



Supporting Environmental governance  
for the POSidonia oceanica Sustainable  
transplanting Operations



Prodotto realizzato con il contributo del programma LIFE dell'Unione Europea progetto LIFE 16 GIE/IT/000761

# MANUALE

per la pianificazione,  
realizzazione e monitoraggio  
dei trapianti di *Posidonia oceanica*





life project

S.E.POS.S.O.



Prodotto realizzato con il contributo del programma  
LIFE dell'Unione Europea progetto LIFE 16 GIE/IT/000761

A CURA DI La Porta Barbara, Bacci Tiziano

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA,  
Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma (Italia)

## AUTORI

Bertasi Fabio<sup>1</sup>, Targusi Monica<sup>1</sup>, Badalamenti Fabio<sup>2</sup>, Scardi Michele<sup>3</sup>, Calvo Sebastiano<sup>4</sup>, Tomasello Agostino<sup>4</sup>, Zenone Arturo<sup>2,5</sup>, D'Anna Giovanni<sup>6</sup>, Pipitone Carlo<sup>2</sup>, Piazzì Luigi<sup>7</sup>, Mancusi Cecilia<sup>8</sup>, Cozzolino Giacomo<sup>9</sup>, Piazzì Alessandro<sup>9</sup>, Anna Cacciuni<sup>1</sup>, Lucia Viviana<sup>1</sup>, Claudia Bulleri<sup>10</sup>, Conconi Stefano<sup>11</sup>.

## BOX DI APPROFONDIMENTO

L'importanza della componente genetica nel ripristino delle fanerogame marine.

Procaccini Gabriele<sup>5</sup>, Pazzaglia Jessica<sup>12</sup>.

<sup>1</sup>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA, Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma (Italia).

<sup>2</sup>CNR-IAS, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

<sup>3</sup>Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Roma "Torvergata", Via Cracovia 1, 00133, Roma (Italia).

<sup>4</sup>Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM), Università di Palermo, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).

<sup>5</sup>Stazione Zoologica Anton Dohrn, Dipartimento di Ecologia Marina Integrata, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

<sup>6</sup>CNR-IAS, Via G. Da Verrazzano 17, 91014, Castellammare del Golfo (Italia).

<sup>7</sup>Dipartimento di chimica e farmacia, Università degli Studi di Sassari, Piazza Università 21, 07100, Sassari (Italia).

<sup>8</sup>Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana - ARPAT, Via G. Marradi 114, 57126 Livorno (Italia).

<sup>9</sup>SETIN, Via Guido d'Arezzo 16, 00198 Roma (Italia).

<sup>10</sup>Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale, Piazz.le Premula 6/a, 57025, Piombino (Italia).

<sup>11</sup>VESENDA, Via Cuzio Polo Tecnologico 42, 27100 Pavia (Italia).

<sup>12</sup>Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste, Via Licio Giorgieri 5, 34127, Trieste (Italia).

## CITAZIONE

La Porta B., Bacci T. (2022). Manuale per la pianificazione, realizzazione e monitoraggio dei trapianti di *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Roma.

Edizione: marzo 2022

Finito di stampare nel mese di marzo 2022,

presso **GESI**

Via delle Sette Chiese 140, 00145 Roma (Italia)

# MANUALE

per la pianificazione,  
realizzazione e monitoraggio  
dei trapianti di *Posidonia oceanica*



Supporting Environmental governance  
for the POSidonia oceanica Sustainable  
transplanting Operations



## INDICE

<b>Premessa</b> .....	pag. 7
<b>Capitolo 1   Le praterie di <i>Posidonia oceanica</i></b> .....	pag. 9
1.1   Caratteristiche biologiche .....	pag. 11
1.2   Caratteristiche fisiografiche e struttura della prateria ...	pag. 15
1.3   Caratteristiche ecologiche .....	pag. 17
1.4   Il ruolo delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> nella difesa della costa .....	pag. 21
1.5   Le cause di regressione delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 23
<b>Capitolo 2   Il quadro normativo</b> .....	pag. 27
2.1   <i>Posidonia oceanica</i> : direttive europee, convenzioni internazionali, leggi nazionali .....	pag. 29
2.2   Regolamentazione dei progetti e opere marino-costieri che potenzialmente impattano le praterie di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 33
2.3   La legislazione ambientale europea e nazionale per una gestione sostenibile degli ambienti marini e costieri .....	pag. 35
<b>Capitolo 3   Il trapianto delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> e la sua governance</b> .....	pag. 39
3.1   Il trapianto come strumento di recupero e gestione dell'habitat praterie di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 41
3.2   La Governance dei trapianti di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 45
<b>Capitolo 4   Gli aspetti tecnici del trapianto di <i>Posidonia oceanica</i></b> .....	pag. 51
4.1   Pianificazione del trapianto di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 55



4.1.1   Caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice .....	pag. 57
<i>BOX   L'importanza della componente genetica nel ripristino delle fanerogame marine</i> .....	pag. 60
4.1.2   Caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria riceventi .....	pag. 65
4.1.3   Valutazione dei servizi ecosistemici delle praterie donatrici e riceventi .....	pag. 71
4.1.4   Selezione della tecnica di trapianto .....	pag. 73
4.2.   Realizzazione del trapianto di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 75
4.2.1   Scelta del materiale biologico per il trapianto ...	pag. 75
4.2.2   Preparazione e posizionamento dei moduli di trapianti .....	pag. 79
4.3   Il monitoraggio dell'intervento di trapianto .....	pag. 81
<i>BOX   Il trapianto mediante trasferimento di zolle di Posidonia oceanica</i> .....	pag. 86
4.3.1   Verifica della riuscita dell'intervento di trapianto .....	pag. 89
4.3.2   Verso gli <i>open data</i> per la gestione delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 91
<i>BOX   La piattaforma PosidoniaWeb Platform - PWP</i> .....	pag. 92
4.4   Gestione del trapianto di <i>Posidonia oceanica</i> .....	pag. 95
<b>Bibliografia</b> .....	pag. 99



## PREMESSA

La Costituzione della Repubblica italiana, a partire dal febbraio del 2022, ha incluso fra i principi fondamentali, la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi. Oltre a definire l'ambiente nella sua accezione più estesa e sistemica, esso viene considerato come un valore da tutelare anche nell' "interesse delle future generazioni", per il quale l'esercizio dell'iniziativa economica non potrà svolgersi in suo danno. Ad oggi, il 19,1 per cento delle acque italiane è sottoposto a qualche misura di conservazione, tuttavia, per raggiungere gli obiettivi della Strategia dell'UE sulla biodiversità, entro il 2030, questa percentuale deve aumentare significativamente. A tal fine, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prevede, per l'Italia, interventi su larga scala per ripristinare e proteggere i fondali e gli habitat marini nelle acque nazionali, così da contribuire all'inversione della tendenza al degrado degli ecosistemi mediterranei e potenziarne la resilienza ai cambiamenti climatici.

Le praterie di *Posidonia oceanica*, habitat endemico del Mediterraneo e protetto (Direttiva Habitat 1992/43/CEE), pur occupando l'1% dei fondi mediterranei, hanno un ruolo essenziale nell'equilibrio dell'ecosistema marino. Questa pianta marina, infatti, produce circa 20 l/m<sup>2</sup> di ossigeno e sottrae anidride carbonica all'ambiente contrastando i cambiamenti climatici, ospita circa il 25% della biodiversità marina mediterranea, contribuisce a contrastare l'erosione costiera grazie al suo denso manto fogliare e stabilizza i fondi sabbiosi attraverso la tipica struttura a terrazzo detta *matte*. Purtroppo, le praterie di *Posidonia* sono in regressione in diverse aree del bacino del Mediterraneo: si stima che negli ultimi 50 anni la loro superficie sia diminuita di oltre il 30%. Le diverse cause di regressione, unitamente alla lentezza dei processi di ricolonizzazione naturale della pianta, hanno favorito, nel tempo, lo sviluppo di tecniche di trapianto di *Posidonia*, come mezzo per favorire o accelerare i processi di rigenerazione naturale.

Il progetto LIFE SEPOSSO (*Supporting Environmental governance for the POSidonia oceanica Sustainable transplanting Operations* LIFE16



GIE/IT/000761), coordinato dall'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, insieme ai partner e ai numerosi attori coinvolti, ha verificato l'esito dei trapianti realizzati, ad oggi, in Italia e ha fornito specifici strumenti per migliorarli. Il "Manuale per la pianificazione, realizzazione e monitoraggio dei trapianti di *Posidonia oceanica*", costituisce uno di questi strumenti e fornisce, agli addetti ai lavori e ai diversi *stakeholder* coinvolti, informazioni dettagliate e modalità esecutive sulla pianificazione, realizzazione, monitoraggio e gestione dei trapianti di *P. oceanica*. L'iter procedurale descritto è riferito a qualsiasi trapianto, a prescindere dalla sua finalità, come il ripristino di praterie degradate, la "ricucitura" di porzioni di prateria danneggiata, la compensazione di settori di posidonieti completamente persi a causa della realizzazione di opere marino-costiere. Proprio l'esistenza di attività economiche e infrastrutture costiere, potenzialmente dannose per i posidonieti, solleva questioni importanti, legate, ad esempio, all'informazione pubblica rispetto alle praterie, all'utilità e all'esito del trapianto, al livello di partecipazione dei diversi soggetti coinvolti, alla condivisione e all'accesso ai dati. Il raggiungimento di una buona *governance* per le attività di ripristino delle praterie di *P. oceanica*, destinata a un pubblico ampio e diversificato, permetterà di contribuire efficacemente al cambiamento trasformativo richiesto per la realizzazione di misure sempre più efficaci per la protezione, conservazione e il ripristino di questo prezioso e delicato habitat mediterraneo. Ciò, non solo contribuirà al raggiungimento degli obiettivi nazionali ed europei per la biodiversità e per i cambiamenti climatici, ma favorirà anche il mantenimento e la sostenibilità di attività fondamentali per le aree costiere del nostro Paese come la pesca, il turismo e la crescita blu, in ottemperanza con le normative ambientali europee (*i.e. Habitat Directive 1992/43/ CEE, Marine Strategy Framework Directive 2006/56/EC, Maritime Spatial Planning Directive 2014/89/EU, Water Framework Directive 2000/60/EC, Environmental Impact Assessment Directive 2014/52/ EC*).

*Alessandro Bratti*

DIRETTORE GENERALE ISPRA

# CAPITOLO 1

## LE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA



## 1.1 | CARATTERISTICHE BIOLOGICHE

*Posidonia oceanica* è una specie endemica del mar Mediterraneo. Sebbene spesso confusa con le alghe, è una fanerogama marina, ovvero una pianta organizzata in radici, fusto, detto rizoma a causa dell'*habitus* ipogeo, e foglie (fig. 1.1).

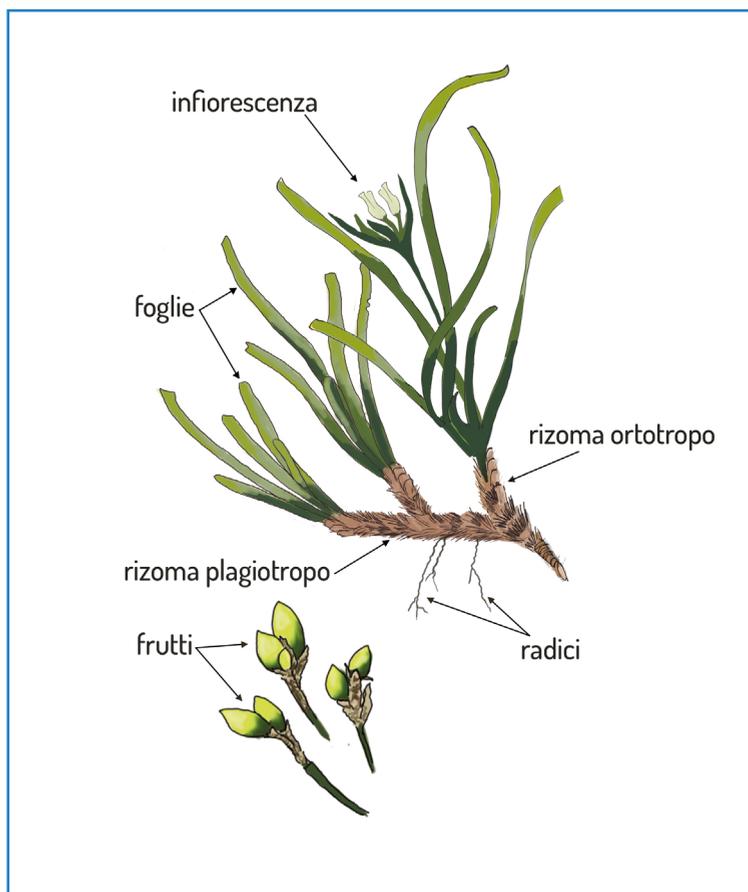


Figura 1.1 | Pianta di *Posidonia oceanica* (disegni Sonia Poponessi, ISPRA - Life SEPOSSO).

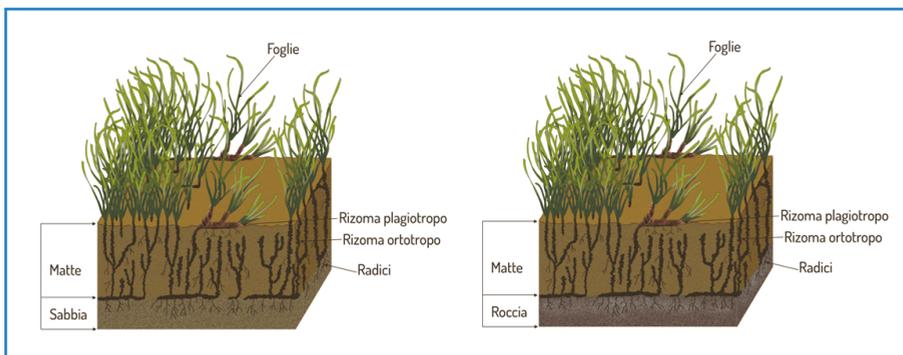
I rizomi sono fusti modificati che presentano la caratteristica di accrescersi sia in senso orizzontale (rizoma plagiotropo o traccian-te) sia verticale (rizoma ortotropo).

I rizomi plagiotropi hanno la funzione di ancorare la pianta al substrato, grazie alla presenza di radici sul lato inferiore, e di consentire la colonizzazione di nuove aree.

I rizomi ortotropi invece, crescendo in altezza, contrastano il progressivo insabbiamento dovuto alla continua sedimentazione e permettono in tal modo di sfruttare al massimo lo spazio e la luce disponibili. Lo sviluppo in verticale determina un progressivo innalzamento del fondo, che dà origine a una tipica formazione chiamata con termine francese *matte* (Pérès e Picard, 1964).

La crescita della *matte*, dovuta al tasso di sedimentazione del sedimento, nonché all'azione erosiva dovuta al moto ondoso e alle correnti, è stata stimata in circa 1 m al secolo da Molinier e Picard, (1953); altri studi hanno stimato crescite medie molto più basse di circa 10 cm al secolo (Boudouresque e Jeudy De Grissac, 1983). Indipendentemente dal substrato di impianto originario della pianta (sabbia o roccia), la *matte* è costituita dall'intreccio di più strati di rizomi e radici di vecchie piante e dal sedimento intrappolato tra questi elementi; solo la sommità di questa formazione è ricoperta da piante vive (*fig. 1.2*).

Le foglie nascono dai rizomi ortotropi, sono nastriformi, con apici arrotondati, e sono di colore verde intenso; hanno una larghezza media di un centimetro e possono raggiungere un metro di lunghezza (Boudouresque e Jeudy De Grissac, 1983); sono differenziate in un lembo fotosintetizzante e in una base, presente solo nelle foglie che hanno raggiunto un certo grado di sviluppo, che è più o meno lignificata in rapporto all'età. Il limite tra il lembo e la base è rappresentato da una linea concava detta ligula, in corrispondenza della quale, al momento della caduta, le foglie si staccano, lasciando sul rizoma le basi. Queste con il tempo si riducono a sottili scaglie che persistono, formando una sorta di manicotto che avvolge il rizoma stesso.

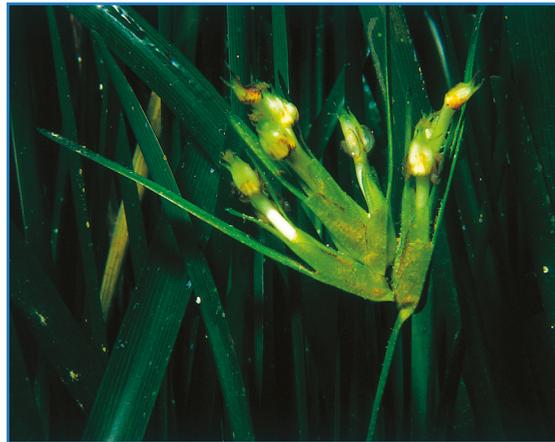


*Figura 1.2 | Struttura di Posidonia oceanica su matte (da Boudouresque e Meinesz, 1982, modificato - disegni Sonia Poponessi, ISPRA - Life SEPOSSO).*

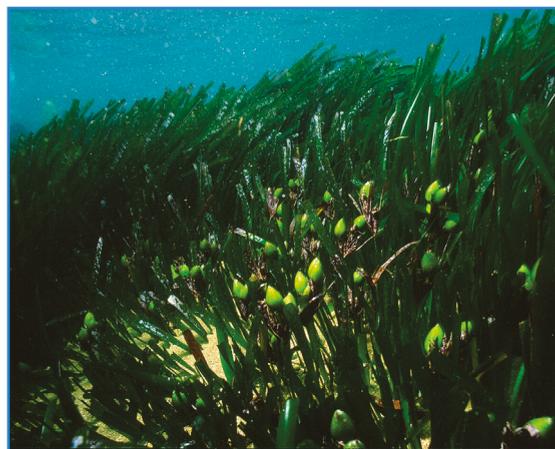
Le foglie sono disposte in fasci, ognuno dei quali ne contiene in media sei o sette, distribuite a ventaglio: le più vecchie, di maggiore lunghezza, sono localizzate esternamente al fascio, mentre le più giovani, di taglia inferiore, si trovano nella parte interna. Particolare è l'accrescimento delle foglie che si originano da un meristema basale anziché apicale: tale adattamento permette infatti la crescita della lamina fogliare anche quando l'apice, che ne diviene la parte più vecchia, va incontro per primo a fenomeni degenerativi.

Per quanto concerne gli aspetti riproduttivi, *P. oceanica* presenta modalità di riproduzione sia asessuale sia sessuale. La principale modalità di riproduzione di *P. oceanica* è quella asessuale o vegetativa mediante stolonizzazione; essa avviene attraverso la moltiplicazione e l'accrescimento dei rizomi plagiotropi ed ortotropi. I rizomi plagiotropi crescono più velocemente di quelli ortotropi e, inoltre, dai rizomi plagiotropi possono originarsi, ogni anno, più rizomi ad andamento sia orizzontale sia verticale. Nel complesso il processo di accrescimento dei rizomi è particolarmente lento in quanto l'allungamento dei rizomi raggiunge mediamente 2 centimetri all'anno (Marbà e Duarte, 1997). La riproduzione sessuale avviene raramente e, mediante, con la produzione di infiorescenze recanti generalmente 3-5 fiori ermafroditi (*fig. 1.3*) (Buia e Giaccone, 2008). Dai fiori maturano i frutti

(fig. 1.4) che, staccatisi dalla pianta, galleggiano fino alla rottura del pericarpo che libera il seme dal quale si svilupperà una nuova pianta. Tale modalità riproduttiva permette alla pianta di colonizzare nuove aree, ma al tempo stesso può determinare lo spiaggiamento di notevoli quantità di frutti e semi, riducendo il successo riproduttivo di questa specie (Buia e Mazzella, 1991; Molinier e Picard, 1953).



