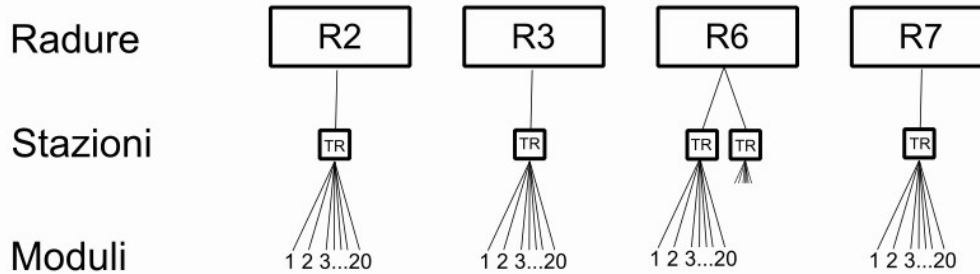
Figura 15 - Ischia - (A) Inquadramento del sito di trapianto e (B) dettaglio delle radure di trapianto oggetto di monitoraggio. In blu evidenziate le radure monitorate dal progetto SEPOSSO nel 2018 e 2019. La stazione R8 è esclusa in quanto è risultata completamente distrutta a partire dall'autunno 2010.

Tabella 11 - Coordinate e profondità delle stazioni di trapianto (R.2, R.3, R.6A, R.6B, R.7) e della prateria naturale (R2_nat, R3_nat, R6_nat, R7_nat), Ischia. La stazione R8 è risultata completamente distrutta a partire dall'autunno 2010.

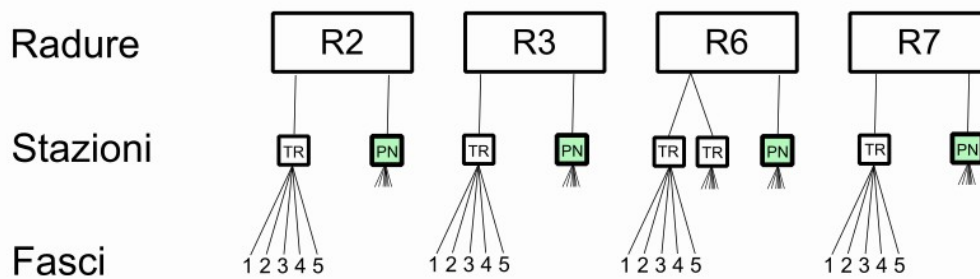
ID Radura	ID Stazione	ID Stazione (denominazione utilizzata nei report di monitoraggio per la verifica delle ottemperanze)	Coordinate E (UTM - fuso 33T)	Coordinate N (UTM - fuso 33T)	profondità (m)
R.2	R2	M.1	0411199 E	4511207 N	7,5
R.3	R3	M.2	0411267 E	4511253 N	9
	R3_nat	PN.1	411267 E	4511255 N	9
R.6	R6A	M.3	0411312 E	4511228 N	8,5
	R6B	M.4	0411316 E	4511208 N	9
	R6_nat	PN.2	411294 E	4511230 N	9
R.7	R7	M.5	0411392 E	4511112 N	8,5
	R7_nat	PN.3	411397 E	4511105 N	9
R.8	R8	M.6	411414 E	4511253 N	7

Ischia - monitoraggio 2018

Numero di fasci per modulo



Parametri fenologici



Ischia - monitoraggio 2019

Densità fogliare

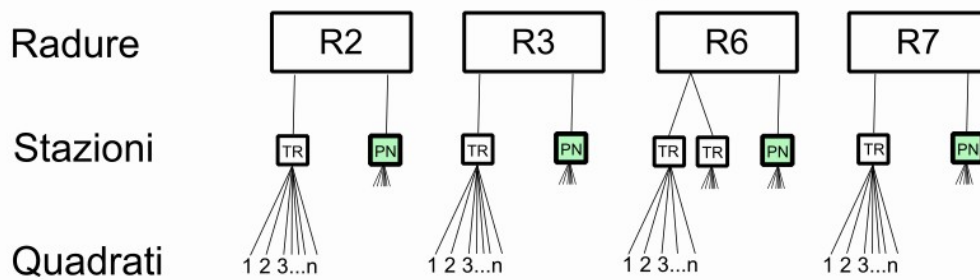


Figura 16 - Schema di campionamento dei parametri indagati nel sito di Ischia nei monitoraggi del 2018 e 2019. TR: stazione di trapianto; PN: stazione di prateria naturale. La radura R8 non è inclusa in quanto completamente distrutta nell'autunno 2010.

Analisi statistiche

Per ciascuna variabile oggetto di indagine, al fine di testare statisticamente le differenze tra i termini a confronto, sono stati utilizzati i seguenti test statistici parametrici e non-parametrici:

- **Numero di fasci per modulo:**
 - test di Kruskal-Wallis (uguaglianza delle mediane tra stazioni di trapianto), seguito da
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra) con correzione di Bonferroni.

- **Densità fogliare:**
 - test di Kruskal-Wallis (uguaglianza delle mediane tra stazioni di trapianto e di prateria naturale), seguito da
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra) con correzione di Bonferroni;
 - test di t Student (uguaglianza delle medie tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)
 - test di Mann-Whitney (uguaglianza delle mediane tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)
 - test di Kolmogorov-Smirnov (uguaglianza delle distribuzioni tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)

- **Parametri fenologici (lunghezza foglia, larghezza foglia, larghezza tessuto bruno):**
 - test di Mann-Whitney (uguaglianza delle mediane tra totale delle aree di trapianto e di prateria naturale)

Risultati

Analisi dei fasci fogliari nei moduli di trapianto

Delle sei stazioni originariamente previste, una è andata completamente distrutta (Radura 8) a causa di una mareggiata già nel 2010 (comm. pers. Econ S.r.L.) e quindi nelle tabelle e figure che seguono il suo posto è vuoto, a testimoniare il suo azzeramento, che tuttavia concorre, ovviamente con valori nulli, a tutti i calcoli che riguardano la valutazione del trapianto.

L'andamento del numero di fasci per modulo di trapianto è mostrato nella Figura 17. Nella prima parte delle serie storiche mostrate, fino a metà 2010, si può notare un incremento molto rapido del numero di fasci per modulo in tutte le stazioni, a differenza di quanto osservato a S. Marinella, dove erano state rilevate fallanze nel corso dei primi mesi. Il diverso risultato iniziale è certamente legato all'esperienza tecnica acquisita in precedenza a S. Marinella e trasferita alle attività di Ischia, ma anche al fatto che a Ischia le operazioni di espianto e di trapianto sono state svolte esclusivamente da qualificati operatori subacquei con conoscenze dei sistemi biologici ed ecologici marini e con esperienza specifica nel manipolare fasci o talee di Posidonia nei trapianti e con l'impiego di Operatori Tecnici Subacquei (OTS) generici solo in alcune operazioni che non comportavano la manipolazione di materiale biologico. Anche la preparazione delle talee è stata eseguita da biologi qualificati e con esperienza specifica, con tempi di manipolazione e trasporto molto ridotti.

Purtroppo, nell'autunno del 2010 tutto il sito è stato interessato da una mareggiata da maestrale di eccezionale intensità, che ha causato danni in tutte le aree trapiantate, ma soprattutto in quella etichettata come R8, che è andata quasi completamente distrutta, con perdita di tutti i moduli marcati per il monitoraggio periodico, che costituiscono la quasi totalità di quelli in cui ad oggi c'è stata una mortalità totale delle talee. Questo evento sottolinea l'importanza di piccoli trapianti-pilota per valutare l'idoneità dei siti, anche se gli eventi eccezionali, come quello che ha causato i danni di cui sopra, non possono certo essere prevedibili su un'ampia scala temporale.

In Figura 17 i simboli vuoti al termine delle serie sono relativi ai dati acquisiti nell'ambito di questo progetto nel 2018. Si noti la modesta dispersione delle curve di accrescimento del numero di fasci per modulo, con la sola eccezione della stazione R2, in cui si sono concentrati i risultati meno soddisfacenti.

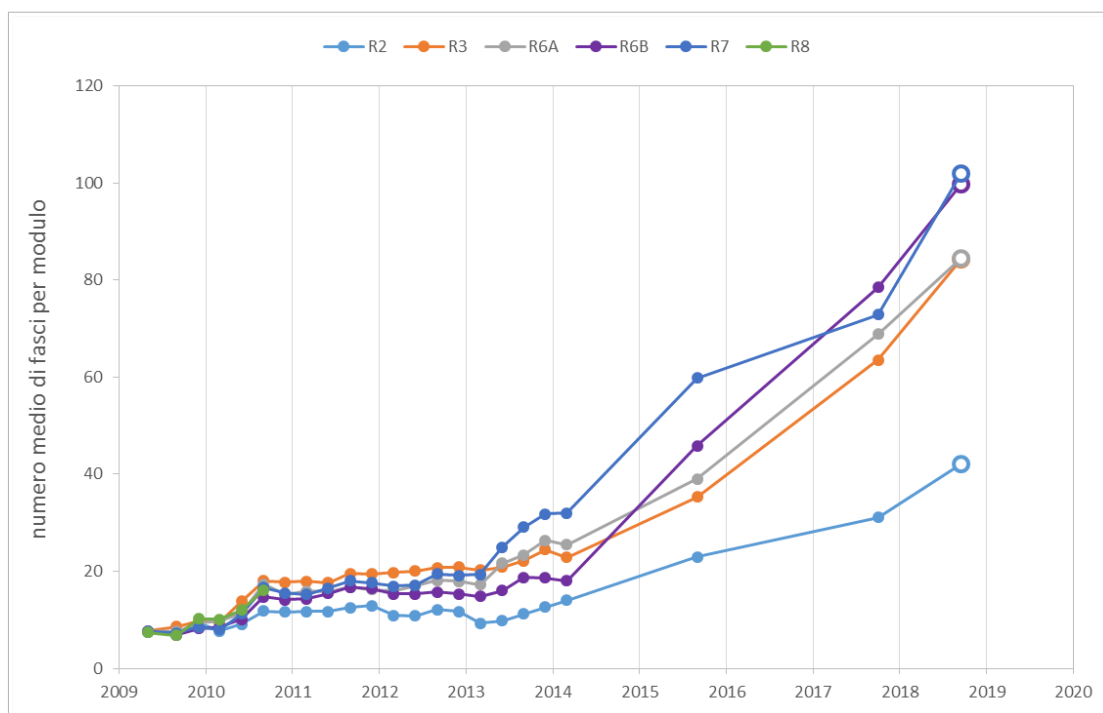


Figura 17 - Andamenti del valore medio del numero di fasci per modulo per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO (6 stazioni). I simboli vuoti sono relativi ai dati acquisiti nell'ambito di SEPOSSO nel 2018 per 5 stazioni. La sesta stazione R8 è risultata completamente distrutta a partire dall'autunno 2010.

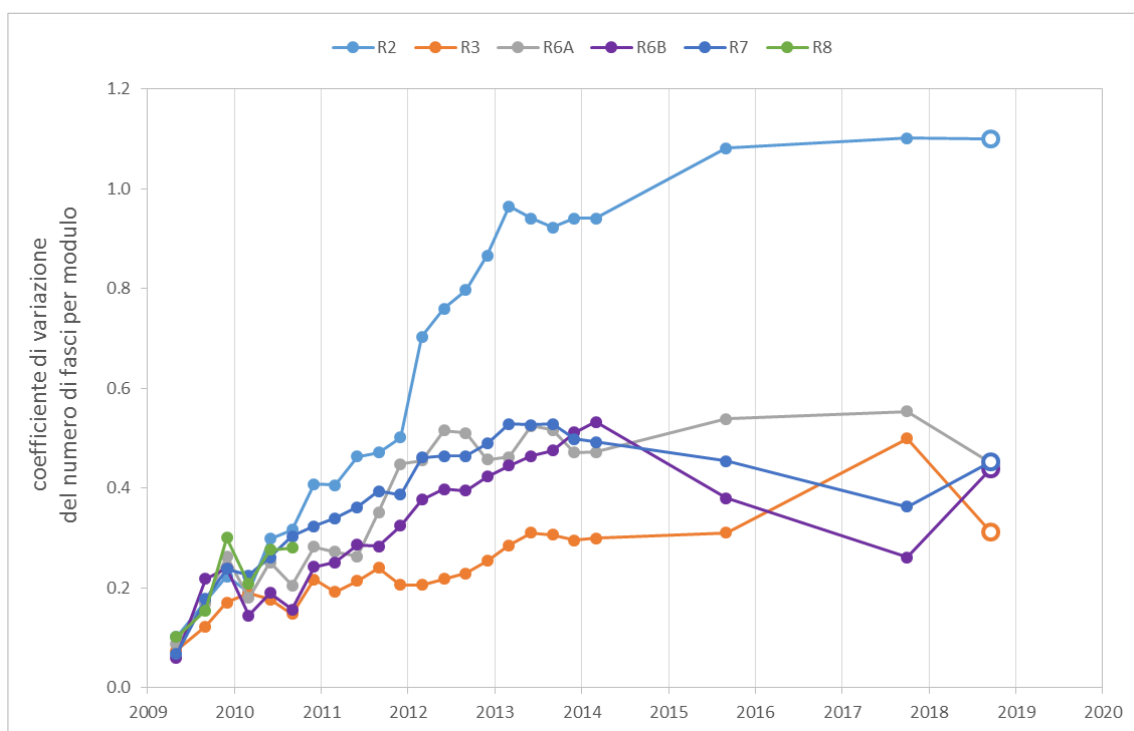


Figura 18 - Andamenti del coefficiente di variazione del numero di fasci per modulo per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO (6 stazioni). I simboli vuoti sono relativi ai dati acquisiti nell'ambito di SEPOSSO nel 2018 per 5 stazioni. La sesta stazione R8 è risultata completamente distrutta a partire dall'autunno 2010.

Ovviamente, volendo comparare i risultati del trapianto di Ischia (Figura 17) con quelli di S. Marinella (Figura 4), il confronto va fatto a parità di età del trapianto, quindi i dati 2018 di Ischia vanno rapportati a quelli 2014 di S. Marinella, ed è facile rilevare come i primi siano ampiamente migliori, superando gli 80 fasci per modulo (quindi con un incremento di un ordine di grandezza netto) in 4 stazioni sulle 5 superstiti.

In analogia a quanto osservato per il sito di S. Marinella, anche ad Ischia l'andamento nel tempo del coefficiente di variazione del numero di fasci per modulo tende a stabilizzarsi dopo i primi 5 anni, solamente la stazione R2 impiega un po' più di tempo (Figura 18).

Il fenomeno deriva dall'aumento regolare delle densità a cui non fa riscontro un incremento della mortalità, che si esprime eventualmente solo nelle fasi iniziali dello sviluppo di un'area trapiantata.

L'andamento complessivo di tutto il trapianto di Ischia, che ovviamente include nel computo anche i dati nulli relativi alla stazione R8, è mostrato nella Figura 19. Si noti come nel complesso i primi anni siano stati di consolidamento e di assorbimento delle perdite legate a fattori esogeni (a parte la citata mareggiata, soprattutto ancoraggi), mentre poi la moltiplicazione dei fasci è iniziata con ritmo regolare dal 4° anno in poi. I moduli persi complessivamente nel sito di S. Marinella, sia per danni meccanici o per morte di tutti i fasci, sono stati stimati nel 2019 al 25%.

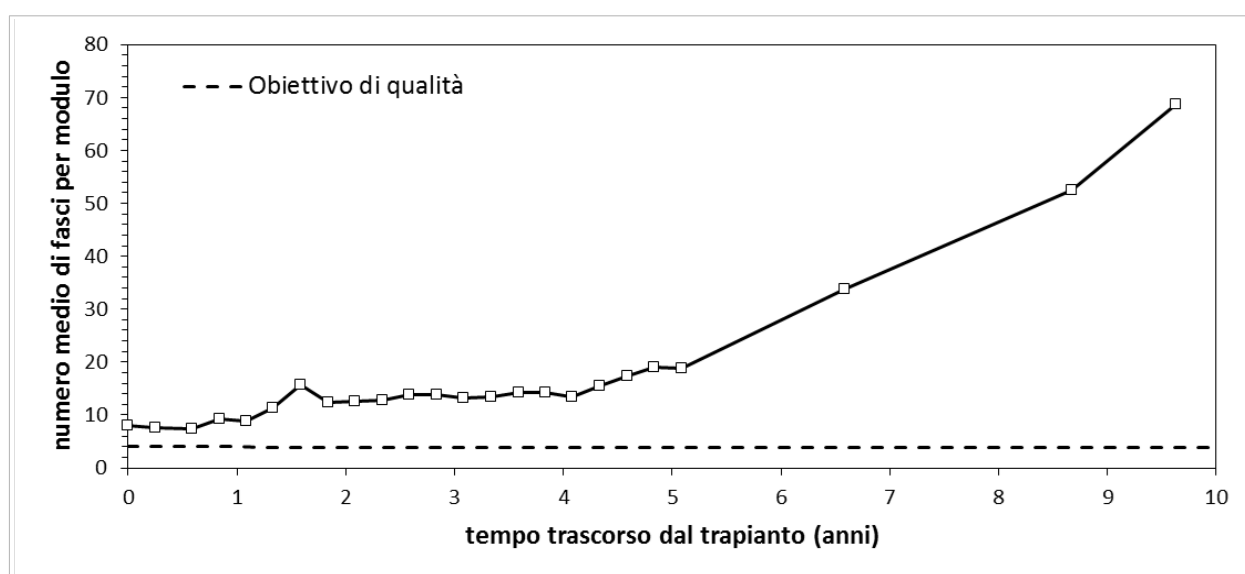


Figura 19 - Andamento complessivo del numero di fasci medio per modulo sull'intero sito di trapianto (6 stazioni) in relazione al numero di anni trascorsi dalla prima campagna di monitoraggio. L'obiettivo di qualità (linea tratteggiata) si riferisce a quanto prescritto dal MATTM nel decreto VIA.

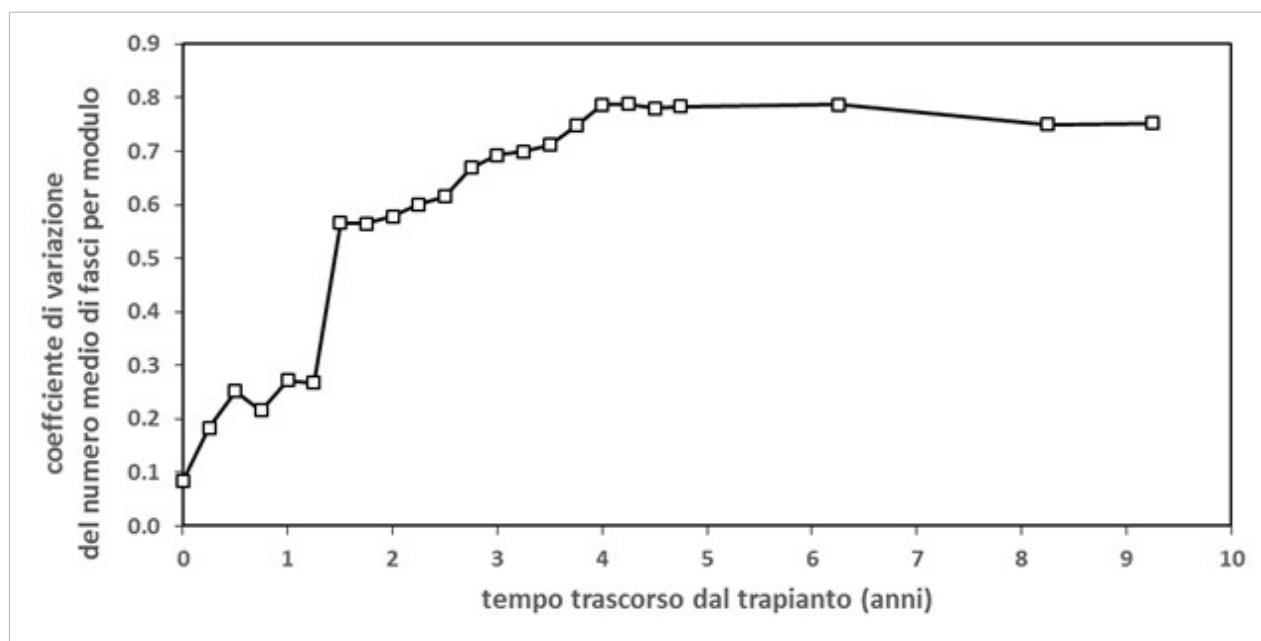


Figura 20 - Andamento complessivo del coefficiente di variazione per il numero di fasci medio per modulo sull'intero sito di trapianto (6 stazioni) in relazione al numero di anni trascorsi dalla prima campagna di monitoraggio.

L'andamento del coefficiente di variazione è mostrato in Figura 20 e ricalca quanto fin qui riferito, ovvero un rapido aumento iniziale, con un forte salto in occasione dell'evento meteo-marino estremo di cui si è detto per l'inverno 2010-2011, ed il raggiungimento di valori costanti dopo il 4° anno. Quest'ultima fase coincide con l'inizio della crescita lineare del numero di fasci per modulo di trapianto su tutta l'area trapiantata (ed eccezione, ovviamente, della stazione R8).

Venendo alle caratteristiche delle diverse aree trapiantate così come sono state rilevate nell'ambito della campagna SEPOSSO 2018, la Figura 21 mostra sotto forma di box-plot la distribuzione dei numeri di fasci per modulo nelle diverse stazioni.

Come si può notare, la stazione R2 ha il numero più basso di fasci per modulo, con una mediana pari a 31, ma la ragione di ciò sta anche nella presenza di alcuni moduli persi (ovvero con sopravvivenza nulla dei fasci), che si accompagnano ad altri con valori anche molto elevati. Le altre stazioni hanno invece tutte un numero decisamente più elevato di fasci per modulo, con mediane che si collocano fra 80 e 100, all'incirca (Figura 21). Fra queste ultime i valori medi e mediani, ma anche massimi, più elevati si osservano nelle stazioni R6B e R7.

Le statistiche descrittive di base per tutte le stazioni sono riportate nella Tabella 12, mentre nella Tabella 13 è mostrato il risultato del test di Kruskal-Wallis impostato sull'ipotesi nulla di uguali mediane nelle diverse stazioni (con l'ovvia esclusione della stazione R8), che viene rigettata.

A complemento del test di Kruskal-Wallis è stato anche effettuato un test a coppie a posteriori di Mann-Whitney, i cui risultati sono mostrati nella Tabella 14 sotto forma di livelli di probabilità associati all'ipotesi nulla, con correzione di Bonferroni a compensarne la non-indipendenza. Come era prevedibile in base ai box-plot in Figura 21, l'unica stazione che mostra differenze significative dalle rimanenti è la R2, che risulta significativamente meno densa, in termini di fasci per modulo, ovviamente a causa dei moduli a sopravvivenza nulla, che sono ben 9 su 20.

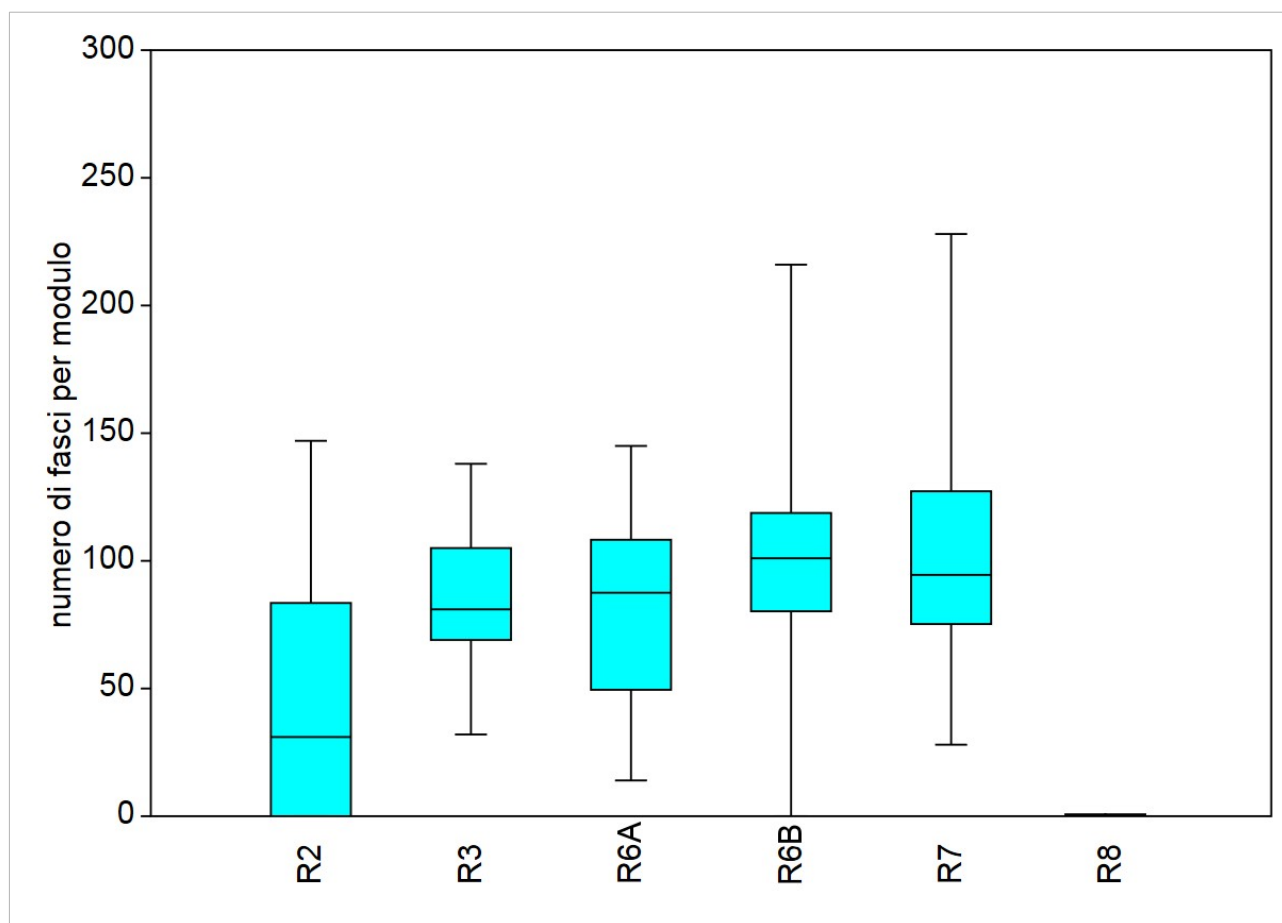


Figura 21 - Box plot della distribuzione del numero di fasci per modulo per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO (5 stazioni) durante il monitoraggio del 2018. La stazione R8 è risultata completamente distrutta a partire dall'autunno 2010.

Tabella 12 - Statistiche riassuntive del numero di fasci per modulo per ogni stazione di monitoraggio considerata ai fini dell'attività SEPOSSO (5 stazioni) durante il monitoraggio del 2018. La stazione R8 è risultata completamente distrutta a partire dall'autunno 2010.

	R2	R3	R6A	R6B	R7	R8
N	20	20	20	20	20	20
Min	0	32	14	0	28	0
Max	147	138	145	216	228	0
Sum	842	1686	1691	1994	2037	0
Mean	42.10	84.30	84.55	99.70	101.85	0
Std. error	10.35	5.87	8.51	9.79	10.32	0
Variance	2141.04	689.59	1448.05	1915.48	2128.35	0
Stand. dev	46.27	26.26	38.05	43.77	46.13	0
Median	31.00	81.00	87.50	101.00	94.50	0
25 prcntil	0.00	69.00	49.50	80.25	75.25	0
75 prcntil	83.50	105.00	108.25	118.75	127.25	0
Skewness	0.67	0.17	-0.23	0.17	0.98	0
Kurtosis	-0.64	-0.14	-0.78	2.72	1.96	0
Coeff. var	109.91	31.15	45.01	43.90	45.30	0
std err	10.35	5.87	8.51	9.79	10.32	0
conf low	20.44	72.01	66.74	79.22	80.26	0
conf high	63.76	96.59	102.36	120.18	123.44	0

Tabella 13 - Risultati del test di Kruskal-Wallis per le differenze nel numero di fasci per modulo tra le 5 stazioni esaminate nel 2018. La stazione R8 è esclusa in quanto completamente distrutta a partire dall'autunno 2010. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	19.12
Hc (tie corrected):	19.15
p (same):	0.000735
There is a significant difference between sample medians	

Tabella 14 - Risultati del test di Mann-Whitney per le differenze nel numero di fasci per modulo tra le 5 stazioni esaminate nel 2018. La stazione R8 è esclusa in quanto completamente distrutta a partire dall'autunno 2010. In rosso i valori significativi.

Mann-Whitney test					
	R2	R3	R6A	R6B	R7
R2		0.04087	0.04661	0.00414	0.00521
R3	0.04087		1	0.88160	1
R6A	0.04661	1		1	1
R6B	0.00414	0.88160	1		1
R7	0.00521	1	1	1	

Analisi della densità fogliare (aree di trapianto vs prateria naturale)

Così come nel sito di S. Marinella, nel 2019 le conte dei fasci presenti nei moduli-campione sono state sostituite da misure di densità effettuate con le medesime modalità di quelle normalmente utilizzate nelle praterie naturali. Il risultato è mostrato sotto forma di box-plot in Figura 22. L'ordine di grandezza delle densità rilevate nella prateria naturale e nelle aree trapiantate è simile, ma con delle differenze degne di essere menzionate e statisticamente significative.

L'ipotesi di uguali mediane nelle aree esaminate (che erano sia naturali che trapiantate) è stata sottoposta al test di Kruskal-Wallis (Tabella 15) e rigettata. Tuttavia, il test *a posteriori* di Mann-Whitney (Tabella 16) mostra che non sono presenti differenze significative fra aree trapiantate e aree naturali, mentre significativamente differenti risultano due aree trapiantate molto diverse fra loro nei risultati del trapianto, ovvero la stazione R7, che ha la massima densità mediana in assoluto, e la stazione R3, che ha la minima densità mediana in assoluto.