*Figura 1.3 | Infiorescenza di Posidonia oceanica  
(foto di Agostino Tomasello).*



*Figura 1.4 | Prateria di Posidonia oceanica con frutti  
(foto di Agostino Tomasello).*

## 1.2 | CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE E STRUTTURA DELLA PRATERIA

*Posidonia oceanica* è una pianta che necessita di una forte illuminazione, da cui consegue come sia la trasparenza dell'acqua sia la profondità siano fattori determinanti per la sua crescita.

Quando *P. oceanica* incontra condizioni ambientali favorevoli, colonizza vaste aree di fondo marino, formando ampie praterie (fig. 1.5). Le praterie si estendono dalla superficie fino a circa 30-35 metri di profondità, spingendosi oltre i 40 metri in acque particolarmente limpide, occupando nel Mediterraneo un'area stimata di circa 12000 km<sup>2</sup> (Telesca *et al.*, 2015).



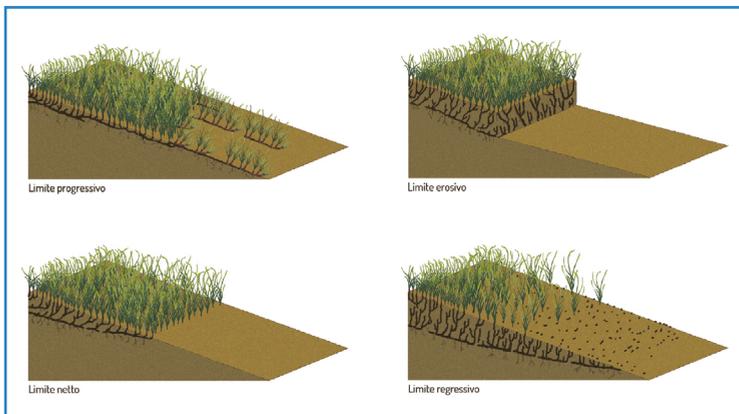
Figura 1.5 | Prateria di *Posidonia oceanica*  
(foto di Agostino Tomasello).

*P. oceanica* si insedia più comunemente su substrati mobili come sabbia più o meno grossolana, talvolta mista a fango, ma anche su fondi detritici e rocciosi. In funzione della composizione si possono rinvenire praterie “pure” o monospecifiche (caratterizzate dalla sola specie *P. oceanica*) e “miste” o plurispecifiche (caratterizzate dalla coesistenza di più specie di fanerogame), mentre sulla base della distribuzione della pianta sul fondo, le praterie sono definite “omogenee” (distribuzione uniforme su tutta l'estensione) o “disomogenee” (distribuzione irregolare) (Buia *et al.*, 2003).

Indipendentemente dalla distribuzione della prateria, la densità fogliare diminuisce all'aumentare della profondità o in funzione della trasparenza dell'acqua, raggiungendo in praterie superficiali in buone condizioni di salute valori superiori a 700 fasci  $m^{-2}$  (Pergent *et al.*, 1995) e una distanza media tra i fasci di circa 2 cm (Bacci *et al.*, 2017).

In ogni caso, su qualsiasi substrato la pianta si insedi, essa modifica notevolmente il substrato originario di impianto; infatti, lo strato fogliare della fanerogama agisce come una sorta di trappola per le particelle in sospensione nella colonna d'acqua, facilitandone la sedimentazione (Dauby *et al.*, 1995).

Per quanto concerne l'estensione, una prateria di *P. oceanica* è definita da un "limite superiore" e da un "limite inferiore". Il limite superiore corrisponde alla batimetria più superficiale alla quale ha inizio la prateria ed è sempre molto netto, mentre il limite inferiore, batimetria più profonda in corrispondenza della quale termina la prateria, può avere conformazioni diverse, tra le quali si individuano il limite progressivo o sfumato, il limite netto, il limite erosivo e il limite regressivo (Pergent *et al.*, 1995; Meinesz e Laurent, 1978) (*fig. 1.6*). Per ulteriori approfondimenti si rimanda a Montefalcone (2009).



*Figura 1.6 | Principali tipi di limite inferiore delle praterie di Posidonia oceanica (limite progressivo; limite netto; limite erosivo; limite regressivo (da Pergent et al., 1995, modificato - disegni Sonia Poponessi, ISPRA - Life SEPOSSO).*

### 1.3 | CARATTERISTICHE ECOLOGICHE

Le praterie di *Posidonia oceanica* rappresentano una biocenosi molto complessa e ben strutturata, caratterizzata da un'elevata variabilità biologica delle comunità vegetali ed animali che la compongono (Buia *et al.*, 2000). Tale biocenosi è costituita dalla sovrapposizione di differenti popolamenti: quello fotofilo associato allo strato fogliare, e quelli sciafili associati ai rizomi e alla *matte* (Gambi *et al.*, 1992; Mazzella *et al.*, 1989). Le specie associate allo strato fogliare sono spesso esclusive delle foglie di *P. oceanica*; le specie associate ai rizomi, invece, non presentano elementi esclusivi e caratteristiche così peculiari, in quanto simili alle specie sciafile dell'infra-litorale o del coralligeno circalitorale, in funzione della profondità e della quantità di luce corrispondenti (fig. 1.7) (Piazzi *et al.*, 2002; Boudouresque, 1968).

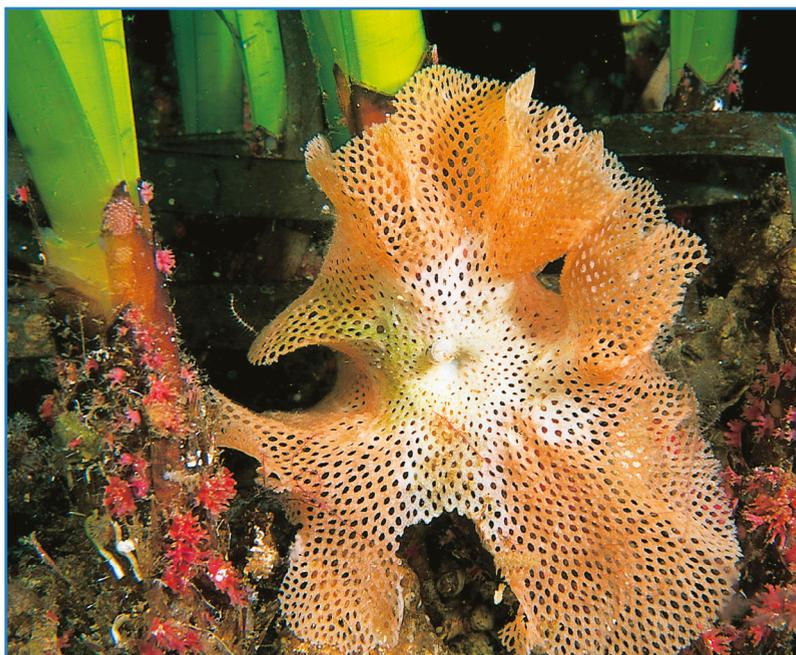


Figura 1.7 | Rizomi di *Posidonia oceanica* epifittati  
(foto di Agostino Tomasello).

Fra le specie presenti all'interno della prateria si distinguono inoltre specie residenti e specie migratorie: le prime trascorrono l'intero ciclo vitale all'interno della prateria, mentre le seconde vi si trasferiscono dagli ambienti circostanti soltanto per il tempo necessario alla ricerca di cibo, di un riparo o per la riproduzione (Buia *et al.*, 2000).

L'ecosistema a *P. oceanica* costituisce inoltre aree *nursery* per gli avannotti dei pesci e rappresenta un rifugio per un grande numero di organismi, tra cui numerose specie di Pesci, Cefalopodi e Crostacei, anche di notevole importanza economica (Francour, 1997). La prateria riveste, quindi, un ruolo estremamente importante come polo di biodiversità, in quanto ospita circa il 25% di tutte le specie presenti in mar Mediterraneo (Boudouresque *et al.*, 2012).

È noto che le praterie di *P. oceanica* costituiscono una delle componenti fondamentali dell'equilibrio e della ricchezza dell'ambiente litorale costiero mediterraneo. Esse sono caratterizzate da un'elevata produzione di ossigeno (1 m<sup>2</sup> di prateria può produrre giornalmente da 4 a 20 litri di ossigeno; Bay, 1978), da un'elevata produzione di sostanza organica (1 ettaro di prateria ne produce circa 20 tonnellate in un anno; Boudouresque e Meinesz, 1982) e da una produzione primaria tra le più alte, a livello mondiale, per l'ambiente marino (Pergent *et al.*, 1994; Pergent-Martini *et al.*, 1994). Una parte considerevole di questa produzione primaria (dal 25% all'85%, come riportato in Boudouresque *et al.*, 2006) viene esportata sotto forma di foglie morte verso altri tipi di fondo, dove rappresenta una risorsa alimentare di grande importanza. La sostanza organica prodotta costituisce una fonte di cibo diretta e indiretta per numerosi organismi nonché la base di una complessa rete trofica (Mazzella *et al.*, 1992). Inoltre proprio questa sua caratteristica di elevata produzione primaria rende l'ecosistema delle praterie di *P. oceanica* in grado di sequestrare grandi quantità di carbonio, chiamato "*blue carbon*", e quindi grandi quantità di anidride carbonica dall'atmosfera (McLeod *et al.*, 2011; Kennedy e Björk, 2009; Duarte *et al.*, 2005), riuscendo così ad ossigenare notevolmente le acque costiere e ad aiutare a ridurre i rischi dovuti al cambiamento climatico, con molteplici co-bene-

fici (Bindoff *et al.*, 2019). L'importanza delle praterie di *P. oceanica* supera quindi di gran lunga la superficie che esse occupano, pari a meno dell'1% dei fondali mediterranei (Boudouresque *et al.*, 2006) rivestendo un ruolo fondamentale nell'economia generale delle aree costiere.



## 1.4 | IL RUOLO DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA NELLA DIFESA DELLA COSTA

È noto che le praterie di *Posidonia oceanica* svolgono un ruolo fondamentale sulla dinamica costiera in quanto possono agire sulla sedimentazione, almeno a scala locale, modificando il sedimento originario di impianto (Dauby *et al.*, 1995). Questo fenomeno è dovuto alla duplice azione che le foglie viventi esercitano sia sul particolato fine che viene catturato ed imbrigliato tra i rizomi, sia sulle onde e le correnti la cui intensità viene notevolmente ridotta; la *matte* inoltre rappresenta una struttura allo stesso tempo elastica e rigida che può assorbire una parte dell'energia delle onde (Boudouresque, 2013; Fonseca *et al.*, 2007). Infine, le foglie morte, trasportate a riva dalle correnti, costituiscono ammassi misti a sabbia che possono superare anche il metro di altezza (*banquettes*) e che rappresentano una protezione per le spiagge, attenuando i danni provocati dalle mareggiate (Jeudy de Grissac, 1984), rappresentando perciò un'importante cintura naturale di contenimento e di protezione delle coste dall'azione erosiva del moto ondoso.

Nell'intento di salvaguardare le praterie di *P. oceanica*, quali barriere naturali contro l'erosione costiera, assume un'importanza basilare individuare le aree occupate dalle praterie, studiarne gli aspetti strutturali, funzionali ed ecologici, mediante specifiche indagini di campo che permettano di ottenere sia cartografie aggiornate e di dettaglio, sia indicazioni affidabili circa lo stato di salute delle praterie e dei popolamenti ad esse associati.



## 1.5 | LE CAUSE DI REGRESSIONE DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA

*Posidonia oceanica* risente in modo particolare delle variazioni della qualità dell'ambiente e scompare allorché l'inquinamento, inteso in senso lato, è troppo accentuato; per questo motivo *P. oceanica* è ritenuta un eccellente indicatore della qualità dell'ambiente (Montefalcone, 2009; Pergent *et al.*, 1995).

Nonostante l'importanza di questo habitat, dagli anni '50 stiamo assistendo ad una progressiva regressione e degrado delle praterie, spesso a causa di attività umane che agiscono sinergicamente tra loro (Giakoumi *et al.*, 2015; Boudouresque *et al.*, 2012). Nel Mediterraneo tra il 13% e il 50% delle praterie di *P. oceanica* sono regredite considerevolmente in termini di estensione fino alla perdita completa dell'area occupata e le rimanenti praterie hanno subito una riduzione della densità e della copertura (Telesca *et al.*, 2015, Marbà *et al.*, 2014). Pertanto, Marbà *et al.* (2014) stimano che la perdita delle praterie di *P. oceanica* abbia ridotto la capacità di assorbimento del carbonio dell'intero bacino del Mediterraneo tra l'11% e il 52%. Purtroppo, mancano dati di dettaglio sulla distribuzione e la qualità di *P. oceanica* per la maggior parte del Mar Mediterraneo (Boudouresque *et al.*, 2009), ed è possibile che la regressione delle praterie di fanerogame sia stata sopravvalutata (Bonacorsi *et al.*, 2013; Boudouresque *et al.*, 2009; González-Correa *et al.*, 2007).

Alcuni Autori asseriscono che *P. oceanica* mostri un disadattamento progressivo all'ambiente Mediterraneo, che porta a una rarefazione naturale delle praterie, principalmente lungo le coste settentrionali (Blanc e Jeudy de Grissac, 1989). Lo scarso successo della riproduzione sessuata sembra aver portato nel tempo a una diminuzione della variabilità genetica all'interno delle popolazioni, che potrebbe aver reso la specie più vulnerabile rispetto ai cambiamenti delle condizioni ambientali (Procaccini *et al.*, 1996). Tuttavia, le principali cause di regressione sono da collegare alla cre-



scente pressione antropica che altera l'ambiente costiero, determinando effetti sulle praterie. Tali effetti negativi sono essenzialmente riconducibili alle variazioni di torbidità della colonna d'acqua e alle variazioni dei tassi di sedimentazione, nonché ai danni fisici generati dalla pesca a strascico e dagli ancoraggi (Boudouresque *et al.*, 2006). In particolare, l'alta concentrazione di inquinanti organici dovuti, ad esempio, agli scarichi di reflui urbani o industriali causano un eccessivo sviluppo algale, e possono provocare sia un aumento della torbidità delle acque sia un eccessivo sviluppo di epifiti sulle foglie di *P. oceanica* (Boudouresque *et al.*, 2009). In entrambi i casi viene ridotta l'intensità di luce che può raggiungere la pianta, con conseguenze negative sulla sopravvivenza della stessa. Sostanze chimiche di vario genere (es. tensioattivi, metalli pesanti ecc.) possono inoltre causare necrosi dei tessuti, alterazioni morfologiche e comunque interferire negativamente con i normali processi di sviluppo della pianta (Capiomont *et al.*, 2000).

Un altro aspetto molto importante che può influire sullo stato di salute delle praterie di *P. oceanica* è quello legato alla variazione dei tassi sedimentari sotto costa, indotta dalla realizzazione di opere costiere. La costruzione di porti e opere portuali in genere, nonché la realizzazione di opere di difesa rigida sono infatti interventi che possono interferire drasticamente con il normale regime idrodinamico e causare importanti alterazioni della dinamica sedimentaria, soprattutto a scala locale (Boudouresque *et al.*, 2009). È noto che sia gli aumenti sia le riduzioni degli apporti sedimentari possono creare seri problemi alla sopravvivenza delle praterie, nel primo caso favorendone l'insabbiamento e il conseguente soffocamento (Manzanera *et al.*, 1998; Marbà e Duarte, 1997), nel secondo promuovendo lo scalzamento dei rizomi e rendendo quindi la prateria più sensibile ai fenomeni erosivi (Astier, 1984; Jeudy de Grissac, 1979) (*fig. 1.8*).



*Figura 1.8 | Prateria di Posidonia oceanica degradata  
(foto di Tiziano Bacci).*

Fra i progetti e le opere che interessano l'ambiente marino-costiero e che possono determinare impatti diretti o indiretti sulle praterie di *Posidonia oceanica*, i più frequenti sono i porti commerciali e turistici, le dighe, i moli ed altri lavori di difesa costiera, le condotte sottomarine (acquedotti, oleodotti, gasdotti), gli elettrodotti, gli impianti produttivi *off-shore*.

Inoltre, laddove la prateria presenta già importanti segni di sofferenza, il suo stato di salute può subire un ulteriore peggioramento con l'introduzione di specie alloctone che possono entrare in competizione con *P. oceanica* ostacolando i processi di ricolonizzazione (Montefalcone *et al.*, 2010), come nel caso dell'espansione di due specie di alghe verdi di origine tropicale appartenenti al genere *Caulerpa* (de Villèle e Verlaque, 1995).

In generale, la perdita della copertura vegetale dei fondali marini comporta l'erosione degli strati superficiali esposti (Marbà *et al.*, 2015), che può portare al rilascio del carbonio immagazzinato (*blue carbon*), all'aumento delle emissioni di gas serra e all'accelerazione del cambiamento climatico globale (Atwood *et al.*, 2017).



Infine, altre potenziali cause di regressione delle praterie potrebbero essere imputabili in futuro agli effetti del cambiamento climatico, quest'ultimi ancora relativamente meno conosciuti rispetto a quelli legati alle pressioni antropiche. Il riscaldamento del Mar Mediterraneo e l'incremento dei fenomeni meteorologici estremi, potrebbe avere conseguenze su *P. oceanica*, sia a causa dell'aumento della temperatura media dell'acqua, sia a causa della sua progressiva acidificazione (IPCC, 2019; Caldeira e Wickett, 2003; Short e Neckles, 1999).

## CAPITOLO 2

# IL QUADRO NORMATIVO



## 2.1 | POSIDONIA OCEANICA: DIRETTIVE EUROPEE, CONVENZIONI INTERNAZIONALI, LEGGI NAZIONALI

La conservazione e la valorizzazione delle praterie di *Posidonia oceanica* viene stabilita da convenzioni internazionali, da direttive europee e da leggi nazionali.

A livello di prateria *P. oceanica* è protetta ai sensi della Direttiva Habitat 1992/43/CEE (recepita in Italia con il D.P.R. 357/1997 e s.m.i.), come tipo di habitat prioritario, la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione. La presenza di praterie di *P. oceanica* comporta l'istituzione di Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e Zone Speciali di Conservazione (ZSC) che costituiscono, unitamente alle Zone di Protezione Speciale (ZPS) (Direttiva Uccelli), i Siti delle Rete Natura 2000, rete di aree naturali protette, istituite dalla Comunità Europea, aventi lo scopo di tutelare lo stato di conservazione di specie di flora e di fauna e di tipi di habitat che necessitano di mirate azioni di protezione. In accordo con quanto dettato dalla Direttiva Habitat, qualsiasi attività che possa interferire con lo stato di conservazione del sito, anche nel caso in cui tali attività vengano svolte al di fuori di esso, dovrà quindi essere sottoposta a una specifica procedura, denominata "Valutazione d' Incidenza Ambientale (VIInCA)". La VIInCA ha lo scopo di verificare, preventivamente, in che misura le attività previste incidono sullo stato di conservazione della specie e/o dell'habitat per il quale il sito è stato istituito e il mancato rispetto dell'*iter* indicato comporta, da parte della Comunità Europea, l'avvio di specifiche procedure di infrazione (AA.VV., 2019a).

Alle Angiosperme, cui appartiene la specie *Posidonia oceanica*, si fa inoltre riferimento anche nell'ambito della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (*Water Framework Directive*, WFD), recepita in Italia con il D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., che disciplina la qualità ecologica e chimica delle acque. Tale direttiva attribuisce, per la prima volta, un ruolo prioritario agli indicatori biologici nella valutazione dello stato ecologico dei corpi idrici, lasciando agli indicatori chimi-



co-fisici e morfologici un ruolo di supporto. In tale ambito l'Italia ha identificato tra le Angiosperme la specie *P. oceanica* come indicatore di qualità ecologica (EQB), da utilizzare ai fini della valutazione dello stato ecologico dei corpi idrici.