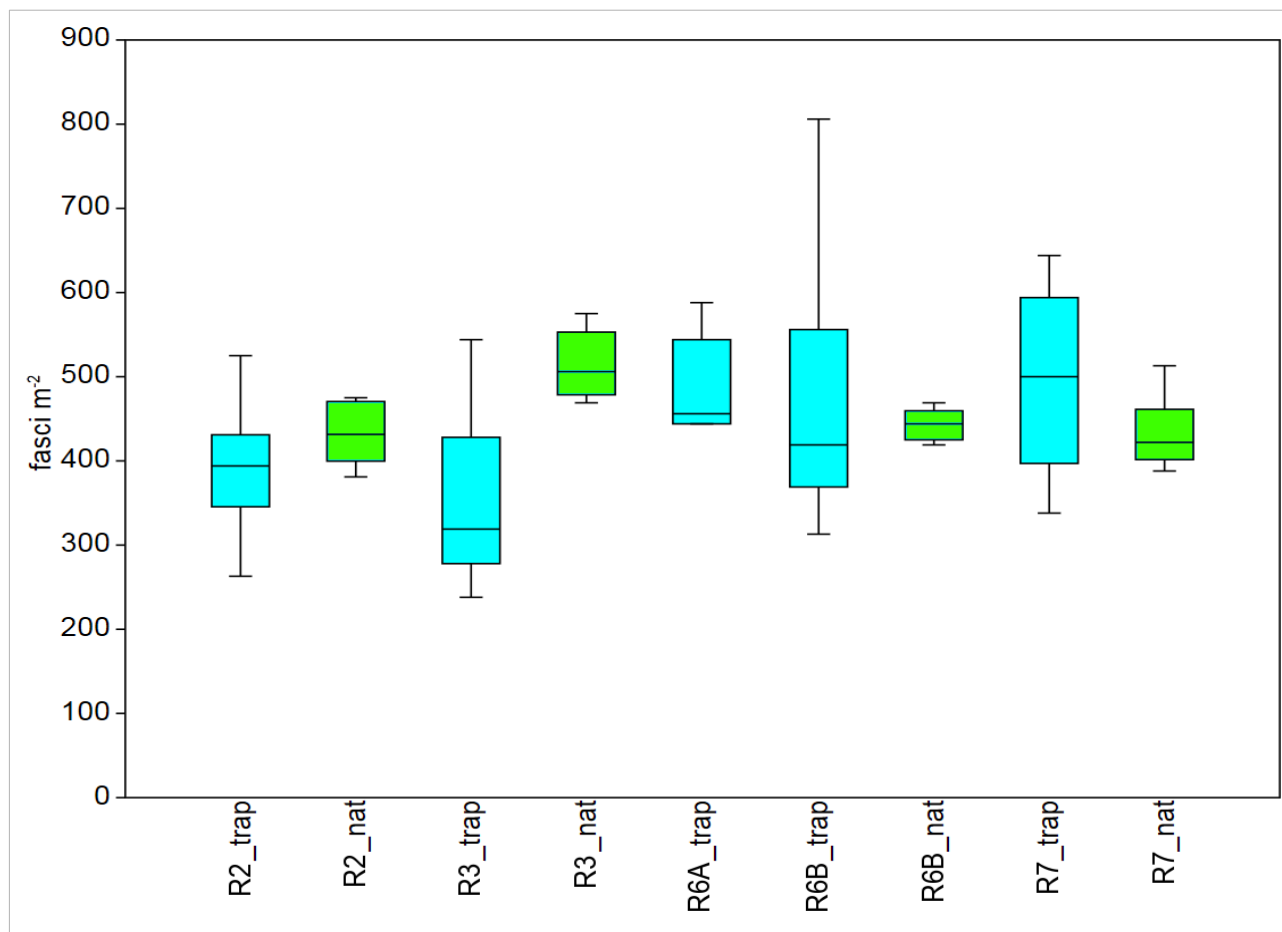


Figura 22 - Box-plot del numero di fasci · m² per stazione di monitoraggio divisi fra area trapiantata (trap) e prateria naturale (nat) nel 2019.

Non essendo disponibili misure di densità della prateria naturale nella stazione R6A, è possibile effettuare solo tre confronti tra stazioni di trapianto e corrispondenti stazioni di prateria naturale. In questi tre confronti, due mostrano una minore densità mediana nelle aree trapiantate, ovvero la R2 e la R6B, mentre la R7, come si è detto, è più densa nelle aree trapiantate. Nessuna di queste differenze, tuttavia, è significativa al test *a posteriori* di Mann-Whitney dopo aver applicato la correzione di Bonferroni, necessaria a causa della non-indipendenza dei confronti multipli.

Tabella 15 - Risultati del test di Kruskal-Wallis per le differenze nel numero di fasci · m² tra stazioni di trapianto e di prateria naturale nel 2019. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	23.18
Hc (tie corrected):	23.20
p (same):	0
There is a significant difference between sample medians	

Tabella 16 - Risultati del test di Mann-Whitney per le differenze nel numero di fasci $\cdot m^{-2}$ tra tra stazioni di trapianto (trap) e di prateria naturale (nat) nel 2019. In rosso i valori significativi.

Mann-Whitney test									
	R2_trap	R2_nat	R3_trap	R3_nat	R6A_trap	R6B_trap	R6B_nat	R7_trap	R7_nat
R2_trap		1	1	0.4728	0.8344	1	1	0.5328	1
R2_nat	1		1	0.6252	1		1	1	1
R3_trap	1	1		0.4463	0.8197	0.2794	1	0.0325	1
R3_nat	0.4728	0.6252	0.4463		1	1	0.5749	1	1
R6A_trap	0.8344	1	0.8197	1		1	1	1	1
R6B_trap	1		0.2794	1	1		1	1	1
R6_nat	1	1	1	0.5749	1	1		1	1
R7_trap	0.5328	1	0.0325	1	1	1	1		1
R7_nat	1	1	1	1	1	1	1	1	

Per analizzare nel complesso le densità della prateria naturale e quelle rilevate nelle aree trapiantate, è utile fare riferimento alla distribuzione dei valori relativi a tutte le conte effettuate, che è riportata in Figura 23. Come già nel caso di S. Marinella, la distribuzione dei valori relativi alle aree trapiantate mostra una maggiore dispersione rispetto alla prateria naturale (Figura 23). La differenza fra le medie e quella fra le mediane non risultano significative (test di *t* di Student e test di Mann-Whitney, rispettivamente, Tabella 17), a differenza di quanto rilevato a S. Marinella. Nel caso di Ischia, solo la forma della distribuzione delle densità è significativamente diversa fra aree trapiantate e prateria naturale (test di Kolmogorov-Smirnov), con queste ultime di gran lunga meno variabili fra loro (Tabella 17).

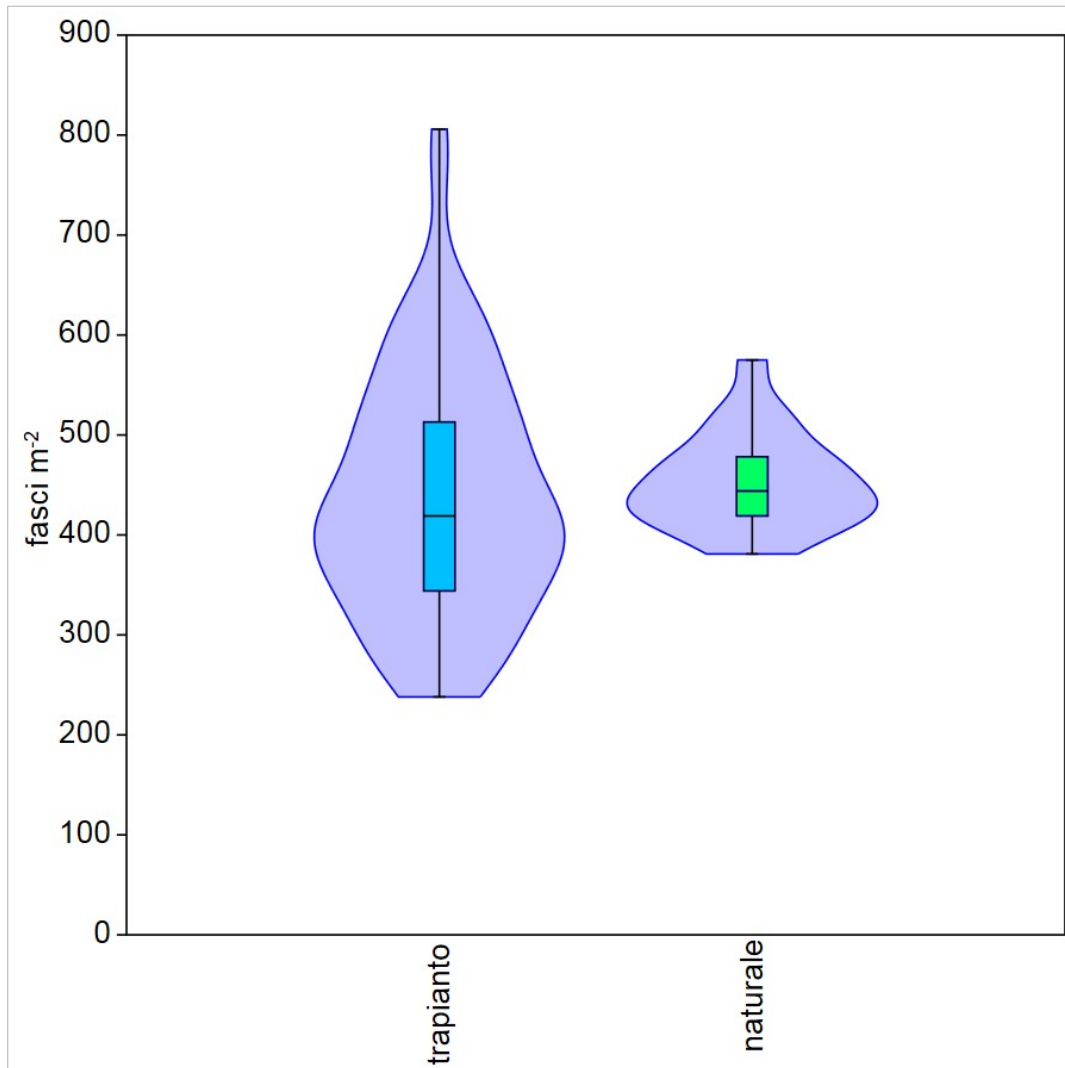


Figura 23 - Box-plot e distribuzione del numero di fasci · m⁻² tra sito di trapianto e prateria naturale nel 2019.

Tabella 17 - A) Risultati del test t di Student (confronto tra medie), B) del test Mann-Whitney (confronto tra mediane) e C) del test di Kolmogorov-Smirnov (confronto tra distribuzioni) del numero di fasci $\cdot m^{-2}$ tra stazioni di trapianto e di prateria naturale nel 2019. In rosso i valori significativi.

A)						
Tests for equal means						
	trapianto			naturale		
N:	71			N:	22	
Mean:	437.49			Mean:	453.23	
95% conf.:	(408.83 466.16)			95% conf.:	(431.93 474.52)	
Variance:	14664			Variance:	2306.7	
Difference between means:	15.734					
95% conf. interval (parametric):	(-36.944 68.413)					
95% conf. interval (bootstrap):	(-17.99 49.805)					
t :	0.59331			p (same mean):	0.55445	
Uneq. var. t :	0.89166			p (same mean):	0.37508	
Monte Carlo permutation:	p (same mean) 0.5547					
B)						
Tests for equal medians						
	trapianto			naturale		
N:	71			N:	22	
Mean rank:	34.43			Mean rank:	12.57	
Mann-WhitnU :	646					
z :	1.2165		p (same med.):	0.22378		
Monte Carlo permutation:	p (same med.) 0.2242					
C)						
Kolmogorov-Smirnov test for equal distributions						
	trapianto			naturale		
N:	71			N:	22	
D :	0.33163		p (same dist.):	0.037985		
Monte Carlo permutation:	p (same dist.) 0.0260					

Analisi dei parametri fenologici (aree di trapianto vs prateria naturale)

Il confronto fra caratteristiche delle stazioni delle aree trapiantate e della prateria naturale adiacente è stato effettuato, così come a S. Marinella, per la lunghezza della foglia adulta più lunga, per la larghezza della stessa e per l'estensione del tessuto bruno.

In Tabella 14 e Figura 24 è riportato il risultato relativo alla lunghezza delle foglie. E' del tutto evidente che la prateria naturale è caratterizzata da foglie significativamente più lunghe ed i potenziali motivi sono quelli già discussi nel caso di S. Marinella.

Un discorso del tutto analogo vale per la larghezza delle foglie (Tabella 19 e Figura 25), mentre la lunghezza del tessuto bruno non mostra differenze significative tra aree trapiantate e prateria naturale adiacente, anche se le prime sono certamente caratterizzate da una dispersione dei valori intorno alle grandezze centrali molto più ampia della prateria naturale (Tabella 20 e Figura 26).

Quest'ultimo risultato, a differenza dei due immediatamente precedenti, si discosta da quanto osservato nel caso del trapianto di S. Marinella. Tuttavia, i dati sono stati acquisiti in momenti stagionali leggermente diversi nei due siti e quindi sarebbe inadeguato trarre conclusioni dal confronto di questo specifico risultato.

E' certamente possibile, però, concludere che non necessariamente le foglie di fasci originati da trapianti hanno una maggiore estensione di tessuto bruno. E' anche utile ricordare come quest'ultima caratteristica può dipendere da una più lunga persistenza del tessuto bruno o da una maggiore velocità di formazione dello stesso. Si tratta, dunque, di un processo certamente rilevante, ma che è tutt'altro che banale da studiare sia in praterie naturali che in aree trapiantate.

Tabella 18 - A) Statistiche riassuntive e B) test di Mann-Whitney per le differenze nella lunghezza delle foglie nelle aree trapiantate (L trap) e nella prateria naturale (L nat) durante il monitoraggio del 2018. In rosso i valori significativi.

A)			
	L trap	L nat	
N	25	20	
Min	20	27	
Max	59	88	
Sum	845	1328	
Mean	33.80	66.40	
Std. error	2.10	3.09	
Variance	110.67	190.54	
Stand. dev	10.52	13.80	
Median	31.00	67.00	
25 prcntil	26.50	60.25	
75 prcntil	40.50	73.00	
Skewness	0.91	-1.08	
Kurtosis	0.15	2.67	
Coeff. var	31.12	20.79	
B)			
Tests for equal medians			
	L trap	L nat	
N:	25	N: 20	
Mean rank:	7.73	Mean rank: 15.27	
Mann-WhitnU:	23.00		
z :	5.1765	p (same med.):	2.26E-07
Monte Carlo permutation:	p (same med.) 0.0001		

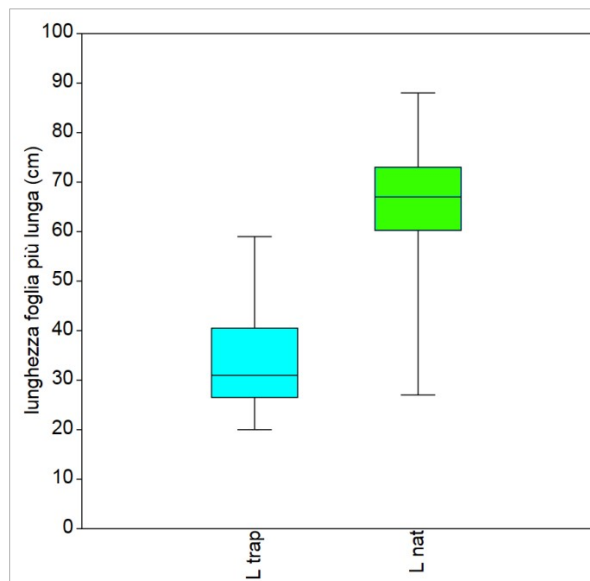


Figura 24 - Box plot della lunghezza delle foglie nelle aree trapiantate (L trap) e nella prateria naturale (L nat) durante il monitoraggio del 2018.

Tabella 19 - A) Statistiche riassuntive e B) test di Mann-Whitney per le differenze nella larghezza delle foglie nelle aree trapiantate (W trap) e nella prateria naturale (W nat) durante il monitoraggio del 2018. In rosso i valori significativi.

A)		
	W trap	W nat
N	25	20
Min	0.8	0.8
Max	1	1
Sum	20.6	18.7
Mean	0.824	0.935
Std. error	0.012	0.013
Variance	0.004	0.003
Stand. dev	0.060	0.059
Median	0.800	0.900
25 prcntil	0.800	0.900
75 prcntil	0.800	1.000
Skewness	2.443	-0.212
Kurtosis	4.969	-0.552
Coeff. var	7.248	6.280
B)		
Tests for equal medians		
	W trap	W nat
N:	25	N: 20
Mean rank:	8.46	Mean rank: 14.54
Mann-WhitnU:	55.50	
z :	4.8107	p (same med.): 1.50E-06
Monte Carlo permutation:	p (same med.) 0.0001	

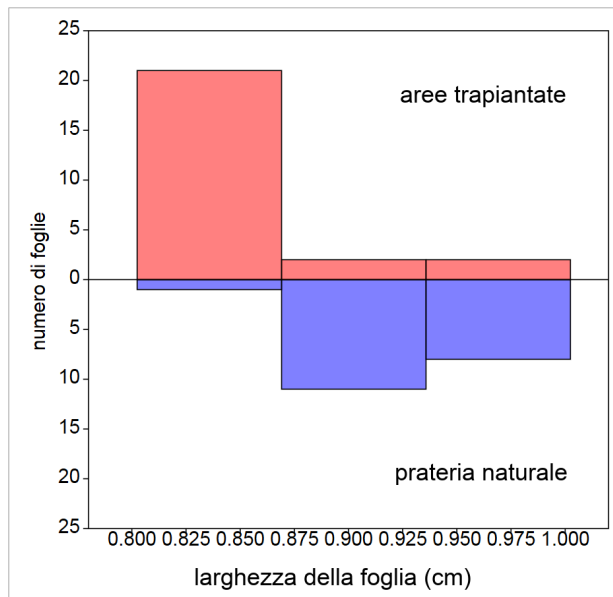


Figura 25 - Istogramma invertito della distribuzione della larghezza delle foglie nelle aree trapiantate (rosso) e nella prateria naturale (blu) durante il monitoraggio del 2018.

Tabella 20 - A) Statistiche riassuntive e B) test di Mann-Whitney per le differenze nella lunghezza del tessuto bruno nelle aree trapiantate (BR trap) e nella prateria naturale (BR nat) durante il monitoraggio del 2018.

A)			
	br trap	br nat	
N	25	20	
Min	0	1.5	
Max	34	23	
Sum	269	176.3	
Mean	10.76	8.82	
Std. error	1.90	1.15	
Variance	89.86	26.66	
Stand. dev	9.48	5.16	
Median	7.00	7.50	
25 prcntil	2.50	6.13	
75 prcntil	20.00	10.38	
Skewness	0.89	1.48	
Kurtosis	-0.31	2.32	
Coeff. var	88.10	58.57	
B)			
Tests for equal medians			
	br trap	br nat	
N:	25	N: 20	
Mean rank:	12.59	Mean rank: 10.41	
Mann-WhitnU:	241.50		
z :	0.18298	p (same med.):	0.85481
Monte Carlo permutation:	p (same med.) 0.8516		

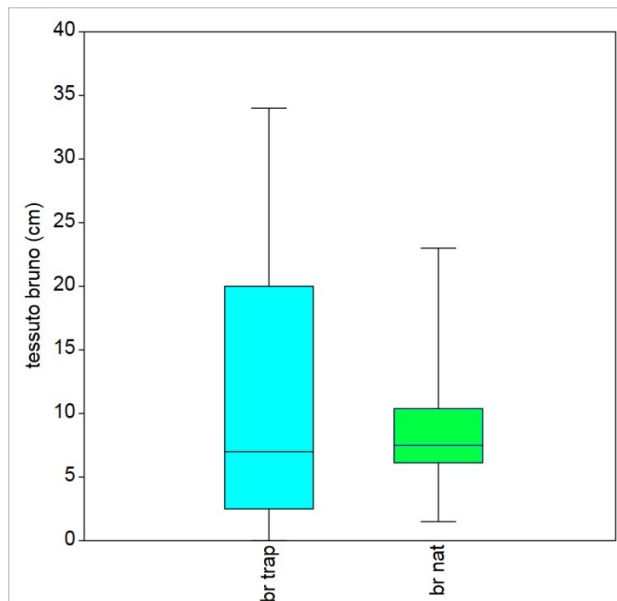


Figura 26 - Box plot della lunghezza del tessuto bruno nelle aree trapiantate (BR trap) e nella prateria naturale (BR nat) durante il monitoraggio del 2018.

SITO DI TRAPIANTO DI PRIOLO (SICILIA)

Contesto del trapianto

Il trapianto effettuato a Priolo è stato realizzato nel 2014 nell'ambito di un Progetto di Ricerca e Formazione "TETIDE" (PON 01_03112) (A.A.V.V LIFE SEPOSSO Report Azione B1-2).

Il trapianto è stato realizzato dal Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DISTEM) Università di Palermo su una superficie complessiva di 2.500 m² alla profondità di 12 m, e si trova all'interno del Sito di Importanza Nazionale (SIN) di Priolo Gargallo (SR), compreso nella fascia costiera interessata dalle attività del Polo Petrochimico di Priolo Melilli-Augusta (Figura 27).

La scelta della prateria donatrice è stata effettuata sulla base dei seguenti criteri: distanza dal sito ricevente; profondità, rapporto rizomi plagiotropi/ortotropi, qualità della prateria definita sulla base di parametri strutturali e fenologici rilevati da dati raccolti, informazioni bibliografiche. La prateria scelta si trova in località Cala Madonna (Augusta), ad una distanza di circa 8,5 Km dal sito di intervento della sperimentazione e ad una profondità di 13 m, la stessa del sito di impianto.

Le superfici di intervento sono state indicate come idonee al trapianto da DISTEM Università di Palermo. Tali aree sono state individuate in base a rilievi bati-morfologici (mediante Multibeam Echosounder e Side Scan Sonar) e indagini sismo-acustiche di dettaglio mediante Sub-Bottom Profiler, unite a immersioni subacquee ad avviare indagini in situ volte a descrivere e a caratterizzare, sia mediante *visual census*, sia con prelievi di campioni (sia su substrati mobili, caratterizzati da sabbia organogena e matre morta di *P. oceanica* sia su substrati duri), i popolamenti fitobentonici presenti nell'area oggetto di studio. La selezione dell'area di trapianto, individuata mediante il PTSI (Indice Preliminare d'Idoneità al Trapianto) (Pirrotta *et al.*, 2015), è stata oggetto nel 2012 di impianti pilota, volti a verificare l'effettiva idoneità al trapianto.

Il supporto di trapianto utilizzato è costituito da moduli a vite con raggiera (chiamate anche "stelle"), a cui sono state assicurate inizialmente 10 talee, ciascuna con 3 fasci.

In questo caso è anche possibile differenziare la conta dei fasci dalla conta delle talee. Ovviamente, essendo la propagazione vegetativa l'obiettivo del trapianto, l'aumento del numero di fasci è l'obiettivo finale e la sopravvivenza delle talee è in un certo senso solo un obiettivo intermedio.

Il piano di monitoraggio originario, a seguito del trapianto, è stato eseguito quattro volte l'anno per una durata complessiva di circa due anni e prevedeva quattro aree (a, b, c, d) all'interno delle quali sono stati selezionati casualmente per il monitoraggio 24 moduli ciascuna. Per ulteriori informazioni sul piano di campionamento originario del Progetto si rimanda al Report "Final report on *Posidonia oceanica* transplanting case studies analysis" (A.A.V.V. 2019, Life SEPOSSO Azione A3)

Materiali e Metodi

Nell'ambito del progetto SEPOSSO, nel 2018 (9-13 luglio) e nel 2019 (21-24 maggio), in totale si sono monitorate 4 aree (a, b, c, d), Nelle aree "a", "b", "c" sono stati monitorati i 24 moduli del monitoraggio pregresso e marcati in fase di posa, (Figura 27, Figura 28 e Tabella 21). L'area "d" è stata quasi completamente distrutta subito dopo il trapianto nel 2014, perciò sono state monitorate solamente i moduli rimanenti.

Di seguito si riportano esclusivamente i parametri monitorati oggetto delle analisi del presente Report. Per ciascun modulo (stella) sono state registrate:

- Numero delle talee vive per modulo;
- Numero di talee per modulo: numero delle talee perse (differenziando in talee morte e talee distaccate);
- Numero di fasci fogliari per modulo

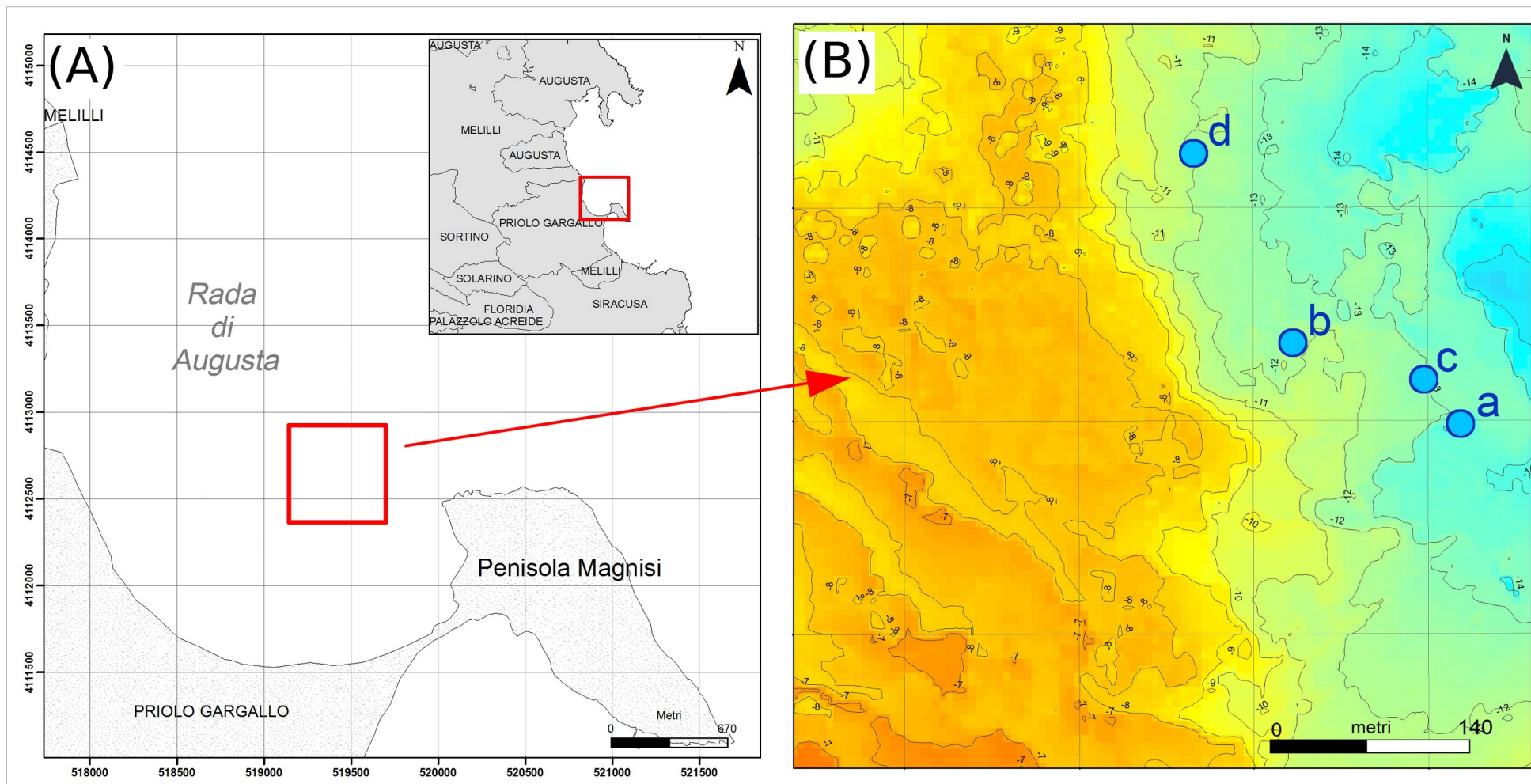


Figura 27 - Priolo - (A) Inquadramento del sito di trapianto e (B) dettaglio delle aree di trapianto oggetto di monitoraggio del progetto SEPOSSO nel 2018 e 2019.

Tabella 21 - Coordinate (UTM - fuso 33T) e profondità (m) delle aree di trapianto, Priolo.