L'implementazione nazionale della Direttiva quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (*Marine Strategy Framework Directive*, MSFD – 2008/56/CE), recepita in Italia con D.Lgs. 190/2010, infine, vede tra gli habitat oggetto di valutazione della qualità ecologica la biocenosi *P. oceanica*. Tale valutazione è effettuata attraverso la definizione del buono stato ambientale (G.E.S. - *Good Environmental Status*) raggiunto attraverso traguardi ambientali (*target*) in un'ottica di gestione sostenibile dell'ambiente marino.

A livello di specie *P. oceanica* è protetta ai sensi della Convenzione di Berna (Allegato 1) e dalla Convenzione di Barcellona (protocollo SPA/BIO).

La Convenzione di Berna, per la conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa, approvata dal Consiglio europeo con Decisione 82/72/CE del 3 dicembre 1981 e ratificata dall'Italia con la Legge 503 del 5 agosto 1981 individua, in particolare, le specie di flora e di fauna rigorosamente protette (ovvero specie e habitat di specie vulnerabili, in pericolo di estinzione e/o endemiche), specificandone anche le rispettive norme di protezione.

Si ritiene, inoltre, importante sottolineare che il deterioramento provocato alle specie e agli habitat protetti dalla Convenzione di Berna e dalla Direttiva Habitat (e quindi alle praterie di *P. oceanica*) costituisce danno ambientale oggettivo, come definito ai sensi dell'art. 300 del D.Lgs 152/2006.

La Convenzione di Barcellona (16.02.1976), nata come “Convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento” sotto l'egida dell'UNEP (*United Nations Environment Programme*) è stata emendata nel 1995, divenendo “Convenzione per la protezione dell'ambiente marino e della regione costiera del Mediterraneo”. In quest'ultima forma è stata ratificata dall'Italia con la Legge n. 175 del 27 maggio 1999 ed è entrata in vigore nel 2004. Al fine di raggiun-

gere gli scopi previsti, la Convenzione si è dotata di sette protocolli e con particolare riferimento all'individuazione di habitat e/o specie minacciate da proteggere, l'accordo di riferimento è costituito dal Protocollo relativo alle Zone Specialmente Protette e alla Biodiversità nel Mediterraneo (Protocollo SPA/BIO, [http://www.rac-spa.org/dl/protocol\\_eng.pdf](http://www.rac-spa.org/dl/protocol_eng.pdf)).



## 2.2 | REGOLAMENTAZIONE DEI PROGETTI E OPERE MARINO-COSTIERI CHE POTENZIALMENTE IMPATTANO LE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA

Fra i progetti e le opere che interessano l'ambiente marino-costiero e che possono determinare impatti diretti o indiretti sulle praterie di *Posidonia oceanica*, i più frequenti, come già illustrato, sono i porti commerciali e turistici, le dighe, i moli ed altri lavori di difesa costiera, le condotte sottomarine (acquedotti, oleodotti, gasdotti), gli elettrodotti, gli impianti produttivi *off-shore*.

Alcuni di questi progetti e opere sono sottoposti a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e sono raggruppati in due elenchi del Testo Unico Ambientale D. Lgs. 152/06 e s.m.i. parte II: a) allegato II e b) allegato III, recependo le indicazioni del D. Lgs.104/2017 il quale definisce rispettivamente la competenza statale per le opere dell'allegato II e la competenza regionale e delle province autonome di Trento e Bolzano per quelli dell'allegato III. Le opere e i progetti di cui all'allegato II-bis alla parte seconda del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. sono, invece, sottoposti a verifica di assoggettabilità a VIA in sede statale.

Per i progetti e le opere assoggettati a VIA di competenza statale, l'autorità competente è il Ministero per la Transizione Ecologica (MiTE già MATTM) -Direzione generale per le Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali, il quale emana il provvedimento di VIA, che può essere positivo, positivo con condizioni ambientali o negativo per la realizzazione, esercizio e dismissione delle opere e dei progetti. La condizione ambientale del provvedimento di VIA è *“una prescrizione vincolante che definisce i requisiti per la realizzazione del progetto-opera o l'esercizio delle relative attività, ovvero le misure previste per evitare, prevenire, ridurre e, se possibile, compensare gli impatti ambientali significativi e negativi nonché le misure di monitoraggio ambientale”* (art.5 c. 1 o-*quater*). Analogo iter procedurale e provvedimento di VIA sono previsti per i progetti e le opere assoggettati a VIA di



competenza regionale per i quali l'autorità competente è la pubblica amministrazione con compiti di tutela, protezione e valorizzazione ambientale individuata secondo le disposizioni delle leggi regionali o delle Province Autonome di Trento e Bolzano.

Per i progetti o le opere che possono avere una incidenza su una prateria di *Posidonia* facente parte della rete Natura 2000, è prevista una Valutazione d'Incidenza Ambientale (VIInCA) che viene introdotta dall'articolo 6, comma 3, della Direttiva 92/43/CEE "Habitat" e recepita in Italia con il DPR 357/97 (art. 5), così come modificato e integrato dal DPR 120/03 (art. 6). Questi ultimi individuano nella predisposizione di un apposito studio (Studio di Incidenza) lo strumento per determinare e valutare gli effetti di progetti e opere sugli habitat o specie protetti.

La movimentazione dei fondali marini derivante dall'attività di posa in mare di alcuni cavi e condotte rientra nelle opere che potenzialmente generano impatti diretti o indiretti sui posidonieti ed è soggetta a differenti *iter* autorizzativi in base alle caratteristiche dell'opera, quali la VIA o il rilascio dell'autorizzazione ai sensi del DM 24 gennaio 1996 e dell'art. 109 co. 5 del D. Lgs. 152/06.

Sia nell'ambito della VIA sia in quello della VIInCA, come anche per l'art. 109 del D. Lgs. 152/06, il trapianto di *Posidonia* viene comunemente indicato come misura compensativa del danno subito dalle praterie a causa della realizzazione o dismissione dei suddetti progetti o opere. Come tutte le condizioni ambientali, anche quelle riguardanti il trapianto di *Posidonia*, sono soggette a verifica di ottemperanza da parte del MiTE o dell'autorità competente regionale o delle Province Autonome e pertanto una dettagliata pianificazione delle attività di trapianto e di monitoraggio rende la verifica della misura compensativa più efficace ed efficiente a tutela del posidonieto recuperato.

Per una disamina dettagliata degli aspetti normativi e tecnici legati alla procedura di VIA e VIInCA si rimanda ad AA.VV. (2019a, 2022).

## 2.3 | LA LEGISLAZIONE AMBIENTALE EUROPEA E NAZIONALE PER UNA GESTIONE SOSTENIBILE DEGLI AMBIENTI MARINI E COSTIERI

Le praterie di *Posidonia oceanica* sono in regressione in diverse aree del bacino del Mediterraneo: si stima che negli ultimi 50 anni la loro superficie sia diminuita di oltre il 30% (Telesca *et al.*, 2015). Le attività umane e le forme di inquinamento ad esse correlate sono tra le principali minacce per questo ecosistema. Pertanto, individuare efficaci strumenti per una efficiente sinergia tra le legislazioni ambientali europee rappresenta l'approccio migliore per una gestione sostenibile degli ambienti marini e costieri e di questo prezioso habitat. Le Nazioni Unite hanno proposto, nel marzo 2019, nel decennio 2021-2030, il ripristino degli ecosistemi (<https://www.decadereonrestoration.org>), con l'obiettivo di incrementare gli sforzi esistenti per ripristinare 350 milioni di ettari di ecosistemi degradati a livello globale entro il 2030. L'Unione Europea nel maggio 2020, nel quadro della Strategia dell'UE per la Biodiversità per il 2030 intitolata "*Bring nature back into our lives*", ha formulato un piano per il ripristino degli ecosistemi terrestri e marini e in particolare di quelli ad alto potenziale di cattura e stoccaggio del carbonio. A tal fine, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prevede per l'Italia, nei prossimi anni, interventi su larga scala per ripristinare e proteggere i fondali e gli habitat marini nelle acque nazionali, così da invertire la tendenza al degrado degli ecosistemi mediterranei e potenziarne la resilienza ai cambiamenti climatici. Nel febbraio del 2022, inoltre, è stata inserita la tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi fra i principi fondamentali della Costituzione della Repubblica italiana. In particolare, le modifiche hanno riguardato l'art. 9 della Costituzione, in cui, oltre a definire l'ambiente nella sua accezione più estesa e sistemica, viene considerato come un valore da tutelare anche nell'"*interesse delle future generazioni*", espressione questa, per introdurre e affermare il principio della giustizia intergenerazionale.



le. La seconda modifica ha riguardato l'art. 41 della Costituzione in materia di esercizio dell'iniziativa economica, aggiungendo che l'iniziativa economica privata non possa svolgersi in danno alla salute e all'ambiente.

Da diversi anni, la Politica Marittima Integrata (PMI) europea cerca di fornire un approccio più coerente alle questioni marittime, con un maggiore coordinamento tra i diversi settori interessati e i diversi attori coinvolti (*stakeholder*). L'implementazione della PMI dimostra che un approccio dinamico e coordinato in materia di affari marittimi rafforza lo sviluppo dell'"economia blu" dell'UE, garantendo al tempo stesso il buono stato ecologico dei mari e degli oceani.

La direttiva sulla Pianificazione dello Spazio Marittimo (*Marine Spatial Planning*, MSP – 2014/89/CE) è una delle principali azioni condotte dall'UE nel quadro della propria PMI. Questa direttiva ha l'obiettivo di promuovere la gestione e lo sfruttamento delle risorse marine basandosi su una conoscenza sempre più approfondita dei processi, delle funzioni e dei servizi forniti dagli ecosistemi, oltre che sull'importanza della loro conservazione. Pianificare quando e dove svolgere le attività umane in mare, al fine di rendere le pressioni generate quanto più possibile sostenibili, richiederà una stretta integrazione delle valutazioni ecologiche, sociali ed economiche, nonché un coinvolgimento dei diversi *stakeholder* interessati e dei responsabili politici. Con il D.Lgs 201/2016 l'Italia ha recepito la Direttiva Europea MSP che ha stabilito di disporre, entro marzo 2021, i piani dello spazio marittimo per tutte le acque e i fondali su cui l'Italia ha giurisdizione. In tale contesto, l'implementazione della MSP necessita di una forte interazione con le direttive relative alla Valutazione di Impatto Ambientale (*Environmental Impact Assessment*, EIA – 2014/52/EC) e alla Valutazione Ambientale Strategica (*Strategic Environmental Assessment*, SEA – 2001/42/CE) ma anche con le direttive legate alla qualità degli ambienti marini quali la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE e la Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino (2008/56/CE).

Come già illustrato, le praterie di *Posidonia oceanica* vengono

considerate anche nella giurisprudenza ambientale, nell'ambito delle procedure autorizzative connesse alla realizzazione di opere marino-costiere. Infatti, piani o progetti relativi a opere e infrastrutture costiere che potenzialmente influenzano le praterie di *P. oceanica* sono soggetti alle procedure autorizzative della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) incluse quelle della Valutazione d'Incidenza Ambientale (VIInA) (Art. 6 (3) e (4) Direttiva Habitat, 1992/43/CEE). La Direttiva 2014/52/UE (recepita in Italia con il D.Lgs. 104/2017) ha introdotto nuove norme che rendono maggiormente efficienti le procedure sia di verifica di assoggettabilità alla VIA sia della valutazione stessa, che incrementano i livelli di tutela ambientale e contribuiscono alla sostenibilità ambientale (AA.VV., 2019a). In tali ambiti, il danno subito dalle praterie dalla realizzazione di opere e infrastrutture costiere assoggettate a VIA, viene, generalmente, compensato mediante il trapianto di *Posidonia*.

Inoltre, nell'ambito della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (*Water Framework Directive*, WFD), l'Italia ha identificato tra le angiosperme la specie *P. oceanica* come indicatore di qualità ecologica (EQB), da utilizzare ai fini della valutazione dello stato ecologico dei corpi idrici.

L'implementazione nazionale della Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino (*Marine Strategy Framework Directive*, MSFD - 2008/56/CE), infine, vede tra gli habitat oggetto di valutazione della qualità ecologica la biocenosi *P. oceanica* e, in particolare, rientra nel *Target* 1.2 "Incremento nel numero degli habitat marini elencati nella Direttiva Habitat e riferiti al protocollo SPA/BD della Convenzione di Barcellona che mantiene o consegue uno stato di conservazione soddisfacente".

Infine, è importante sottolineare l'importanza del coinvolgimento e della consapevolezza del pubblico in materia ambientale che in Europa è regolata dalla direttiva 2014/52/UE e dalla Convenzione di Aarhus. I dettami di questa Convenzione rappresentano un elemento cruciale nella realizzazione di una buona *governance* ambientale (Bennet, 2016; Madden e McQuinn, 2014; Redpath *et al.*, 2013),



elemento costituente essenziale della sinergia della legislazione ambientale europea per una gestione sostenibile degli ambienti marini e costieri, ivi compreso l'habitat praterie di *Posidonia*.

## CAPITOLO 3

# IL TRAPIANTO DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA E LA SUA GOVERNANCE



### 3.1 | IL TRAPIANTO COME STRUMENTO DI RECUPERO E GESTIONE DELL'HABITAT PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA

Sebbene la loro importanza ecologica ed economica sia riconosciuta a livello internazionale, e siano conseguentemente protette da diverse norme, sia a livello nazionale, sia a livello europeo, le praterie di *Posidonia oceanica* sono oggi in forte regressione in diverse aree del mediterraneo (Telesca *et al.*, 2015; Marbà *et al.*, 2014). Le diverse cause di regressione, sia naturali sia antropiche, descritte nei precedenti paragrafi, unitamente alla lentezza dei processi di ricolonizzazione naturale, ha favorito, nel tempo, l'affermarsi dell'idea che poteva essere necessario sviluppare tecniche di trapianto, come mezzo per favorire e/o accelerare i processi di rigenerazione naturale (Meinesz *et al.*, 1991a). Tuttavia, considerando che *P. oceanica* è una delle *Magnoliophyte* con la più lenta crescita al mondo, anche il suo trapianto è un lento processo di ricolonizzazione in cui le talee selezionate devono attecchire ed espandersi fino a ricostituire, solamente dopo molti anni, una prateria con caratteristiche assimilabili ad una condizione naturale. Un trapianto, quindi, non deve essere immaginato come un rapido rinverdimento, così come avviene per un prato in ambiente terrestre ma uno strumento per promuovere la resilienza di questo habitat.

Le prime esperienze di trapianto di *P. oceanica*, realizzate impiegando tecniche generalmente utilizzate per rafforzare e migliorare lo stato di conservazione di praterie di altre fanerogame marine, non ebbero un esito positivo. Le ulteriori esperienze, a partire da quelle condotte dalla scuola francese di Georges Cooper e dal gruppo dei *Jardiniers de la Mer* (Augier *et al.*, 1996; Cooper, 1982) e le successive sperimentazioni, realizzate soprattutto in Italia, hanno, nel tempo, mostrato risultati più incoraggianti in termini di successo dei trapianti di *P. oceanica* (Scardi *et al.*, in stampa; Calvo *et al.*, 2021 AA.VV., 2020a).

L'esperienza maturata dagli insuccessi pregressi, le nuove scoperte



sulla biologia della pianta, l'impiego di nuove tecnologie, nonché la disponibilità di dati di monitoraggio dei trapianti su lunghi periodi ha, infatti, permesso di realizzare trapianti di *Posidonia* sempre più efficaci e sostenibili (Bacci e La Porta, 2022; Boudouresque *et al.*, 2021; Piazzi *et al.*, 2021; Bacci *et al.*, 2019; Badalamenti *et al.*, 2015).

Accanto all'idea di reimpiantare praterie distrutte, danneggiate o sofferenti per effetto delle alterazioni causate sull'ambiente marino-costiero (ad esempio variazioni della dinamica costiera indotte dalla realizzazione di opere costiere o dai cambiamenti delle dinamiche climatiche), negli ultimi anni il trapianto di settori di praterie di *P. oceanica*, è sempre più spesso stato individuato, all'interno dei Decreti VIA relativi alla realizzazione di opere costiere, come forma di compensazione degli impatti associati.

A prescindere dalla finalità con cui è stato realizzato un trapianto, molti sono i fattori da cui dipende il successo di un trapianto di *P. oceanica*. I principali sono la scelta delle aree di trapianto e della tecnica più idonea per la tipologia di substrato selezionato. Tuttavia, per aumentare le probabilità di riuscita di un intervento di trapianto, è necessario seguire un *iter* procedurale specifico, che permetta la corretta gestione di tutte le fasi, in cui è articolato il trapianto stesso, e l'acquisizione di tutte le tipologie di dati necessari, nelle diverse aree interessate. Inoltre, le specifiche competenze tecnico-scientifiche dei diversi operatori che si occupano delle diverse fasi del trapianto, risultano cruciali per la realizzazione di un trapianto efficace e duraturo nel tempo (<https://lifesepposso.eu>; Bacci e La Porta, 2022; AA.VV., 2020a).

Le principali fasi dell'*iter* procedurale, illustrate nel presente manuale, riguardano: la pianificazione, la realizzazione, il monitoraggio e la gestione di un trapianto.

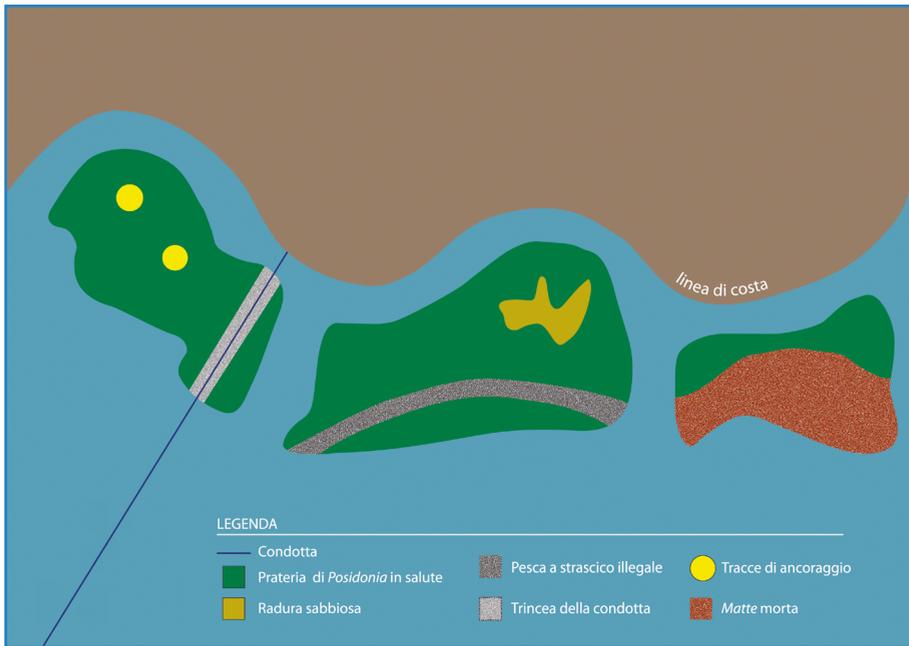
Ognuna di queste fasi comprende ulteriori ed essenziali passaggi, che tengono conto, ad esempio, sia di accurate caratterizzazioni ambientali per la scelta delle praterie donatrici e di quelle riceventi, di studi pilota per la scelta di aree idonee al trapianto e delle tecniche più appropriate, della scelta del materiale biologico da trapiantare,

di opportuni ed estesi piani di monitoraggio per valutare l'esito del trapianto nel tempo. Inoltre, affinché un trapianto, seppur realizzato rispettando ognuna delle buone pratiche indicate, possa concretamente avere maggiori probabilità di successo, è necessario che venga gestito nel tempo, e protetto da quelle azioni antropiche che solitamente danneggiano le praterie naturali come, la piccola pesca, la pesca a strascico illegale e gli ancoraggi di barche da diporto o commerciali.

L'*iter* procedurale descritto nel presente manuale è applicabile a qualsiasi trapianto, anche se realizzato con finalità diverse, come il ripristino di praterie degradate (es: *matte* morta), la "ricucitura" di porzioni di prateria danneggiata (es: ancoraggi, pesca a strascico), la compensazione di settori di posidonieti completamente persi a seguito di dragaggi o sigillatura dei fondi in cui erano presenti, a causa della realizzazione di opere marino-costiere (es: condotte) (*fig. 3.1.1*).

Inoltre, proprio l'esistenza di attività economiche che hanno generato e che ancora generano un impatto su questo prezioso habitat, solleva questioni importanti, legate all'informazione pubblica rispetto al trapianto, al livello partecipazione dei diversi soggetti coinvolti a vario titolo nei trapianti, alla condivisione e all'accesso ai dati raccolti e la disponibilità dei risultati sull'efficacia del trapianto. Anche in questo caso, quindi, è necessario tendere al raggiungimento di una buona *governance* ambientale che accompagni le diverse fasi dell'*iter* proposto per le attività di trapianto di *P. oceanica*.





*Figura 3.1.1 | Esempi di praterie di Posidonia oceanica degradate o danneggiate (disegni Sonia Poponessi, ISPRA - Life SEPOSSO).*

## 3.2 | LA GOVERNANCE DEI TRAPIANTI DI POSIDONIA OCEANICA

### **La governance nei trapianti di *Posidonia oceanica*: i principi di “buona” governance**

L'esistenza di attività economiche che hanno un impatto su un ecosistema di importanza cruciale come le praterie di *Posidonia oceanica*, solleva questioni importanti, tanto più che il restauro delle fanerogame è un argomento molto dibattuto a livello europeo (Cunha *et al.*, 2012). Le questioni sollevate riguardano una serie di problematiche correlate, come la selezione della tecnica di trapianto più appropriata e dei siti riceventi adatti, la disponibilità del materiale biologico da trapiantare, l'importanza del monitoraggio, la condivisione e l'accesso ai dati raccolti e la disponibilità dei risultati sull'efficacia del trapianto. La questione del coinvolgimento e della consapevolezza del pubblico in materia ambientale in Europa, come già illustrato, è regolata dalla direttiva 2014/52/UE e dalla Convenzione di Aarhus ed è un elemento cruciale nella realizzazione di una buona *governance* ambientale (Bennet, 2016; Madden e McQuinn, 2014; Redpath *et al.*, 2013). I benefici del coinvolgimento degli *stakeholder* nelle decisioni ambientali sono molteplici e includono la possibilità di prevenire o risolvere i conflitti e di aumentare l'accettabilità sociale delle iniziative (Gall e Rodwell, 2016; Hagan e Williams, 2016). La partecipazione pubblica, inoltre, può anche portare a un miglioramento generale dell'intero processo di *governance* attraverso il contributo delle conoscenze locali. Per queste ragioni, il processo di *governance* in materia ambientale dovrebbe essere sempre opportunamente impostato e dovrebbe fornire il quadro per un adeguato coinvolgimento di tutte le parti direttamente e indirettamente interessate.

La *governance* è generalmente definita come l'insieme di istituzioni, strutture, e processi che determinano “chi” prende le decisioni, “come e per chi” vengono prese, “se, come e quali” azioni vengono intraprese e “per quale scopo” (Lockwood *et al.*, 2010; Graham *et al.*, 2003). In sintesi, la *governance* è l'insieme di regole, strategie e



processi che presiedono alla guida delle attività di un ente pubblico o privato. Lo scopo principale della *governance* è quello di assicurare buoni risultati e il raggiungimento degli obiettivi prefissati, integrando le azioni dei cittadini nell'azione di governo, sostenendole ed essendone a sua volta sostenuta.

I diversi modelli di *governance* comportano una combinazione di approcci focalizzati su tre componenti: Stato, persone (società civile) e mercato, il cui equilibrio varia in contesti differenti. L'analisi della *governance* deve esaminare queste tre componenti e il modo in cui sono tra loro relazionate. Non esiste un singolo modello integrato di “buona” *governance*, e la priorità di ogni particolare analisi è considerare una combinazione di principi che la guideranno. Per questo motivo è importante caratterizzare gli aspetti chiave di una *governance* attraverso la definizione degli obiettivi e dei relativi attributi.

Si parla di *governance* ambientale nel caso dei processi decisionali che stanno alla base del controllo e della gestione dell'ambiente e delle risorse naturali. Una recente *review* (Bennett e Satterfield, 2018) sulla *governance* ambientale riassume in un *framework* il modo in cui gli obiettivi primari e gli attributi si legano agli elementi della *governance* (fig. 3.2.1). Nel *framework* sono stati identificati quattro obiettivi di buona *governance* (Lockwood *et al.*, 2010; Bennett e Satterfield, 2018): (i) Efficacia, (ii) Equità, (iii) Reattività e (iv) Robustezza. L'insieme degli attributi rappresenta un riferimento utile per la scelta di idonei indicatori necessari per l'analisi e della qualità di una *governance* ambientale.

Per “buona” *governance* si intende una *governance* che persegua obiettivi di Efficacia, Equità, Reattività e Robustezza. Per ogni obiettivo esistono diversi attributi, per i quali è necessario disporre di indicatori qualitativi in grado di documentare cosa è stato fatto per raggiungere l'obiettivo specifico (tab. 3.2.1). È importante sottolineare come i principi di “buona” *governance* si ispirino ai contenuti della Convenzione di Aarhus (Decisione 2005/370/CE) sul diritto di partecipazione al dibattito e accesso alle informazioni e alla giustizia dei cittadini in materia ambientale.

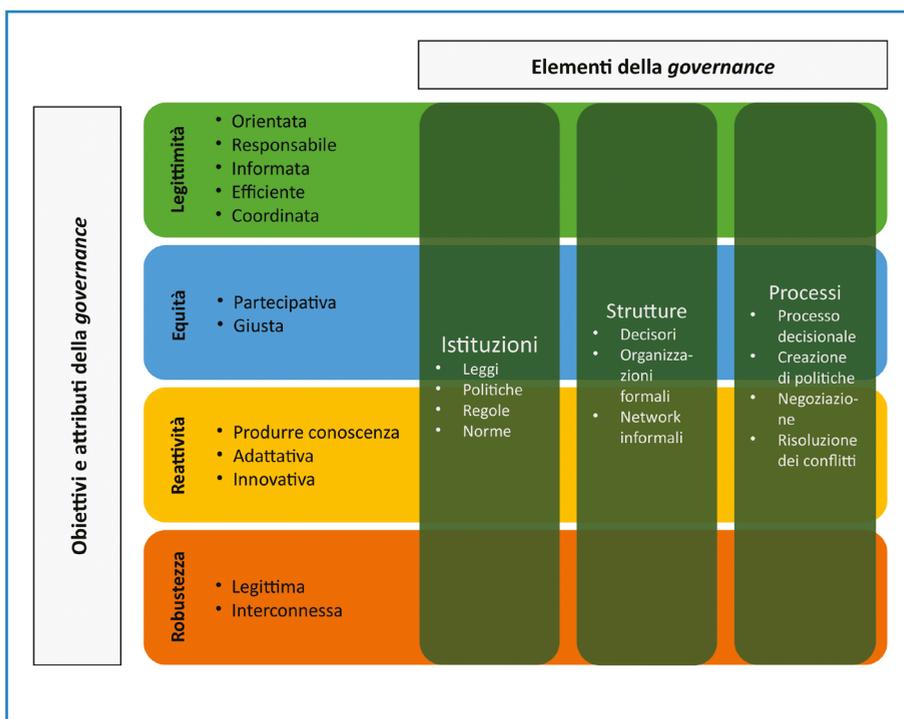


Figura 3.2.1 | Quadro sinottico che definisce obiettivi, attributi ed elementi della buona governance ambientale (tratto da Bennett e Satterfield, 2018).

## Efficacia

Una *governance* efficace dovrebbe essere:

1. orientata, le finalità e gli obiettivi del trapianto dovrebbero essere comunicati in modo estremamente chiaro a tutti gli *stakeholder*;
2. responsabile, le decisioni prese e gli strumenti scelti per raggiungere gli obiettivi prefissati dovrebbero essere trasparenti;
3. informata, le decisioni inerenti il trapianto dovrebbero essere prese considerando le migliori informazioni tecnico-scientifiche disponibili;
4. efficiente, i tempi e i costi delle operazioni di trapianto dovrebbero essere improntati a criteri di efficienza ed efficacia;



5. coordinata, le azioni delle diverse istituzioni coinvolte dovrebbero essere coordinate. I primi quattro attributi dovrebbero far parte della documentazione fornita dai realizzatori dei trapianti che volessero realizzare un'opera che produce impatti negativi su *P. oceanica*, mentre il coordinamento dovrebbe essere predisposto dagli organismi istituzionali.

### **Equità**

Una *governance* equa prevede la possibilità di coinvolgere gli *stakeholder* e di garantire loro l'accesso alla giustizia nell'ambito delle iniziative di trapianto di *P. oceanica* come strumento di compensazione degli impatti delle opere marittime sull'ecosistema. Gli attributi di una *governance* equa richiedono che essa sia:

1. partecipativa, in grado di coinvolgere gli *stakeholder* tramite appositi spazi di incontro, momenti di informazione, e strutture deputate alla condivisione delle informazioni e delle conoscenze relative ai trapianti;
2. giusta, capace di garantire l'accesso ai meccanismi che assicurino il ricorso ad un arbitraggio giudiziario in caso di presunta mancanza di rispetto delle norme. Il primo attributo dovrebbe far parte delle incombenze dei realizzatori dei trapianti, mentre il secondo dovrebbe essere assicurato dagli organismi istituzionali.

### **Reattività**

Una *governance* è reattiva quando è:

1. in grado di produrre conoscenza, i dettagli delle metodiche utilizzate e i risultati ottenuti dovrebbero essere resi pubblici e facilmente accessibili;
2. adattativa, capace di individuare e correggere attraverso processi iterativi, carenze, limiti o incongruenze emerse nel corso delle attività;
3. innovativa, le decisioni prese sono frutto di sperimentazione e di approcci innovativi. Tutti gli attributi dovrebbero essere

assicurati sia dai realizzatori dei trapianti che dagli organismi istituzionali.

### **Robustezza**

Una *governance* è robusta quando è capace di fronteggiare le difficoltà che possono indebolirne il funzionamento e l'efficacia. Nel caso dei trapianti di *P. oceanica* gli attributi più importanti di una *governance* robusta sono:

1. la legittimità, garantita dall'autorevolezza e dalla rappresentatività delle istituzioni coinvolte e supportata da una visione condivisa;
2. la capacità di creare interconnessioni fra gli attori della *governance*, facilitando la collaborazione, lo scambio di informazioni e conoscenze e la diffusione dell'innovazione acquisita. Tutti gli attributi dovrebbero essere assicurati dai realizzatori dei trapianti.

Nella Tabella 3.2.1 sono riportati alcuni esempi di indicatori per la valutazione di una *governance* efficace, equa, reattiva e robusta, sia per i trapianti di *P. oceanica* finalizzati a compensare gli impatti causati da opere marittime sulle praterie di *Posidonia* sia per quelli finalizzati ad attività di *restoring* come il ripristino di posidonieti degradati e le attività di ricerca. Nel caso di trapianti compensativi realizzati all'interno di una procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale, una parte degli obiettivi di "buona" *governance* faranno parte delle attività di chi propone l'opera che danneggia il posidonieto.

Per una disamina più approfondita in merito alla *governance* dei trapianti di *P. oceanica* si rimanda a Lucia *et al.* (2022), Zenone *et al.* (2021), AA.VV. (2020c)..



Tabella 3.2.1 | Obiettivi, attributi ed indicatori di “buona” governance per i trapianti di Posidonia oceanica finalizzati a compensare gli impatti causati da opere marittime sulle praterie di Posidonia e finalizzati al ripristino di posidonieti degradati e attività di ricerca. SH: stakeholder.

OBIETTIVO	ATTRIBUTI	INDICATORI	A CURA DI	FASE DI REALIZZAZIONE OPERA/TRAPIANTO
EFFICACIA	Orientata	Strategie di comunicazione utilizzate per informare il pubblico e gli SH; Risultati dell’analisi degli SH finalizzata ad investigare il loro livello di interesse.	Realizzatore del trapianto	Prima della fase istruttoria di VIA/ fase di pianificazione del trapianto
	Responsabile	Modalità di comunicazione ed elementi forniti agli SH in merito alle decisioni prese, agli strumenti scelti ed ai canali di finanziamento utilizzati per la realizzazione del trapianto.	Realizzatore del trapianto	Prima della fase istruttoria di VIA/ fase di pianificazione del trapianto
	Informata	Criteri di scelta adottati e informazioni prodotte a supporto della tecnica di trapianto /sperimentazione proposta.	Realizzatore del trapianto	Prima della fase istruttoria di VIA/ fase di pianificazione del trapianto
	Efficiente	Soluzioni adottate per assicurare tempi e costi di realizzazione adeguati.	Realizzatore del trapianto	Prima della fase istruttoria di VIA/ fase di pianificazione del trapianto
	Coordinata	Misure prese per assicurare coordinamento, collaborazione e sinergia tra SH.	Realizzatore del trapianto / Istituzioni pubbliche	Durante intera fase di realizzazione dell’opera/ prima, durante, dopo la realizzazione del trapianto
EQUITA’	Partecipativa	Documentazione sulle modalità di coinvolgimento e sul livello di partecipazione degli SH (n. di eventi organizzati, n. di partecipanti, n. di interventi, costituzione di un comitato cittadino, ecc.).	Realizzatore del trapianto	Prima della fase istruttoria/ prima della realizzazione del trapianto
	Giusta	Istituzione di uno spazio per l’accesso agevole e non oneroso dei cittadini ad un eventuale giudizio nei confronti di possibili condotte irregolari, in ottemperanza alla Convenzione di Aarhus.	Istituzioni pubbliche/ Realizzatore del trapianto	Durante intera fase di realizzazione dell’opera/ prima della realizzazione del trapianto
REATTIVITA’	Produrre conoscenza	Il <i>know-how</i> scientifico e tecnologico legato al trapianto è disponibile, facilmente accessibile, e spiegato con parole semplici; Sintesi dei risultati del monitoraggio disponibile per un pubblico non specialistico.	Realizzatore del trapianto	Dopo la realizzazione del trapianto
	Adattativa	Piano di monitoraggio a breve termine e strategie per il mantenimento dell’integrità del trapianto; Piano di valutazione e variabili scelte per verificare la performance del trapianto.	Realizzatore del trapianto	Dopo la realizzazione del trapianto
	Innovativa	Presenza di ipotesi scientifiche e/o di studi pilota a supporto delle scelte tecniche effettuate; Modalità di scelta dei siti di trapianto; Modalità di accesso degli SH alle informazioni inerenti agli approcci innovativi.	Realizzatore del trapianto	Prima della realizzazione del trapianto
ROBUSTEZZA	Legittima	Documentata attività di mediazione delle visioni degli attori coinvolti nelle procedure di trapianto; Predisposizione di un piano di valorizzazione dei siti trapiantati.	Realizzatore del trapianto	Prima della realizzazione del trapianto
	Interconnessa	Creazione di tavoli tecnici e gruppi di lavoro tra gli attori coinvolti, mirati alla gestione sinergica di conoscenze nei trapianti di <i>P. oceanica</i> .	Realizzatore del trapianto	Durante intera fase di realizzazione dell’opera/ prima, durante, dopo della realizzazione del trapianto

## CAPITOLO 4

### GLI ASPETTI TECNICI DEL TRAPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA



## ***Iter procedurale per un trapianto di Posidonia oceanica***

Il trapianto di *P. oceanica* rappresenta, generalmente, un intervento difficile e delicato per via dell'elevata complessità del sistema rappresentato dalle praterie stesse. La gestione corretta di un intervento di trapianto richiede specifiche competenze tecnico-scientifiche, nonché l'applicazione di un *iter* procedurale specifico, che permetta la corretta gestione di tutte le fasi in cui è articolato il trapianto e l'acquisizione di tutte le tipologie di dati necessari, nelle diverse aree d'interesse (*fig. 4.1*) (Bacci e La Porta, 2022; AA.VV., 2020a; Van Katwijk *et al.*, 2016, Calumpong e Fonseca, 2001).

L'*iter* procedurale e le diverse fasi possono essere riassunti come di seguito indicato:

### **1) Pianificazione del trapianto di *Posidonia oceanica***

- Caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice;
- Caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria riceventi;
- Valutazione dei servizi ecosistemici della prateria donatrice e ricevente;
- Selezione della tecnica di trapianto.

### **2) Realizzazione del trapianto di *Posidonia oceanica***

- Scelta del materiale biologico per il trapianto;
- Posizionamento dei moduli di trapianto.

### **3) Monitoraggio del trapianto di *Posidonia oceanica***

- Verifica della riuscita dell'intervento di trapianto.

### **4) Gestione del trapianto di *Posidonia oceanica***

L'*iter* procedurale descritto nel presente manuale è applicabile anche ai trapianti di *P. oceanica* prescritti come azione compensativa nell'ambito delle VIA, ma occorre precisare i seguenti aspetti: i) la prateria donatrice generalmente coincide con la prateria danneggiata



dalla realizzazione dell'opera; ii) l'espianto del materiale biologico dalla prateria donatrice e il successivo trapianto deve essere eseguito prima che la prateria venga danneggiata dall'opera; iii) la pianificazione del trapianto, compreso la realizzazione e il monitoraggio dei trapianti pilota, deve essere inserita dal proponente dell'opera all'interno del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA), prodotto nell'ambito dello Studio di Impatto Ambientale (SIA). Per una disamina approfondita in merito alla gestione delle attività di trapianto di *P. oceanica* nell'ambito delle VIA e VinCA si rimanda a Lucia *et al.* (2022) e Pacione *et al.* (2022).

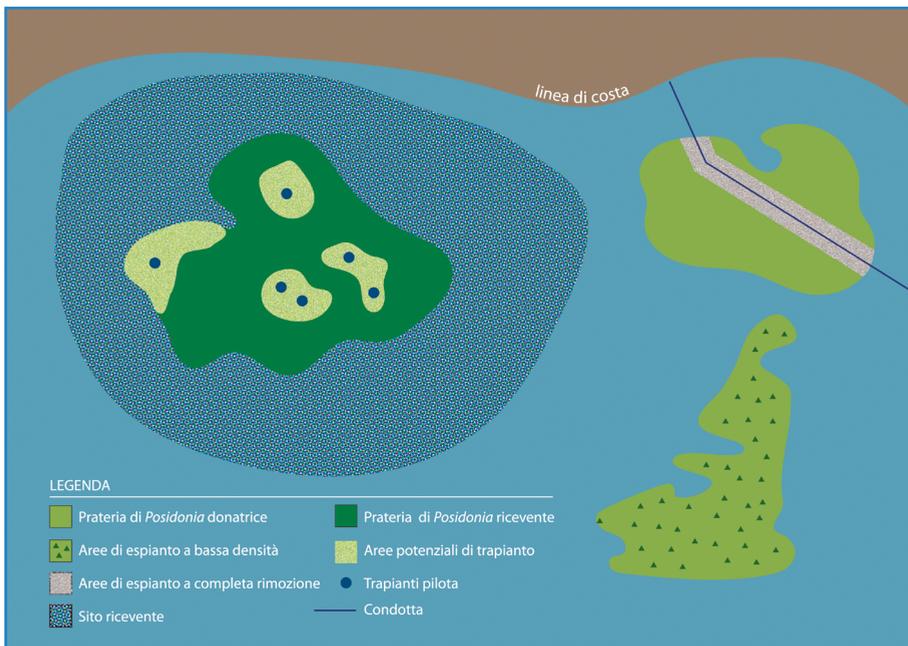


Figura 4.1 | Schema esemplificativo delle diverse aree interessate dalla pianificazione, realizzazione e monitoraggio di un trapianto di *Posidonia oceanica*

## 4.1 | PIANIFICAZIONE DEL TRAPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA

Per la messa a punto di una strategia decisionale sito-specifica, da effettuare prima di avviare un intervento di trapianto di *Posidonia oceanica*, è necessario tenere conto di diversi aspetti ritenuti essenziali per una efficace pianificazione di un trapianto.