ID Area	Coordinate N (UTM - fuso 33T)	Coordinate N (UTM - fuso 33T)	profondità (m)
Area a	4112641	519610	13
Area b	4112741	519440	13
Area c	4112611	519632	13
Area d	4112807	519444	13

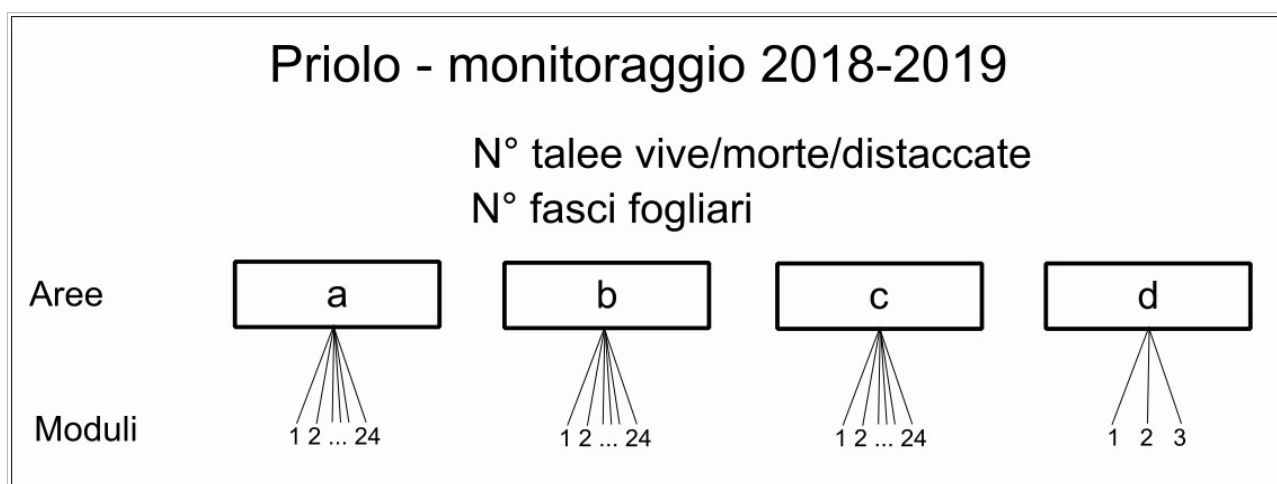


Figura 28 - Schema di campionamento dei parametri indagati nel sito di Priolo nei monitoraggi del 2018 e 2019. TR: stazione di trapianto. L'area "d" è stata quasi completamente distrutta dopo il trapianto.

Analisi statistiche

Per ciascuna variabile oggetto di indagine, al fine di testare statisticamente le differenze tra i termini a confronto, sono stati utilizzati i seguenti test statistici parametrici e non-parametrici:

- **condizioni delle talee:**
 - test di indipendenza χ^2 (condizioni delle talee x anni) sia per il complesso delle aree, sia per singola area
- **numero di talee per modulo:**
 - test di t Student (uguaglianza delle medie tra anni 2018 e 2019)
 - test di Mann-Whitney (uguaglianza delle mediane tra anni 2018 e 2019)
 - test di Kolmogorov-Smirnov (uguaglianza delle distribuzioni tra anni 2018 e 2019)
- **numero di fasci per modulo:**
 - test di t Student (uguaglianza delle medie tra anni 2018 e 2019)
 - test di Mann-Whitney (uguaglianza delle mediane tra anni 2018 e 2019)
 - test di Kolmogorov-Smirnov (uguaglianza delle distribuzioni tra anni 2018 e 2019)
 - test ANOVA a due vie (uguaglianza delle medie tra anni e aree)

Risultati

Analisi delle talee e dei fasci fogliari nei moduli di trapianto

Nel sito di Priolo si evidenzia la perdita quasi completa di un' area di trapianto (d), la quale rappresenta circa il 25% dell'intera superficie trapiantata a causa di attività di pesca illegale. Del rimanente 75% sono state registrate perdite parziali di moduli all'interno di alcune aree. A livello di sito nel 2019 è stata stimata una perdita complessiva di moduli di trapianto pari al 40 % rispetto al totale dei moduli inizialmente installati. Tuttavia si sottolinea che, al netto dei danni iniziali di natura meccanica indotti dalla pesca illegale, i supporti utilizzati, poiché costituiti di materiale biodegradabile è atteso che in prospettiva perdano progressivamente di consistenza sino alla totale scomparsa.

Per quanto riguarda le talee, la prima domanda è se il numero di talee vive e quello di talee perse è indipendente dall'anno (2018 o 2019) e, se non lo è, quale tendenza è in atto. Assumendo come ipotesi nulla l'indipendenza fra anno e numero di talee vive o perse, è stata impostata una serie di test di χ^2 (in associazione con un test esatto di Fisher nei casi in cui le frequenze in gioco erano molto basse o nulle) su tavole di contingenza 2x2.

Nella Tabella 22A è presentato il risultato del test per l'insieme di tutte le aree di campionamento (a, b, c, d), che non consente di rigettare l'ipotesi nulla, a fronte di una sostanziale invarianza della proporzione di talee vive e perse. A causa della non perfetta sovrapposizione fra moduli campionati nel 2018 e moduli campionati nel 2019 per l'area di campionamento "c", problema riscontrato per difficoltà operative nel riconoscimento di alcuni moduli marcati oggetto di monitoraggio, il numero delle talee vive sale leggermente nel 2019 rispetto all'anno precedente.

Nella Tabella 22B è riportato il risultato del test effettuato sempre fra 2018 e 2019, ma rispetto allo stato delle sole talee perse, potendo queste ultime risultare morte o distaccate. In questo caso il test consente di rigettare con ampio margine l'ipotesi di indipendenza fra stato delle talee perse ed anno di campionamento. E' evidente, d'altra parte che la quasi totalità delle talee risultate morte nel 2018 si è poi distaccata nel 2019. Il test esatto di Fisher conferma il risultato del test di χ^2 .

Tabella 22 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per (A) il numero di talee vive/perse tra gli anni 2018 e 2019 e (B) il numero di talee morte/distaccate tra gli anni 2018 e 2019, sul complesso delle aree di monitoraggio. In rosso i valori significativi.

Tutte le aree (talee vive/perse e morte/distaccate)							
A)	osservato			atteso			
		vive	perse		vive	perse	
	2018	324	355	679	2018	329.197	349.803
	2019	331	341	672	2019	325.803	346.197
		655	696	1351			
	$\chi^2 = 0.320158$			$P(\chi^2_{0.05,1}) = 0.571513$	$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$		
	componenti di χ^2			scarti di Freeman-Tukey			
	= $(oss-att)/SQRT(att)$			= $SQRT(oss)+SQRT(oss+1)-SQRT(4*att+1)$			
		vive	perse		vive	perse	
	2018	-0.2864	0.2779		2018	-0.2736	0.2900
2019	0.2879	-0.2793		2019	0.3004	-0.2667	
	valore critico (P=0.05)= $\sqrt{\chi^2_{0.05,1}/4}$ =		0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\sqrt{\chi^2_{0.01,1}/4}$ =		1.2879				
B)	osservato			atteso			
		morte	distaccate		morte	distaccate	
	2018	139	216	355	2018	75.489	279.511
	2019	9	332	341	2019	72.511	268.489
		148	548	696			
	$\chi^2 = 138.5184$			$P(\chi^2_{0.05,1}) = 5.613E-32$	$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$		
	P(Fisher exact test)=			1.912E-36			
	componenti di χ^2			scarti di Freeman-Tukey			
	= $(oss-att)/SQRT(att)$			= $SQRT(oss)+SQRT(oss+1)-SQRT(4*att+1)$			
		morte	distaccate		morte	distaccate	
2018	7.3099	-3.7989		2018	6.2164	-4.0243	
2019	-7.4585	3.8761		2019	-10.8978	3.6827	
	valore critico (P=0.05)= $\sqrt{\chi^2_{0.05,1}/4}$ =		0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\sqrt{\chi^2_{0.01,1}/4}$ =		1.2879				

Tabella 23 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per (A) il numero di talee vive/perse tra gli anni 2018 e 2019 e (b) il numero di talee morte/distaccate tra gli anni 2018 e 2019, eseguito sull'area a. In rosso i valori significativi.

Area a (talee vive/perse e morte/distaccate)							
A)	osservato				atteso		
		vive	perse			vive	perse
	2018	129	111	240	2018	129.153	110.847
	2019	125	107	232	2019	124.847	107.153
		254	218	472			
	$\chi^2 = 0.000794$		$P(\chi^2_{0.05,1}) = 0.977525$		$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$		
	componenti di X^2 = $(\text{oss}-\text{att})/\text{SQRT}(\text{att})$				scarti di Freeman-Tukey = $\text{SQRT}(\text{oss})+\text{SQRT}(\text{oss}+1)-\text{SQRT}(4*\text{att}+1)$		
		vive	perse			vive	perse
	2018	-0.0134	0.0145		2018	0.0085	0.0381
	2019	0.0137	-0.0147		2019	0.0359	0.0093
	valore critico (P=0.05)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.05,1}/4) =$		0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.01,1}/4) =$		1.2879				
B)	osservato				atteso		
		morte	distaccate			morte	distaccate
	2018	61	50	111	2018	34.624	76.376
	2019	7	100	107	2019	33.376	73.624
		68	150	218			
	$\chi^2 = 59.49566$		$P(\chi^2_{0.05,1}) = 1.226E-14$		$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$		
			$P(\text{Fisher exact test}) = 1.741E-15$				
	componenti di X^2 = $(\text{oss}-\text{att})/\text{SQRT}(\text{att})$				scarti di Freeman-Tukey = $\text{SQRT}(\text{oss})+\text{SQRT}(\text{oss}+1)-\text{SQRT}(4*\text{att}+1)$		
		morte	distaccate			morte	distaccate
	2018	4.4825	-3.0181		2018	3.8734	-3.2948
2019	-4.5656	3.0740		2019	-6.1234	2.8599	
	valore critico (P=0.05)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.05,1}/4) =$		0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.01,1}/4) =$		1.2879				

Tabella 24 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per (A) il numero di talee vive/perse tra gli anni 2018 e 2019 e (B) il numero di talee morte/distaccate tra gli anni 2018 e 2019, eseguito sull'area b. In rosso i valori significativi.

Area b (talee vive/perse e morte/distaccate)							
A)	osservato				atteso		
		vive	perse			vive	perse
	2018	61	179	240	2018	49.143	190.857
	2019	25	155	180	2019	36.857	143.143
		86	334	420			
	$\chi^2 = 8.3942$			$P(\chi^2_{0.05,1}) = 0.003764$	H_0 : lo stato è indipendente dall'anno		
	componenti di X^2 = $(oss-att)/SQRT(att)$				scarti di Freeman-Tukey = $SQRT(oss)+SQRT(oss+1)-SQRT(4*att+1)$		
		vive	perse			vive	perse
	2018	1.6914	-0.8583		2018	1.6282	-0.8528
	2019	-1.9531	0.9910		2019	-2.0841	0.9905
	valore critico (P=0.05)= $\sqrt{\chi^2_{0.05,1}/4} = 0.9800$				valore critico (P=0.01)= $\sqrt{\chi^2_{0.01,1}/4} = 1.2879$		
B)	osservato				atteso		
		morte	distaccate			morte	distaccate
	2018	49	130	179	2018	26.260	152.740
	2019	0	155	155	2019	22.740	132.260
		49	285	334			
	$\chi^2 = 49.72518$			$P(\chi^2_{0.05,1}) = 1.769E-12$	H_0 : lo stato è indipendente dall'anno		
	componenti di X^2 = $(oss-att)/SQRT(att)$				scarti di Freeman-Tukey = $SQRT(oss)+SQRT(oss+1)-SQRT(4*att+1)$		
		morte	distaccate			morte	distaccate
	2018	4.4374	-1.8399		2018	3.7734	-1.8905
	2019	-4.7686	1.9773		2019	-8.5895	1.9173
	valore critico (P=0.05)= $\sqrt{\chi^2_{0.05,1}/4} = 0.9800$				valore critico (P=0.01)= $\sqrt{\chi^2_{0.01,1}/4} = 1.2879$		

Tabella 25 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per (A) il numero di talee vive/perse tra gli anni 2018 e 2019 e (B) il numero di talee morte/distaccate tra gli anni 2018 e 2019, eseguito sull'area c. In rosso i valori significativi.

Area c (talee vive/perse e morte/distaccate)							
A)	osservato				atteso		
		vive	perse			vive	perse
	2018	112	58 [✓]	170	2018	116.025	53.975
	2019	161	69 [✓]	230	2019	156.975	73.025
		273	127	400			
	$\chi^2 = 0.764837$		$P(\chi^2_{0.05,1}) = 0.381819$		$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$		
	componenti di χ^2 = $(\text{oss}-\text{att})/\text{SQRT}(\text{att})$				scarti di Freeman-Tukey = $\text{SQRT}(\text{oss})+\text{SQRT}(\text{oss}+1)-\text{SQRT}(4*\text{att}+1)$		
		vive	perse			vive	perse
	2018	-0.3737	0.5479		2018	-0.3530	0.5694
	2019	0.3213	-0.4710		2019	0.3386	-0.4469
	valore critico (P=0.05)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.05,1}/4) =$		0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.01,1}/4) =$		1.2879				
B)	osservato				atteso		
		morte	distaccate			morte	distaccate
	2018	24	34 [✓]	58	2018	11.874	46.126
	2019	2	67 [✓]	69	2019	14.126	54.874
		26	101	127			
	$\chi^2 = 28.65981$		$P(\chi^2_{0.05,1}) = 8.628E-08$		$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$		
	$P(\text{Fisher exact test}) = 4.840E-08$						
	componenti di χ^2 = $(\text{oss}-\text{att})/\text{SQRT}(\text{att})$				scarti di Freeman-Tukey = $\text{SQRT}(\text{oss})+\text{SQRT}(\text{oss}+1)-\text{SQRT}(4*\text{att}+1)$		
		morte	distaccate			morte	distaccate
	2018	3.5190	-1.7854		2018	2.9351	-1.8730
2019	-3.2263	1.6369		2019	-4.4369	1.5825	
	valore critico (P=0.05)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.05,1}/4) =$		0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.01,1}/4) =$		1.2879				

Tabella 26 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per (A) il numero di talee vive/perse tra gli anni 2018 e 2019 e (B) il numero di talee morte/distaccate tra gli anni 2018 e 2019, eseguito sull'area d. In rosso i valori significativi. Nell'area d sono stati monitorati solamente 3 moduli, a causa della perdita pregressa di tutti gli altri moduli per cause differenti (danni meccanici, morte delle talee). Questa area, infatti, sulla base dei risultati ante monitoraggio SEPOSSO, è stata dichiarata completamente persa.

Area d (talee vive/perse e morte/distaccate)								
A)	osservato				atteso			
		vive	perse			vive	perse	
	2018	22	7 [✓]	29	2018	20.644	8.356	
	2019	20	10 [✓]	30	2019	21.356	8.644	
		42	17	59				
	$\chi^2 = 0.607875$			$P(\chi^2_{0.05,1}) = 0.435589$	$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$			
	componenti di χ^2				scarti di Freeman-Tukey			
	= $(\text{oss}-\text{att})/\text{SQRT}(\text{att})$				= $\text{SQRT}(\text{oss})+\text{SQRT}(\text{oss}+1)-\text{SQRT}(4*\text{att}+1)$			
		vive	perse			vive	perse	
	2018	0.2984	-0.4691		2018	0.3442	-0.3930	
	2019	-0.2934	0.4612		2019	-0.2417	0.5143	
	valore critico (P=0.05)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.05,1}/4) =$			0.9800				
	valore critico (P=0.01)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.01,1}/4) =$			1.2879				
	B)	osservato				atteso		
			morte	distaccate			morte	distaccate
2018		5	2 [✓]	7	2018	2.059	4.941	
2019		0	10 [✓]	10	2019	2.941	7.059	
		5	12	17				
$\chi^2 = 10.11905$			$P(\chi^2_{0.05,1}) = 0.001467$	$H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$				
P(Fisher exact test) =			0.003394					
componenti di χ^2				scarti di Freeman-Tukey				
= $(\text{oss}-\text{att})/\text{SQRT}(\text{att})$				= $\text{SQRT}(\text{oss})+\text{SQRT}(\text{oss}+1)-\text{SQRT}(4*\text{att}+1)$				
		morte	distaccate			morte	distaccate	
2018		2.0498	-1.3231		2018	1.6466	-1.4106	
2019		-1.7150	1.1070		2019	-2.5728	1.0719	
valore critico (P=0.05)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.05,1}/4) =$			0.9800					
valore critico (P=0.01)= $\text{sqrt}(\chi^2_{0.01,1}/4) =$			1.2879					

Un risultato del tutto analogo, scorporando i dati per area di campionamento, è stato ottenuto per l'area a (Tabella 23), per l'area c (Tabella 25) e per l'area d (Tabella 26). Per queste ultime due è particolarmente importante il test esatto di Fisher, perché le frequenze relative alle talee morte nel 2019 erano troppo basse per poter effettuare un test di χ^2 corretto. Il risultato per l'area b (Tabella 24) è diverso da quelli di cui si è appena detto, poiché anche il confronto che considera le talee vive contro quelle perse mostra differenze fra 2018 e 2019 che consentono di rigettare – solo in questo caso – l'ipotesi di indipendenza fra anno e stato delle talee. In particolare, il numero di talee vive risulta nettamente inferiore, in rapporto alle talee perse, nel 2019 rispetto all'anno precedente. Esattamente come per le altre aree nel 2019 il numero di talee morte diminuisce a favore di quelle distaccate e quindi si rigetta nettamente l'ipotesi di indipendenza fra stato delle talee perse e anno.

In sintesi, in tutte le aree, tranne b, il numero di talee perse rispetto a quelle vive è indipendente dall'anno (e quindi sostanzialmente non cambia). In tutte le aree, invece, le talee che nel 2018 risultavano perse in quanto morte nel 2019 risultano in larga misura anche distaccate.

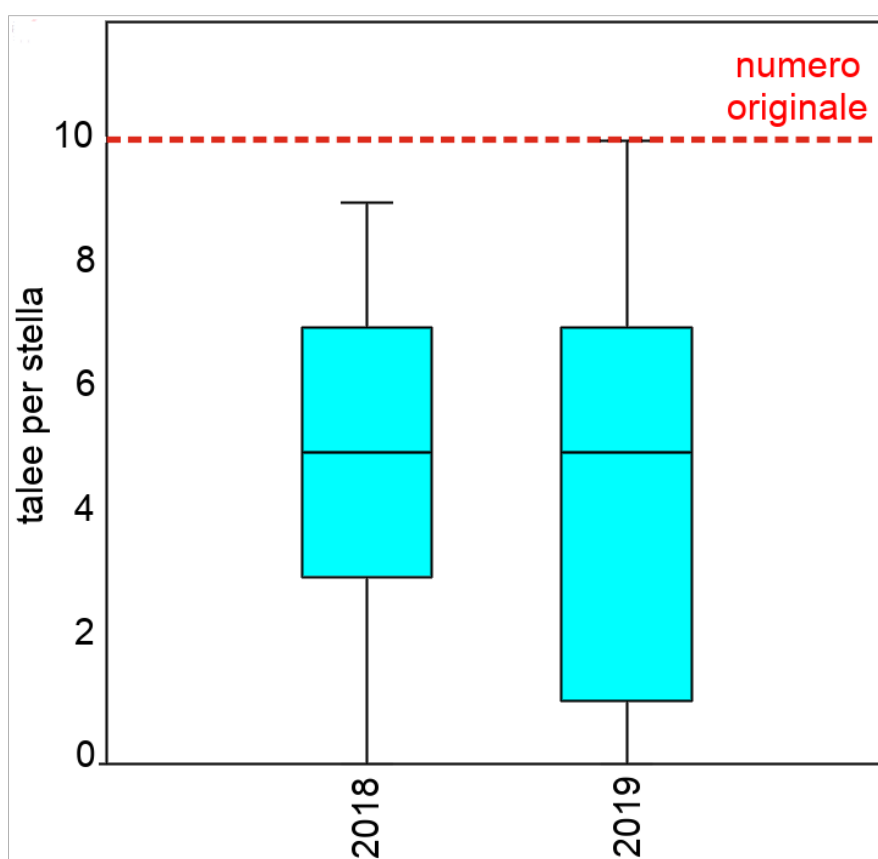


Figura 29 - Box-plot della distribuzione del numero di talee per modulo (stella) negli anni 2018 e 2019. La linea rossa indica il numero di talee per modulo al momento del trapianto.

L'andamento del numero di talee per "stella", ovvero per modulo di trapianto, fra 2018 e 2019 può essere sintetizzato dal box-plot in Figura 29. Le differenze si possono riscontrare nel secondo quartile del 2019, che si estende verso il basso, indicando un aumento del numero di "stelle" con 1, 2 o 3 talee delle 10 originali, e nel quarto quartile, che arriva a comprendere 10 talee su 10 come

massimo, ovvero una in più dell'anno precedente. Come si è detto, tuttavia, queste piccole discrepanze sono dovute al fatto che le "stelle" campionate, seppur in pochi casi, non sono esattamente le stesse prese in esame nel 2018.

Le principali statistiche di riferimento per il numero di talee per "stella" nei due anni sono riportate nella Tabella 27. Come si può notare, nel 2019 si rileva una leggera diminuzione del numero medio di talee per "stella", una analoga variazione per la mediana e (come si era accennato) una diminuzione del valore al 25° percentile. Queste variazioni trovano riscontro anche in un leggero aumento del coefficiente di variazione.

Malgrado queste piccole variazioni, tuttavia, non si rilevano differenze significative fra il 2018 ed il 2019 né fra le medie, né fra le mediane, né in termini di distribuzione dei valori, come indicano i test riportati in Tabella 28.

Tabella 27 - Statistiche riassuntive del numero di talee per modulo (stella) nel 2018 e 2019.

	2018	2019
N	46	46
Min	0	0
Max	9	10
Sum	221	197
Mean	4.80	4.28
Std. error	0.43	0.46
Variance	8.56	9.72
Stand. dev	2.93	3.12
Median	5.00	4.50
25 prcntil	2.75	1.00
75 prcntil	7.00	7.00
Skewness	-0.38	-0.01
Kurtosis	-0.95	-1.20
Coeff. var	60.90	72.79

Tabella 28 - A) Risultati del test t di Student (confronto tra medie), B) del test Mann-Whitney (confronto tra mediane) e C) del test di Kolmogorov-Smirnov (confronto tra distribuzioni) per le differenze nel numero di talee per modulo tra anno 2018 e 2019.

A)			
Tests for equal means (t Student)			
	2018		2019
N:	46	N:	46
Mean:	4.8043	Mean:	4.2826
95% conf.:	(3.9355 5.6732)	95% conf.:	(3.3568 5.2084)
Variance:	8.5609	Variance:	9.7184
Difference between means:	0.52174		
95% conf. interval (parametric):	(-0.73061 1.7741)		
95% conf. interval (bootstrap):	(-0.69565 1.7174)		
t :	0.82766	p (same mean):	0.41005
Uneq. var. t :	0.82766	p (same mean):	0.41006
Monte Carlo permutation:	p (same mean):	0.4394	
B)			
Tests for equal medians (Mann-Whitney)			
	2018		2019
N:	46	N:	46
Mean rank:	24.489	Mean rank:	22.011
Mann-Whitney nU :	944		
z :	0.89338	p (same med.):	0.37166
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	0.3786	
C)			
Kolmogorov-Smirnov test for equal distribution			
	2018		2019
N:	46	N:	46
D:	0.13043	p (same dist.):	0.80096
Monte Carlo permutation:	p (same dist.):	0.516	

A differenza di quanto rilevato per il numero di talee, il numero di fasci risulta in leggero aumento nel 2019 rispetto al 2018, come mostrato in Figura 30. Anche in questo caso le "stelle" campionate non sono rigorosamente le stesse nei due anni, ma si nota come il numero originale di fasci per "stella" sia stato raggiunto e superato almeno da una parte dei casi del 4° quartile. Ciò evidentemente indica che un certo numero di fasci sono originati dalle talee che non sono andate perse. A fronte di un numero medio di talee vitali nel 2019 pari a 4.28 per "stella", il numero medio

dei fasci è risultato pari a 16.91 per "stella" (vedi Tabella 29), con un rapporto fasci/talee di 3.95. Ciò indica che ogni talea vitale ha prodotto, in media, quasi un nuovo fascio dal 2014 al 2019. Poiché questo stesso rapporto valeva 3.46 nel 2018, l'incremento registrato potrebbe essere considerato, se confermato negli anni a venire, come un'indicazione di un trend positivo.

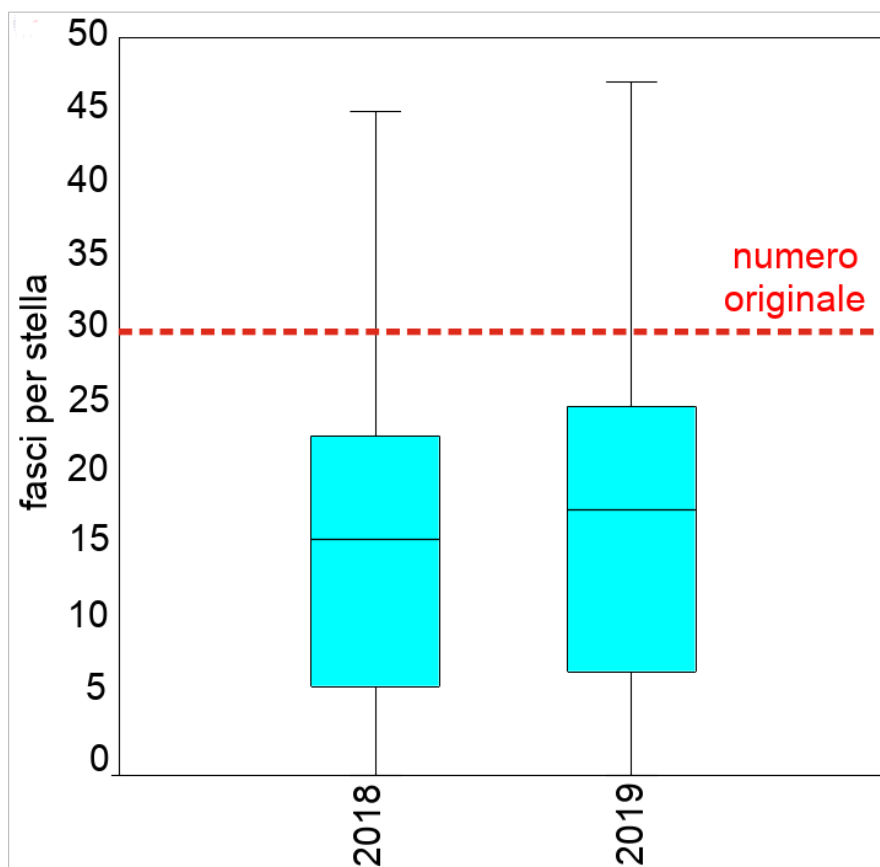


Figura 30 - Box-plot della distribuzione del numero di fasci per modulo (stella) negli anni 2018 e 2019. La linea rossa indica il numero di talee per modulo al momento del trapianto.

Tabella 29 - Statistiche riassuntive del numero di fasci per modulo (stella) nel 2018 e 2019.

	2018	2019
N	46	46
Min	0	0
Max	45	47
Sum	765	778
Mean	16.63	16.91
Std. error	1.86	1.89
Variance	159.93	164.35
Stand. dev	12.65	12.82
Median	15.50	17.00
25 prcnil	5.75	6.00
75 prcnil	23.00	25.25
Skewness	0.50	0.27
Kurtosis	-0.48	-0.73
Coeff. var	76.04	75.80

Così come per il numero di talee per "stella", tuttavia, le differenze fra 2018 e 2019 non risultano significative né in termini di medie, né in termini di mediane, né, infine, fra le distribuzioni dei valori (Tabella 30). Dunque qualsiasi valutazione relativa ad eventuali trend in atto dovrà essere rimandata a future campagne di monitoraggio.

Infine, è stata effettuata anche un'Analisi della Varianza (ANOVA) a due vie, per verificare le differenze fra le aree e le eventuali interazioni con il tempo in termini di numero di fasci per "stella" (con esclusione dell'area d, che aveva un numero troppo piccolo di "stelle"). Una tabella di sintesi con i principali parametri statistici relativi ai 6 gruppi di osservazioni (3 aree x 2 anni) è riportata in Tabella 31, mentre il risultato dell'ANOVA è mostrato in Tabella 32.

Il fattore "anno" non è associato a differenze apprezzabili, con un valore di F praticamente nullo. Non si può quindi rigettare l'ipotesi nulla di uguali numeri medi di fasci per "stella" nel 2018 e nel 2019. Al contrario, il fattore "area" è associato ad un valore della statistica F molto elevato e quindi l'ipotesi nulla di uguali valori medi di fasci per stella nelle tre aree si rigetta, risultando altamente significative le differenze fra queste ultime ($p < 0.001$).

Infine, l'interazione tra i due fattori non è significativa, il che implica che le differenze osservate fra le aree non sembrano essere in qualche modo dipendenti dall'anno di campionamento. In Figura 31 sono mostrati i valori medi per le tre aree considerate e la loro variazione fra 2018 e 2019. Mentre le differenze fra le aree sono evidenti, le variazioni fra gli anni in ciascuna area sono evidentemente trascurabili.

Tabella 30 - Risultati del test t di Student (confronto tra medie), del test Mann-Whitney (confronto tra mediane) e del test di Kolmogorov-Smirnov (confronto tra distribuzioni) per le differenze nel numero di fasci per modulo tra gli anni 2018 e 2019. In rosso i valori significativi.

A)			
Tests for equal means (t Student)			
2018		2019	
N:	46	N:	46
Mean:	16.63	Mean:	16.913
95% conf.:	(12.875 20.386)	95% conf.:	(13.106 20.72)
Variance:	159.93	Variance:	164.35
Difference between means:	0.28261		
95% conf. interval (parametric):	(-4.9922 5.5574)		
95% conf. interval (bootstrap):	(-4.7826 5.4565)		
t :	0.10644	p (same mean):	0.91547
Uneq. var. t :	0.10644	p (same mean):	0.91547
Monte Carlo permutation:	p (same mean):	0.9226	
B)			
Tests for equal medians (Mann-Whitney)			
2018		2019	
N:	46	N:	46
Mean rank:	23.043	Mean rank:	23.457
Mann-Whitney U :	1039		
z :	0.14497	p (same med.):	0.88473
Monte Carlo permutation:	p (same med.):	0.8887	
C)			
Kolmogorov-Smirnov test for equal distribution			
N:	46	N:	46
D:	0.065217	p (same distr.):	0.99995
Monte Carlo permutation:	p (same distr.):	0.995	

Tabella 31 - Statistiche riassuntive del numero di fasci per modulo (stella) tra le aree considerate (a, b, c) nel 2018 e 2019.

	2018 a	2018 b	2018 c	2019 a	2019 b	2019 c
N	14	17	15	14	17	15
Min	7	0	0	10	0	0
Max	28	20	45	36	21	47
Sum	248	109	408	255	95	428
Mean	17.71	6.41	27.20	18.21	5.59	28.53
Std. error	1.54	1.73	3.44	1.91	1.79	2.79
Variance	33.14	51.13	177.17	51.10	54.26	116.70
Stand. dev	5.76	7.15	13.31	7.15	7.37	10.80
Median	17	4	31	17	0	30
25 prcntil	13	0	17	12	0	22
75 prcntil	22.25	12	39	21.5	10	36
Skewness	0.037	0.865	-0.553	1.197	1.038	-1.001
Kurtosis	-0.429	-0.662	-0.486	1.672	-0.239	2.788
Coeff. var	32.499	111.525	48.936	39.248	131.812	37.859

Tabella 32 - Risultati del test ANOVA a due vie per le differenze nel numero di fasci per modulo rispetto ai fattori anno (2018, 2019) e area (a, b, c). In rosso i valori significativi.

ANOVA (2-way fixed effects)					
	<i>Sum of sqrs</i>	<i>df</i>	<i>Mean square</i>	<i>F</i>	<i>p (same)</i>
anno	1.8369	1	1.8369	0.0229	0.88
area	7677.78	2	3838.89	47.88	1.06E-14
Interaction:	19.01	2	9.51	0.1186	0.8884
Within:	6895.58	86	80.18		
Total:	14594.20	91			

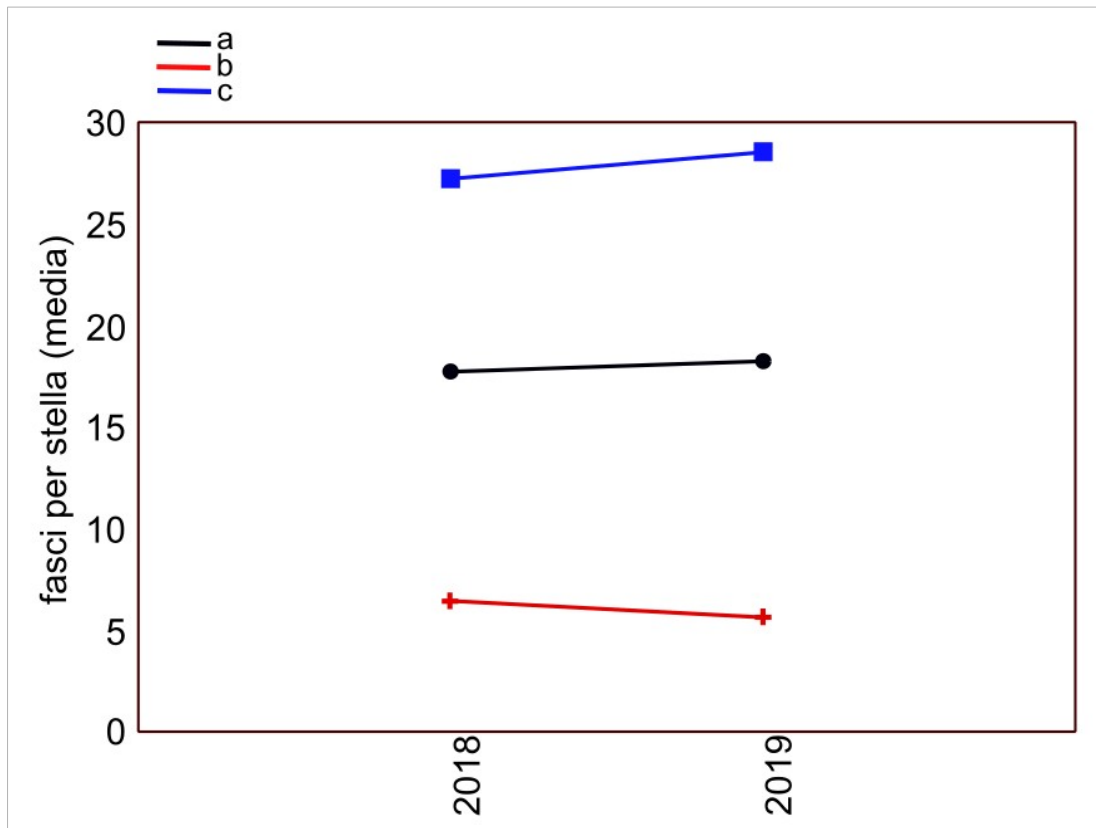


Figura 31 - Valori medi del numero di fasci per modulo per i fattori anno (2018, 2019) e area (a, b, c).

SITO DI TRAPIANTO DI PIOMBINO (TOSCANA)

Contesto del trapianto

Il trapianto di Piombino è stato effettuato dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale (ADSPMTS) (già Autorità Portuale di Piombino) nel 2014 così come da prescrizione del Decreto VIA 478/2012 (A.A.V.V. LIFE SEPOSSO, Report Azione B1.2), con il supporto dell'Istituto di Biologia ed Ecologia Marina (IBEM) di Piombino, per compensare il danno effettuato per la realizzazione del dragaggio dei fondi nel nuovo canale di accesso al porto di Piombino. In questo caso sono state movimentate zolle quadrate di 2 metri di lato e non singoli fasci o talee con più fasci.

La prateria donatrice coincideva con quella antistante al porto che sarebbe stata sbancata. Sono state eseguite indagini qualitative sulle aree di prelievo delle zolle, che distano circa 3 km dal sito di trapianto. Ulteriori indagini quali-quantitative sono state effettuate nella prateria antistante il porto.

Il trasferimento di 340 zolle, preventivamente asportate dall'area interessata all'ampliamento del porto con benna bivalve idraulica, è stato realizzato nel golfo di Follonica, in località Perelli, trapiantando complessivamente circa di 1600 m² di prateria in aree individuate come idonee dall'ADSPMTS. Non sono stati realizzati trapianti pilota al fine di individuare le aree più idonee al trapianto.

Ai fini del trasferimento delle zolle sono state identificate sei differenti aree (S1, S2, S3, S4, S5, S6) in prossimità del limite superiore della prateria esistente, poste tra gli 11 e i 13 metri di profondità, distanti tra loro da circa 700 a 2.000 metri, con una superficie compresa tra 3.000 m² e 12.000 m².

Si è rilevato che circa l'8 % delle zolle sono state danneggiate o distrutte dall'azione meccanica della benna sulla zolla in fase di posizionamento e non sono state più rinvenute già durante la prima fase di monitoraggio (Dati ADSPMTS). Dopo il termine delle operazioni di trapianto sono state effettuate quattro indagini di monitoraggio nell'arco dei successivi 3 anni, fino al giugno 2017, come prescritto nel Decreto VIA. Il monitoraggio ha previsto esclusivamente l'ispezione video fotografica delle zolle. Tuttavia, le procedure adottate in origine non prevedevano un campionamento iniziale né della prateria donatrice, né un monitoraggio delle zolle basato su elementi quantitativi e quindi i dati raccolti nell'ambito di questo progetto sono in effetti i primi e gli unici disponibili.

Materiali e Metodi

Nelle aree oggetto di studio sono state realizzate indagini secondo un protocollo di monitoraggio discusso e condiviso dall'intero Partenariato del SEPOSSO nel 2018 (9 e 10 ottobre) e ripetuto con le stesse modalità dell'anno precedente nel 2019 (3 e 4 settembre).

In totale sono state monitorate tutte le aree oggetto di trapianto (S1, S2, S3, S4, S5, S6) e relative stazioni di controllo nella prateria naturale adiacente (nel testo il termine "stazione" e "area" sono da intendersi come sinonimi). Le aree oggetto di trapianto erano numerate originariamente da S1 a S6, in ordine di distanza dal porto e dalle sorgenti di perturbazione ad esso associate, ma sono state considerate come una unica stazione la S1 e S2 e la S4 e S5 per affinità nel posizionamento, in continuità con il monitoraggio pregresso di ADSPMTS (Figura 33, Tabella 33).

Il monitoraggio è stato condotto secondo lo schema rappresentato in Figura 34. Sono state selezionate casualmente 16 zolle in ciascuna area di trapianto. Il numero totale di zolle selezionate, pari a 62, rappresenta circa il 20% di tutte le zolle trasferite. Le zolle sono state individuate tra quelle posizionate vicino al limite superiore della prateria su fondo sabbioso, alcune delle quali adiacenti ad esso, rappresentando queste la maggioranza delle zolle trasferite. Invece, le zolle trasferite all'interno della prateria hanno rappresentato una minima parte del totale e non sono state oggetto di indagine, in quanto non è stato possibile identificarle durante l'attività di monitoraggio.

La performance di questo trasferimento è stata valutata attraverso lo studio dello stato delle zolle, della sopravvivenza dei fasci presenti su di esse e della loro eventuale proliferazione.

Di seguito si riportano esclusivamente i parametri monitorati oggetto delle analisi del presente Report. Per ciascuna zolla sono state effettuate le seguenti attività:

- Stato di conservazione delle zolle: stato delle zolle, stimato in maniera qualitativa dagli operatori subacquei su una scala a quattro livelli di conservazione delle stesse: elevata, media, bassa e inesistente (un esempio è riportato in Figura 32);
 - Misura della diagonale Nord-Sud (cm) e diagonale Est-Ovest (cm);
- Densità fogliare: conte di densità dei fasci *sensu* Panayotidis et al. (1981) mediante 5 conte (quadrato 40 x 40 cm). Una conta a centro zolla. Da lì, secondo direzione bussola Nord, Sud, Est e Ovest, disporre il quadrato ad una distanza di 80 cm (centro quadrato-centro quadrato);
- Analisi fenologica: determinazione della lunghezza, della larghezza e del tessuto bruno della foglia più lunga (*sensu* Giraud, 1977) in cinque fasci sia nelle stazioni di trapianto che nelle stazioni della prateria naturale mediante monitoraggio non distruttivo.

In ciascuna stazione di controllo nella prateria naturale sono state realizzate 10 conte di densità fogliare (Panayotidis *et al.*, 1981) e acquisite informazioni su 5 fasci (*sensu* Giraud, 1977) su lunghezza, larghezza e lunghezza del tessuto bruno della foglia più lunga.

Per concentrare sul monitoraggio delle zolle la massima attenzione nelle campagne SEPOSSO, lo stato della prateria naturale adiacente alle zolle è stato valutato mediante un piccolo numero di osservazioni solo nel 2018. Tali osservazioni, tuttavia, non erano state replicate in modo da formare campioni di dimensione sufficiente a consentire di impostare test statistici stazione per

stazione e sono quindi state cumulate in un unico insieme. Poiché la prateria naturale mostra condizioni differenti nelle diverse stazioni di posizionamento delle zolle, il confronto con i dati così acquisiti ed intesi come un generico "controllo" va inteso come un riferimento generico.

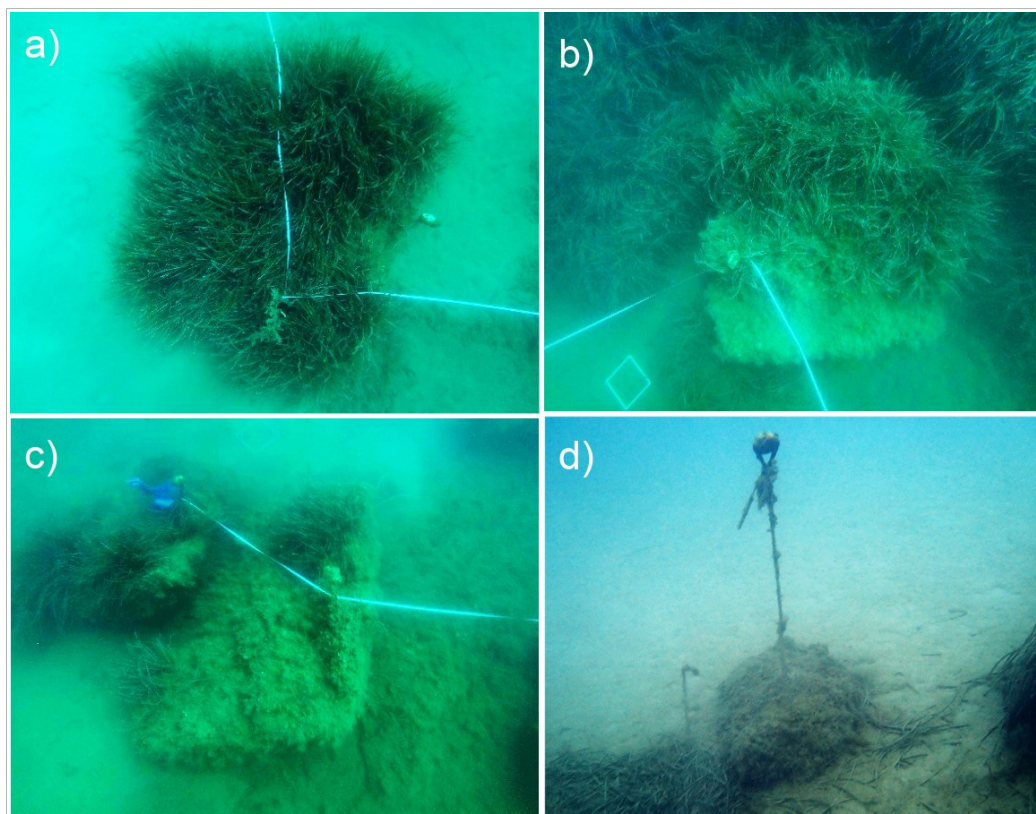


Figura 32 - a) zolla in stato di conservazione "buono"; b) zolla in stato di conservazione "moderato"; c) zolla in stato di conservazione "cattivo"; b) zolla in stato di conservazione "inesistente".

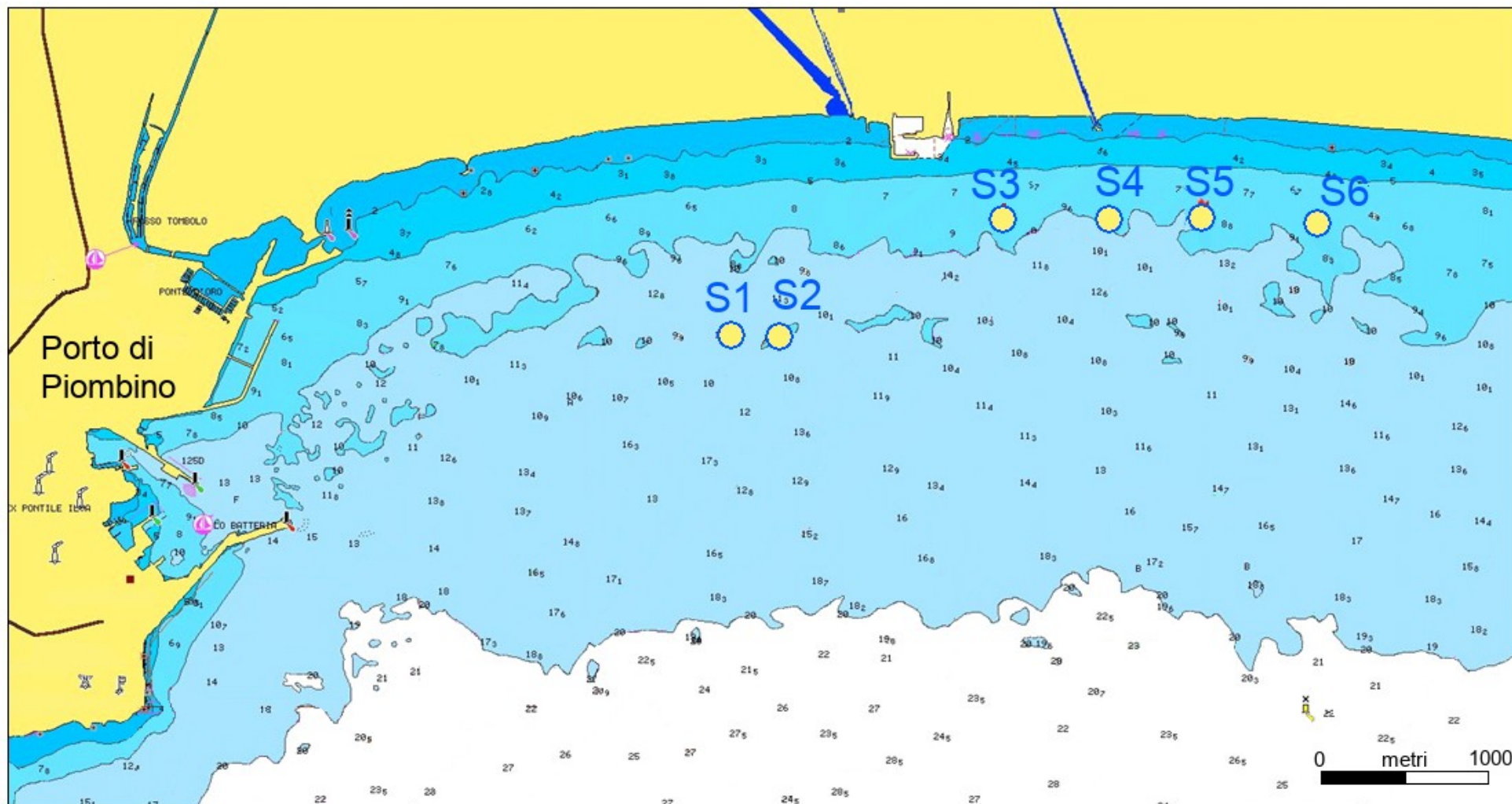


Figura 33 - Piombino - Stazioni di trapianto monitorate dal progetto SEPOSSO (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019

Per ciascuna stazione (S1-S2, S3, S4-S5, S6) le zolle selezionate oggetto di monitoraggio sono state identificate lungo un percorso di circa 100 metri. Di seguito, si riportano le coordinate del punto iniziale e del punto finale di tale percorso per ciascuna stazione (Tabella 33).

Tabella 33 - Coordinate del centroide delle stazioni di monitoraggio (S1-S2, S3, S4-S5, S6), e del punto iniziale e punto finale del percorso di monitoraggio per ciascuna stazione.

ID Stazione	Punto	Coordinate N (WGS84)	Coordinate E (WGS84)
S1-S2	Centroide stazione	42°56,546'	10°35,360'
	Inizio monitoraggio	42°56.574'	010°35.488'
	Fine monitoraggio	42°56.560'	010°35.433'
S3	Centroide stazione	42°56,878'	10°36,588'
	Inizio monitoraggio	42°56.926'	010°36.679'
	Fine monitoraggio	42°56.949	010°36.594
S4-S5	Centroide stazione	42°56,944'	10°37,073'
	Inizio monitoraggio	42°56.926'	010°36.679'
	Fine monitoraggio	42°56.949	010°36.594
S6	Centroide stazione	42°56,929'	10°38,005'
	Inizio monitoraggio	42°56.971'	010°37.832'
	Fine monitoraggio	42°56.976	010°37.858

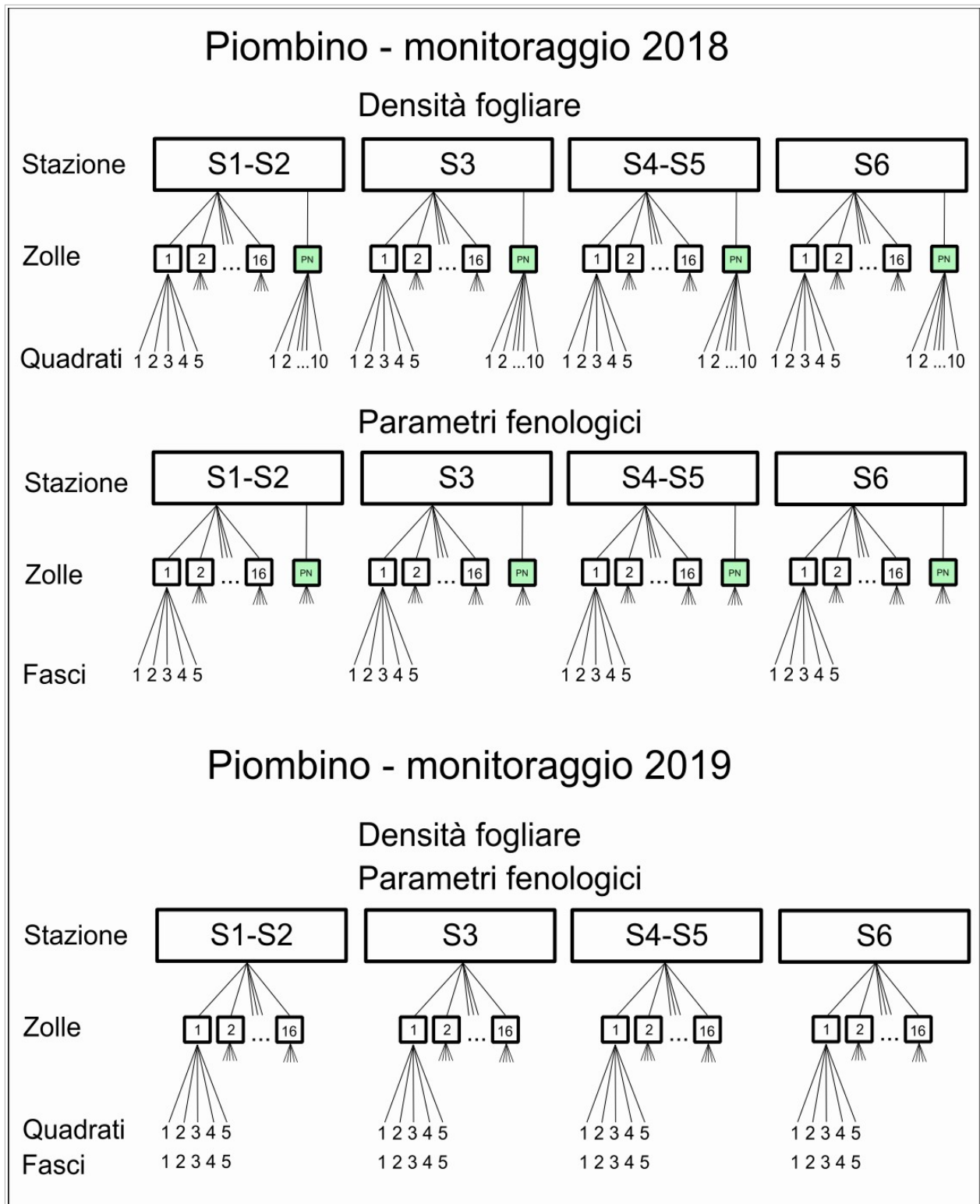


Figura 34 - Schema di campionamento dei parametri indagati nel sito di Piombino nei monitoraggi del 2018 e 2019. 1-16: zolle monitorate; PN: stazioni di prateria naturale.

Analisi statistiche

Per ciascuna variabile oggetto di indagine, al fine di testare statisticamente le differenze tra i termini a confronto, sono stati utilizzati i seguenti test statistici parametrici e non-parametrici:

- **stato di conservazione delle zolle:**
 - test di indipendenza χ^2 (stato di conservazione zolle x area) per l'anno 2018
 - test di indipendenza χ^2 (stato di conservazione zolle x area) per l'anno 2019
 - test di indipendenza χ^2 (stato di conservazione zolle x anno) per l'intero sito di trapianto
- **densità fogliare:**
 - test di Kruskal-Wallis (confronto delle mediane tra le zolle delle aree di trapianto e nel controllo) per l'anno 2018
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra)
 - test ANOVA (confronto delle medie tra le zolle delle aree di trapianto e nel controllo) per l'anno 2018
 - test di Kruskal-Wallis (confronto delle mediane tra le zolle delle aree di trapianto nel 2018 e 2019, e del controllo nel 2018)
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra)
 - test di Kruskal-Wallis (confronto delle mediane tra le aree di trapianto nel 2018 e 2019, e del controllo nel 2018)
- **Parametri fenologici (lunghezza foglia, larghezza foglia, larghezza tessuto bruno):**
 - test di Kruskal-Wallis (confronto delle mediane tra le zolle delle aree di trapianto e del controllo) per l'anno 2018
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra)
 - test di Kruskal-Wallis (confronto delle mediane tra le zolle delle aree di trapianto nel 2018 e 2019, e del controllo nel 2018)
 - test di Mann-Whitney (post-hoc, confronti a coppie tra i termini di cui sopra)

Risultati

Analisi dello stato di conservazione delle zolle - 2018

In primo luogo è stato impostato un test per verificare le relazioni fra stato delle zolle (elevata, media, bassa e inesistente) e stazione di monitoraggio (Tabella 34).

Nel complesso, non si può rigettare l'ipotesi di indipendenza fra stato di conservazione delle zolle e stazione di monitoraggio, né per il test di χ^2 , né per il test esatto di Fisher, più appropriato a causa del piccolo numero di casi in molti elementi della tavola di contingenza. Analizzando i singoli elementi della tavola di contingenza, con tutti i limiti dovuti al piccolo numero di casi in gioco, rispetto all'atteso si rileva un eccesso di zolle a "basso" livello di conservazione, un difetto di zolle distrutte nell'area S1_S2 ed un eccesso di zolle distrutte nell'area S6.

Ovviamente si tratta di risultati la cui interpretazione potrebbe cambiare anche soltanto con lo spostamento di una singola zolla da una categoria all'altra e quindi sono puramente indicativi. Ciò che tuttavia è oggettivamente rilevabile è che soltanto 1/7 delle zolle era nel 2018 in uno stato di conservazione elevato ed oltre la metà (33 su 63) in uno stato di conservazione basso o inesistente (ovvero con zolle completamente disgregate).

Poiché le variazioni nelle dimensioni delle zolle sono evidentemente legate allo stato di conservazione delle stesse, tutte le zolle oggetto di monitoraggio sono state misurate lungo le due diagonali, sotto l'ipotesi che zolle perfettamente conservate nelle loro dimensioni avessero tali diagonali lunghe 2.8 m circa. In Figura 35 questa condizione è rappresentata dal punto rosso centrale, mentre il quadrato in basso a sinistra rappresenta la regione in cui cadono le zolle che hanno entrambe le diagonali più corte della misura originale, cioè zolle erose. I punti che cadono al di fuori di questa regione, invece, sono quelli relativi a zolle che hanno almeno una diagonale più lunga di quanto non fosse in origine, testimoniando così un cedimento della struttura della zolla. Ovviamente una variazione che aumenti la superficie della zolla non necessariamente pregiudica la sopravvivenza dei fasci presenti sulla zolla, mentre è evidente che una zolla di superficie ridotta è una zolla che ha subito delle perdite.

Tabella 34 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per il numero di zolle tra stato di conservazione (elevato, medio, basso, inesistente) e aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) effettuato sull'intero sito di trapianto nel 2018. In rosso i valori significativi.

osservato						atteso			
	elevata	media	bassa	inesistente		elevata	media	bassa	inesistente
S1_S2	1	5	10	0	16	2.286	5.333	5.587	2.794
S3	2	5	4	4	15	2.143	5.000	5.238	2.619
S4_S5	3	7	4	2	16	2.286	5.333	5.587	2.794
S6	3	4	4	5	16	2.286	5.333	5.587	2.794
	9	21	22	11	63				

$X^2 = 12.2235$ $P(X^2_{0.05,9}) = 0.201002$ $H_0: \text{lo stato è indipendente dall'anno}$

Test esatto di Fisher, p(indipendenza): 0.1988

componenti di X^2

$= (oss - att) / \sqrt{att}$

	elevata	media	bassa	inesistente
S1_S2	-0.8504	-0.1443	1.8668	-1.6714
S3	-0.0976	0.0000	-0.5410	0.8533
S4_S5	0.4725	0.7217	-0.6715	-0.4748
S6	0.4725	-0.5774	-0.6715	1.3200

scarti di Freeman-Tukey

$= \sqrt{att} + \sqrt{att+1} - \sqrt{4*att+1}$

	elevata	media	bassa	inesistente
S1_S2	-0.7706	-0.0403	1.6468	-2.4892
S3	0.0525	0.1030	-0.4493	0.8484
S4_S5	0.5473	0.7484	-0.5960	-0.3429
S6	0.5473	-0.4897	-0.5960	1.1963

valore critico ($P=0.05$) = $\sqrt{X^2_{0.05,9}/16} = 1.0283$

valore critico ($P=0.01$) = $\sqrt{X^2_{0.01,9}/16} = 1.1637$

Nel 2018, tutte le zolle tranne una avevano almeno una diagonale di dimensione inferiore a quella iniziale, mentre 9 avevano almeno una diagonale più corta e una più lunga rispetto alla dimensione iniziale. Le rimanenti, pari all'84% del totale, cadono nel riquadro adiacente all'origine degli assi in Figura 35 e quindi risultano erose in misura più o meno rilevante lungo entrambe le diagonali, fino alla totale scomparsa, che interessa 11 zolle su 63, pari al 17% dei casi.