## 4.1.1 | Caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice

La caratterizzazione e la valutazione della prateria donatrice rappresentano una fase molto delicata nell'ambito degli interventi di trapianto di *P. oceanica*. Lo stato di salute della prateria donatrice e la sua estensione, la qualità delle talee da destinare al trapianto, la distanza dal sito ricevente sono alcuni degli elementi principali che possono condizionare il buon esito di un trapianto (Tan *et al.*, 2020; Díaz-Almela e Duarte, 2008; Campbell, 2002).

Nella Tabella 4.1.1.1 vengono riportate le attività e le relative finalità utili a una caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice per selezionare le aree più idonee all'espianto di materiale biologico, da destinare al trapianto.

Tabella 4.1.1.1 | Principali attività e relative finalità utili alla caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice per selezionare le aree idonee all'espianto di *Posidonia oceanica*.

ATTIVITÀ	FINALITÀ
Screening preliminare dei dati pregressi disponibili.	Orientare le successive indagini di caratterizzazione per valutare le aree più idonee all'espianto di materiale biologico per il trapianto. Se l'area di espianto coincide con un'area soggetta a rimozione di porzioni di prateria lo <i>screening</i> rappresenta esclusivamente una contestualizzazione ambientale.
Indagini da remoto.	Fornire una base dati per la valutazione della profondità, della distribuzione e relative <i>facies</i> della prateria donatrice utili a individuare le aree più idonee all'espianto di materiale biologico per il trapianto.
Indagini <i>in situ</i> : descrittori strutturali, funzionali ed ecologici della prateria donatrice.	Fornire dati per la valutazione dello stato di salute della prateria donatrice e la qualità delle talee da destinare al trapianto per massimizzare le probabilità di attecchimento.
Valutazione della distanza dal sito di trapianto.	Ridurre lo stress per le talee espiantate durante la fase di trasferimento dall'area di espianto a quella di trapianto.

Di seguito vengono riportate le tipologie di dati di base da acquisire nelle diverse attività identificate nella Tabella 4.1.1.1 per la caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice (AA.VV., 2020b).

### **Screening preliminare dei dati disponibili**

L'acquisizione dei dati, provenienti dalla letteratura scientifica,



dalla letteratura grigia e da fonti di dati *open-access* a livello europeo, nazionale e regionale, deve riguardare: distribuzione storica (>20 anni) ed attuale (< 20 anni) dell'habitat *Posidonia oceanica* e sue relative *facies*, batimetria della prateria e i descrittori strutturali, funzionali ed ecologici della prateria (AA.VV., 2020b).

Devono, inoltre, essere acquisite informazioni relative alla perimetrazione di eventuali siti della Rete Natura 2000 e di eventuali Aree Marine Protette (AMP) presenti.

Un'ulteriore informazione importante da reperire è la presenza documentata di recenti trapianti di *Posidonia* nella prateria donatrice, poiché possono rappresentare un elemento ostativo all'individuazione di aree idonee all'espianto all'interno della stessa prateria.

### **Indagini da remoto**

L'acquisizione di dati morfo-batimetrici della prateria viene, in genere, effettuata da indagini mediante *Side Scan Sonar* (SSS), *Multi Beam* (MB) o strumenti video-fotografici quali *Remotely Operated Vehicle* (ROV) (Bosman *et al.*, 2021). Accanto a questa tipologia di rilievi, nuove tecnologie e metodologie rappresentano ulteriori ed efficaci strumenti per l'acquisizione di tali dati come, ad esempio, il telerilevamento satellitare, il telerilevamento aereo mediante APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto), l'utilizzo di veicoli subacquei autonomi (AUV). L'integrazione e la combinazione di diverse tecniche metodologiche rappresenta oggi un metodo efficace per la mappatura ad alta risoluzione di fondi marini e habitat (Rende *et al.*, 2020; Veettil *et al.*, 2020; Castillon *et al.*, 2019; Gumusay *et al.*, 2019; Mohamed *et al.*, 2018).

### **Indagini *in situ*: descrittori strutturali, funzionali ed ecologici della prateria donatrice**

L'acquisizione di dati quantitativi, relativi ai parametri strutturali (densità dei fasci fogliari), funzionali (parametri fenologici e lepidocronologici) ed ecologici (abbondanza e composizione della fauna e flora associata) della prateria donatrice, devono essere acquisiti da

operatori subacquei esperti nel monitoraggio di praterie di *P. oceanica* secondo le specifiche metodologie di riferimento (Bacci *et al.*, 2020; Buia *et al.*, 2003; Short e Coles, 2001).

### **Valutazione della distanza dal sito di trapianto**

La distanza della prateria donatrice rispetto alla prateria ricevente può condizionare fortemente le scelte logistiche e/o procedurali dell'intervento (Díaz-Almela e Duarte, 2008). Tale distanza, inoltre, può riflettere anche una variabilità genetica delle piante tra una prateria ricevente e una donatrice, un importante fattore da tenere in considerazione ai fini della pianificazione di un trapianto di *Posidonia* (Pazzaglia *et al.*, 2021; Ehlers *et al.*, 2008; Procaccini e Piazzi, 2001).

L'importanza della componente genetica nel ripristino delle fanerogame marine viene affrontata nel box seguente.



## L'importanza della componente genetica nel ripristino delle fanerogame marine

**G. Procaccini, J. Pazzaglia**

Le piante marine possono riprodursi sia vegetativamente che sessualmente sulla base delle caratteristiche delle singole specie e di forzanti ambientali esterne. La struttura genetica delle praterie di fanerogame è fortemente influenzata dall'incidenza delle due tipologie di riproduzione. Da una parte, la propagazione clonale consente alle popolazioni di estendersi spazialmente formando popolazioni per lo più monoclonali con scarsa diversità genetica (Arnaud-Haond *et al.*, 2012). Dall'altra parte, anche sporadici eventi di riproduzione sessuale favoriscono l'aumento della diversità genetica attraverso la presenza di nuove varianti alleliche, con il risultato che le praterie possono essere formate da un maggior numero di genotipi e che i singoli genotipi possono presentare una maggiore plasticità (Jahnke *et al.*, 2015). Questo acquisisce una maggiore rilevanza in presenza di cambiamenti ambientali, come ad esempio l'aumento della temperatura, poiché popolazioni con una maggiore diversità genetica e genotipica risultano essere più resistenti e resilienti (Ehlers *et al.*, 2008). Per questi motivi, un piano di restauro delle fanerogame marine deve passare anche attraverso un'accurata analisi della struttura genetica, della plasticità e adattabilità delle popolazioni donatrici oltre che attraverso un'attenta analisi dei fattori ambientali che caratterizzano il sito donatore ed accettore (*fig. 1*).

Un elemento essenziale che influisce sulla diversità genetica delle praterie di fanerogame marine è il grado di connettività che esiste tra le popolazioni. La dispersione del polline o dei frutti rilasciati attraverso la riproduzione sessuata o dei propaguli vegetativi è fortemente influenzata dalle caratteristiche intrinseche della specie (connettività potenziale),

ovvero dalla distanza potenziale che questi possono percorrere in base alle dinamiche di trasporto delle correnti marine, e dalla connettività realizzata, e quindi dall'effettivo stabilirsi di nuove varianti genotipiche o alleliche in altre popolazioni (Mari *et al.*, 2020). Mantenere un certo grado di connettività tra popolazioni è cruciale poiché favorisce la diversità genetica impedendo così eventi di deriva genetica che portano alla perdita di varianti alleliche ed alla possibile fissazione di alleli deleteri, compromettendo la loro sopravvivenza futura (Alotaibi *et al.*, 2019).

Le fanerogame marine sono organismi che presentano un certo grado di plasticità fenotipica che ha permesso loro di colonizzare ambienti molto eterogenei. Ne risulta che diverse popolazioni della stessa specie sono adattate alle condizioni ambientali locali attraverso un processo di selezione naturale. Diversi studi hanno messo in evidenza come popolazioni distribuite lungo un gradiente batimetrico di profondità o lungo un gradiente geografico risultano localmente adattate con strutture genetiche differenti tra loro (Marín-Guirao *et al.*, 2017; Jahnke *et al.*, 2019). Per far fronte a questo aspetto, un approccio molto utilizzato nelle pratiche di restauro prevede la scelta del sito donatore in prossimità del sito accettore, poiché si ritiene che le piante si adattino più facilmente alle condizioni del sito in fase di restauro. Questo apre un dibattito che solleva diverse criticità su quale sia l'approccio migliore da utilizzare. Infatti, se da una parte trapiantare individui localmente adattati potrebbe risultare la pratica migliore per fronteggiare le condizioni ambientali, dall'altra parte trapiantare gli stessi genotipi in una prateria che già sta regredendo a causa di diversi fattori di disturbo ambientale, potrebbe influire negativamente sulla diversità genetica e genotipica e quindi sul successo del restauro stesso (Coleman *et al.*, 2020). Inoltre, introdurre nuovi genotipi selezionati da un sito donatore distante da quello accettore,

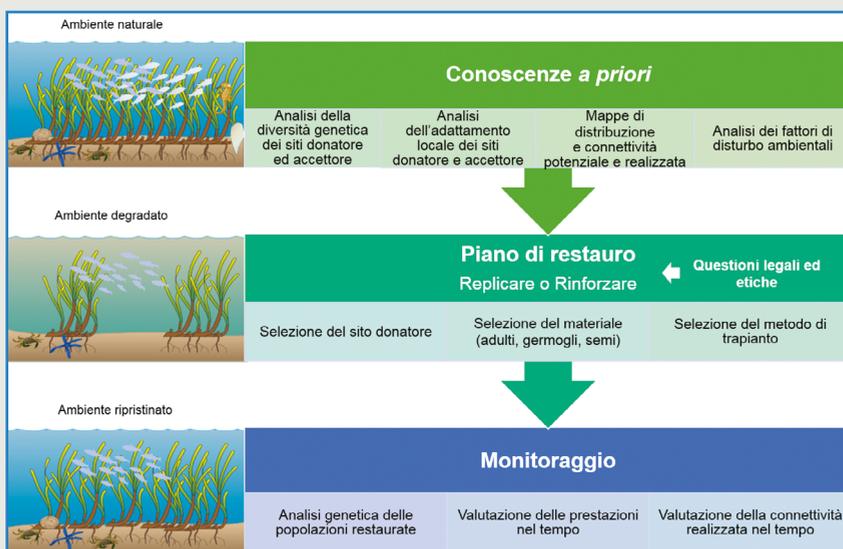


da una parte permette di ripristinare i livelli di diversità genetica (restauro genetico), dall'altra potrebbe portare a effetti deleteri dovuti alla scarsa capacità di adattamento alle nuove condizioni ambientali nonché determinare un inquinamento di tipo genetico che potrebbe portare alla scomparsa dei genotipi nativi.

Integrare le informazioni di tipo genetico con quelle ambientali attraverso mappe di connettività potrebbe essere uno strumento fondamentale per la corretta selezione del sito donatore e soprattutto per monitorare la fase di restauro. Il successivo monitoraggio genetico, infatti, consente di valutare i livelli di diversità genetica e gli effetti positivi del restauro nel tempo. Questo può inoltre mettere in evidenza i fattori e i processi che più influiscono sul successo o fallimento del ripristino, soprattutto laddove l'approccio utilizzato prevedeva genotipi non locali. In questo caso il monitoraggio genetico fornisce informazioni su come cambia la struttura e la diversità genetica della popolazione restaurata. Considerando che il recupero di una prateria e delle funzioni ecosistemiche associate può richiedere tempi molto lunghi, un appropriato monitoraggio continuo risulta essere essenziale (Statton *et al.*, 2012).

Il miglioramento delle pratiche di restauro e quindi del loro successo nel tempo è in continua crescita, e ad oggi nuovi approcci di evoluzione assistita si stanno delineando ed affermando nei programmi di ripristino ambientale (Aitken e Whitlock, 2013). Questi approcci mirano al potenziamento delle capacità di resilienza degli organismi attraverso interventi attivi di manipolazione genetica e attraverso approcci meno invasivi ma che sfruttano le capacità plastiche degli organismi come *l'hardening*, ampiamente utilizzato in agricoltura (Jones e Monaco, 2009), e la selezione dei genotipi più plastici e dunque più tolleranti ai cambiamenti ambientali (Filbee-Dexter e Smajdor, 2019). L'integrazione delle tecniche di

evoluzione assistita nelle pratiche di restauro delle fanerogame marine potrebbe divenire nei prossimi anni un importante aspetto per migliorarne il successo.



*Figura 1 | Diagramma concettuale che mostra l'integrazione dell'analisi della diversità genetica nei diversi punti che compongono un programma di restauro ambientale delle fanerogame marine (da Pazzaglia et al., 2021).*



## 4.1.2 | Caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria riceventi

La selezione dell'area di trapianto rappresenta ad oggi uno degli elementi che più condiziona il successo o il fallimento degli interventi di riforestazione in ambiente marino (AA.VV., 2021a, 2020a; Boudouresquet *et al.*, 2021; Tan *et al.*, 2020; Pirrotta *et al.*, 2015; Van Katwijk *et al.*, 2009; Calumpong e Fonseca, 2001).

Nella fase di pianificazione di un intervento di trapianto si prevede che le attività di caratterizzazione del sito ricevente e le relative valutazioni vengano condotte sia a livello delle aree della prateria in cui si prevede di effettuare l'intervento di trapianto, sia ad un livello più ampio del posidonieto ricevente.

Nella Tabella 4.1.2.1 vengono riportate le attività e le relative finalità utili a una caratterizzazione del sito e della prateria riceventi per la valutazione delle aree più idonee al trapianto.

Tabella 4.1.2.1 | Principali attività e relative finalità utili a una caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria riceventi per selezionare aree idonee al trapianto di *Posidonia oceanica*.

ATTIVITÀ	FINALITÀ
Screening preliminare mediante dati pregressi.	Escludere aree non idonee al trapianto e orientare le successive indagini di caratterizzazione su quelle aree potenzialmente più adeguate.
Indagini da remoto.	Fornire una base dati per la valutazione della profondità, della distribuzione e relative <i>facies</i> della prateria ricevente utili a individuare le aree più idonee al trapianto.
Indagini idrologiche e qualità delle acque.	Fornire una base dati per la valutazione delle dinamiche idrologiche e delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua idonee all'attecchimento e sopravvivenza delle talee trapiantate.
Osservazioni <i>in situ</i> di criticità ambientali.	Fornire informazioni sulla presenza di eventuali elementi critici che possono compromettere la realizzazione e l'esito del trapianto.
Indagini <i>in situ</i> : descrittori strutturali, funzionali ed ecologici della prateria ricevente.	Fornire dati per la valutazione dello stato di salute della prateria ricevente e per contribuire a individuare le aree più idonee al trapianto.
Trapianti pilota.	Testare sia l'effettiva idoneità delle potenziali aree di trapianto individuate sia l'efficacia delle tecniche di trapianto scelte, attraverso un monitoraggio dei trapianti pilota condotto su un adeguato arco temporale.



Di seguito vengono riportate le tipologie di dati di base da acquisire nelle diverse attività identificate nella Tabella 4.1.2.1 per la caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria riceventi (AA.VV., 2020b).

### **Screening preliminare mediante dati pregressi disponibili**

L'acquisizione dei dati, provenienti dalla letteratura scientifica, dalla letteratura grigia e da fonti di dati *open-access* a livello europeo, nazionale e regionale, deve riguardare: distribuzione storica (> 20 anni) ed attuale (< 20 anni) dell'habitat *Posidonia oceanica* e sue relative *facies*, batimetria della prateria e i descrittori strutturali, funzionali ed ecologici della prateria (AA.VV., 2020b). Inoltre, lo *screening* deve riguardare la classificazione del substrato e granulometria dei sedimenti di fondo, idrologia e qualità delle acque. Lo *screening* deve considerare l'acquisizione di informazioni relative alla sussistenza di eventuali cause di regressione della prateria ricevente legate alla pressione antropica nell'area d'interesse e alle dinamiche naturali dell'ambiente costiero circostante. Informazioni relative agli usi e vincoli del mare (es: aree portuali, aree di allibo, aree di sversamento di sedimenti dragati, presenza di cavi e condotte sottomarini, aree archeologiche, impianti di acquacoltura, ecc.) sono, altresì, utili nella fase di pianificazione del trapianto e selezione delle praterie riceventi.

Devono, inoltre, essere acquisite informazioni relative alla perimetrazione di eventuali siti della Rete Natura 2000 e di eventuali Aree Marine Protette (AMP) presenti.

La presenza documentata di preesistenti trapianti di *Posidonia* nella prateria ricevente può rappresentare un elemento favorevole od ostativo all'individuazione di aree idonee al trapianto all'interno della stessa prateria in base all'esito del trapianto preesistente.

Diversi modelli qualitativi e quantitativi sono stati sviluppati per l'individuazione di potenziali aree dove effettuare il trapianto di fanerogame marine utilizzando dati pregressi relativi alla zona d'interesse (AA.VV., 2021a; Lanuru *et al.*, 2018; Pirrotta *et al.*, 2015; Campbell, 2002; Short *et al.*, 2002).

## Indagini da remoto

L'acquisizione dei dati relativi alla profondità e la distribuzione della prateria ricevente e delle relative *facies* vengono, generalmente, acquisiti mediante *Side Scan Sonar* (SSS), *Multi Beam* (MB), *Sub Bottom Profiler* (SBP) o strumenti video fotografici quali *Remotely Operated Vehicle* (ROV) (Bosman *et al.*, 2021). Accanto a questa tipologia di rilievi, anche in questo caso le nuove tecnologie e metodologie rappresentano ulteriori ed efficaci strumenti per l'acquisizione di tali dati come, ad esempio, il telerilevamento satellitare, il telerilevamento aereo mediante APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto), l'utilizzo di veicoli subacquei autonomi (AUV). L'integrazione e la combinazione di diverse tecniche metodologiche rappresenta oggi un metodo efficace per la mappatura di fondali marini e habitat ad alta risoluzione (Rende *et al.*, 2020; Veettil *et al.*, 2020; Castillon *et al.*, 2019; Gumusay *et al.*, 2019; Mohamed *et al.*, 2018). Questa tipologia di indagini permette, ad esempio, di verificare la profondità della prateria ricevente rispetto a quella donatrice, in modo tale che il posidonieto selezionato per il trapianto si trovi ad una profondità simile e non maggiore della prateria donatrice. Queste indagini permettono, inoltre, di selezionare quelle aree per il trapianto che abbiano una superficie sufficientemente ampia da consentire nel medio e lungo periodo l'espansione della prateria trapiantata (Bacci e La Porta, 2022; AA.VV. 2020a; Boudouresque *et al.*, 2006; Fonseca *et al.*, 1998). Grazie a queste indagini, è, inoltre, possibile valutare il tipo di substrato nonché la presenza di elementi che indicano l'esistenza di forti correnti o processi erosivi, come *ripple-marks*, canali di erosione e limiti erosi nella prateria ricevente, tutti elementi sfavorevoli alla realizzazione di un trapianto.

## Indagini idrologiche e qualità delle acque

Informazioni sul regime idrodinamico locale, permettono di valutare l'apporto di nutrienti e di carbonio inorganico necessari per la fotosintesi di *Posidonia*. Al contempo, poter individuare zone ad elevato o scarso idrodinamismo è essenziale perché ritenute non fa-



vorevoli al trapianto; vengono, infatti, considerate correnti ottimali, anche dal punto di vista delle conseguenti dinamiche di sedimentazione, quelle che presentano velocità comprese tra 5 e 100 cm/sec (Koch, 2001).

L'utilizzo di sonde multiparametriche per acquisizione di dati chimico-fisici della colonna d'acqua (es: intensità della luce, trasparenza, ossigeno disciolto, salinità, temperatura, pH, carico di nutrienti e di particolato sospeso organico e inorganico) fornisce informazioni sulla qualità delle acque, anch'esso fattore limitante per i posidonieti (Larkum *et al.*, 2006).