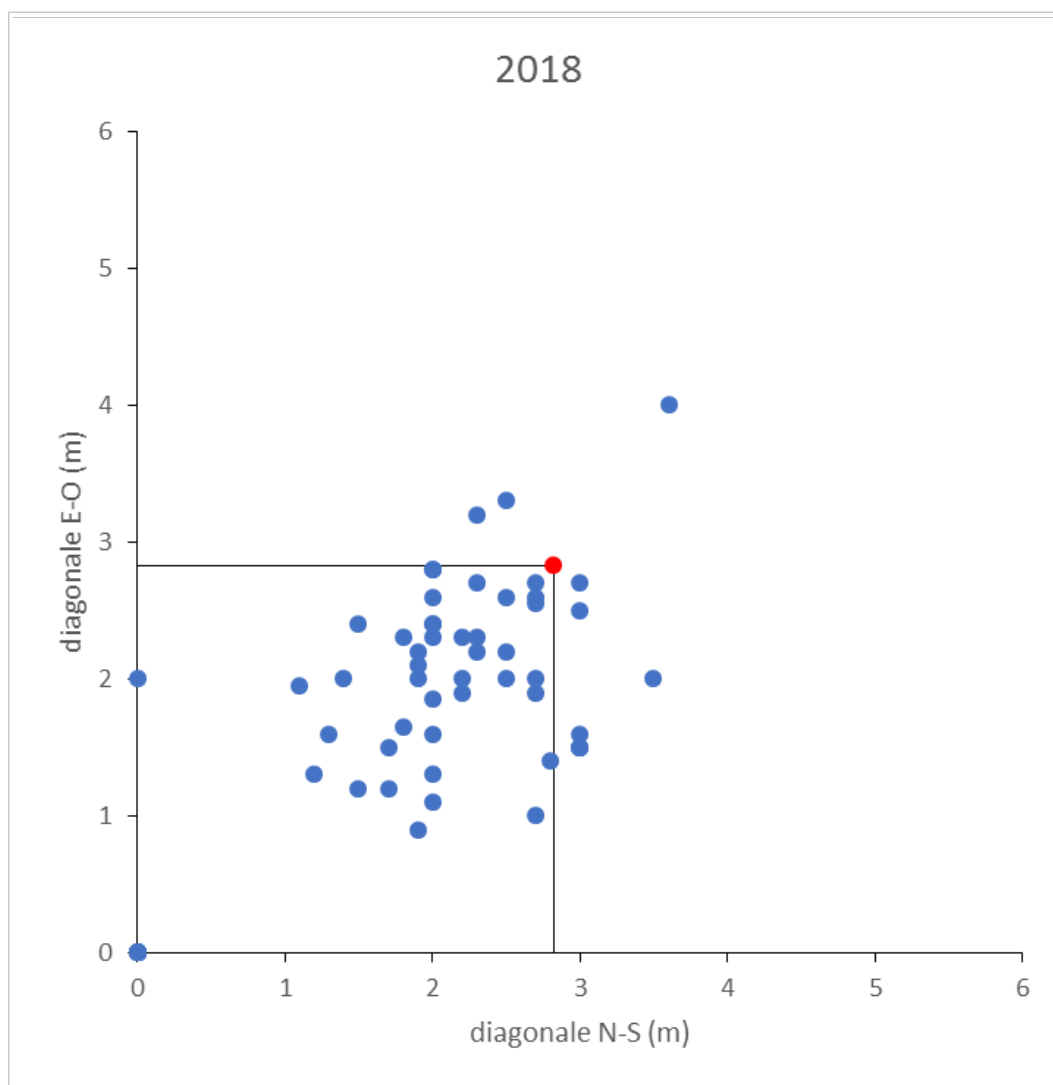


Figura 35 - Plot della relazione tra la misura in metri della diagonale E-O con quella della diagonale N-S, per ogni zolla, su tutto il sito di trapianto nel 2018.

Analisi dello stato di conservazione delle zolle - 2018-2019

Nel 2019 le attività di campo sono state ripetute, con la sola eccezione delle stazioni di controllo, che non sono state prese in esame. I risultati per ciò che riguarda lo stato di conservazione delle zolle rispetto alla stazione sono mostrati nella Tabella 35 e sono riferiti all'analisi della tavola di contingenza 4x4 in alto a sinistra ed ai test di indipendenza di χ^2 e di Fisher effettuati su di essa.

Tabella 35 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per il numero di zolle tra stato di conservazione (elevato, medio, basso, inesistente) e aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) effettuato sull'intero sito di trapianto nel 2019. In rosso i valori significativi.

osservato						atteso				
	elevata	media	bassa	inesistente			elevata	media	bassa	inesistente
S1_S2	1	2	10	3	16	S1_S2	4.063	3.556	4.571	3.810
S3	4	3	1	6	14	S3	3.556	3.111	4.000	3.333
S4_S5	6	6	4	1	17	S4_S5	4.317	3.778	4.857	4.048
S6	5	3	3	5	16	S6	4.063	3.556	4.571	3.810
	16	14	18	15	63					

$$X^2 = 19.6751182$$

$$P(X^2_{0.05,9}) = 0.020027$$

H_0 : lo stato è indipendente dall'anno

Test esatto di Fisher, p(indipendenza): 0.022294

componenti di X^2
 $= (oss - att) / \sqrt{att}$

	elevata	media	bassa	inesistente
S1_S2	-1.5197	-0.8250	2.5390	-0.4148
S3	0.2357	-0.0630	-1.5000	1.4606
S4_S5	0.8098	1.1433	-0.3889	-1.5148
S6	0.4646	-0.2946	-0.7350	0.6099

scarti di Freeman-Tukey

$$= \sqrt{att} + \sqrt{att+1} - \sqrt{4*att+1}$$

	elevata	media	bassa	inesistente
S1_S2	-1.7396	-0.7553	2.0874	-0.2976
S3	0.3345	0.0654	-1.7089	1.3093
S4_S5	0.8209	1.0814	-0.2837	-1.7319
S6	0.5318	-0.1695	-0.6595	0.6559

$$\text{valore critico (P=0.05)} = \sqrt{X^2_{0.05,9}/16} = 1.0283$$

$$\text{valore critico (P=0.01)} = \sqrt{X^2_{0.01,9}/16} = 1.1637$$

A differenza di quanto osservato nel 2018, la stazione e lo stato di conservazione delle zolle non sono più indipendenti, cosa che emerge non solo al test di χ^2 , ma anche al più accurato – dati il modesto numero di casi in gioco – test esatto di Fisher. Ad un esame sommario non è immediatamente chiaro quali siano le ragioni della significativa mancanza di indipendenza, ma l'esame delle componenti di χ^2 può aiutare. Con entrambi i metodi di calcolo utilizzati, i valori evidenziati in verde sono in significativo eccesso e quelli in rosso in significativo difetto. Il primo caso riguarda la condizione "media" in S4_S5, quella "bassa" in S1_S2 e quella "inesistente" in S3, che dunque hanno valori più alti di quelli che si sarebbero dovuti osservare in caso di indipendenza fra stato e stazione. Viceversa, sono meno dell'atteso i casi di condizione "elevata" in S1_S2, di condizione "bassa" in S3 ed "inesistente" in S4_S5. Dunque, il quadro è complessivamente spostato verso valutazioni leggermente migliori in S4_S5 e peggiori in S1_S2 e S3.

Inoltre, meritano di essere esaminati nel complesso alcuni elementi riassuntivi del monitoraggio eseguito nell'ambito di questo progetto, anche in ragione del fatto che sono i primi e soli dati che rappresentino l'evoluzione dello stato delle zolle.

In Tabella 36 è mostrato un test di χ^2 mirato a valutare un'ipotesi nulla di indipendenza della condizione percepita delle zolle dall'anno di osservazione. Tale ipotesi non viene rigettata e si deve quindi concludere che non ci siano state variazioni significative dello stato delle zolle tra 2018 e 2019. Tuttavia, le differenze numeriche fra la classificazione dello stato delle zolle nei due anni meritano di essere commentate, anche a futura memoria, trattandosi di un approccio euristico che potrebbe essere replicato. Si può notare, sommando il numero dei casi classificati come "elevata" e "media", che il totale non cambia fra 2018 e 2019. Nel 2019, però, aumenta il numero dei casi di conservazione delle zolle "elevata" e diminuisce esattamente dello stesso numero di casi quello delle zolle a conservazione "media". La cosa è verosimilmente dovuta ad una variazione nella scala di valutazione – evidentemente soggettiva – dello stato delle zolle, con una tendenza a una percezione più positiva nel 2019, che ha portato alcune zolle valutate in condizione "media" ad essere considerate in un secondo momento come in condizione "elevata" a fronte del fatto che tali zolle risultavano maggiormente integrate con la prateria naturale circostante. Più oggettivo sembra il caso dell'aumento nel 2019 del numero di zolle in condizione "inesistente", quindi completamente disgregate e prive di copertura vegetazionale, poiché è evidente che questa condizione si presta assai meno a interpretazioni che possano essere riviste nel tempo.

Tabella 36 - Risultati del test di indipendenza χ^2 per il numero di zolle tra stato di conservazione (elevato, medio, basso, inesistente) e anni (2018, 2019) effettuato sull'intero sito di trapianto.

osservato						atteso					
	elevata	media	bassa	inesistente		elevata	media	bassa	inesistente		
2018	9	21	22	11	63	12.5	17.5	20.0	13.0		
2019	16	14	18	15	63	12.5	17.5	20.0	13.0		
	25	35	40	26	126						

$$X^2 = 4.3754$$

$$P(X^2_{0.05,3}) = 0.223679$$

H_0 : lo stato è indipendente dall'anno

componenti di X^2

$$= (oss - att) / \sqrt{att}$$

	elevata	media	bassa	inesistente
2018	-0.9899	0.8367	0.4472	-0.5547
2019	0.9899	-0.8367	-0.4472	0.5547

scarti di Freeman-Tukey

$$= \sqrt{att} + \sqrt{att+1} - \sqrt{4*att+1}$$

	elevata	media	bassa	inesistente
2018	-0.9792	0.8468	0.4862	-0.4994
2019	0.9817	-0.8115	-0.3985	0.5929

$$\text{valore critico (P=0.05)} = \sqrt{X^2_{0.05,3/8}} = 0.9884$$

$$\text{valore critico (P=0.01)} = \sqrt{X^2_{0.01,3/8}} = 1.1908$$

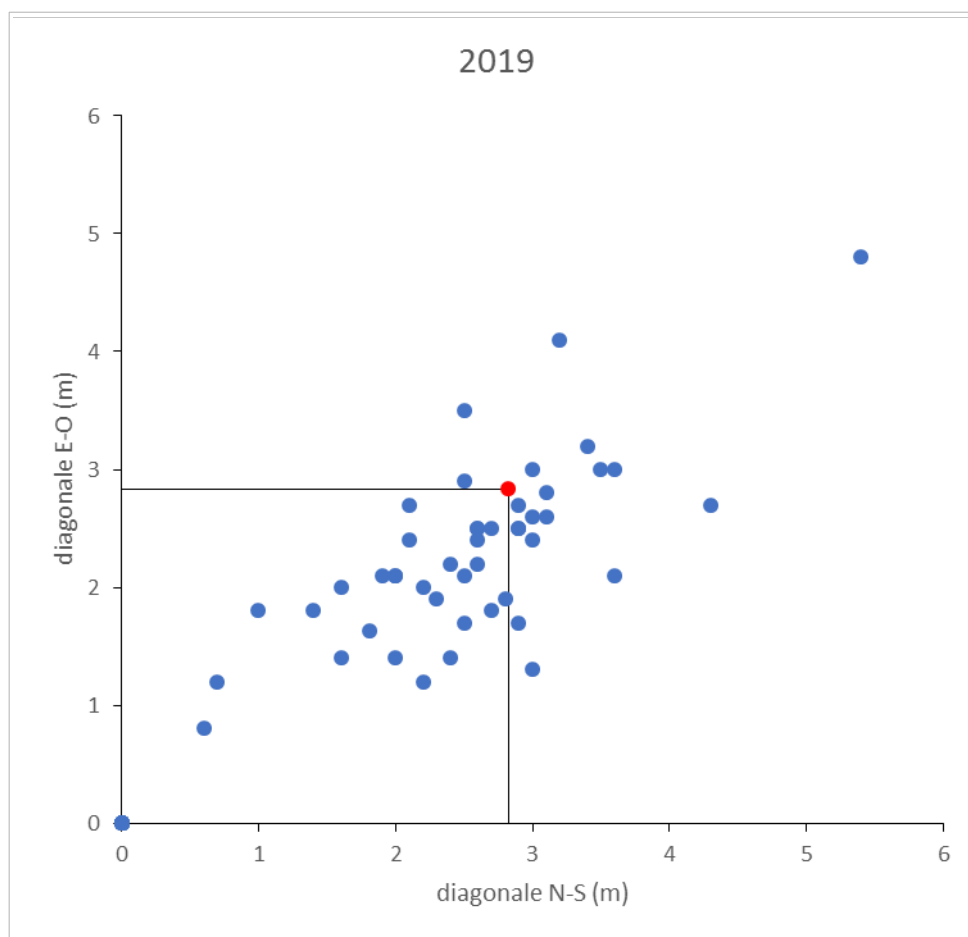


Figura 36 - Plot della relazione tra la misura in metri della diagonale E-O con quella della diagonale N-S, per ogni zolla, su tutto il sito di trapianto nel 2019.

Come già per il 2018, la Figura 36 mostra tutte le zolle in termini di dimensioni delle due diagonali misurate durante le attività di campo del 2019, con il punto rosso come riferimento delle dimensioni di una zolla imperturbata. I punti che cadono nel riquadro adiacente all'origine degli assi sono 50 e rappresentano le zolle che hanno viste ridotte entrambe le loro diagonali. A questo gruppo fa parte anche l'insieme delle zolle erose al punto da scomparire, che include 6 zolle. Al di fuori del riquadro i punti rappresentano invece le zolle che hanno visto, nel 2019, almeno una delle due diagonali misurare più del valore originale. Si tratta, in pratica, delle zolle che sono collassate in parte o in toto, aumentando la loro estensione in una o in entrambe le direzioni rappresentate dalla diagonale considerate. Su 63 zolle monitorate, 44 (70%) sono andate incontro a processi erosivi, parziali nel caso di 27 (43% del totale) zolle e totali, con scomparsa della zolla, in 17 casi (27% del totale). I punti relativi a queste zolle sono all'interno del riquadro in prossimità dell'origine o nell'origine stessa, per le zolle scomparse. Le rimanenti 19 zolle (30% del totale) hanno una (13 casi, 21% del totale) o due dimensioni maggiori di quelle originali (6 casi, 9% del totale). Queste ultime sono le sole, evidentemente, che non hanno subito processi erosivi, ma piuttosto una disgregazione più leggera e tale da non compromettere la riconoscibilità dell'aggregato originale, mantenendo così migliori probabilità di sopravvivenza dei fasci di Posidonia presenti sulla zolla.

Analisi della densità fogliare (zolle vs prateria naturale) - 2018

Un descrittore altrettanto importante quanto lo stato di conservazione e la superficie delle zolle è la densità dei fasci presenti sulle zolle stesse, che è stata misurata con i metodi tipicamente utilizzati nella prateria naturale, ovvero mediante conte in quadrati campione 40x40 cm.

La distribuzione dei valori rilevati nelle diverse stazioni di monitoraggio è mostrata in forma di box-plot in Figura 37, insieme a quella delle stazioni di controllo cumulate fra loro. Come si può notare, in tutti i casi si tratta di numeri molto inferiori a quelli della prateria naturale, con 3 stazioni su 4 che hanno addirittura il secondo quartile della distribuzione che comprende lo zero. I valori massimi osservati sulle zolle non raggiungono, con l'eccezione della stazione S3, i valori minimi del controllo.

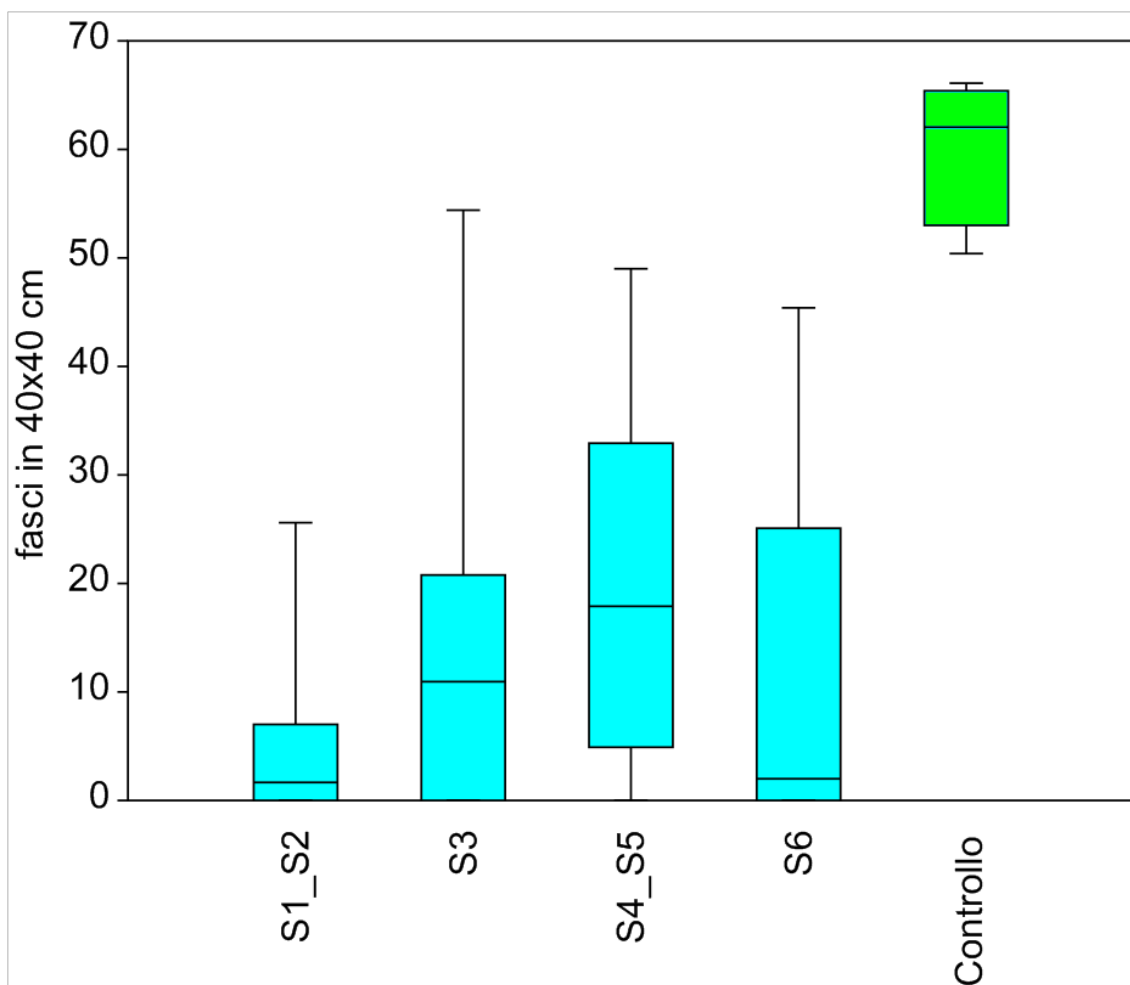


Figura 37 - Box-plot della distribuzione della densità di fasci misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e del controllo nel 2018.

Non è dunque sorprendente che da un test formale emerga una significativa eterogeneità dei risultati ottenuti. In particolare, il test di Kruskal-Wallis consente di rigettare l'ipotesi nulla di uguali mediane nei 5 gruppi di misure (Tabella 37), mentre il test di Mann-Whitney a posteriori fra coppie di stazioni mostra come il risultato del test di Kruskal-Wallis sia dovuto al fatto che tutte le stazioni hanno mediane significativamente inferiori al controllo. In questo caso ovviamente è stata applicata la correzione di Bonferroni per gestire la non-indipendenza dei confronti a coppie.

Il risultato complessivo ottenuto non è molto diverso da quello fornito dall'ANOVA, e quindi relativo alle differenze fra medie anziché mediane, ma a quest'ultima è stata preferita la sua alternativa non-parametrica a causa della disomogeneità delle varianze (test di Levene significativo). Seppur non statisticamente significativa, si evidenzia una differenza nei valori di densità fogliare delle zolle nella stazione S1_S2, rispetto alle altre stazioni. Tale differenza trova una giustificazione dal momento che la prima è vicino al porto di Piombino, area certamente più compromessa dal punto di vista ambientale rispetto alle restanti.

Tabella 37 - Risultati (A) del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane), (B) del test di Mann-Whitney e (C) del test ANOVA (confronto tra medie) per le differenze nella densità di fasci (numero fasci · quadrato⁻¹) misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e sul controllo nel 2018. In rosso i valori significativi.

A) Kruskal-Wallis test for equal medians					
H (chi2):	17.02				
Hc (tie corrected):	17.64				
p (same):	0.001449				
There is a significant difference between sample medians					
B) Mann-Withney (Bonferroni)					
	S1_S2	S3	S4_S5	S6	C
S1_S2		1	0.1033	1	0.02338
S3	1		1	1	0.04036
S4_S5	0.1033	1		0.9219	0.02873
S6	1	1	0.9219		0.02357
C	0.02338	0.04036	0.02873	0.02357	
C) Test for equal means (ANOVA)					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p (same)
Between gr.s:	10141.1	4	2535.28	13.47	5.84E-08
Within groups:	11667.1	62	188.178	Permutation p (n=99999)	
Total:	21808.2	66	1.00E-05		
Components of variance (only for random effects):					
Var(group):	180.754	Var(error):	188.178	ICC:	0.489938
omega2:	0.4268				
Levene's test for homogeneity of variance, from means				p (same):	0.04294
Levene's test, from medians				p (same):	0.2002
Welch F test in the case of unequal variances: F=43.36, df=19.63, p=1.767E-09					

Analisi della densità fogliare (zolle vs prateria naturale) - 2018-2019

In mancanza di un controllo nel 2019, anche se come per il 2018 non stazione per stazione, i confronti possibili per i dati 2019 sono solo quelli con stazioni omologhe del 2018 o con il controllo 2018. Un quadro dei parametri statistici relativi alla densità dei fasci (conte su quadrati 40x40 cm) è mostrato in Tabella 38, mentre la distribuzione dei valori è riportata in Figura 38.

Tabella 38 - Statistiche riassuntive della densità dei fasci (numero fasci · quadrato⁻¹) misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e sul controllo solo nel 2018.

	S1_S2	S3	S4_S5	S6	S1_S2	S3	S4_S5	S6	Controllo
N	2019	2019	2019	2019	2018	2018	2018	2018	2018
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	50.4
Max	15.40	52.40	40.20	46.20	25.60	54.40	49.00	45.40	66.10
Sum	67.40	226.80	345.60	297.00	88.42	215.82	315.65	182.20	240.60
Mean	4.21	16.20	20.33	18.56	5.53	14.39	19.73	11.39	60.15
Std. error	1.24	4.64	2.88	4.74	2.09	4.03	3.90	3.77	3.43
Variance	24.43	301.11	141.16	359.86	69.74	243.42	243.90	227.58	46.94
Stand. dev	4.94	17.35	11.88	18.97	8.35	15.60	15.62	15.09	6.85
Median	2.70	13.60	22.40	10.50	2.83	11.40	17.90	2.00	62.05
25 prcnil	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	4.91	0.00	53.00
75 prcnil	7.75	31.45	29.40	36.70	7.22	21.50	32.93	25.09	65.40
Skewness	0.95	0.63	-0.28	0.34	1.96	1.24	0.34	1.11	-1.42
Kurtosis	0.01	-0.64	-0.72	-1.79	3.08	1.69	-0.87	-0.02	2.22
Coeff. var	117.34	107.11	58.44	102.19	151.13	108.44	79.16	132.48	11.39

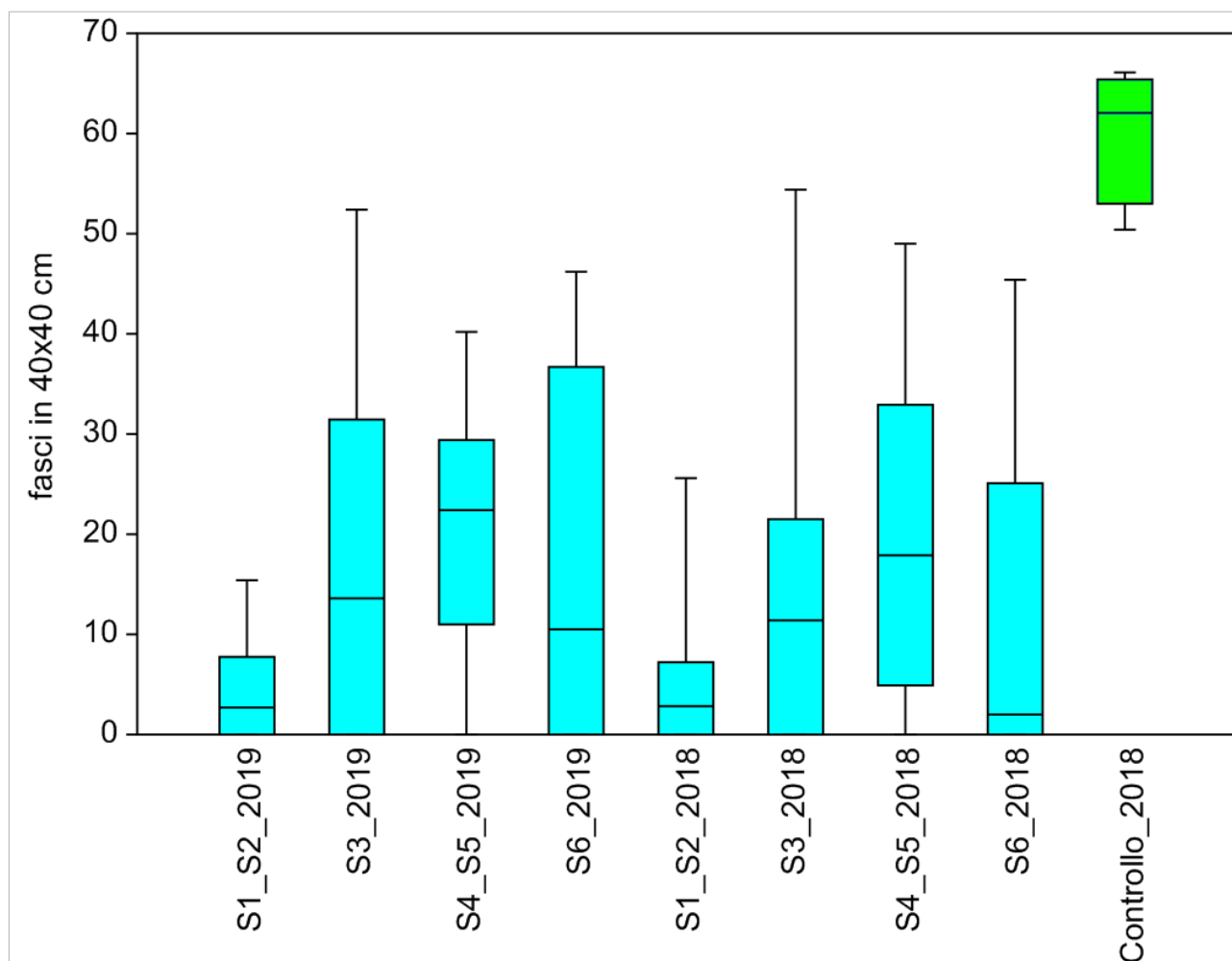


Figura 38 - Box-plot della distribuzione della densità dei fasci (numero fasci \cdot quadrato⁻¹) misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e del controllo solo nel 2018.

I primi due blocchi di quattro box-plot ciascuno indicano la distribuzione del numero di fasci per quadrato 40x40 cm relativi rispettivamente nelle diverse stazioni di monitoraggio delle zolle per il 2019 e per il 2018, mentre a destra è mostrato il box-plot relativo al controllo 2018. Non si notano differenze rilevanti, stazione per stazione fra 2018 e 2019, mentre è molto netta, come già discusso per il solo 2018, la differenza con il controllo di quell'anno, che aveva valori nettamente superiori a quelli riscontrati sulle zolle. Nel complesso le differenze fra le mediane sono risultate altamente significative al test di Kruskal-Wallis (Tabella 39).

Se si esaminano i confronti a coppie effettuati a posteriori mediante test di Mann-Whitney ed applicando la correzione di Bonferroni (Tabella 40), risultano significative soltanto due differenze, ovvero quella fra la S4_S5 2019 e la S1_S2, sia 2018 che 2019. Non risultano significative le differenze rispetto al controllo, che lo erano per i soli dati 2018, ma questo risultato è da attribuire al gran numero di confronti a coppie effettuati in questo caso, che rendono la correzione di Bonferroni particolarmente stringente.

Tabella 39 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per la densità dei fasci (numero fasci · quadrato⁻¹) misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e sul controllo solo nel 2018. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians			
H (chi2):	27.7		
Hc (tiecorrected):	28.74		
p (same):	0.0003527		
There is a significant difference between sample medians			

Tabella 40 - Risultati del test di Mann-Whitney per le differenze nella densità dei fasci (numero fasci · quadrato⁻¹) misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e sul controllo solo nel 2018. In rosso i valori significativi.

Mann-W. (Bonferroni)	S1_S2 2019	S3 2019	S4_S5 2019	S6 2019	S1_S2 2018	S3 2018	S4_S5 2018	S6 2018	Controllo 2018
S1_S2 2019		1	0.006898	1	1	1	0.1155	1	0.08483
S3 2019	1		1	1	1	1	1	1	0.1494
S4_S5 2019	0.006898	1		1	0.04049	1	1	1	0.09678
S6 2019	1	1	1		1	1	1	1	0.09208
S1_S2 2018	1	1	0.04049	1		1	0.3717	1	0.08416
S3 2018	1	1	1	1	1		1	1	0.1453
S4_S5 2018	0.1155	1	1	1	0.3717	1		1	0.1034
S6 2018	1	1	1	1	1	1	1		0.08483
Controllo 2018	0.08483	0.1494	0.09678	0.09208	0.08416	0.1453	0.1034	0.08483	

L'ultimo confronto riguarda, nel complesso, i dati di densità dei fasci di Posidonia rilevati sulle zolle nel 2018 e nel 2019 e quelli relativi al controllo 2018. In Figura 39 sono rappresentate tutte le misure eseguite sotto forma di box-plot, ma i singoli valori a confronto sono riportati, all'interno dei box-plot, come punti. E' evidente che solo 2 di quelle effettuate sulle zolle (una per il 2018 ed una per il 2019) superino il più basso dei valori del controllo. Non è sorprendente, dunque, che le differenze complessive risultino significative e che siano significative, in particolare, le differenze dei valori rilevati sulle zolle in entrambi gli anni rispetto al controllo 2018 e non quelle fra i due anni (Tabella 41). A tal riguardo, si sottolinea però la mancanza di dati relativi alla densità fogliare sulle zolle al momento del loro trasferimento, nel 2014, dal momento che il monitoraggio pregresso ante SEPOSSO non aveva previsto indagini quantitative. Considerando l'ubicazione della prateria donatrice antistante il porto di Piombino, dove le zolle sono state prelevate, si può

ipotizzare che le zolle trasferite avessero già originariamente densità fogliari inferiori rispetto alla prateria naturale adiacente nelle aree di trapianto, almeno per quelle più lontane rispetto al porto. Tali considerazioni non possono però ad oggi essere verificate e la dinamica di popolazione dei fasci sulle zolle potrà essere monitorata in futuro esclusivamente partendo dal data set oggetto del presente Report.

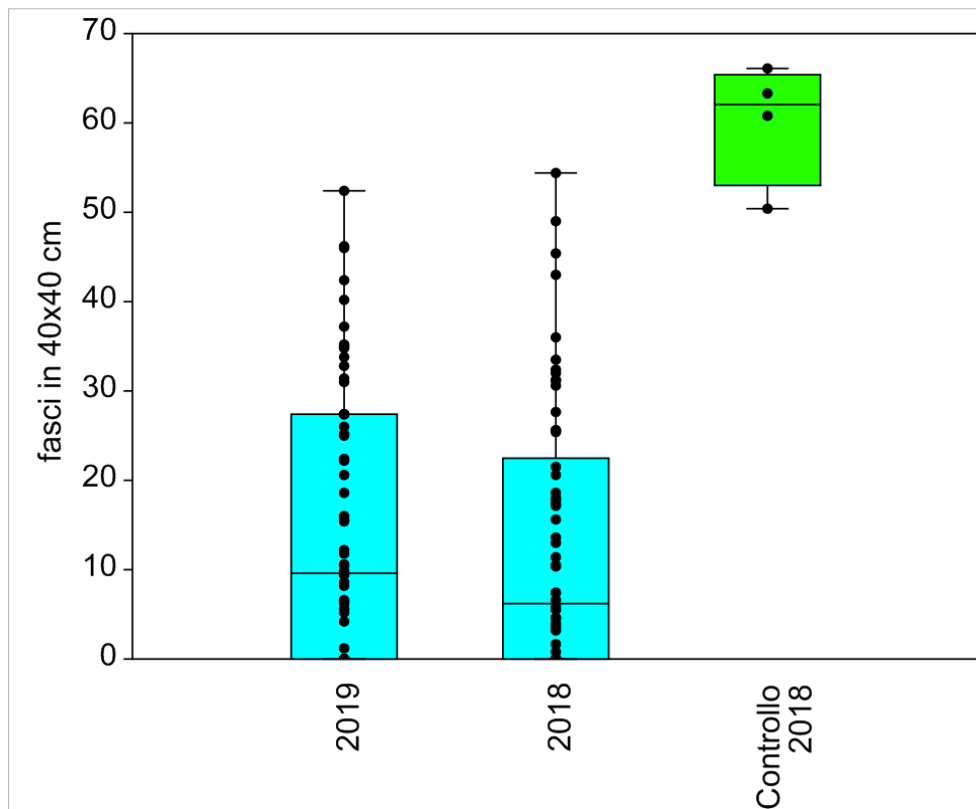


Figura 39 - Box-plot della distribuzione della densità dei fasci misurata nelle aree di trapianto negli anni 2018 e 2019, e nel sito di controllo (solo 2018).

Tabella 41 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per differenze nella densità dei fasci (numero fasci · quadrato⁻¹) misurata sulle aree di trapianto negli anni 2018 e 2019, e sul sito di controllo (solo 2018). In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians			
H (chi2): 11.77			
Hc (tiacorrected): 12.23			
p (same): 0.002208			
There is a significant difference between sample medians			
Mann-W. (Bonferroni)	2019	2018	Controllo
2019		1	0.002456
2018	1		0.002383
Controllo	0.002456	0.002383	

Analisi dei parametri fenologici (zolle vs prateria naturale) - 2018

In Figura 40 è mostrata la distribuzione delle lunghezze della foglia adulta più lunga nelle 4 stazioni e nel controllo, che, a differenza delle densità dei fasci, non presenta variazioni apprezzabili. Non a caso, il test di Kruskal-Wallis riportato nella Tabella 42 non consente di rigettare l'ipotesi nulla di uguali mediane nei diversi gruppi.

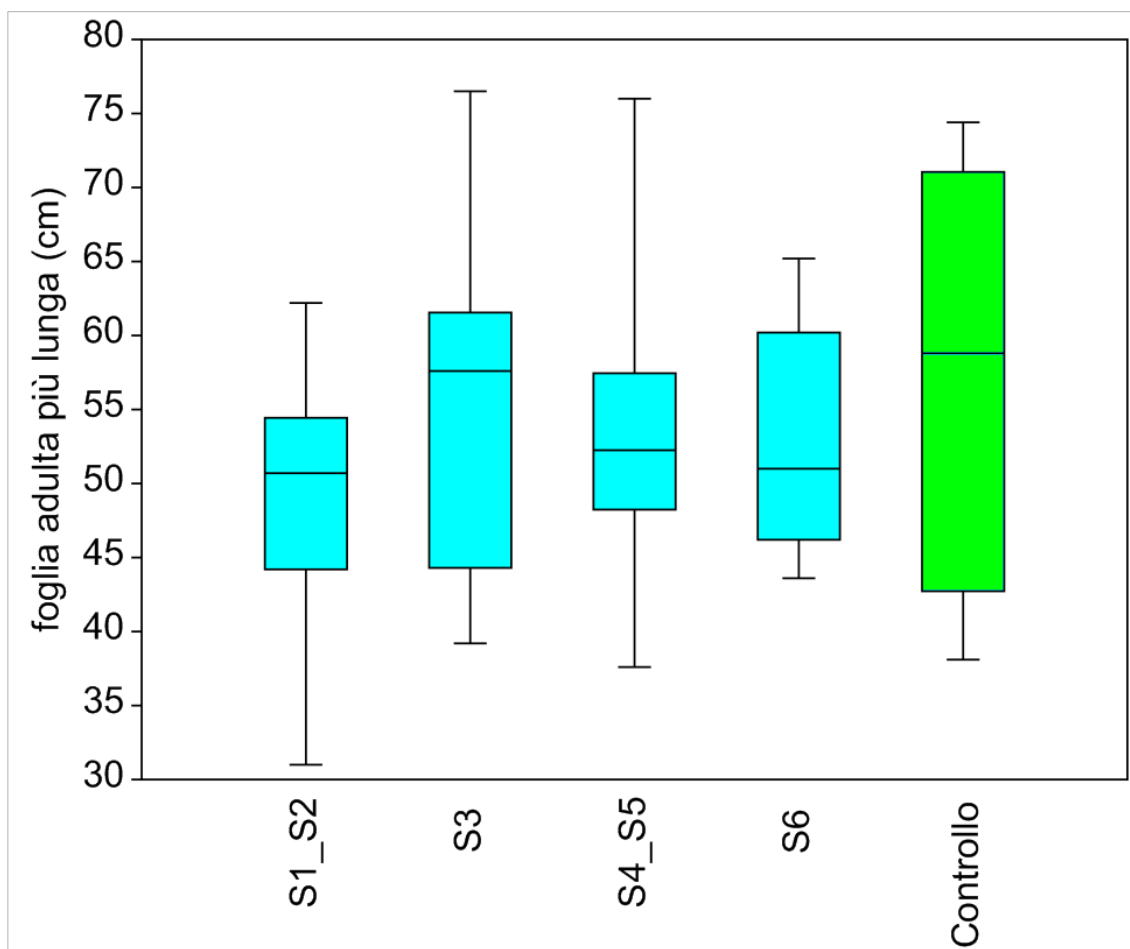


Figura 40 - Box-plot della distribuzione della lunghezza della foglia più lunga misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e del controllo nel 2018.

Tabella 42 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per le differenze nella lunghezza della foglia più lunga misurata nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e nel controllo nel 2018.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	2.725
Hc (tie corrected):	2.726
p (same):	0.6047

There is no significant difference between sample medians

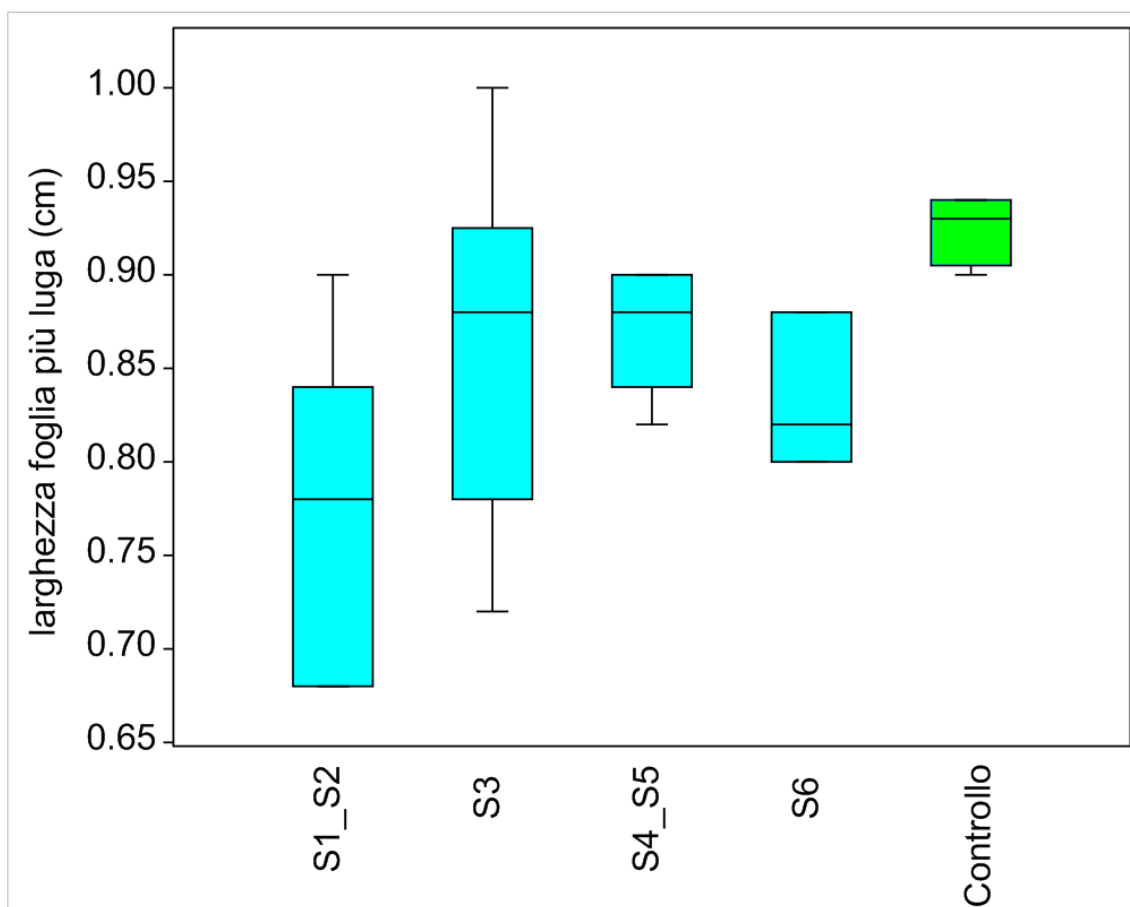


Figura 41 - Box-plot della distribuzione della larghezza della foglia più lunga misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e del controllo nel 2018.

Tabella 43 - Risultati (A) del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) e (B) del test di Mann-Withney per le differenze nella larghezza della foglia più lunga misurato nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e nel controllo nel 2018. In rosso i valori significativi.

A)					
Kruskal-Wallis test for equal medians (larghezza)					
H (chi2): 11.03					
Hc (tie corrected): 11.3					
p (same): 0.02337					
There is a significant difference between sample medians					
B)					
Bonf P	S1_S2	S3	S4_S5	S6	Controllo
S1_S2		1	0.411	1	0.1759
S3	1		1	1	1
S4_S5	0.411	1		1	0.1998
S6	1	1	1		0.4975
Controllo	0.1759	1	0.1998	0.4975	

Un risultato non del tutto analogo è stato ottenuto nel confronto fra le larghezze delle foglie, poiché nel complesso le differenze fra le stazioni e – soprattutto – il controllo sono risultate significative, come mostrato sotto forma di box-plot in Figura 41 e ribadito in forma tabellare dal risultato del test di Kruskal-Wallis in Tabella 43. E' abbastanza evidente che la larghezza delle foglie della prateria adiacente alle stazioni di posizionamento delle zolle è maggiore della gran parte di quelle riscontrate nei fasci presenti sulle zolle. Il test di Kruskal-Wallis, infatti, mostra una significativa differenza complessiva, che però non trova riscontro nei confronti a coppie a causa della correzione di Bonferroni, certamente appropriata, ma che porta a decuplicare i livelli di probabilità non corretti e quindi a smorzare gli effetti delle differenze.

Infine, il confronto fra le lunghezze del tessuto bruno mostra differenze molto modeste fra le stazioni in cui sono state poste le zolle e differenze un po' più ampie con i controlli, che hanno un valore mediano intorno ai 5 cm, che è circa la metà di quello complessivo delle zolle (Figura 42). Non è sorprendente, pertanto, che le differenze in gioco non siano statisticamente significative (Tabella 44).

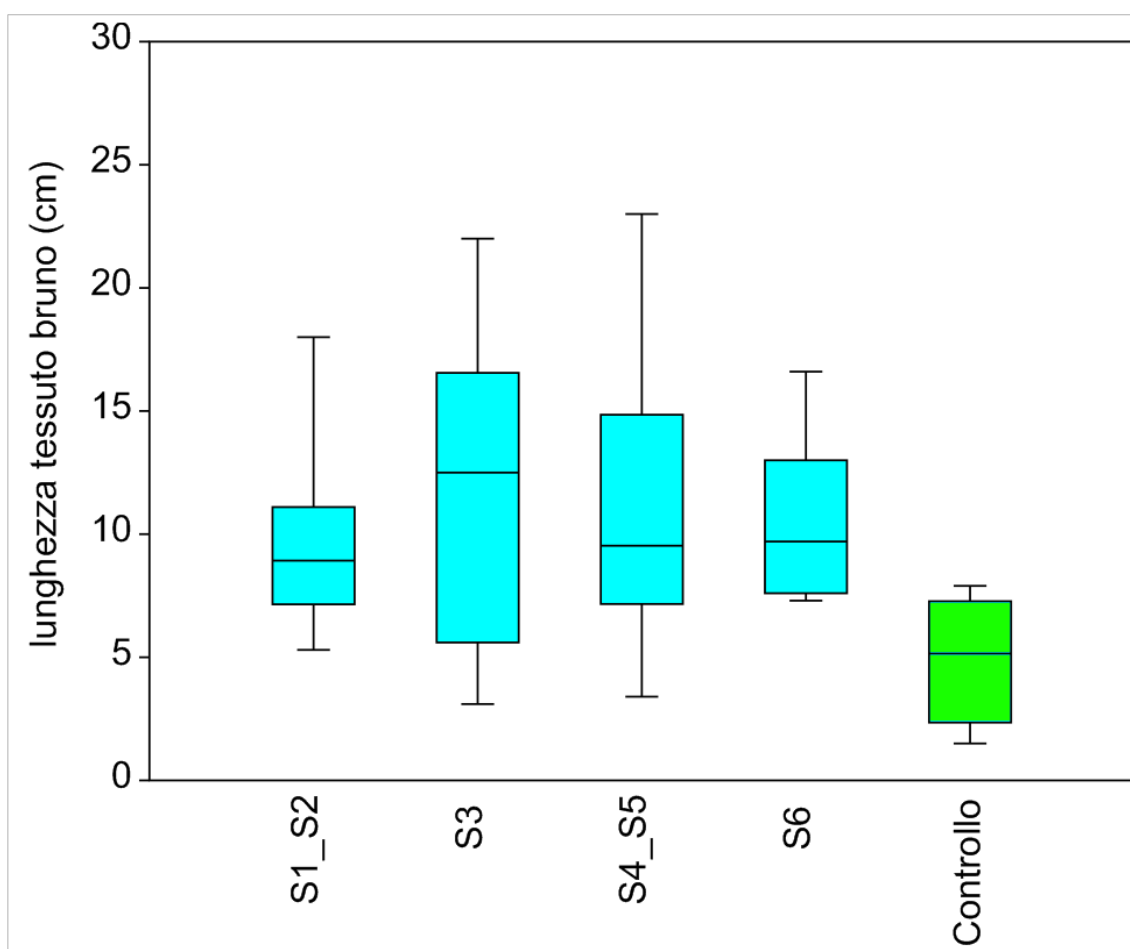


Figura 42 - Box-plot della distribuzione della lunghezza del tessuto bruno misurato sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e del controllo nel 2018.

Tabella 44 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per le differenze nella lunghezza del tessuto bruno misurato nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) e nel controllo nel 2018

Kruskal-Wallis test for equal medians			
H (chi2):	5.968		
Hc (tie corrected):	5.969		
p (same):	0.2015		
There is no significant difference between sample medians			

Analisi dei parametri fenologici (zolle vs prateria naturale) - 2018-2019

Non si rilevano differenze significative nella lunghezza delle foglie adulte più lunghe, così come nel caso del solo 2018 (Figura 43 e Tabella 45). Sono invece significative le differenze fra le larghezze delle foglie adulte più lunghe (Figura 44, Tabella 46 e Tabella 47) e quelle fra le lunghezze del tessuto bruno (Figura 45, Tabella 48 e Tabella 2). Nel primo caso nessuno dei singoli confronti a coppie evidenzia differenze significative, anche in questo caso, ovviamente per effetto della correzione di Bonferroni. E' evidente, tuttavia, che tre dei quattro confronti con un valore di p diverso da 1 sono relativi a confronti con il controllo 2018, in cui la larghezza delle foglie adulte più lunghe era ampiamente superiore alla maggioranza degli altri casi. Nel caso invece della lunghezza del tessuto bruno si evidenziano anche due confronti a coppie associati a differenze significative, ma bisogna sottolineare il fatto che questo parametro ha un significato concreto solo se riferito ad un campionamento sinottico, ovvero ad un confronto fra lamine fogliari la cui "storia" biologica sia esattamente comparabile dal punto di vista della stagionalità. Questa condizione non è rispettata nel confronto fra dati 2018 e dati 2019, quindi il confronto stesso ha il fine di evidenziare la variabilità osservata e non quello di identificare differenze che potrebbero essere molto probabili in ragione del fatto che i dati del 2019 sono stati raccolti con 4 settimane di anticipo rispetto al 2018, nella transizione stagionale tra estate ed autunno.

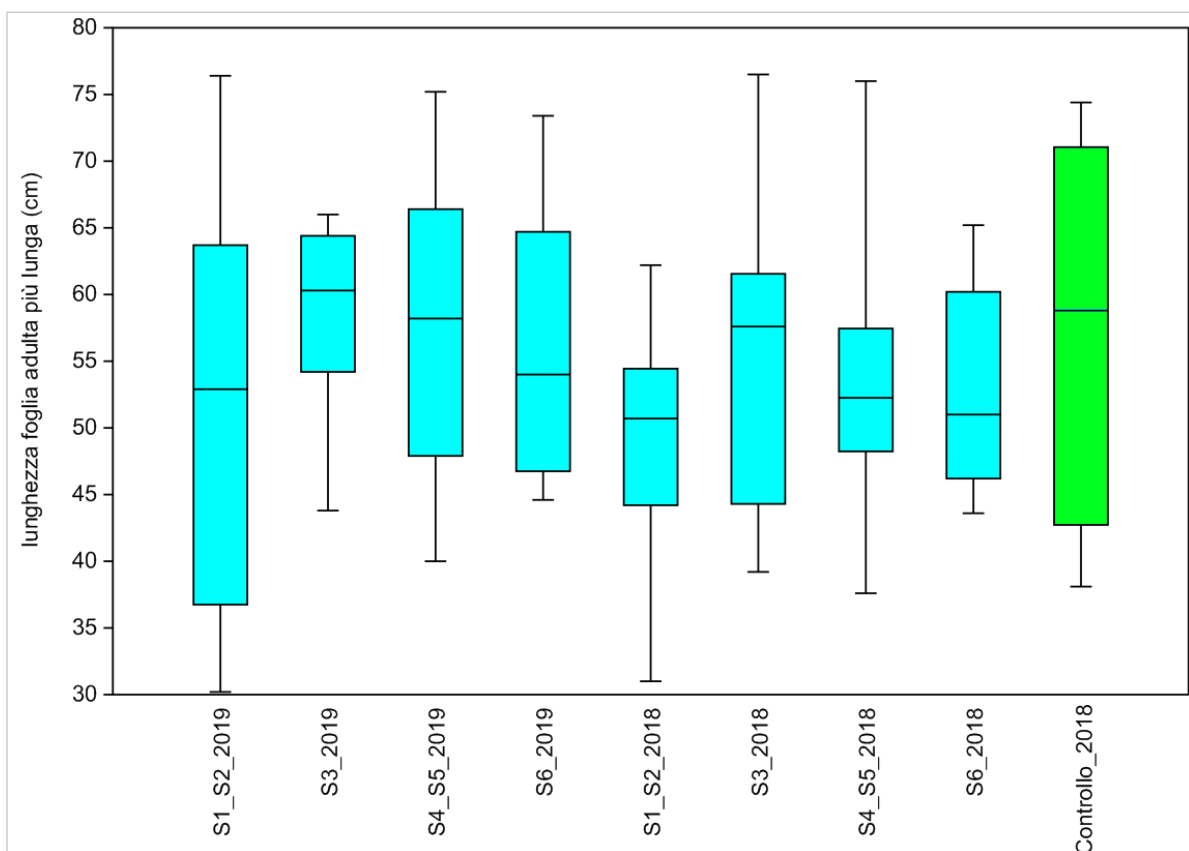


Figura 43 - Box-plot della distribuzione della lunghezza della foglia più lunga misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e del controllo solo nel 2018.

Tabella 45 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per le differenze nella lunghezza della foglia più lunga misurata nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e nel controllo solo nel 2018. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	6.86
Hc (tiacorrected):	6.861
p (same):	0.5517
There is no significant difference between sample medians	

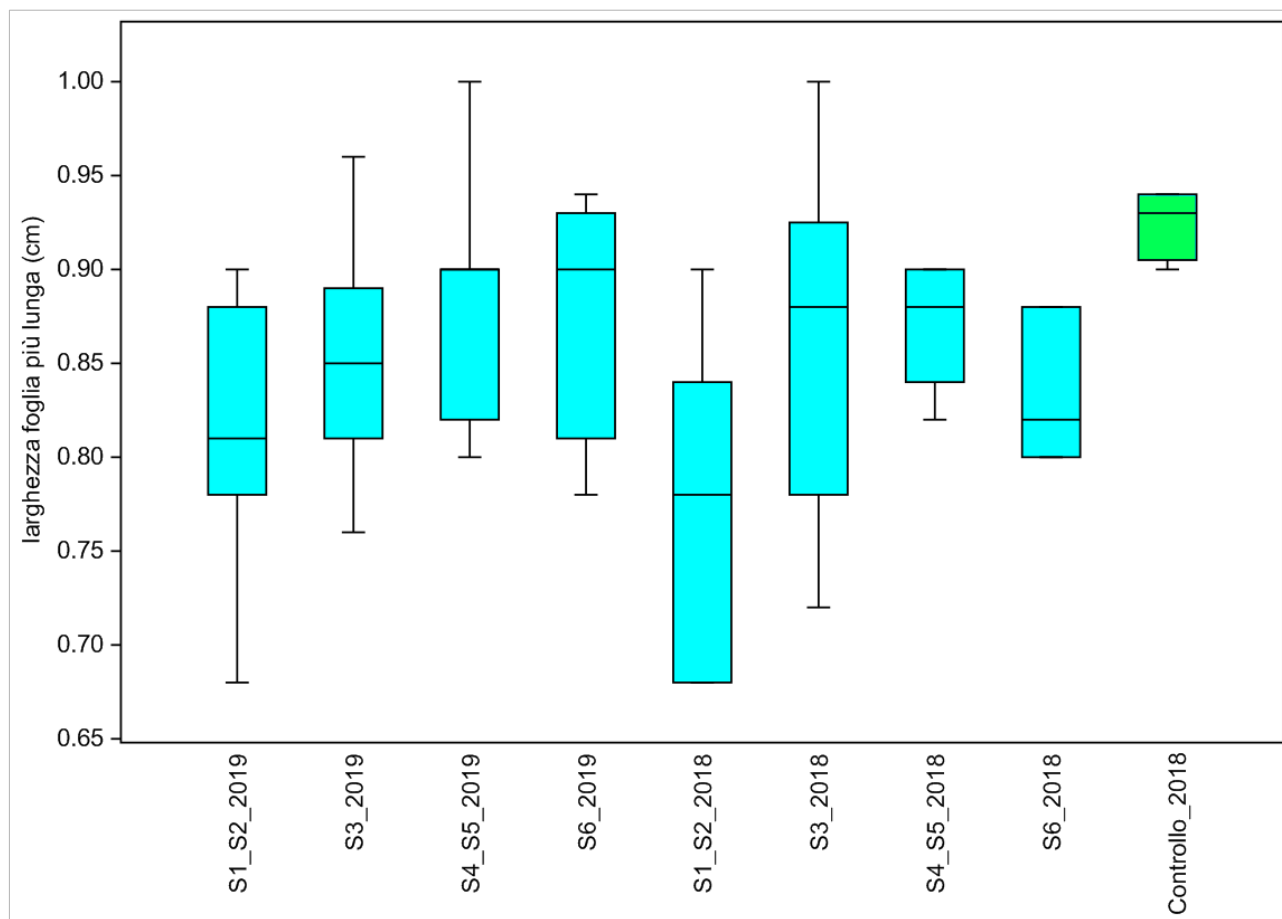


Figura 44 - Box-plot della distribuzione della larghezza della foglia più lunga misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e del controllo solo nel 2018.

Tabella 46 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per le differenze nella larghezza della foglia più lunga misurata nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e nel controllo solo nel 2018. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians				
H (chi2):	16.88			
Hc (tiecorrected):	17.22			
p (same):	0.02791			
There is a significant difference between sample medians				

Tabella 47 - Risultati del test di Mann-Whitney per le differenze nella larghezza della foglia più lunga misurata nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e nel controllo solo nel 2018.

Mann-W. (Bonferroni)	S1_S2 2019	S3 2019	S4_S5 2019	S6 2019	S1_S2 2018	S3 2018	S4_S5 2018	S6 2018	Controllo 2018
S1_S2 2019		1	1	1	1	1	1	1	0.2437
S3 2019	1		1	1	1	1	1	1	1
S4_S5 2019	1	1		1	0.8834	1	1	1	1
S6 2019	1	1	1		1	1	1	1	1
S1_S2 2018	1	1	0.8834	1		1	1	1	0.6332
S3 2018	1	1	1	1	1			1	1
S4_S5 2018	1	1	1	1	1			1	0.7193
S6 2018	1	1	1	1	1	1	1		1
Controllo 2018	0.2437	1	1	1	0.6332	1	0.7193	1	

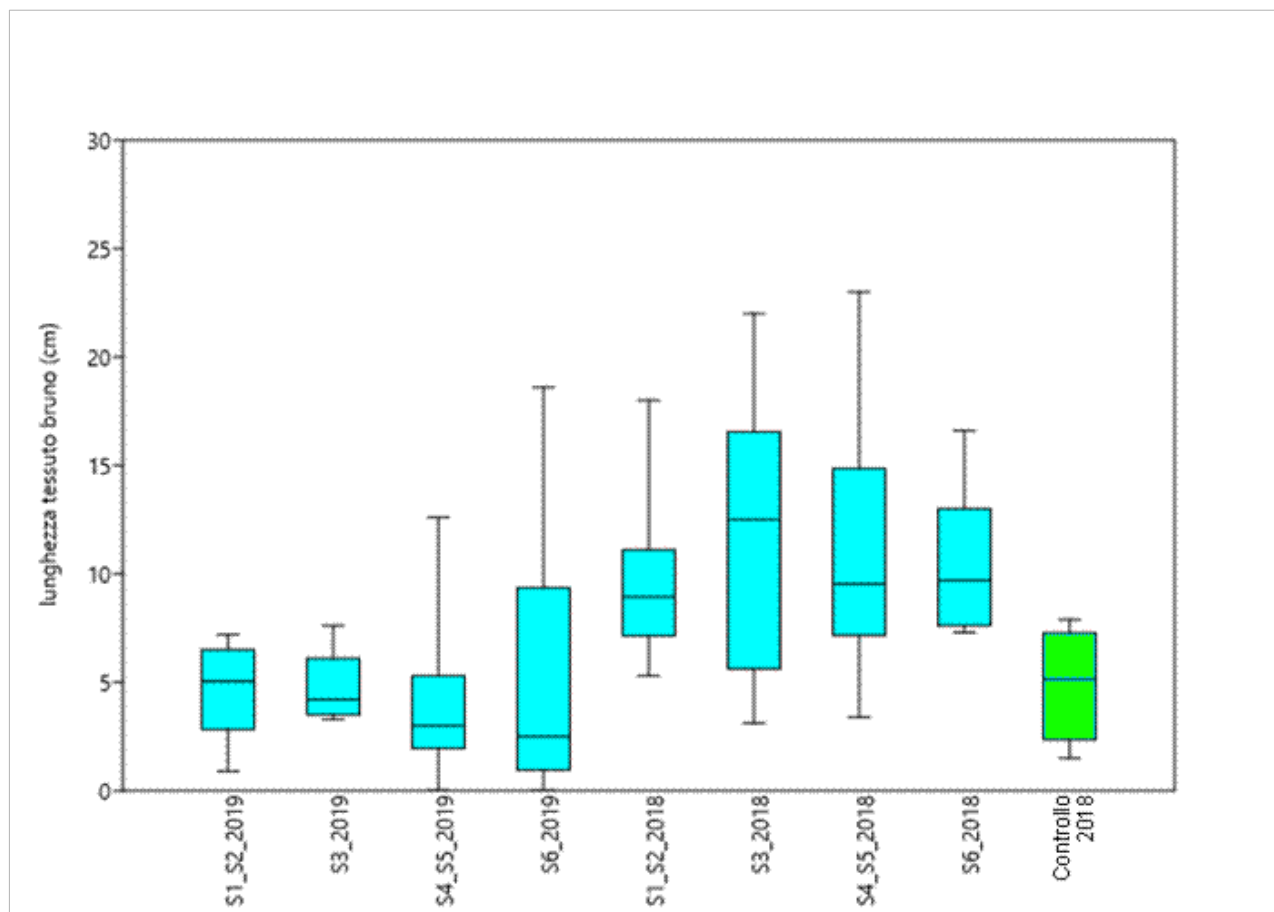


Figura 45 - Box-plot della distribuzione della lunghezza del tessuto bruno misurata sulle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e del controllo solo nel 2018.