### **Osservazioni *in situ* di criticità ambientali**

L'eventuale presenza, nelle potenziali aree di trapianto, di eccessivo detrito organico, *ripple-marks*, macroalghe invasive e/o alloctone, nonché la presenza di “marcatori” di pressione antropica quali reti da pesca abbandonate, tracce di ancoraggi ripetuti, corpi morti, detriti o rifiuti, rappresenta un ulteriore fattore limitante alla loro idoneità. Tali dati devono essere raccolti da operatori subacquei con esperienza nel monitoraggio di praterie di *P. oceanica* mediante *visual survey*.

### **Indagini *in situ*: descrittori strutturali, funzionali ed ecologici della prateria ricevente**

L'acquisizione di dati quantitativi relativi ai parametri strutturali (densità dei fasci fogliari), funzionali (parametri fenologici e lepidocronologici) ed ecologici (abbondanza e composizione della fauna e flora associata) della prateria donatrice, devono essere acquisiti da operatori subacquei esperti nel monitoraggio di praterie di *P. oceanica* secondo le specifiche metodologie di riferimento (Bacci *et al.*, 2020; Buia *et al.*, 2003; Short e Coles, 2001). Le osservazioni subacquee sulle potenziali aree di trapianto consentono, inoltre, di acquisire informazioni qualitative, relative, ad esempio, allo stato di salute apparente della prateria, la tipologia dei suoi limiti (eroso, netto, progressivo, regressivo), la tipologia di substrato (es. sabbia o roccia), la presenza di *matte* morta e la relativa consistenza.

## **Trapianti pilota**

La caratterizzazione del sito ricevente, svolta attraverso le differenti modalità di indagine sopra descritte, permette di individuare le aree potenzialmente più idonee a ricevere un trapianto. I monitoraggi di lungo termine di alcuni trapianti, realizzati in Italia su vasta scala, per i quali non erano stati effettuati preliminarmente trapianti pilota, hanno mostrato una elevata variabilità spaziale dell'esito del trapianto (AA.VV., 2021b, 2021c, 2020a). Questi risultati confermano la necessità di realizzare, nella fase di pianificazione di un intervento di trapianto, specifici progetti preliminari pilota che, non solo consentono di selezionare le aree più idonee al trapianto, intercettando le condizioni ambientali più favorevoli ma consentono, anche, di testare diverse tecniche e scegliere la più idonea all'area selezionata (AA.VV., 2021a; Bacci *et al.*, 2019; Cunha *et al.*, 2012; Pirrotta *et al.*, 2015; Campbell, 2000; Boudouresque *et al.*, 1994).

Un trapianto pilota deve essere: i) condotto su un numero adeguato di aree, individuate come potenzialmente idonee; ii) proporzionato alla superficie di trapianto da realizzare; iii) condotto con un numero adeguato ma limitato di talee per ciascuna area pilota; iv) monitorato per almeno un anno in modo da comprendere le condizioni autunno-invernali, ritenute più critiche per le fasi iniziali di trapianto.



### 4.1.3 | Valutazione dei servizi ecosistemici delle praterie donatrici e riceventi

---

I Servizi Ecosistemici sono “i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano” (*Millennium Ecosystem Assessment*, 2005). Le praterie di *Posidonia oceanica*, come tutti gli altri ecosistemi, forniscono tali servizi, favorendo le attività umane e, al contempo, consentendo l'esistenza a lungo termine dell'habitat e delle componenti ecosistemiche (Scanu *et al.*, 2022; Vassallo *et al.*, 2013).

La valutazione dei servizi ecosistemici consente, tra le sue diverse funzioni, di acquisire informazioni utili a supportare il processo decisionale di un trapianto di *Posidonia*, con particolare riferimento a:

- l'analisi costi-benefici degli interventi di trapianto, comparando i costi operativi con il valore economico dei benefici, rappresentati dai servizi ecosistemici;
- la valutazione delle alternative nella scelta fra diverse possibili praterie donatrici;
- la valutazione delle alternative nella scelta fra diverse possibili praterie riceventi;
- il confronto fra le situazioni *ante e post-operam*, nelle praterie donatrici e nei siti di trapianto, solo nel caso delle procedure di VIA o di VInCA.

In particolare, per quanto riguarda gli ultimi tre punti, la valutazione dei servizi ecosistemici consente di stimare i benefici economico-ambientali degli interventi previsti, nelle possibili aree di beneficio<sup>1</sup> sia della prateria donatrice che della prateria ricevente.

Infine, nell'ambito del monitoraggio successivo al trapianto, risulta necessario verificare che le previsioni fatte in fase di programmazione dell'intervento di trapianto siano effettivamente realizzate

---

<sup>1</sup> I servizi ecosistemici sono forniti ad un ambito che non necessariamente corrisponde con l'ecosistema stesso. Per “area di beneficio” si intende l'ambito nel quale i beneficiari usufruiscono dei servizi.



anche rispetto allo stato ed al valore dei servizi ecosistemici, sia nella prateria donatrice che nei siti di trapianto.

Per una disamina più dettagliata sulla valutazione dei servizi ecosistemici, si rimanda alla “*Guida Tecnica sulla valutazione economica degli impatti su Posidonia oceanica*” (Cozzolino *et al.*, 2021), in cui vengono fornite, anche, indicazioni su come integrare le valutazioni economico-ambientali nelle procedure di VIA e di VInA.

#### 4.1.4 | Selezione della tecnica di trapianto

---

La selezione della tecnica di trapianto risulta essere un aspetto cruciale fin dalla fase di pianificazione di un trapianto di *Posidonia oceanica* (Bacci e La Porta, 2022; Cunha *et al.*, 2012; Paling *et al.*, 2003). La maggior parte dei fallimenti di trapianto sono attribuibili al distacco dei moduli di trapianto e delle talee, principalmente a causa dell'azione del moto ondoso e delle correnti di fondo. Queste perdite sono spesso legate anche ad attività antropiche come la pesca a strascico illegale, la piccola pesca, gli ancoraggi delle imbarcazioni da diporto (AA.VV., 2021b, 2021c; 2020a; Van Katwijk *et al.*, 2009; Bull *et al.*, 2004; Meinesz *et al.*, 1993).

Tra le variabili ambientali che possono influire sull'efficacia di una tecnica di trapianto, il substrato di impianto rappresenta certamente il più importante.

Alcuni moduli di ancoraggio, quali le cornici in cemento con rete metallica, le griglie metalliche di diversa tipologia e i picchetti sono, ad oggi, tra le tecniche più usate per fissare talee di *P. oceanica* al substrato. Nel tempo sono state ideate e sperimentate ulteriori modalità di ancoraggio come, ad esempio, geostuoie e biostuoie, materassi di varia tipologia, moduli di ancoraggio in bioplastica e altre tecniche sono in corso di sperimentazione, sempre con maggiore attenzione alla sostenibilità ambientale della tecnica (Bacci e La Porta, 2022; Boudouresque *et al.*, 2021; Balestri *et al.*, 2019; AA.VV., 2014).

Accanto ai trapianti di talee sono stati sviluppati ulteriori metodi di riforestazione delle praterie, come il trasferimento di zolle di *P. oceanica* in cui, insieme alle talee, viene prelevata anche la sottostante *matte*, la creazione di substrati consolidati per accelerare il naturale processo di ricolonizzazione spontanea di *Posidonia* e l'utilizzo di semi e germogli come materiale di trapianto (Bacci e La Porta, 2022).

Tutte le tecniche di trapianto di *P. oceanica* sfruttano la capacità di divisione dei fasci dalle talee trapiantate, attraverso l'espansione di nuclei di ricolonizzazione. Tali nuclei si espandono attraverso la crescita plagiotropa colonizzando le aree adiacenti fino a ripristinare,



nel lungo periodo, laddove il trapianto abbia un esito positivo, una prateria di aspetto simile o comparabile a quella preesistente e/o a praterie naturali limitrofe.

Si sottolinea infine come il successo delle tecniche di trapianto selezionate sia fortemente condizionato anche dall'abilità tecnica degli operatori, che devono possedere un'adeguata preparazione dal punto di vista sia biologico sia subacqueo per le fasi di selezione e fissaggio del materiale biologico destinato al trapianto e per le fasi di posizionamento dei moduli di trapianto delle diverse tecniche.

Per una disamina completa delle tecniche di trapianto elencate si rimanda al “Manuale delle tecniche e delle procedure operative per il trapianto di *Posidonia oceanica*” (Bacci e La Porta, 2022), in cui, sulla base dell'esperienza italiana, vengono descritte le principali tecniche di trapianto utilizzate nell'ambito di attività di *restoring* ambientale o di compensazione di danni arrecati alle praterie da opere marino-costiere sottoposte a Valutazione d'Impatto Ambientale.

## 4.2. | REALIZZAZIONE DEL TRAPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA

### 4.2.1 | Scelta del materiale biologico per il trapianto

---

La scelta del materiale biologico per il trapianto è legata alla tipologia di tecnica di trapianto selezionata e alla procedura di messa a dimora delle talee. Inoltre, alcune scelte relative alla gestione delle talee sono rigorosamente connesse alla fase di pianificazione del trapianto stesso.

Di seguito vengono descritti i principali accorgimenti in merito alla scelta delle talee di *P. oceanica*, da considerare durante le fasi di pianificazione di un trapianto:

- la scelta del tipo di talee (plagiotrope o ortotrope) che si intende utilizzare deve tener conto, prima di tutto, della stagione in cui si prevede di effettuare l'intervento di trapianto. Infatti, il periodo più favorevole per la piantumazione dei rizomi plagiotropi (orizzontali) è la primavera, mentre l'autunno, periodo di stasi vegetativa in cui è minore il rischio di *shock* termico da parte della pianta, risulta quello migliore nel caso di piantumazione dei rizomi inizialmente ortotropi (verticali) (Meinesz *et al.*, 1992; Molenaar, 1992; Piazzì e Cinelli, 1995; Piazzì *et al.*, 1998, 2000). La scelta dei rizomi plagiotropi sembra garantire i risultati migliori in termini di velocità di crescita vegetativa e di sopravvivenza delle talee, grazie alle riserve di nutrienti e di sostanze antibiotiche immagazzinate dalla pianta, indispensabili per sostenere la pianta nella fase critica *post-espianto* (Meinesz *et al.*, 1992; Molenaar *et al.*, 1993). Tuttavia, la limitata disponibilità di tali rizomi, a volte, condiziona la scelta a favore dei rizomi ortotropi, i quali garantiscono comunque, in adeguate condizioni ambientali, una buona velocità di crescita (AA.VV., 2020a; Carannante, 2011; Meinesz *et al.*, 1992);



- il prelievo delle talee deve essere effettuato preferibilmente in praterie donatrici situate a profondità simile a quella della prateria ricevente (Fonseca *et al.*, 1998). Tuttavia, è stato osservato che, ove siano state prelevate talee in praterie donatrici situate a profondità leggermente maggiori rispetto a quelle delle praterie riceventi, nella fase di attecchimento del trapianto si siano adattate meglio, grazie alle nuove condizioni luminose, fotosinteticamente più efficaci (AA.VV., 2020a), confermando quanto affermato da diversi Autori (Piazzi *et al.*, 1998; Chessa e Fresi, 1994, Genot *et al.*, 1994; Molenaar e Meinesz, 1992);
- il prelievo delle talee deve essere effettuato preferibilmente in praterie donatrici differenti, se presenti nei siti di espianto, o quando non possibile, in porzioni diverse della stessa prateria donatrice, al fine di ridurre la pressione del prelievo e i possibili effetti negativi che potrebbero derivare da prelievi troppo invasivi (Boudouresque, 2000). Il prelievo di talee deve quindi essere ripartito su un'ampia superficie e effettuato a bassissima densità. Boudouresque (2000) indicava una densità di prelievo di non più di 2 talee/m<sup>2</sup> mentre, una successiva ricerca, ha evidenziato che, il prelievo a bassa densità di circa 1-4 fasci per m<sup>2</sup> possa essere del tutto compatibile con la conservazione della prateria donatrice (Valiante *et al.*, 2010).

Da considerare infine come l'utilizzo di zolle e talee trovate sul fondo, distaccatesi naturalmente a causa dell'idrodinamismo o dall'attività di ancoraggio delle imbarcazioni potrebbe costituire un'alternativa all'espianto da praterie donatrici (Bacci e La Porta, 2022; Balestri *et al.*, 2011; Boudouresque, 2000).

Laddove le condizioni lo consentano, anche l'utilizzo di plantule ottenute da semi potrebbe costituire una potenziale fonte di materiale biologico adoperabile nei trapianti di *P. oceanica*.

Inoltre, l'abilità tecnica degli operatori è di cruciale importanza anche nella fase di selezione e manipolazione del materiale biologico

da trapiantare. La conoscenza delle caratteristiche biologiche di *Posidonia*, delle sue strutture e funzioni permette all'operatore di scegliere le talee migliori per i trapianti, riducendo il rischio di perdere inutilmente materiale biologico.

Per ulteriori specifiche sulla selezione delle talee di *Posidonia* in base alle diverse tecniche di trapianto nonché sull'utilizzo di plantule ottenute da semi si rimanda al “Manuale delle tecniche e delle procedure operative per il trapianto di *Posidonia oceanica*” (Bacci e La Porta, 2022).



## 4.2.2 | Preparazione e posizionamento dei moduli di trapianti

---

Per quanto riguarda la fase di preparazione dei moduli di trapianto, si evidenzia che le modalità di ancoraggio delle talee ai diversi supporti, realizzate in superficie o sott'acqua, dipendono dalla tecnica di trapianto utilizzata.

In generale, in letteratura, viene indicato che le talee devono essere disposte a distanza ravvicinata, separate le une dalle altre da uno spazio di 5-10 cm (Molenaar e Meinesz, 1995). Tuttavia, la densità di trapianto non deve mai impedire la ritenzione di sedimento tra le talee. Diverse esperienze di trapianto di *P. oceanica* indicano come ottimale una densità intorno ai 30 fasci per m<sup>2</sup>, che evita un'eccessiva competizione tra i fasci e favorisce una rapida crescita plagiotropa dei rizomi (Bacci e La Porta, 2022).

Anche in questa fase si rivela essenziale il coinvolgimento di operatori subacquei qualificati con conoscenze dei sistemi biologici ed ecologici marini e con esperienza specifica nel manipolare talee di *Posidonia* nei trapianti. Ciò consente di effettuare una migliore selezione delle talee destinate al trapianto e di diminuire lo stress per le piante durante la fase di trasferimento e di fissazione ai supporti. L'assistenza di Operatori Tecnici Subacquei (OTS) in questo tipo di attività risulta essenziale nelle specifiche attività tecniche di cantiere.

Inoltre, risulta di cruciale importanza anche la disposizione geometrica dei moduli di trapianto che l'operatore subacqueo realizza nella fase di posizionamento dei moduli. Tali geometrie, specifiche per ogni tipologia di tecnica, devono, in generale, permettere alle talee in espansione di creare nuclei di ricolonizzazione che, nel tempo, possano, unendosi, determinare la formazione di una prateria continua. Ciò implica che le aree scelte per il trapianto abbiano una superficie sufficientemente ampia da consentire nel medio e lungo periodo l'espansione della prateria trapiantata.



Per una disamina sulla preparazione delle talee, sul fissaggio ai moduli di trapianto nonché sulle geometrie di posizionamento dei moduli, specificatamente per le diverse tecniche si rimanda al “Manuale delle tecniche e delle procedure operative per il trapianto di *Posidonia oceanica*” (Bacci e La Porta, 2022).

## 4.3 | IL MONITORAGGIO DELL'INTERVENTO DI TRAPIANTO

Al fine di valutare l'efficacia di un intervento di trapianto, è opportuno pianificare specifici piani di monitoraggio, tenendo conto del fatto che il trapianto sia stato realizzato con talee oppure effettuato mediante il trasferimento di zolle. Per quanto riguarda il trasferimento di zolle di *P. oceanica* si rimanda al Box seguente.

Il monitoraggio del trapianto realizzato mediante talee di *Posidonia oceanica* deve essere condotto a intervalli regolari predefiniti, soprattutto nel primo periodo successivo al termine del trapianto, e deve interessare un adeguato arco temporale, valutato in funzione dei tassi di crescita della pianta. Ad esempio, sulla base dell'analisi di diversi casi di trapianto realizzati in Italia (AA.VV., 2021b, 2021c, 2020a) è emerso che un monitoraggio con frequenza trimestrale è opportuno almeno nei primi due anni dal trapianto (monitoraggio di breve termine), per poi diventare semestrale fino a cinque anni dal trapianto (monitoraggio di medio termine). Successivamente, deve essere prevista una campagna di monitoraggio ogni anno, auspicabilmente fino a dieci anni successivi al trapianto (monitoraggio di lungo termine). In particolare, i parametri da tenere in considerazione per il monitoraggio dell'intervento di trapianto, soprattutto nel breve e medio periodo, riguardano principalmente descrittori funzionali (illustrati di seguito), relativi ad un campione statisticamente significativo di talee di *P. oceanica* trapiantate. Si sottolinea che l'analisi dei suddetti descrittori deve essere effettuata principalmente attraverso metodi non distruttivi e applicando tecniche standardizzate. Inoltre, un adeguato monitoraggio dovrebbe prevedere che l'analisi dei descrittori (a livello di sito e di prateria riceventi), avviata nella fase di caratterizzazione e valutazione dell'area di trapianto, prosegua durante tutto il monitoraggio successivo al trapianto, in base alle finalità specifiche dello studio. Per valutare correttamente l'esito dell'intervento di trapianto è, infatti, importante prevedere il monitoraggio di un numero significativo di aree di controllo, individuate in porzioni della prateria ricevente, limitrofe all'area direttamente interes-



sata dall'intervento di trapianto. Ciò consente di ricostruire la dinamica di crescita della prateria naturale durante l'intero periodo di studio, dalla realizzazione del trapianto all'intero monitoraggio programmato, e confrontarla con quella della prateria trapiantata.

Nella Tabella 4.3.1 vengono riportate le attività e le relative finalità utili al monitoraggio di un intervento di trapianto.

Tabella 4.3.1 | Principali attività e relative finalità utili al monitoraggio dell'intervento di trapianto realizzato con talee di Posidonia oceanica.

ATTIVITÀ	FINALITÀ
Monitoraggio di breve termine ( $\leq 2$ anni).	Valutare l'attecchimento del materiale biologico e le eventuali fallanze dovute a morte naturale del materiale biologico o a danni meccanici (es; mareggiate, pesca, ancoraggi, ecc.).
Monitoraggio di medio termine ( $2 \text{ anni} < x \leq 5 \text{ anni}$ ).	Valutare il trend di crescita del trapianto come bilancio tra le eventuali perdite iniziali e la successiva fase di crescita ed espansione, per il raggiungimento della fase di stabilità.
Monitoraggio di lungo termine ( $> 5$ anni).	Valutare il raggiungimento della maturità del trapianto e l'acquisizione di caratteristiche strutturali e funzionali assimilabili ad una prateria naturale.

I monitoraggi successivi al termine del trapianto di talee dovrebbero quindi prevedere, sia a livello di prateria ricevente sia di area di trapianto (*fig. 4.1*), l'analisi dei seguenti parametri in base alle finalità specifiche del trapianto realizzato:

### 1) prateria ricevente

- descrittori funzionali: parametri fenologici, parametri lepidocronologici;
- descrittori strutturali: densità dei fasci fogliari e copertura %;
- descrittori ecologici: flora e fauna associata.

### 2) aree di trapianto:

- descrittori funzionali: tasso di sopravvivenza delle talee<sup>2</sup>, forma-

<sup>2</sup> Si sottolinea che 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.

zione di nuovi fasci, allungamento del rizoma, allungamento delle foglie (Zieman, 1974), sviluppo di radici, parametri fenologici (rilevabili anche con tecniche non distruttive), parametri lepidocronologici;

- descrittori strutturali: copertura dell'area colonizzata dalle talee, densità dei fasci fogliari<sup>3</sup>;
- descrittori ecologici: flora e fauna associata.

Inoltre, i descrittori al livello di sito, in cui è inclusa la prateria ricevente, analizzati nella fase di caratterizzazione possono essere monitorati nelle fasi successive al trapianto in funzione delle finalità specifiche dello studio. In particolare, questi descrittori sono riferiti (paragrafo 4.1.2) al tasso di sedimentazione, granulometria dei sedimenti superficiali, regime idrodinamico locale (*descrittori sedimentologici e idrologici*) e intensità della luce, trasparenza, ossigeno disciolto, salinità, temperatura, pH, carico di nutrienti e particolato sospeso (organico e inorganico) (*descrittori chimico-fisici della colonna d'acqua*).

Nella Tabella 4.3.2 si riporta un piano di monitoraggio di un intervento di trapianto con talee, che riporta sia i possibili parametri da indagare, sia la frequenza temporale delle campagne di indagine (fase di caratterizzazione prima del trapianto e fase di monitoraggio successivo al trapianto).

Per verificare la buona riuscita dell'intervento di trapianto mediante talee è necessario, nei primi anni di monitoraggio (almeno cinque anni), quantificare la sopravvivenza delle talee trapiantate, misurare il loro accrescimento, nonché valutare la comparsa di nuovi fasci fogliari. Inoltre, la letteratura scientifica disponibile specificamente per *P. oceanica* ha evidenziato che solo un monitoraggio a lungo termine può rappresentare un efficace strumento di verifica

---

<sup>3</sup> Il numero dei fasci viene conteggiato all'interno di quadrati di dimensione nota posizionati casualmente, analogamente a quanto effettuato nella prateria naturale; descrittore da indagare nel monitoraggio di lungo periodo.



della *performance* di un trapianto e valutare struttura e funzioni della “nuova” prateria (Scardi *et al.*, in stampa; Calvo *et al.*, 2021; Bacci *et al.*, 2019).

Nell’ambito di un monitoraggio a lungo termine (almeno dieci anni), la cui durata dovrebbe essere compatibile con l’instaurarsi di una consolidata dinamica di crescita, dovranno essere presi in considerazione la produzione primaria della prateria, le biocenosi a essa associate, nonché la macrostruttura della prateria stessa, che gioca un ruolo fondamentale nella riduzione dei processi erosivi della costa. Un monitoraggio di lungo termine è anche l’unico che consenta di analizzare la densità raggiunta dalla prateria trapiantata rispetto alla prateria naturale, senza far riferimento alle stime di sopravvivenza delle talee originali e/o al numero totale di fasci fogliari nelle unità campionarie originari di trapianto (AA.VV., 2020a).

Inoltre, l’acquisizione di dati relativi alla copertura delle praterie trapiantate è ritenuta prioritaria; l’acquisizione di tali dati mediante mappature ad alta risoluzione, possibili anche grazie alle nuove tecnologie, nell’area ricevente prima e dopo dell’attività di trapianto, permette nel tempo di quantificare al meglio le superfici di trapianto vitali e di quelle andate perse (Ventura *et al.*, 2022; Rende *et al.*, 2020; AA.VV., 2020a).

Per ulteriori approfondimenti in merito ai parametri e alle metodiche di misura dei descrittori strutturali e funzionali si rimanda a Buia *et al.* (2003).

Tabella 4.3.2 | Schema riassuntivo per la scelta dei parametri e delle frequenze di campionamento da adottare per monitorare un intervento di trapianto con talee di *Posidonia oceanica*.

Area indagata	Parametro	Monitoraggio di Caratterizzazione	Monitoraggio a breve/medio termine		Monitoraggio a lungo termine
		Frequenza	Frequenza I e II Anno	Frequenza III - IV - V Anno	Frequenza dal VI al X Anno
Prateria donatrice	Copertura della prateria	una volta (prima dell'espianto)	In base alle finalità dello studio	In base alle finalità dello studio	In base alle finalità dello studio
	Densità dei fasci fogliari				
	Fenologia				
	Lepidocronologia				
	Flora e fauna associata				
Sito (in prossimità della prateria ricevente)	Temperatura	una volta (prima dell'espianto)	In base alle condizioni sito specifiche e alle finalità dello studio	In base alle condizioni sito specifiche e alle finalità dello studio	In base alle condizioni sito specifiche e alle finalità dello studio
	Salinità				
	Trasparenza dell'acqua				
	Intensità della luce				
	pH				
	Ossigeno				
	Carico di nutrienti				
	Particellato sospeso				
	Tasso di sedimentazione				
	Granulometria dei sedimenti				
	Contenuto sostanza organica				
Regime idrodinamico locale					
Prateria ricevente	Copertura della prateria	una volta (prima dell'espianto)	Almeno una volta	Almeno una volta	Almeno due volte
	Densità dei fasci fogliari				
	Fenologia				
	Lepidocronologia				
	Flora e fauna associata				
Area di trapianto (nella prateria ricevente)	Tasso di sopravvivenza delle talee	-	ogni 3 mesi	-	-
	Produzione di radici				
	Allungamento del rizoma		ogni 3 mesi	ogni 6 mesi	
	Allungamento delle foglie				
	Copertura dell'area colonizzata dalle talee		ogni 3 mesi	ogni 6 mesi	ogni 12 mesi
	Formazione di nuovi fasci				
	Densità dei fasci fogliari		-	-	-
	Fenologia				
	Lepidocronologia				
Flora e fauna associata					



## Il trapianto mediante trasferimento di zolle di *Posidonia oceanica*

Nell'ambito delle Valutazioni di Impatto Ambientale di progetti relativi all'ampliamento di porti o realizzazione di opere costiere, sono stati effettuati, in Italia e in altri paesi mediterranei, trapianti compensativi mediante zolle di *Posidonia oceanica*. Tale tecnica, differentemente da quanto descritto per il trapianto mediante talee, prevede il trasferimento di zolle, porzioni di prateria comprendenti anche la sottostante *matte* e il sedimento da essa intrappolato, dall'area della prateria danneggiata dall'opera ad aree limitrofe.

Le attività relative alla pianificazione del trapianto mediante zolle, quali la caratterizzazione e valutazione della prateria donatrice e del sito e della prateria riceventi, la valutazione dei servizi ecosistemici della prateria donatrice e ricevente, sono le medesime descritte nel paragrafo 4.1 "Pianificazione del trapianto di *Posidonia oceanica*". Nel caso di trapianti mediante zolle, però, si evidenzia che la selezione dell'area potenzialmente idonea a ricevere il trapianto, non potrà essere individuata mediante trapianti pilota per ovvia indisponibilità di zolle da impiegare in questa fase pilota. Per il trasferimento delle zolle vengono utilizzati mezzi meccanici che differiscono in base sia alla dimensione delle zolle, sia alle esigenze logistiche nel trasferimento e nel posizionamento delle stesse nelle aree riceventi. Nel Mediterraneo, nei pochi casi di trasferimento di zolle di *P. oceanica* con mezzi meccanici, la dimensione delle zolle è variata da un minimo di 0,8 m<sup>2</sup> a un massimo 2 m<sup>2</sup> e il loro posizionamento ha necessitato, a seconda del caso dell'intero o meno della zolla (AA. VV., 2019b, 2020a; Bedini *et al.*, 2020; Sánchez Lizaso *et al.*, 2009; Descamp *et al.*, 2017). Per una disamina delle tecniche di trapianto realizzate mediante il trasferimento di zolle di *Posidonia oceanica*, si rimanda al "Manuale delle tecniche e

delle procedure operative per il trapianto di *Posidonia oceanica*” (Bacci e La Porta, 2022).

Per quanto riguarda l’attività di monitoraggio delle zolle trasferite, i parametri da indagare nella prateria donatrice e nel sito e nella prateria riceventi sono i medesimi riportati nel paragrafo 4.3 “Il monitoraggio dell’intervento di trapianto”.

Invece, specifiche considerazioni riguardano le metodologie impiegate per la rilevazione di alcuni parametri da indagare nel monitoraggio dell’area di trapianto.

Per quanto riguarda i descrittori funzionali (propagazione dei rizomi nell’area marginale della zolla, allungamento delle foglie, parametri fenologici, parametri lepidocronologici) e i descrittori ecologici (flora e fauna associata), valgono le medesime metodologie impiegate nel monitoraggio delle praterie di *P. oceanica* (Buia *et al.*, 2003) utilizzate anche nei trapianti di talee.

Per i descrittori strutturali (densità dei fasci fogliari, copertura dell’area colonizzata da *Posidonia* su zolle, dimensione della zolla) occorre specificare che: i) il numero dei fasci fogliari viene conteggiato all’interno di quadrati di dimensione nota e che una delle conte deve essere effettuata al centro della zolla; ii) a partire dal centro della zolla, in direzione bussola Nord, Sud, Est e Ovest, in base alle dimensioni della zolla, devono essere disposti un numero di quadrati ad una distanza tale che possano intercettare l’intera area della zolla, comprese le aree marginali della zolla (es: per zolle di dimensione 2 x 2 m disporre i quadrati ad una distanza di circa 80 cm); iii) annotare, per ciascuna conta pari a zero, la tipologia di substrato nudo o eroso (nudo = senza copertura di *Posidonia*; eroso = substrato perso per erosione); iv) la dimensione della zolla si ottiene dalla lunghezza della diagonale Nord-Sud (cm) e della diagonale Est-Ovest (cm) e restituisce indicazioni utili a valutare la conservazione della zolla, così come l’acquisizione di fotografie della zolla, sia dall’alto sia lateralmente.

Le metriche per la verifica della riuscita di un intervento di



trapianto mediante zolle sono: i) il conteggio delle zolle perse (con numero di fasci pari a zero) in rapporto al numero totale di zolle monitorate (espresso in %); ii) il numero di fasci per zolla in rapporto al numero iniziale di fasci (espresso in %), stimato mediante la metodologia sopra descritta. Inoltre, stime di densità fogliare (esprese al  $m^2$ ) e parametri funzionali sia fenologici che lepidocronologici acquisiti sulle zolle possono essere confrontati sia con quelli della prateria donatrice da cui le zolle provengono, sia della prateria naturale limitrofa, al fine di monitorare la dinamica di tali descrittori nel tempo.

La gestione di un sito in cui sono state trasferite zolle di *Posidonia* è una fase essenziale per garantire il buon esito del trasferimento stesso. Le azioni in essa previste riguardano specifici aspetti del trapianto così come diversi aspetti della *governance* dei trapianti stessi (Zenone *et al.*, 2021; Ruiz-Frau *et al.*, 2019). In particolare, tenendo conto delle peculiarità di questa tecnica, quello che è essenziale garantire, come per i trapianti mediante talee è l'interdizione temporanea delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggi, la protezione e la valorizzazione del trapianto, come specificato nel paragrafo 4.4 "Gestione del trapianto di *Posidonia oceanica*".

### 4.3.1 | Verifica della riuscita dell'intervento di trapianto

Un intervento di trapianto può essere considerato riuscito soltanto quando le talee si sono stabilizzate e mostrano una crescita buona e persistente e un attivo processo di ricolonizzazione (AA.VV., 2020a; Fonseca *et al.*, 1998). Inoltre, le talee si possono ritenere consolidate soltanto quando sono in grado di garantire le funzioni di base dell'ecosistema: stabilizzazione del sedimento, supportare il ciclo dei nutrienti, la produzione di biomassa e la produzione secondaria. Il monitoraggio a lungo termine di un trapianto di talee rappresenta, quindi, il migliore strumento di verifica di tali funzioni. Ciò è in accordo con quanto osservato nel monitoraggio di diversi trapianti realizzati in Italia (Scardi *et al.*, in stampa; Calvo *et al.*, 2021; AA.VV., 2020a, Robello., 2019) e raccomandato da diversi Autori (Bacci *et al.*, 2019; Pirrotta *et al.*, 2015; Cunha *et al.*, 2012; Fonseca *et al.*, 1998). Infatti, un buon risultato nelle fasi iniziali di un trapianto non corrisponde necessariamente ad un reale successo così come una bassa *performance* iniziale non compromette necessariamente il suo risultato positivo in futuro (Calvo *et al.*, 2020).

Al fine di poter verificare efficacemente l'esito di un trapianto è importante definire un opportuno piano di monitoraggio in funzione della superficie di trapianto, della tecnica utilizzata e delle condizioni ambientali locali. Alcuni aspetti essenziali, a garanzia dell'efficacia del monitoraggio, riguardano:

- la selezione di un numero significativo di aree campionarie di monitoraggio sia nell'area trapianto sia nella prateria ricevente di controllo;
- la selezione di un numero significativo di unità campionarie per le diverse aree campionarie di monitoraggio individuate;
- l'etichettatura delle unità campionarie, avvenuta contestualmente alla loro selezione, per le quali prevedere una manutenzione periodica.



## Metriche e parametri per la verifica di un intervento di trapianto

Nella Tabella 4.3.1.1 sono riportate le metriche e parametri che meglio descrivono lo stato e la dinamica di crescita dei trapianti nelle differenti fasi di monitoraggio.

Tabella 4.3.1.1 | Metriche e parametri per la verifica di un intervento di trapianto mediante talee di *Posidonia oceanica*.

	Metriche e parametri per la verifica di un intervento di trapianto	Specifiche tecniche
Monitoraggio breve-medio termine	Andamento temporale del numero medio di fasci per unità campionaria in rapporto al numero iniziale di fasci (espresso in %).	Il numero di fasci complessivo per unità campionaria comprende sia i fasci trapiantati sia i nuovi fasci da essi originati. L'unità campionaria è l'unità in cui si conteggiano i fasci fogliari complessivi e può essere rappresentata dal modulo di ancoraggio ma anche da superfici standard entro cui le talee trapiantate sono ancorate.
	Andamento temporale del numero di unità campionarie perse in rapporto al numero totale di unità campionarie monitorate (espresso in %).	Il numero di unità campionarie perse comprende quelle con numero di fasci pari a zero. La Stima dell'area trapiantata persa dovrebbe essere valutata anche attraverso le analisi di copertura.
	Andamento temporale del coefficiente di variazione, calcolato sul numero di fasci per unità campionaria.	Il coefficiente di variazione rappresenta un efficace indice di stabilità del trapianto, individuando il momento in cui la mortalità dei fasci non incide più sulla crescita, che diventa bilanciata indipendentemente dal livello di densità nell'unità campionaria (AA.VV., 2020a).
	Copertura dell'area colonizzata da <i>Posidonia oceanica</i> trapiantata.	Definita una superficie di monitoraggio, rappresentativa dell'area totale di trapianto, la copertura si esprime come la superficie di substrato colonizzata dalle talee di <i>Posidonia</i> in rapporto alla superficie trapiantata in partenza.
Monitoraggio di lungo termine	Densità assoluta media (espressa al m <sup>2</sup> ) dell'area di trapianto e della prateria naturale limitrofa.	La densità assoluta media, misurata secondo le metodologie utilizzate nelle praterie di <i>P. oceanica</i> naturali (Bacci <i>et al.</i> , 2015; Pergent <i>et al.</i> , 1995; Panayotidis <i>et al.</i> , 1981; Giraud, 1977) rappresenta adeguatamente la dinamica del trapianto nel lungo periodo e permette un confronto con le dinamiche della prateria naturale limitrofa (AA.VV., 2020a).
	Copertura dell'area colonizzata da <i>Posidonia oceanica</i> trapiantata.	La copertura rappresenta un indicatore dell'esito complessivo del trapianto nel tempo. Definita come sopraindicato, a lungo termine, la copertura è un efficace indicatore per evidenziare, il livello complessivo di espansione del trapianto e le eventuali superfici perse.
	Fenologia e Lepidocronologia.	L'analisi fenologica e lepidocronologica riflettono il livello di maturità raggiunto nel tempo dal trapianto rapportato alla adiacente prateria naturale. La pianta, infatti, investe inizialmente maggiori risorse nei rizomi piuttosto che nel tessuto fogliare come invece accade nella prateria naturale, coerentemente con la necessità di espandersi nelle aree di trapianto e di aumentare l'attività fotosintetica nelle praterie naturali (AA. VV., 2020a).

### 4.3.2 | Verso gli *open data* per la gestione delle praterie di *Posidonia oceanica*

---

Nell'ambito del progetto LIFE SEPOSSO è stata effettuata una ricognizione, a livello italiano, mirata a definire lo stato dell'arte della disponibilità dei dati ambientali utili alla pianificazione di attività di gestione delle praterie di *Posidonia oceanica* e di eventuali interventi di trapianto (AA. VV., 2020b). I risultati hanno evidenziato diverse criticità che condizionano la oggettiva fruibilità dei dati, tra cui: i) reperibilità del dato, ii) qualità del dato, iii) operabilità del dato, iv) livello di dettaglio e copertura spaziale, v) vincoli di accesso. Dall'analisi emerge che ad oggi, a livello nazionale e locale (per le regioni *target* del progetto Toscana, Lazio, Campania e Sicilia), la effettiva disponibilità di dati ambientali operabili ed utili per la gestione a scala locale delle praterie di *Posidonia oceanica*, è molto bassa.

I dati e le informazioni relativi alle diverse fasi dell'*iter* procedurale di un trapianto di *P. oceanica* dovrebbero, quindi, essere raccolti in modo centralizzato, standardizzato e validato, al fine di fornire una base dati *open acces* di supporto per le fasi di pianificazione, realizzazione, monitoraggio e gestione del trapianto.

Nel Box seguente viene brevemente illustrata la piattaforma *Posidonia Web Platform* (PWP) realizzata dal progetto LIFE SEPOSSO per la raccolta dei dati ambientali legati alle praterie di *Posidonia* e ai trapianti.



## La piattaforma *Posidonia Web Platform - PWP*

Uno degli obiettivi del progetto LIFE SEPOSSO è stato quello di realizzare una Piattaforma web “*Posidonia Web Platform*” (PWP), come strumento per la raccolta dei dati ambientali legati alle praterie di *Posidonia* e ai monitoraggi dei trapianti, sia realizzati per compensare i danni arrecati alle praterie da opere marino-costiere sia per recuperare posidonieti degradati. In particolare, la piattaforma rappresenta, anche, uno strumento digitale utile a migliorare l’efficacia e l’efficienza del controllo delle procedure di VIA, comprese quelle relative alle opere che hanno causato un impatto su posidonieti e, in particolare, per le fasi di verifica delle ottemperanze delle condizioni ambientali, incluse quelle relative alle misure di compensazione attraverso i trapianti di *Posidonia*.

Inoltre, in coerenza con le linee progettuali del PNRR, la Piattaforma “*Posidonia Web Platform*” contribuisce sia all’obiettivo per la realizzazione della interoperabilità delle banche dati sia all’acquisizione e gestione dei dati provenienti dai trapianti di *Posidonia* effettuati per il ripristino degli habitat marini.

Infatti, nella piattaforma PWP, sono stati creati moduli specifici che consentono l’acquisizione e la catalogazione dei dati ambientali relativi ai parametri sedimentologici, idrologici e chimico-fisici della colonna d’acqua, alla distribuzione delle praterie di *Posidonia* e dei loro descrittori strutturali, funzionali ed ecologici, nonché dei dati derivanti dai monitoraggi a breve, medio e lungo termine, raccolti per la verifica di un intervento di trapianto e descritti nel presente manuale. La catalogazione viene effettuata attraverso una struttura di metadati aderente alle norme INSPIRE (Regolamento CE 1205/2008, D. Lgs. 27 gennaio 2010, n. 32, Decreto 10 novembre 2011).

La piattaforma PWP è rivolta a tutti gli attori, coinvolti nei processi di gestione di *P. oceanica* e dei suoi eventuali trapianti, siano essi pubblici, privati, politici, controllori, tecnici e alla

cittadinanza, fornendo diversi livelli di accessibilità ai dati. Lo strumento, infatti, presenta vari moduli o “*app*” che permettono la gestione e centralizzazione dei processi collaborativi di raccolta dati, validazione, integrazione e condivisione di varie tipologie di dati e consente di promuovere i requisiti di trasparenza dell’informazione ambientale, in rispetto alla Convenzione di Aarhus (25 giugno 1998).