Tabella 48 - Risultati del test di Kruskal-Wallis (confronto tra mediane) per le differenze nella lunghezza del tessuto bruno misurata nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e nel controllo solo nel 2018. In rosso i valori significativi.

Kruskal-Wallis test for equal medians			
H (chi2):	35.00		
Hc (tiececorrected):	35.00		
p (same):	2.67E-05		
There is a significant difference between sample medians			

Tabella 49 - Risultati del test di Mann-Whitney per le differenze nella lunghezza del tessuto bruno misurata nelle zolle delle aree di trapianto (S1-S2, S3, S4-S5, S6) nel 2018 e 2019, e nel controllo solo nel 2018. In rosso i valori significativi.

Mann-W. (Bonferroni)	S1_S2 2019	S3 2019	S4_S5 2019	S6 2019	S1_S2 2018	S3 2018	S4_S5 2018	S6 2018	Controllo 2018
S1_S2 2019		1	1	1	0.1018	0.5764	0.13	0.02737	1
S3 2019	1		1	1	0.0576	1	0.2098	0.09273	1
S4_S5 2019	1	1		1	0.03265	0.09561	0.05609	0.05493	1
S6 2019	1	1	1		1	0.8736	0.8908	1	1
S1_S2 2018	0.1018	0.0576	0.03265	1		1	1	1	1
S3 2018	0.5764	1	0.09561	0.8736	1		1	1	1
S4_S5 2018	0.13	0.2098	0.05609	0.8908	1	1		1	1
S6 2018	0.02737	0.09273	0.05493	1	1	1	1		1
Controllo 2018	1	1	1	1	1	1	1	1	

SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sintesi e discussione dei risultati (S. Marinella)

Il trapianto di Posidonia del sito di S. Marinella realizzato tra il 2004 e il 2005 rappresenta, ad oggi il trapianto più vecchio e più esteso tra quelli studiati e realizzati nel Mediterraneo.

La prateria donatrice era situata nella ZSC IT6000005 "Fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara", nella zona in cui sono stati effettuati i lavori per la realizzazione della Darsena Energetica Grandi Masse (Decreto VIA 6923/2002 e s.s.m.). Su questa prateria furono effettuate prospezioni subacquee per identificare le migliori aree in cui effettuare l'espianto dei migliori fasci di Posidonia da reimpiantare, considerando solo quelli provenienti da una profondità analoga a quella di trapianto.

Il trapianto è stato realizzato all'interno della prateria della Zona Speciale di Conservazione (ZSC IT6000007) "Fondali antistanti S. Marinella", a circa 20 km dal sito di espianto (A.A.V.V. 2019, Life SEPOSSO Azione A3). L'area di intervento è stata indicata come idonea al trapianto da Enel Produzione S.p.a. ma non sono stati realizzati trapianti pilota al fine di individuare le aree più idonee al trapianto. L'acquisizione di dati batimetrici e morfologici del fondo e un'ampia prospezione della prateria ricevente, ha permesso di individuare le aree più idonee al trapianto. Nell'area di trapianto non è stata effettuata una mappatura di dettaglio della disposizione delle superfici di trapianto.

Nel sito di S. Marinella si evidenzia che la perdita completa di alcune aree di trapianto rappresenta circa il 25% dell'intera superficie trapiantata, prevalentemente a causa di forti mareggiate che hanno divelto i moduli di trapianto. Del rimanente 75% sono state registrate perdite parziali di moduli all'interno di alcune aree. A livello di sito, a S. Marinella nel 2019 è stata stimata una perdita complessiva di moduli di trapianto pari al 60% del totale dei moduli installati (dato ENEL Produzione S.p.a.). In questo sito di trapianto non sono state effettuate indagini morfo-batimetriche (ad esempio mediante Side Scan Sonar, Multi Beam, fotomosaici) né a trapianto ultimato né durante i successivi monitoraggi. Ciò ha determinato l'impossibilità di stimare nel tempo, ad esempio attraverso l'elaborazione cartografica, la superficie di trapianto rimasta in vita e quella andata persa.

Le 13 aree di trapianto monitorate dal progetto Life SEPOSSO sono un campione rappresentativo delle aree superstiti dell'intero sito, cioè del 75% delle aree trapiantate, comprese anche quelle aree che hanno avuto perdite parziali. In queste aree la conta del numero dei fasci nei moduli ha evidenziato, al 2018 e dopo 13 anni dal trapianto, un aumento da 4 a 16 volte rispetto al numero dei fasci trapiantati in origine. Il dato ha ovviamente tenuto conto delle perdite di fasci avvenute nel tempo per danni meccanici e agenti meteo marini (principalmente pesca praticata illegalmente, ancoraggi, mareggiate).

Per l'analisi dell'andamento temporale del numero medio di fasci per modulo di trapianto sono stati considerati sia i dati raccolti nelle aree monitorate nel 2018 dal progetto SEPOSSO sia quelli raccolti nel monitoraggio condotto da ENEL Produzione S.p.a. fino al 2019. Questi ultimi dati,

presenti nei report consegnati da ENEL alla Divisione Valutazioni Ambientali (DVA) del MATTM, sono accessibili sul portale delle Valutazioni Ambientali del MATTM in formato pdf, ma sono privi delle specifiche condizioni di utilizzabilità del dato (A.A.V.V. 2019, Life SEPOSSO Azione B3.2). Pertanto l'utilizzo di questi dati nel presente lavoro è stato possibile grazie alla concessione fornita da ENEL. Il trend del numero medio di fasci per modulo di trapianto ha mostrato un calo nei primi anni successivi al trapianto, seguito da un lieve incremento nel numero dei fasci, che diventa rilevante nel lungo termine e comunque a partire dai 5 anni successivi al trapianto. Si evidenzia che il monitoraggio prescritto nel Decreto VIA era di soli 5 anni e pertanto, non avrebbe rilevato tale tendenza. Il trend positivo è stato rilevato fino al 2018, mentre nel 2019 si è registrata una leggera flessione legata a danni estesi, probabilmente imputabili alla pesca illegalmente praticata a bassa profondità e alle intense mareggiate registrate in quell'anno, che ovviamente hanno coinvolto anche la prateria naturale. In particolare, si evidenzia come l'andamento del numero medio di fasci per modulo nella prima fase *post* trapianto per l'intero sito di S. Marinella sia sempre superiore all'obiettivo minimo di qualità stabilito, pari al 50% di fasci rinvenuti rispetto ai trapiantati. Il raggiungimento di tale obiettivo definito nel Decreto VIA rappresentava la condizione di ottemperanza della prescrizione del trapianto come opera compensativa al danno effettuato al posidonieto.

L'andamento del coefficiente di variazione, calcolato sul numero medio di fasci per modulo di trapianto sia per le 40 stazioni dell'intero data set disponibile, sia per le 11 stazioni prese in esame nel progetto SEPOSSO, ha mostrato, nell'arco temporale 2005-2019, dopo circa cinque anni dal trapianto la tendenza a mantenere valori stabili. Tale stabilità indica che a prescindere dalle densità conseguite, la mortalità dei fasci trapiantati, sia di natura endogena che esogena (mortalità naturale, perdita di moduli e fasci), non gioca più un ruolo rilevante nella dinamica di crescita del trapianto. Pertanto il coefficiente di variazione rappresenta un indice di stabilità del trapianto e permette di individuare il momento in cui la crescita diventa bilanciata in tutti i moduli campione determinando, in un periodo di tempo più o meno lungo, il raggiungimento della massima densità sostenibile.

Dopo molti anni dalla realizzazione del trapianto diventa estremamente complicato continuare a monitorare la crescita dei fasci attraverso la loro conta nei moduli di trapianto. Pertanto, nel monitoraggio SEPOSSO del 2019 le aree di trapianto esaminate sono state monitorate con la stessa metodologia con cui si monitorano le praterie naturali, cioè attraverso conte casuali all'interno di superfici standard (quadrato 40 x 40 cm), senza far riferimento ai moduli originari di trapianto. I risultati relativi alla densità fogliare nelle 13 aree di trapianto e al loro confronto con la prateria naturale, hanno mostrato valori di densità assimilabili a quelli della prateria naturale, che mediati a livello di sito sono classificabili come "prateria densa" *sensu* Giraud (1977). In alcuni casi la densità della prateria trapiantata risulta essere anche più elevata di quella naturale. Per quanto riguarda l'analisi fenologica è emerso che le foglie trapiantate sono più strette e più corte di quelle della prateria naturale. Questa caratteristica sembra indicare che la pianta trapiantata investe maggiori risorse nella crescita del rizoma (soprattutto per quella plagiotropa) piuttosto che nel tessuto fogliare come invece accade nelle piante della prateria naturale, coerentemente con la necessità di espandersi nelle prime e di aumentare l'attività fotosintetica nelle seconde.

In Tabella 50 sono stati riportati gli aspetti tecnico gestionali, riscontrati o meno nel caso di studio di S. Marinella, ritenuti utili ad una attività di trapianto in generale.

Tabella 50 - Aspetti tecnico gestionali riscontrati o meno nel caso di studio di S. Marinella, ritenuti utili ad una attività di trapianto.

ASPETTI TECNICO-GESTIONALI	ATTIVITA'	ESEGUITE
Selezione del sito di espianto	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	SI
Selezione del sito di trapianto	Prossimità al sito di trapianto	NO
	Screening preliminare mediante dati pregressi open access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	SI
Selezione della tecnica di trapianto	Trapianti pilota	NO
	Tecnica di trapianto testata in progetti sperimentali	SI
Gestione delle attività di trapianto	Tecnica di trapianto testata su vasta scala come misura di compensazione/ <i>restoring</i>	NO
	Selezione dei fasci effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
Gestione delle attività post-trapianto	Trapianto di fasci effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	NO
	Mappatura di dettaglio delle superfici trapiantate	NO
Parametri di performance del trapianto	Variazioni della superficie dell'area di trapianto nel tempo (es. mediante cartografia)	NO
	Andamento temporale del numero dei fasci trapiantati	SI
	Andamento temporale della biometria fogliare	SI
Monitoraggio	Monitoraggio di breve termine (≤ 3 anni)	SI
	Monitoraggio di medio termine ($3 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$)	SI
	Monitoraggio di lungo termine (> 5 anni)	SI ^a
Gestione e protezione del sito di trapianto	Valore soglia per la garanzia minima di successo	SI
	Ordinanze della Capitaneria di Porto per interdizione delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggio.	SI
	Protezioni del sito di trapianto (es. campi boe, dissuasori antistrascico)	NO
	Attività di disseminazione e sensibilizzazione pubblica	NO
Accessibilità e utilizzabilità dei dati	Documentazione attività accessibile	SI
	Dati disponibili su richiesta	SI
	Dati open-access	NO

^a Il monitoraggio di lungo termine (> 5 anni) risulta essere un elemento essenziale presente nella gestione del sito di trapianto di S. Marinella; a tal riguardo, si sottolinea però che tale monitoraggio non è stato previsto da Enel Produzione S.p.a. *ab origine*, ma è stato finanziato successivamente dal Proponente in continuità con quello pregresso. I dati di monitoraggio di lungo termine disponibili oggetto dello studio derivano anche da attività del Progetto LIFE SEPOSSO.

Sintesi e discussione dei risultati (Ischia)

Il sito di Ischia ospita un trapianto realizzato tra il 2008 e il 2009, ed è stato effettuato con la medesima tecnica usata a S. Marinella.

La prateria donatrice era situata all'interno della ZSC IT8030010 "Fondali marini di Ischia, Procida e Vivara", facente parte dell'Area Marina Protetta "Regno di Nettuno", in cui furono effettuate prospezioni subacquee per identificare le aree in cui effettuare l'espianto dei migliori fasci di Posidonia da reimpiantare, avendo cura di prelevare fasci alla medesima profondità del trapianto. I siti scelti come idonei all'espianto furono quelli successivamente dragati per la posa della condotta (Decreto VIA 10/2008) (A.A.V.V.. LIFE SEPOSSO 2018 Azione B1.2.).

Il trapianto, eseguito da Econ s.r.l. per conto di Ischia Gas S.r.L. (per conto di Concordia CPL). Il trapianto, è stato realizzato su un'area complessiva di 1600 m², nella Zona Speciale di Conservazione (ZSC IT8030010) "Fondali marini di Ischia, Procida e Vivara", nonché Area Marina Protetta "Regno di Nettuno" a poche centinaia di metri dal sito di espianto. Non sono stati realizzati trapianti pilota al fine di individuare le aree più idonee al trapianto ma l'area di intervento è stata indicata come idonea al trapianto da Ischia Gas S.r.L.. Nell'area di trapianto non è stata effettuata una mappatura di dettaglio della disposizione delle superfici di trapianto.

Nel sito di Ischia si evidenzia la perdita completa di una sola area di trapianto (R8) a causa di una forte mareggiata avvenuta nel 2010, rappresentando circa il 20% dell'intera superficie trapiantata. Del rimanente 80% sono state registrate perdite parziali di moduli all'interno di alcune aree. A livello di sito nel 2019 è stata stimata una perdita complessiva di moduli di trapianto pari al 25% del totale dei moduli installati. Per il sito di trapianto di Ischia non è disponibile una stima della superficie di trapianto persa mediante analisi cartografiche poiché, anche qui, non sono state effettuate indagini morfo-batimetriche (ad esempio mediante Side Scan Sonar, Multi Beam, fotomosaici) né a trapianto ultimato né durante i successivi monitoraggi.

Nelle 4 aree di trapianto monitorate dal Progetto SEPOSSO, coincidenti con quelle del monitoraggio pregresso (2009-2014) svolto da Concordia CPL, secondo quanto prescritto dal MATTM nel Decreto VIA, la conta del numero dei fasci nei moduli ha evidenziato, al 2018 e dopo 9 anni dal trapianto, un aumento di 10 - 12 volte rispetto al numero dei fasci trapiantati in origine. Il dato ha ovviamente tenuto conto delle perdite di fasci avvenuto nel tempo per danni meccanici e agenti meteo marini (pesca praticata illegalmente, ancoraggi, mareggiate).

Nelle 4 aree di trapianto monitorate dal Progetto SEPOSSO, coincidenti con quelle del monitoraggio pregresso (2009-2014) svolto da Concordia CPL, secondo quanto prescritto dal MATTM nel Decreto VIA, la conta del numero dei fasci nei moduli ha evidenziato, al 2018 e dopo 9 anni dal trapianto, un aumento di 10 - 12 volte rispetto al numero dei fasci trapiantati in origine. Il dato ha ovviamente tenuto conto delle perdite di fasci avvenuto nel tempo per danni meccanici e agenti meteo marini (pesca praticata illegalmente, ancoraggi, mareggiate).

Analogamente a quanto riscontrato a S. Marinella, l'analisi dell'andamento temporale del numero medio di fasci per modulo di trapianto ha mostrato un calo nei primi anni successivi al trapianto,

seguito da un lieve incremento nel numero dei fasci, che diventa rilevante nel lungo termine a partire dai 5 anni successivi al trapianto. Anche per Ischia, si evidenzia che il monitoraggio prescritto nel Decreto VIA era di soli 5 anni e pertanto, dai dati raccolti, non sufficiente a rilevare tale tendenza. In particolare, si evidenzia come l'andamento del numero medio di fasci per modulo nella prima fase *post* trapianto per l'intero sito di Ischia sia sempre superiore all'obiettivo minimo di qualità stabilito nel 50% di fasci rinvenuti rispetto ai trapiantati. Anche nel Decreto VIA di Ischia, il raggiungimento di tale obiettivo rappresentava la condizione di ottemperanza della prescrizione del trapianto come opera compensativa al danno effettuato al posidonieto.

L'andamento del coefficiente di variazione, calcolato sul numero medio di fasci per modulo di trapianto per ciascuna stazione ha mostrato, nell'arco temporale 2009-2018, la tendenza a mantenere valori stabili nella maggior parte delle stazioni solo dopo circa cinque anni dal trapianto. Tale stabilità indica che a prescindere dalle densità conseguite, la mortalità dei fasci trapiantati, sia di natura endogena che esogena (perdita di moduli e fasci, mortalità naturale), non gioca più un ruolo rilevante nella dinamica di crescita del trapianto. Pertanto il coefficiente di variazione, così come già evidenziato, dimostra anche in questo caso di rappresentare un indice di stabilità del trapianto e permette di individuare il momento in cui la crescita diventa bilanciata in tutti i moduli campione determinando, in un periodo di tempo più o meno lungo, il raggiungimento della massima densità sostenibile.

Poiché dopo molti anni dalla realizzazione del trapianto diventa estremamente complicato continuare a monitorare la crescita dei fasci attraverso la loro conta nei moduli di trapianto, nel monitoraggio SEPOSSO del 2019 le aree di trapianto esaminate sono state monitorate con la stessa metodologia con cui si monitorano le praterie naturali, cioè attraverso conte casuali all'interno di superfici standard (quadrato 40x40cm), senza far riferimento ai moduli originari di trapianto. Anche ad Ischia, come già evidenziato per il sito di S. Marinella, i risultati relativi alla densità fogliare nelle aree di trapianto hanno mostrato valori assimilabili a quelli della prateria naturale, che mediati a livello di sito sono classificabili come "prateria densa" *sensu* Giraud (1977).

L'analisi fenologica ha mostrato che le foglie trapiantate sono più strette e più corte di quelle della prateria naturale. Questa caratteristica sembra indicare, così come già evidenziato per il sito di S. Marinella, che la pianta trapiantata investe maggiori risorse nella crescita del rizoma (soprattutto per quella plagiotropa) piuttosto che nel tessuto fogliare come invece accade nelle piante della prateria naturale, coerentemente con la necessità di espandersi nelle prime e di aumentare l'attività fotosintetica nelle seconde.

A parità di tecnica di trapianto, il migliore risultato riscontrato nel sito di Ischia rispetto a quello di S. Marinella, sia in termini di minori perdite di materiale trapiantato, sia in termini di densità media dei fasci a parità di tempo trascorso dal trapianto (cfr. Figura 7 e Figura 19), è dipeso sia dall'esperienza tecnica precedentemente maturata nel trapianto di S. Marinella, sia dal fatto che ad Ischia le operazioni sono state svolte esclusivamente da qualificati operatori subacquei con conoscenze dei sistemi biologici ed ecologici marini e con esperienza specifica nel manipolare fasci di Posidonia e nei trapianti, impiegando OTS non specializzati solo in specifiche attività tecniche di cantiere.

In Tabella 51 sono riportati gli aspetti tecnico gestionali, riscontrati o meno nel caso di studio di Ischia, ritenuti utili ad una attività di trapianto in generale.

Tabella 51 - Aspetti tecnico gestionali utili riscontrati o meno nel caso di studio di Ischia, ritenuti utili ad una attività di trapianto in generale.

ASPETTI TECNICO-GESTIONALI	ATTIVITA'	ESEGUITE
Selezione del sito di espianto	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	SI
Selezione del sito di trapianto	Prossimità al sito di trapianto	SI
	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	SI
Selezione della tecnica di trapianto	Trapianti pilota	NO
	Tecnica di trapianto testata in progetti sperimentali	SI
Gestione delle attività di trapianto	Tecnica di trapianto testata su vasta scala come misura di compensazione/restoring	SI
	Selezione dei fasci effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
	Trapianto di fasci effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
Gestione delle attività post-trapianto	Selezione di adeguate finestre temporali per le attività di trapianto	SI
	Mappatura di dettaglio delle superfici trapiantate	NO
Parametri di performance del trapianto	Variazioni della superficie dell'area di trapianto nel tempo (es. mediante cartografia)	NO
	Andamento temporale del numero dei fasci trapiantati	SI
	Andamento temporale della biometria fogliare	SI
Monitoraggio	Monitoraggio di breve termine (≤ 3 anni)	SI
	Monitoraggio di medio termine ($3 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$)	SI
	Monitoraggio di lungo termine (> 5 anni)	SI ^a
Gestione e protezione del sito di trapianto	Valore soglia per la garanzia minima di successo	SI
	Ordinanze della Capitaneria di Porto per interdizione delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggio.	SI
	Protezioni del sito di trapianto (es. campi boe, dissuasori antistrascico)	NO
	Attività di disseminazione e sensibilizzazione pubblica	NO
Accessibilità e utilizzabilità dei dati	Documentazione attività accessibile	
	Dati disponibili su richiesta	SI
	Dati open-access	NO

^a Il monitoraggio di lungo termine (> 5 anni) risulta essere un elemento essenziale assente nella gestione del sito di trapianto di Ischia; tale monitoraggio non è stato previsto da Concordia CPL (per conto di Ischia Gas S. r. L.) *ab origine*, né è stato finanziato successivamente dal Proponente un monitoraggio integrativo in continuità con quello pregresso. I dati di monitoraggio di lungo termine disponibili oggetto dello studio derivano da attività su base volontaria di ECON s.r.l. e da attività del Progetto LIFE SEPOSSO.

Sintesi e discussione dei risultati (Priolo)

Il trapianto di Priolo è stato realizzato nel 2014 all'interno del Sito di Importanza Nazionale (SIN) di Priolo Gargallo (SR). L'area di intervento è stata indicata come idonea al trapianto dal Dipartimento DISTEM dell'Università di Palermo, realizzatore dell'opera nell'ambito di un Progetto di Ricerca e Formazione "TETIDE" (PON 01_03112). A differenza degli altri casi di studio analizzati nel presente Report, infatti, il trapianto è stato realizzato con la finalità di recuperare un ambiente degradato come il SIN di Priolo-Gargallo e non per fini compensativi.

La scelta della prateria donatrice, basata su distanza dal sito ricevente; profondità, rapporto rizomi plagiotropi/ortotropi, qualità della prateria, informazioni bibliografiche si trovava in località Cala Madonna (Augusta), a circa 8,5 Km di distanza dal sito di trapianto e alla stessa profondità di trapianto di 13 m.

Le aree di trapianto sono state individuate in base all'acquisizione di dati bati-morfologici, indagini subacquee e trapianti pilota volti a verificare l'effettiva idoneità al trapianto. Non è stata effettuata una mappatura di dettaglio della disposizione delle superfici trapiantate.

Nel sito di Priolo si evidenzia la perdita quasi completa di un'area di trapianto (d), la quale rappresenta circa il 25% dell'intera superficie trapiantata. Del rimanente 75% sono state registrate perdite parziali di moduli all'interno di alcune aree. A livello di sito nel 2019 è stata stimata una perdita complessiva di moduli di trapianto pari al 40% del totale dei moduli installati. La perdita dei moduli di trapianto e dei relativi fasci nel sito di Priolo è imputabile prevalentemente alla pesca praticata illegalmente nelle aree oggetto di studio. Per il sito di trapianto di Priolo non è disponibile una stima della superficie di trapianto persa mediante analisi cartografiche.

Nelle aree di trapianto monitorate dal Progetto SEPOSSO, coincidenti con quelle del monitoraggio pregresso (2014-2016) svolto dal DISTEM dell'Università di Palermo, la conta del numero dei fasci nei moduli ha evidenziato al 2019 e dopo 5 anni dal trapianto un numero medio di fasci a livello di sito pari a 16.91 per modulo, cioè un numero poco superiore alla metà dei fasci trapiantati in origine. Ad esclusione dell'area "d", che è andata quasi completamente perduta, si sono registrate differenze significative tra le aree, con il valore più elevato nell'area "c" nel 2019 pari a 28.53 fasci per modulo, e il valore più basso nell'area "b" nel 2019 pari a 5.59 fasci per modulo. Il dato ha ovviamente tenuto conto delle perdite di fasci avvenuto nel tempo per danni meccanici e agenti meteo marini (pesca praticata illegalmente, ancoraggi, mareggiate).

L'analisi dell'andamento temporale del numero medio di fasci per modulo di trapianto oggetto della presente Relazione è relativo al solo biennio 2018-2019 (dati relativi al monitoraggio SEPOSSO) rispettivamente dopo 4 e 5 anni dal trapianto. A tal riguardo, le differenze fra 2018 e 2019 non risultano significative né in termini di medie, né in termini di mediane, né, infine, fra le distribuzioni dei valori. Dunque qualsiasi valutazione relativa ad eventuali trend in atto dovrà essere rimandata a future campagne di monitoraggio.

In Tabella 52 sono riportati gli aspetti tecnico gestionali, riscontrati o meno nel caso di studio di Priolo, ritenuti utili ad una attività di trapianto in generale.

Tabella 52 - Aspetti tecnico gestionali essenziali per la realizzazione e la valutazione dell'esito del trapianto di Priolo (SR).

ASPETTI TECNICO-GESTIONALI	ATTIVITA'	ESEGUITE
Selezione del sito di espianto	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	SI
	Prossimità al sito di trapianto	SI
Selezione del sito di trapianto	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	SI ^a
	Trapianti pilota	SI
Selezione della tecnica di trapianto	Tecnica di trapianto testata in progetti sperimentali	SI
	Tecnica di trapianto testata su vasta scala come misura di compensazione/ <i>restoring</i>	NO
Gestione delle attività di trapianto	Selezione dei fasci effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
	Trapianto di fasci effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
	Selezione di adeguate finestre temporali per le attività di trapianto	SI
Gestione delle attività post-trapianto	Mappatura di dettaglio delle superfici trapiantate	NO
Parametri di performance del trapianto	Variazioni della superficie dell'area di trapianto nel tempo (es. mediante cartografia)	NO
	Andamento temporale del numero dei fasci trapiantati	SI
	Andamento temporale della biometria fogliare	SI
Monitoraggio	Monitoraggio di breve termine (≤ 3 anni)	SI
	Monitoraggio di medio termine ($3 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$)	NO ^b
	Monitoraggio di lungo termine (> 5 anni)	NO
Gestione e protezione del sito di trapianto	Valore soglia per la garanzia minima di successo	NO
	Ordinanze della Capitaneria di Porto per interdizione delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggio.	SI
	Protezioni del sito di trapianto (es. campi boe, dissuasori antistrascico)	NO
	Attività di disseminazione e sensibilizzazione pubblica	NO
Accessibilità e utilizzabilità dei dati	Documentazione attività accessibile	NO
	Dati disponibili su richiesta	SI ^c
	Dati open access	NO

a Il trapianto viene effettuato come intervento di restauro in un'area priva di *Posidonia oceanica* quindi non è necessaria una mappatura della prateria.

b Il monitoraggio di medio termine ($3 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$) risulta essere un elemento essenziale assente nella gestione del sito di trapianto di Priolo, perché tale monitoraggio non è stato previsto dal Progetto di Ricerca. I dati di monitoraggio di medio termine disponibili oggetto dello studio derivano da attività del Progetto LIFE SEPOSSO.

c I dati forniti dal DISTEM dell'Università di Palermo non sono inclusi nel presente Report perché al momento vincolati da pubblicazione.

Sintesi e discussione dei risultati (Piombino)

Il trapianto di Piombino è stato realizzato nel 2014 nel golfo di Follonica, movimentando zolle quadrate di 2 metri di lato e non singoli fasci o talee con più fasci, come nel caso degli altri trapianti analizzati nel presente Report.

La prateria donatrice coincideva con quella che sarebbe stata sbancata dalle operazioni di dragaggio del canale d'accesso al porto (Decreto VIA 478/2012).

Non sono state eseguite valutazioni di dettaglio sulle aree di prelievo delle zolle mentre indagini quali-quantitative sono state effettuate nella prateria antistante il porto. Le aree di trapianto, che distano circa 3 km dal sito di espianto, sono state indicate come idonee al trapianto dall'ADSPMITS (già Autorità Portuale di Piombino) in base alle conoscenze bibliografiche e a indagini qualitative dell'area. Non sono stati realizzati trapianti pilota per testare l'idoneità dei siti di trapianto né è stata effettuata una mappatura di dettaglio della disposizione delle zolle, né della prateria di Posidonia circostante.

La performance del trapianto di Piombino è stata valutata attraverso lo studio dello stato di conservazione delle zolle trasferite, della sopravvivenza dei fasci presenti su di esse e della loro eventuale proliferazione.

I dati rilevati nel 2019 durante i monitoraggi del progetto SEPOSSO, e dopo 5 anni dal trapianto, indicano una condizione non ottimale di circa il 75% delle zolle, classificate come zolle in stato di conservazione "inesistente" o "bassa" o "media". Le zolle restanti pari a circa il 25% del totale, sono state classificate con stato di conservazione "elevato". Le zolle classificate come "inesistenti" sono andate incontro a forti processi erosivi, con conseguente completo sfaldamento o quasi della zolla. Le zolle classificate come "basse" o "medie" sono andate incontro a processi erosivi di minore entità ma pur sempre molto evidenti. Le zolle classificate come "elevate" sono andate incontro a processi erosivi di piccola entità o non ne hanno subito affatto. Solamente in queste ultime la mancanza della disgregazione è stata tale da non compromettere la riconoscibilità dell'aggregato originale, mantenendo così migliori probabilità di sopravvivenza dei fasci di Posidonia presenti sulla zolla. Inoltre, alcune differenze numeriche fra la classificazione dello stato delle zolle tra il 2018 e il 2019 evidenziano un'evoluzione ancora in atto del loro stato di conservazione.

Per il sito di trapianto di Piombino, analogamente agli altri casi di studio analizzati nel presente Report, non è disponibile una stima della superficie di trapianto persa a causa dell'indisponibilità di specifiche cartografie pre e post trapianto.

Un descrittore indagato altrettanto importante quanto lo stato di conservazione delle zolle è la densità dei fasci presenti sulle zolle stesse, la quale è risultata significativamente più bassa rispetto a quella rilevata nella prateria naturale adiacente. Relativamente all'arco temporale indagato, non si evincono differenze significative della densità dei fasci presenti sulle zolle tra il 2018 e il 2019.

Per quanto concerne i parametri fenologici, sia nel 2018 che nel 2019 non si evincono differenze significative nella lunghezza della foglia adulta più lunga misurata sulle zolle e sulla prateria naturale adiacente. Differentemente, la larghezza delle foglie misurata sulle zolle è minore della gran parte di quelle riscontrate nella prateria adiacente.

Per quanto riguarda la variabilità spaziale di tali descrittori nelle stazioni di campionamento indagate, si sono riscontrate alcune differenze sia per quanto concerne lo stato di conservazione delle zolle che per quanto riguarda i valori di densità fogliare sulle zolle. A tal riguardo, lo stato di conservazione delle zolle è leggermente migliore nelle stazioni più lontane dal porto di Piombino e peggiore nelle stazioni più vicine ad esso; qui si è evidenziata anche una densità fogliare sulle zolle sensibilmente più bassa rispetto a quella riscontrata nelle altre stazioni.

Il Decreto Via indicava un monitoraggio di soli tre anni e tale monitoraggio prevedeva la sola acquisizione di dati video fotografici dell'area oggetto di studio, senza effettuare indagini di tipo quantitativo.

In mancanza di un monitoraggio quantitativo pregresso, il monitoraggio del Progetto SEPOSSO rappresenta l'unica fonte di dati disponibili al momento, a distanza di quattro e cinque anni dall'attività di trapianto. Considerando l'unicità del caso di studio, tali dati sono di grande interesse, anche in ragione del fatto che sono i primi e soli dati che rappresentino l'evoluzione dello stato di conservazione di zolle trapiantate. Pertanto, ulteriori valutazioni relative ad eventuali trend dei parametri analizzati in atto dovranno essere rimandate a future campagne di monitoraggio.

In Tabella 53 sono riportati gli aspetti tecnico gestionali, riscontrati o meno nel caso di studio di Piombino, ritenuti utili ad una attività di trapianto in generale.

Tabella 53 - Aspetti tecnico gestionali essenziali per la realizzazione e la valutazione dell'esito del trapianto di Piombino (LI).

ASPETTI TECNICO-GESTIONALI	ATTIVITA'	ESEGUITE
Selezione del sito di espianto	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	SI
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	NO
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	NO
	Prossimità al sito di trapianto	SI
Selezione del sito di trapianto	Screening preliminare mediante dati pregressi open-access	NO
	Indagini morfologiche/batimetriche/video	NO
	Screening preliminare mediante indagini subacquee	SI
	Indagini quantitative su descrittori strutturali, funzionali ed ecologici	NO
	Trapianti pilota	NO
Selezione della tecnica di trapianto	Tecnica di trapianto testata in progetti sperimentali	NO
	Tecnica di trapianto testata su vasta scala come misura di compensazione/ <i>restoring</i>	NO
Gestione delle attività di trapianto	Selezione delle zolle effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
	Trapianto delle zolle effettuata da operatori subacquei qualificati nelle attività di trapianto	SI
	Selezione di adeguate finestre temporali per le attività di trapianto	NO
Gestione delle attività post-trapianto	Mappatura di dettaglio delle superfici trapiantate	NO
Parametri di performance del trapianto	Variazioni della superficie dell'area di trapianto nel tempo (es. mediante cartografia)	NO
	Andamento temporale del numero dei fasci trapiantati	NO
	Andamento temporale della biometria fogliare	NO
Monitoraggio	Monitoraggio di breve termine (≤ 3 anni)	NO
	Monitoraggio di medio termine ($3 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$)	NO ^a
	Monitoraggio di lungo termine (> 5 anni)	NO
Gestione e protezione del sito di trapianto	Valore soglia per la garanzia minima di successo	NO
	Ordinanze della Capitaneria di Porto per interdizione delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggio.	SI
	Protezioni del sito di trapianto (es. campi boe, dissuasori antistrascico)	NO
	Attività di disseminazione e sensibilizzazione pubblica	NO
Accessibilità e utilizzabilità dei dati	Documentazione attività accessibile	NO
	Dati disponibili su richiesta	SI ^b
	Dati open-access	NO

a Il monitoraggio di medio termine ($3 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$) risulta essere un elemento essenziale assente nella gestione del sito di trapianto di Piombino, perché non è stato previsto un monitoraggio quantitativo dall'Autorità Portuale di Piombino. I dati di monitoraggio di medio termine disponibili oggetto dello studio derivano da attività del Progetto LIFE SEPOSSO.

b I dati sono relativi al monitoraggio qualitativo effettuato dall'Autorità di Piombino nei primi 3 anni, non mostrati nel presente Report.

Considerazioni conclusive

Fase di pianificazione

I risultati ottenuti in questo progetto, relativi alla performance dei trapianti di *Posidonia oceanica*, realizzati, su vasta scala, in quattro diversi siti in Italia, ha confermato alcuni aspetti noti in letteratura e ha messo in evidenza potenzialità e criticità legate alle fasi di pianificazione, realizzazione e monitoraggio dei trapianti.

Nei siti di S. Marinella, Ischia e Piombino, la **prateria donatrice** delle talee (o zolle) coincideva con quella soggetta all'impatto delle opere. Nei casi di S. Marinella e Ischia furono vagliate e privilegiate aree di espianto che non fossero più superficiali di quelli in cui era previsto il reimpianto, poiché questa condizione non sembra essere favorevole in termini di probabilità di successo del trapianto (Molenaar & Meinesz, 1992b; Genot *et al.*, 1994; Piazzini *et al.*, 1998). Anche a Priolo è stata selezionata una prateria donatrice alla stessa profondità del sito ricevente. In generale, va sottolineato anche il fatto che la necessità di espantare in aree relativamente più profonde aumenta tempi e costi delle operazioni. Inoltre, una minor distanza tra sito donatore e sito ricevente può giocare un ruolo positivo nella performance del trapianto consentendo di ridurre lo stress per le piante durante la fase di trasferimento e di fissazione ai supporti. In questo senso la miglior performance del trapianto di Ischia rispetto a quello di S. Marinella può essere parzialmente dovuta anche alla maggiore vicinanza tra sito donatore e sito ricevente.

Uno dei primi aspetti fondamentali per la pianificazione di un trapianto è **la selezione del sito ricevente**, ossia del sito in cui verrà realizzato il trapianto. Nel processo di *screening* per la selezione di un sito ricevente, *in primis*, occorre verificare che non sussistano cause di regressione delle praterie riceventi (A.A.V.V., ISPRA, 2014), poiché ciò renderebbe vano qualsiasi tentativo di riforestazione. Nei due casi legati alle procedure di VIA (S. Marinella, Ischia) e nel caso di Priolo è stato evidenziato che le aree di trapianto sono state selezionate a valle di uno specifico processo di *screening* di potenziali aree idonee. In assenza di informazioni specifiche preesistenti sulle aree d'interesse gli sono state effettuate indagini morfo-batimetriche (ad esempio mediante Side Scan Sonar, Multi Beam, Sub Bottom Profiler) del fondo, tipologia del substrato, analisi sui parametri strutturali, funzionali ed ecologici delle praterie riceventi prima dei lavori, a supporto dell'individuazione delle aree d'intervento più idonee, consentendo di escludere quelle con evidenti criticità tali da compromettere potenzialmente la riuscita di un trapianto (ad es. zone o canali di erosione inter-matte, evidenze di recenti fenomeni di disturbo e impatto antropico, stato di conservazione delle praterie e l'eventuale persistenza delle cause di regressione). Si sottolinea che, quando il trapianto è una misura di compensazione al danno di una prateria, soprattutto se appartenente alla Rete Natura 2000, l'Art. 6 par. 3 e 4 della Direttiva Habitat (92/43/CEE) non impone che le aree di compensazione siano adiacenti alla zona d'impatto, avvalorando la teoria che è possibile, anzi auspicabile, adottare ogni strategia di *screening* di potenziali aree di trapianto già in fase di pianificazione e proposta della misura compensativa. Ad esempio, il trapianto di S. Marinella è stato realizzato all'interno della ZSC "Fondali antistanti S. Marinella", distante circa 20 km dal sito in cui è avvenuto il danno alla prateria donatrice, adiacente al Porto di Civitavecchia e inclusa nella ZSC IT6000005 "Fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara".

Al contempo, però non sono stati realizzati **trapianti pilota per selezionare**, nelle aree individuate a priori, **i siti più idonei a ricevere il trapianto** (A.A.V.V., ISPRA, 2014; Boudouresque *et al.* 2006) nella maggior parte dei casi analizzati. Ciò ha probabilmente contribuito a generare le fallanze riscontrate in questi casi di studio, nonché l'elevata variabilità spaziale della *performance* dei trapianti nelle differenti aree monitorate.

I trapianti pilota non solo consentono di selezionare i siti più idonei al trapianto ma consentono anche di **testare diverse tecniche e scegliere la più idonea al sito selezionato**. Infatti, la selezione della tecnica di trapianto risulta essere un altro aspetto cruciale nella pianificazione di un trapianto. In particolare, quando il trapianto è compensativo per un danno effettuato su una prateria di *P. oceanica*, e prescritto nell'ambito di una VIA, la scelta della tecnica che si intende utilizzare dovrebbe essere avvalorata da evidenze scientifiche circa i suoi test e i precedenti esiti positivi e quindi, preferibilmente, non essere una tecnica sperimentale o scarsamente testata, al fine di aumentare la garanzia del buon esito del trapianto. A tal riguardo, solo il trapianto di Ischia ha previsto l'utilizzo di una tecnica già testata su progetti di trapianto su vasta scala (S. Marinella), mentre a S. Marinella e a Priolo sono state impiegate tecniche testate su scale minori. A Piombino invece è stata scelta una tecnica con scarse evidenze scientifiche in merito a test pregressi e relativi risultati.

Fase di trapianto

Una volta selezionata l'area da riforestare e selezionata la tecnica più idonea alla tipologia di area e di substrato, il passo successivo nella pianificazione di un trapianto è la selezione degli operatori deputati alla manipolazione del materiale da trapiantare. Nel caso in cui si scelgano tecniche che prevedano la fissazione di fasci o talee a supporti si è rivelato essenziale il coinvolgimento di qualificati operatori subacquei con conoscenze dei sistemi biologici ed ecologici marini e con esperienza specifica nel manipolare fasci o talee di *Posidonia* nei trapianti. Ciò consente di effettuare una migliore selezione dei fasci o delle talee destinate al trapianto e di diminuire lo stress per le piante durante la fase di trasferimento e di fissazione ai supporti. Questa tipologia di Operatori risulta essere utile anche nei casi in cui si opti nel trasferimento di zolle di *Posidonia*, sia nelle fasi di selezione delle zolle sia nelle fasi di posa della zolla. L'assistenza di Operatori Tecnici Subacquei (OTS) non specializzati in questo tipo di attività risulta invece utile nelle specifiche attività tecniche di cantiere.

Un altro aspetto essenziale nelle fasi operative del trapianto, a prescindere dalla tecnica selezionata, è la selezione della finestra temporale più adatta al trasferimento delle piante, specialmente tenendo conto delle diverse fasi del ciclo vitale della pianta stessa. Infatti, la migliore stagione in cui effettuare il prelievo dei fasci o delle talee e il successivo rapido reimpianto è quella tardo autunnale e invernale, durante la quale la pianta è in stasi vegetativa (Meinesz *et al.*, 1992; Molenaar, 1992; Piazzini *et al.*, 1998).

Considerando che i trapianti effettuati su vaste superfici, richiedono uno sforzo di lavoro elevato e una logistica complessa, onde evitare di compromettere la garanzia di questi aspetti è essenziale pianificare la realizzazione delle attività di reimpianto sulla base di tali evidenze e non solo sul

cronoprogramma delle attività di cantiere. Tali aspetti sono risultati disattesi in parte nel solo trapianto di S. Marinella che essendo un intervento su vasta scala ha richiesto tempi di realizzazione molto lunghi. Anche questo aspetto può aver contribuito ad incidere sull'esito del trapianto.

Fase di monitoraggio

La letteratura scientifica ci indica che un intervento di piantumazione può essere considerato riuscito soltanto quando le talee si sono stabilizzate e mostrano una crescita buona e persistente e un attivo processo di ricolonizzazione (Fonseca *et al.*, 1998). Al fine di valutare la performance di un trapianto è necessario monitorarlo mediante diversi parametri, al fine di analizzare nel tempo oltre alle superfici di trapianto perse, la dinamica di crescita dei fasci trapiantati e altri aspetti della pianta di carattere funzionale. Attraverso i parametri analizzati a disposizione per quanto concerne i trapianti mediante talee o zolle, si è ritenuto essenziale individuare quelli che meglio descrivono lo stato e la dinamica di crescita dei trapianti nel tempo:

- Andamento temporale del numero medio di fasci per unità campionaria in rapporto al numero iniziale di fasci (espresso in %)
- Andamento temporale del coefficiente di variazione, calcolato sul numero di fasci per unità campionaria
- Andamento temporale del numero di unità campionarie con numero di fasci pari a zero in rapporto al numero totale di unità campionarie monitorate (espresso in %);
- Densità assoluta media (espressa al m²) dell'area di trapianto e della prateria naturale limitrofa
- Valori medi di lunghezza, larghezza e tessuto bruno (cm) della foglia più lunga nell'area di trapianto e della prateria naturale limitrofa;

I trapianti mediante zolle, richiedono un monitoraggio ancor più articolato mediante differenti parametri. Tra questi si selezionano:

- Andamento temporale della densità assoluta media (espressa al m²) per zolla stimata in quadrati standard posizionati con geometria regolare all'interno della zolla;
- Andamento temporale del numero di zolle con numero di fasci pari a zero in rapporto al numero totale di unità campionarie monitorate (espresso in %);
- Densità assoluta media (espressa al m²) dell'area di trapianto e della prateria naturale limitrofa
- Valori medi di lunghezza, larghezza e tessuto bruno (cm) della foglia più lunga nell'area di trapianto e della prateria naturale limitrofa;

L'analisi di questi parametri ha evidenziato che **solo un monitoraggio a lungo termine rappresenta il migliore strumento di verifica della performance di un trapianto**. Infatti, se da una parte i dati hanno confermato quanto noto in letteratura su come valutare, a breve/medio termine (1-5 anni post operam), la riuscita di un intervento di trapianto attraverso l'analisi di tassi di sopravvivenza delle talee trapiantate, crescita delle talee con formazione di nuovi fasci, ricoprimento % dell'area riforestata (Campbell, 2000; Calumpang & Fonseca, 2001; Borum *et al.*, 2004; Boudouresque *et al.*, 2006), d'altro canto hanno dimostrato che alcune dinamiche del trapianto sono apprezzabili solo dopo almeno 5 anni di monitoraggio.

Il coefficiente di variazione calcolato sul numero medio di fasci per unità campionaria rappresenta, ad esempio, un ottimo indice di stabilità del trapianto e permette di individuare il momento in cui la crescita diventa bilanciata in tutti i moduli campione (osservato nei casi di studio sempre dopo 5 anni) determinando, in un periodo di tempo più o meno lungo, il raggiungimento della massima densità sostenibile.

Un monitoraggio di lungo termine è anche l'unico che consenta di analizzare la densità raggiunta dalla prateria trapiantata senza far riferimento ai moduli originari di trapianto. Infatti, laddove sia stato osservato a breve/medio termine un elevato tasso di progressione dei rizomi e formazione di nuovi fasci fogliari, la stima della sopravvivenza delle talee originali diventa nel tempo sempre più difficile da determinare e solo misure di densità possono rappresentare adeguatamente la dinamica del trapianto. I risultati osservati sia a S. Marinella che a Ischia, rispettivamente dopo 14 e 10 anni dal trapianto, hanno, infatti, mostrato valori di densità assimilabili a quelli della prateria naturale, che mediati a livello di sito sono classificabili come "prateria densa" *sensu* Giraud (1977).

Anche l'analisi fenologica risulta un efficace aspetto nel descrivere la *performance* di un trapianto nel tempo. Infatti, anche dopo 9 o 13 anni dal trapianto è stato osservato che le foglie di fasci e talee trapiantati investono maggiori risorse nella crescita del rizoma (soprattutto per quella plagiotropa) piuttosto che nel tessuto fogliare come invece accade nelle piante della prateria naturale, coerentemente con la necessità di espandersi nelle prime e di aumentare l'attività fotosintetica nelle seconde. Questo evidenzia che le piante trapiantate non hanno ancora raggiunto dopo tanti anni l'efficienza funzionale delle piante di una prateria naturale.

Un monitoraggio di lungo termine (almeno di 10 anni), che tenga conto in modo differenziale nel tempo dei parametri indicati, dimostra quindi di poter indicare se e quando i fasci o le talee trapiantati si possono ritenere consolidati e cioè quando sono in grado di garantire le funzioni di base dell'habitat, come in una prateria naturale: stabilizzazione del sedimento, supportare il ciclo dei nutrienti, produzione di biomassa, produzione secondaria. Si evidenzia che, a prescindere dai parametri da analizzare, il monitoraggio prescritto nei diversi Decreti VIA raggiungeva al massimo i 5 anni solo a S. Marinella e Ischia mentre a Piombino era previsto soltanto per due anni. Pertanto, se il monitoraggio non fosse stato proseguito su base volontaria del proponente come a S. Marinella e dell'esecutore del trapianto a Ischia o se non fosse stato realizzato il monitoraggio del progetto SEPOSSO, ad oggi non avremmo potuto rilevare le tendenze osservate né valutare con efficacia la *performance* dei trapianti esaminati.

Per quanto riguarda gli aspetti di **copertura delle praterie trapiantate**, ulteriore parametro ritenuto prioritario dalla presente analisi, questo non è mai stato possibile stimarlo nel tempo, ad

esempio attraverso l'elaborazione cartografica di superfici di trapianto vitali e di quelle andate perse. Questo perché, in nessuna area sono state effettuate indagini morfo-batimetriche (ad esempio mediante Side Scan Sonar, Multi Beam, fotomosaici) del fondo e delle praterie riceventi né a trapianto ultimato né durante i successivi monitoraggi. La copertura di una prateria è un indicatore imprescindibile per valutare la complessiva performance del trapianto, soprattutto se a fini compensatori nell'ambito delle VIA.

Aspetti gestionali

Inoltre, si evidenzia che in due decreti VIA (S. Marinella e Ischia), in accordo con Campbell (2000), secondo cui un'operazione di reimpianto costituisce un successo se sia il tasso di sopravvivenza delle talee trapiantate, sia la vitalità dei rizomi, in termini di allungamento e divisione dei fasci, sono maggiori del 50%, tale valore sia stato preso come riferimento (**valore soglia**) per la valutazione del buon esito dei trapianti condotti nell'ambito delle prescrizioni specifiche. Sulla base dei risultati ottenuti in questo lavoro, relativamente ai valori di riferimento per valutare il successo di un trapianto di *P. oceanica*, prendendo come riferimento il numero totale di fasci per unità di superficie (considerando quindi non soltanto le talee trapiantate ma anche la formazione di nuovi fasci) è certamente possibile e auspicabile un innalzamento dell'obiettivo di qualità a oggi, a volte, fissato al 50%.

A garanzia del buon esito di un trapianto e di un eventuale valore soglia prescritto sono da considerare anche le attività di **sostituzione delle fallanze**, ovvero piccoli interventi di restauro del trapianto eseguiti per compensare la perdita, soprattutto nei primi anni, di fasci e talee trapiantati.

In diversi casi studio analizzati si sono evidenziati danni ai moduli di trapianto dovuti ad attività umane. A tal riguardo, i casi di studio di Priolo, S. Marinella e Ischia sono emblematici, in quanto le diverse percentuali delle fallanze riscontrate sono imputabili anche ad attività di pesca illegale e all'ancoraggio di barche da diporto. In aree particolarmente soggette a pressioni antropiche (attività pesca, ancoraggio, ecc.), oltre alle misure di protezione previste alla legge (ordinanze delle Capitanerie, controlli da parte delle Autorità), può essere prevista l'adozione di ulteriori **misure di protezione del trapianto** per garantire l'integrità dei moduli di trapianto nel tempo (es. strutture anti-strascico, boe di ormeggio, ecc.). Inoltre, un'attività di disseminazione mirata a informare correttamente i fruitori del mare con la massima efficienza attraverso canali appropriati (eventi pubblici, pannelli informativi, boe di segnalazione, app dedicate, ecc.) può consentire di aumentare la consapevolezza sull'esistenza dei trapianti ed evitare lo svolgersi di attività che possono danneggiare i moduli di trapianto o le zolle.

Come dimostrato per alcuni casi trattati in questo report, la **disponibilità di dati storici forniti su richiesta dai Proponenti** delle opere, o dai responsabili/gestori dei dati stessi, è un requisito indispensabile per poter consentire di ricostruire i trend delle variabili o degli indici di performance che definiscono l'esito di un trapianto. Inoltre, è emerso che in nessun caso di studio è stato possibile utilizzare nelle fasi di pianificazione dei trapianti, dati provenienti da banche dati Regionali, Nazionali o Internazionali perché non sempre accessibili, usabili oppure, se presenti,

raccolti a una scala spaziale non adeguata (A.A.V.V. 2020, LIFE SEPOSSO Report B3.2). Risulta, pertanto auspicabile che i dati ambientali forniti nell'ambito delle procedure di VIA siano **liberi da vincoli di accessibilità e di utilizzabilità (open data)** (Direttiva 2007/2/EC "INSPIRE") e che siano disponibili su piattaforme di condivisione in modo da massimizzarne la fruizione da parte del pubblico, nonché **l'utilizzabilità** da parte di terzi. Ciò consentirebbe nel lungo periodo il **riutilizzo dei dati anche per le future valutazioni ambientali**, portando a un risparmio di risorse, come richiesto dalla Direttiva VIA (EIA-2014/52/EU).

La pianificazione e realizzazione di un trapianto dovrebbe quindi essere prevista considerando l'insieme di questi aspetti tecnico-gestionali (trapianti pilota, monitoraggio di lungo termine, ecc). Tali aspetti e i relativi dettagli tecnici devono essere riportati già all'interno dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) che i proponenti sottopongono al MATTM per ottenere un Decreto VIA attuativo. Tale approccio consentirebbe alla Commissione Tecnica per le Valutazioni Ambientali (CTVA) di valutare gli studi e aggiungere ai decreti un minor numero di prescrizioni inerenti il danno alle praterie di Posidonia e le relative misure di compensazione, a vantaggio di procedure più efficaci ed efficienti e soprattutto più controllabili nel tempo.

Queste indicazioni lasciano ovviamente spazio a qualsiasi altro tipo di ricerca e analisi che possano servire a descrivere e approfondire i diversi aspetti caratterizzanti lo stato e le funzione di una prateria di Posidonia sottoposta a trapianto e la relativa performance.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V. ISPRA (2014). Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di *Posidonia oceanica*. Manuali e linee guida, 106/2014, 97 pp.
ISBN: 978-88-448-0642-2
- A.A.V.V. (2018). Basic information, legislative context and description of case studies. Report Action B1.2 Life SEPOSSO. 45 p.
- A.A.V.V. (2019). Final report on *Posidonia oceanica* transplanting case studies analysis. Report Action A3 Life SEPOSSO. 52 p.
- A.A.V.V. (2020). Report of data collected for *Posidonia oceanica* management and transplant. Report Action B3.2 Life SEPOSSO. 51 p.
- Bianchi C.N., Peirano A. (1995). Atlante delle fanerogame marine della Liguria. *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*. ENEA, Centro Ricerche Ambiente Marino, La Spezia: 1-146.
- Blanc J.J., Jeudy De Grissac A. (1989). Réflexion géologique sur la régression des herbiers à Posidonies (départements du Var et des Bouches-du-Rhône). In: Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. Edits. Second International Workshop on Posidonia beds, GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 2: 273-285.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2006). Préservation et Conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE pub.: 1-202.
- Boudouresque C.F., Meinesz A. (1982). Découverte de l'herbier de Posidonie. Parc National de Port Cros, Parc Naturel Regional de la Corse, Cahiers, 4, pp. 79.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy De Grissac A., Tine J. (1979). Répartition des biocoenoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). *Téthys*, 9(2): 103-112.
- Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D., Greve T.M. (2004). European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&MS project, Copenhagen. pp.88
- Campbell M.L. (2000). A decision-based framework to increase seagrass transplantation success. *Biologia Marina Mediterranea*, 7(2): 336-340.
- Calumpong H.P., Fonseca M.S. (2001). Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. In: Global Seagrass Research Methods. Eds: Short F.T. and Coles R.G. Elsevier Science. chapter 22: 425-442.
- Carannante F. (2011). Monitoraggio a lungo termine di trapianti di *Posidonia oceanica* su vasta scala. Tesi di dottorato in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche– XXII ciclo, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.

- Díaz-Almela E., Duarte C.M. (2008). Management of Natura 2000 habitats. 1120 *Posidonia* beds (*Posidonia oceanica*). European Commission.
- Fonseca M.S., Kenworthy W.J., Thayer G.W. (1998). Guideline for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA coastal ocean decision analysis series no. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, Maryland 20910. 222 pp.
- Giraud, G.(1977). Contribution à la description et à la phenologie quantitative des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Aix-Marseille II. Thèse en Océanologie, 150 p.
- Génot I., Caye G., Meinesz A., Orlandini M. (1994). Role of chlorophyll and carbohydrate contents in survival of *Posidonia oceanica* cuttings planted to different depths. *Marine Biology*, 119: 23-29.
- Meinesz A., Lefevre J.R. (1984). Régénération d'un herbier à *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes-Maritimes). In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. edits. First International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publisher., Marseille, Fr., 1: 39-44.
- Meinesz, A., Caye, G., Locques, F., Macaux, S. (1990). Analyse bibliographique sur la culture des phanérogames marines. *Posidonia Newsl.* 3, 1-67.
- Meinesz A.,Caye G., Loques F., Molenaar H. (1991). Restoration of damaged areas with transplantation of seaweeds and seagrasses in the Mediterranean: review and perspectives. *Oebalia*, 7(1): 131-142.
- Meinesz A., Molenaar H., Bellone E., Loques F. (1992). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. I Effects of rhizomes length and transplantation season in orthotropic shoots. *Marine Ecology P.S.Z.N.I.*, 13(2): 163-174.
- Molenaar H. (1992). Etude de la transplantation de boutures de la Phanérogame marine *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance. Thèse Doct. Sci. Vie, Univ. Nice Sophia Antipolis, Fr.: 1-221.
- Molenaar H., Meinesz A. (1992a). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. II. Effects of depth changes on transplanted orthotropic shoots. *Marine Ecology, PSZNI*, 13(2): 175-185.
- Molenaar H., Meinesz A., (1992b). Transplantations de *Posidonia oceanica* (L.) Delile à Cannes. Méditerranée 2000 & Laboratoire Environnement Marin Littoral, Univ. Nice-Sophia Antipolis, Fr.: 1-27.
- Panayotidis P., Boudouresque C.F., Marcot-Coqueugniot J. (1981). Microstructure de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Botanica Marina*, 24 (3), 115-124.
- Peres J. (1984). La regression des herbiers a *Posidonia oceanica* In: Boudouresque CF, Jeudy de Grissac A, Olivier J (eds) First International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 1:445-454.

- Piazzoli L., Balestri E., Magri M., Cinelli F. (1998). Experimental transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a disturbed habitat in the Mediterranean Sea. *Botanica marina*, 41: 593-601.
- Pirrotta, M., Tomasello, A, Scannavino, A, Di Maida, G, Luzzu, F., Bellissimo, G., Bellavia, C., Costantini, C., Orestano, C., Sclafani, G., Calvo, S. (2015). Transplantation assessment of degraded *Posidonia oceanica* habitats: site selection and long-term monitoring. *Mediterranean Marine Science* 16/3, 591-604.
- Scardi M., Carannante F., Casola E., Di Dato P., Di Nuzzo F., Valiante L.M. Monitoraggio a lungo termine di due trapianti di *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813. *Biologia Marina Mediterranea*, in press.
- Thorhaug A. (1979). The flowering and fruiting of restored *Thalassia* beds: a preliminary note. *Aquatic Botany*, 6: 189-192.