## 4.4 | GESTIONE DEL TRAPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA

La gestione di un sito di trapianto di *Posidonia* è una fase essenziale per garantire il buon esito del trapianto stesso. Le azioni in essa previste riguardano specifici aspetti del trapianto così come diversi aspetti della *governance* dei trapianti stessi (Zenone *et al.*, 2021; Ruiz-Frau *et al.*, 2019).

Nella Tabella 4.4.1 si riportano le principali attività e relative finalità legate alla gestione delle aree di trapianto.

*Tabella 4.4.1 Principali attività e relative finalità legate alla gestione delle aree di trapianto di Posidonia oceanica.*

ATTIVITÀ	FINALITÀ
Sostituzione delle fallanze	Compensare la perdita di talee trapiantate, avvenuta soprattutto nei primi anni, attraverso piccoli interventi di "riparazione" del trapianto.
Interdizione temporanea delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggi	Contribuire a garantire l'integrità del trapianto nel tempo.
Protezione del trapianto	Contribuire a garantire l'integrità del trapianto nel tempo.
Valorizzazione del trapianto	Aumentare la consapevolezza pubblica sull'esistenza degli interventi di trapianto nelle località in cui sono stati realizzati e gestirne la fruibilità da parte dei cittadini.
Dismissione del trapianto	Bonificare l'area in cui è stato realizzato un trapianto il cui esito è fallito dai materiali di installazione delle diverse tecniche di trapianto.

Di seguito vengono riportati i principali aspetti legati alla gestione delle aree di trapianto, identificate nella Tabella 4.4.1.

### **Sostituzione delle fallanze**

Piccoli interventi di "riparazione" eseguiti per compensare la perdita, soprattutto nei primi anni, di talee trapiantate, contribuisce a garantire il buon esito di un trapianto. Il piano di sostituzione delle fallanze, da prevedere nella fase di pianificazione del trapianto, deve essere reso operativo non appena i monitoraggi mostrino eccessive perdite di talee per morte naturale e/o che le condizioni ambientali o eventuali azioni dell'uomo abbiano incidenze negative sul trapianto



nei primi anni di vita. La durata e la periodicità della sostituzione delle fallanze deve essere definita in funzione della tipologia di tecnica utilizzata ed essere mai inferiore ai due anni successivi al trapianto.

### **Interdizione temporanea delle aree di trapianto alla pesca, navigazione e ancoraggi**

In aree soggette ad alte pressioni antropiche, come attività di pesca ricreativa e a strascico, queste ultime illegali sui posidonieti, ancoraggi di barche da diporto, la predisposizione di ordinanze specifiche per l'interdizione temporanea delle aree di trapianto e di controlli periodici da parte delle Autorità competenti, sia durante le fasi di trapianto, sia durante l'intera durata dei monitoraggi, contribuiscono a garantire il buon esito del trapianto. Infatti, così come evidenziato in diversi casi di studio realizzati in Italia (AA.VV., 2021c, 2020a), una mancata regolamentazione di tali aree rischia di compromettere l'integrità del trapianto danneggiando significativamente i moduli di ancoraggio e le piante trasferite.

### **Protezione del trapianto**

L'adozione di misure di protezione del trapianto come dissuasori anti-strascico e boe per l'ormeggio in prossimità dell'area di trapianto servono a garantire l'integrità dei moduli di trapianto nel tempo.

Quando il trapianto è realizzato come compensazione al di fuori del sito Natura 2000 interessato, ma all'interno di una unità topografica o paesaggistica comune o diversa, la nuova ubicazione può essere un altro sito designato ai fini della rete Natura 2000, oppure una località non designata; in quest'ultimo caso l'area deve essere designata come sito Natura 2000 ed essere soggetta a tutte le disposizioni previste, come specificato nel documento "Gestione dei siti Natura 2000 - Guida all'interpretazione dell'articolo 6 della direttiva 92/43/CEE (2019/C 33/01)".

### **Valorizzazione del trapianto**

La redazione di un piano di informazione e comunicazione sul

trapianto di *Posidonia* deve essere sviluppato già nelle fasi di pianificazione del trapianto, in sinergia con le realtà territoriali potenzialmente coinvolte a vario titolo nell'intervento di trapianto. Il piano deve essere attivo prima, durante e dopo la realizzazione dei trapianti e assicurare trasparenza e partecipazione pubblica, requisiti essenziali di una "buona" *governance* (AA.VV., 2020c).

### **Dismissione del trapianto**

Nel caso in cui il trapianto realizzato dovesse avere un esito negativo, è necessario bonificare i fondi interessati dall'intervento dai materiali di installazione delle diverse tecniche, come moduli di trapianto, picchetti di fissaggio, stuoie, ecc. Il piano di dismissione deve essere previsto nella fase di pianificazione del trapianto e realizzato non appena le evidenze del monitoraggio, eventi meteo-marini avversi o l'azione antropica mostrino il fallimento del trapianto, onde evitare l'accumulo di materiali alloctoni e rifiuti in mare.



## BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2019a). Basic information, legislative context and description of case studies. Report Action B.1.2. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2019b). Final report on *Posidonia oceanica* transplanting case studies analysis. Report Action A.3. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2020a). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B.2. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2020b). Report of data collected for *Posidonia oceanica* management and transplant. Report Action B.3.2. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2020c). Analisi degli stakeholder e dei conflitti. Report Action B.1.1. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <http://lifeseosso.eu>

AA.VV. (2021a). Implementazione del PTSI – Indice Preliminare di Idoneità al Trapianto. Report Action B.3.4. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2021b). Reporting di casi studio toscani relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A.3-B.2. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2021c). Reporting di ulteriori casi studio relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A.3-B.2. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. (2022). Impatti dei progetti su *Posidonia oceanica*: il caso della regione Toscana. Report Action B.1.2. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. ISPRA (2014). Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di *Posidonia oceanica*. Manuali e Linee Guida. ISPRA, Rome, Italy. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/conservazione-e-gestione-della-naturalita-negli-ecosistemi-marino-costieri.-il-trapianto-delle-praterie-di-posidonia-oceanica>

Aitken S. N., Whitlock M. C. (2013). Assisted Gene Flow to Facilita-



te Local Adaptation to Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44(1): 367–388. <https://doi.org/10.1146/annurev-eolsys-110512-135747>

Alotaibi N. M., Kenyon E. J., Cook K. J., Börger L., Bull J. C. (2019). Low genotypic diversity and long-term ecological decline in a spatially structured seagrass population. *Scientific Reports*, 9(1): 18387. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54828-1>

Arnaud-Haond S., Duarte C. M., Diaz-Almela E., Marbà N., Sintès T., Serrão E. A. (2012). Implications of Extreme Life Span in Clonal Organisms: Millenary Clones in Meadows of the Threatened Seagrass *Posidonia oceanica*. *PLoS ONE*, 7(2): e30454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030454>

Astier J. M. (1984). Impact des aménagements littoraux de la rade de Toulon, liés aux techniques d'endigage, sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. In: Eds. C.-F. Boudouresque, A. Jeudy De Grissac, & J. Olivier. GIS Posidonie, Marseille, France: 255–259.

Atwood T. B., Connolly R. M., Almahasheer H., Carnell P. E., Duarte C. M., Ewers Lewis C. J., Irigoien X., Kelleway J. J., Lavery P. S., Macreadie P. I., Serrano O., Sanders C. J., Santos I., Steven A. D. L., Lovelock C. E. (2017). Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, 7(7): 523–528. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>

Augier H., Eugene C., Harmand-Desforges J. M., Sougy A. (1996). *Posidonia oceanica* re-implantation technology of the marine gardeners is now operational on a large scale. Coastal Zone Management in the Mediterranean. *Ocean & Coastal Management*, 30(2): 297–307. [https://doi.org/10.1016/0964-5691\(95\)00064-X](https://doi.org/10.1016/0964-5691(95)00064-X)

Bacci T., Rende S. F., Rocca D., Scalise S., Cappa P., Scardi M. (2015). Optimizing *Posidonia oceanica* (L.) Delile shoot density: Lessons learned from a shallow meadow. *Ecological Indicators*, 58: 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.054>

Bacci T., Rende F. S., Scardi M. (2017). Shoot micro-distribution patterns in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Biology*, 164(4): 85. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3121-1>

Bacci T., Scardi M., Calvo S., Tomasello A., Valiante L. M., Di Nuzzo F., Raimondi V., Assenzo M., Piazzì L., Cecchi E., Penna M., Gennaro P., Tomassetti P., Pampalone V., Bulleri C., Sozzi F., Zenone A., Bertasi F., Targusi M., Piazzì A., La

Porta B. (2019). Il LIFE S.E.POS.S.O. monitora i trapianti di *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Italia. *Biologia Marina Mediterranea*, 26(1): 132–135.

Bacci T., Penna M., Rende F. S., Tomasello A., Calvo S. (2020). Scheda Metodologica *Posidonia oceanica* (L.) Delile Descrittore 1 Biodiversità (Dlgs 190/10) Elemento di Qualità Biologica Angiosperme (Dlgs 152/06).

Bacci T., La Porta B. (2022). Manuale delle tecniche e delle procedure operative per il trapianto di *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Roma.

Badalamenti F., Alagna A., Fici S. (2015). Evidences of adaptive traits to rocky substrates undermine paradigm of habitat preference of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Scientific Reports*, 5(1): 8804. <https://doi.org/10.1038/srep08804>

Balestri E., Vallerini F., Lardicci C. (2011). Storm-generated fragments of the seagrass *Posidonia oceanica* from beach wrack. A potential source of transplants for restoration. *Biological Conservation*, 144(5): 1644–1654. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.02.020>

Balestri E., Vallerini F., Seggiani M., Cinelli P., Menicagli V., Vannini C., Lardicci C. (2019). Use of bio-containers from seagrass wrack with nursery planting to improve the eco-sustainability of coastal habitat restoration. *Journal of Environmental Management*, 251: 109604. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109604>

Bay D. (1978). Etude ‘in situ’ de la production primaire d’ un herbier de posidonies (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) de la Baie de Calvi – Corse -. *Progr. Rép. Stn. Océanogr. Stareso, Univ. Liège, Belg.*, 18: 1–251.

Bedini R., Bedini M., Salvadori E. (2020). A new transplanting method of *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, 1813 plants. In: *Monitoring of Mediterranean Coastal Areas. Problems and Measurement Techniques*, Eds. L. Bonora, D. Carboni, & M. Vicenzi. Firenze University Press, Florence, Italy: 492–500. <https://doi.org/10.36253/978-88-5518-147-1.49>

Bennett E. A. (2016). Governance, legitimacy, and stakeholder balance: lessons from Fairtrade International. *Social Enterprise Journal*, 12(3): 322–346. <https://doi.org/10.1108/SEJ-08-2016-0038>

Bennett N. J., Satterfield T. (2018). Environmental governance: A practical framework to guide design, evaluation, and analysis. *Conservation Letters*, 11(6): e12600. <https://doi.org/10.1111/conl.12600>



Bindoff N. L., Cheung W. W., Kairo J. G., Arístegui J., Guinder V. A., Hallberg R., Hilmi N. J. M., Jiao N., Karim M. S., Levin L. (2019). Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. In: *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*, Eds. D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, & N. M. Weyer. Intergovernmental Panel on Climate Change: 477–587. <https://www.ipcc.ch/srocc/>

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: Eds. C.-F. Boudouresque, A. Jeudy de Grissac, & J. Olivier. GIS Posidonie, Marseille, France: 273–285.

Bonacorsi M., Pergent-Martini C., Breand N., Pergent G. (2013). Is *Posidonia oceanica* regression a general feature in the Mediterranean Sea? *Mediterranean Marine Science*, 14(1): 193–203. <https://doi.org/10.12681/mms.334>

Bosman A., Pazzini A., Rossi L., Rende F. S., Annunziatellis A., Giusti M., Pulcini M. (2021). Protocolli d'acquisizione e controllo della qualità dei dati Multibeam e Side Scan Sonar nell'ambito dei programmi di monitoraggio Strategia Marina 2021-2026 (Dlgs 190/10).

Boudouresque C.-F. (1968). Contribution à l'étude du peuplement épiphyte des rhizomes de Posidonies (*Posidonia oceanica* Delile). *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 43(59): 45–64.

Boudouresque C.-F. (2000). La restauration des écosystèmes à phanerogrames marines. In: *La restauration des écosystèmes à phanerogrames marines*, Eds. L. Drevet & M. Chaussepied. IFREMER: 65–85.

Boudouresque C.-F., Jeudy De Grissac A. (1983). *Posidonia oceanica* in the Mediterranean: interactions between the plant and the sediment. *Journal de Recherche Oceanographique*, 8: 9–122.

Boudouresque C.-F. (2013). De Port-Cros à Port-Cros, en passant par Bruxelles: l'histoire d'un écosystème-miracle, l'herbier à *Posidonia oceanica*. In: *GIS Posidonie. Plus de 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin*, Eds. L. Le Diréach & C.-F. Boudouresque. GIS Posidonie, Marseille, France: 31–35.

Boudouresque C.-F., Gravez V., Meinesz A., Molenaar H., Pergent G., Vitiello P. (1994). L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée: protection légale et gestion. In: *Pour qui la Méditerranée au 21<sup>e</sup> siècle? Villes des rivages et environne-*

*ment littoral en Méditerranée*, Okeanos, Maison de l'Environnement de Montpellier, Montpellier: 209–220.

Boudouresque C.-F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Divacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2006). Préservation et Conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE: 202 pp.

Boudouresque C.-F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M. (2009). Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *52*(5): 395–418. <https://doi.org/10.1515/BOT.2009.057>

Boudouresque C.-F., Guillame B., Bonhomme P., Charbonnel E., Divacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2012). Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. RAMOGE and RAC/SPA, Tunis: 202 pp. [https://www.rac-spa.org/sites/default/files/doc\\_vegetation/ramoge\\_en.pdf](https://www.rac-spa.org/sites/default/files/doc_vegetation/ramoge_en.pdf)

Boudouresque C.-F., Blanfuné A., Pergent G., Thibaut T. (2021). Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness and Ethical Issues. *Water*, *13*(8): 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>

Boudouresque C.-F., Meinesz A. (1982). Découverte de l'herbier de *Posidonie*. *Cahiers du Parc national de Port-cros*, *4*: 1–79.

Buia M. C., Mazzella L. (1991). Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* (L.) Delile, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Aschers., and *Zostera noltii* Hornem. *Aquatic Botany*, *40*(4): 343–362. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(91\)90080-O](https://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90080-O)

Buia M. C., Gambi M. C., Zupo V. (2000). Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview. *Biologia Marina Mediterranea*, *7*: 167–190.

Buia M. C., Gambi M. C., Dappiano M. (2003). I sistemi a Fanerogame marine. *Biologia Marina Mediterranea*, *10*: 145–198.

Buia M. C., Giaccone G. (2008). Seagrass biology. Quaderni Habitat. In: *Seagrass meadows. Flowering plants in the Mediterranean Sea*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Roma). Museo Friulano di Storia Naturale (Udine): 11–21.

Bull J. S., Reed D. C., Holbrook S. J. (2004). An experimental evaluation of different methods of restoring *Phyllospadix torreyi* (surfgrass). *Restoration Ecology*, *12*(1): 70–79. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00258.x>



Caldeira K., Wickett M. E. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956): 365–365. <https://doi.org/10.1038/425365a>

Calumpong H. P., Fonseca M. S. (2001). Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. In: *Global Seagrass Research Methods*, Eds. F. T. Short, R. G. Coles, & C. A. Short. Elsevier Science: 424–443.

Calvo S., Pirrotta M., Tomasello A. (2020). Letter to the editor regarding the article “Taking advantage of seagrass recovery potential to develop novel and effective meadow rehabilitation methods” by Alagna et al., published in *Marine Pollution Bulletin*, 149: 2019 (110578). *Marine Pollution Bulletin*, 158: 111395. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111395>

Calvo S., Calvo R., Luzzu F., Raimondi V., Assenzo M., Cassetti F. P., Tomasello A. (2021). Performance Assessment of *Posidonia oceanica* (L.) Delile Restoration Experiment on Dead meadow Twelve Years after Planting—Structural and Functional Meadow Features. *Water*, 13(5): 724. <https://doi.org/10.3390/w13050724>

Campbell M. (2000). A decision-based framework to increase seagrass transplantation success. *Biologia Marina Mediterranea*, 7(2): 336–341.

Campbell M. L. (2002). Getting the foundation right: a scientifically based management framework to aid in the planning and implementation of seagrass transplant efforts. *Bulletin of Marine Science*, 71(3): 1405–1414.

Capiomont A., Piazzini L., Pergent G. (2000). Seasonal variations of total mercury in foliar tissues of *Posidonia oceanica*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80(6): 1119–1123. <https://doi.org/10.1017/S0025315400003192>

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-Viterbo, 175 pp.

Castillón M., Palomer A., Forest J., Ridao P. (2019). State of the Art of Underwater Active Optical 3D Scanners. *Sensors*, 19(23): 5161. <https://doi.org/10.3390/s19235161>

Chessa L., Fresi E. (1994). Conservazione e gestione delle praterie di *Posidonia*. In: *La gestione degli ambienti costieri e insulari del Mediterraneo*, Edizione del Sole, Italy: 103–127.

Coleman M. A., Wood G., Filbee-Dexter K., Minne A. J. P., Goold H. D., Vergés A., Marzinelli E. M., Steinberg P. D., Wernberg T. (2020). Restore or

Redefine: Future Trajectories for Restoration. *Frontiers in Marine Science*, 7: 237. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00237>

Cooper G. (1982). Réimplantation de *Posidonia oceanica*. Protection des implants. *Bulletin d'Ecologie*, 13(1): 65–73.

Cozzolino G., Vassallo P., Bazzucchi D., Oprandi A., Piazzì A., Bacci T., La Porta B. (2021). Guida tecnica sulla valutazione economica degli impatti ambientali sulle praterie di *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE 16 GIE/IT/000761), Rome, Italy. <https://www.lifeseosso.eu>

Cunha A. H., Marbá N. N., van Katwijk M. M., Pickerell C., Henriques M., Bernard G., Ferreira M. A., Garcia S., Garmendia J. M., Manent P. (2012). Changing Paradigms in Seagrass Restoration. *Restoration Ecology*, 20(4): 427–430. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00878.x>

Dauby P., Bale A. J., Bloomer N., Canon C., Ling R. D., Norro A., Robertson J. E., Simon A., Théate J.-M., Watson A. J. (1995). Particle fluxes over a Mediterranean seagrass bed: a one year case study. *Marine Ecology Progress Series*, 126: 233–246. <https://doi.org/10.3354/meps126233>

Descamp P., Cornu T., Bougerol M., Boissery P., Ferlat C., Delaruelle G., Deter J., Gobert S., Ozhan E. (2017). Experimental transplantation of *Posidonia oceanica*. In: *13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017*, Mediterranean Coastal Foundation. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/224188>

Díaz-Almela E., Duarte C. M. (2008). Management of Natura 2000 habitats \* *Posidonia* beds (*Posidonion oceanicae*) 1120. Management of Natura 2000 habitats. European Commission: 1–32. [https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/habitats/pdf/1120\\_Posidonia\\_beds.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/habitats/pdf/1120_Posidonia_beds.pdf)

Duarte C. M., Middelburg J. J., Caraco N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2(1): 1–8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>

Ehlers A., Worm B., Reusch T. B. (2008). Importance of genetic diversity in eelgrass *Zostera marina* for its resilience to global warming. *Marine Ecology Progress Series*, 355: 1–7. <https://doi.org/10.3354/meps07369>

Filbee-Dexter K., Smajdor A. (2019). Ethics of Assisted Evolution in Marine Conservation. *Frontiers in Marine Science*, 6: 20. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00020>



Fonseca M. S., Kenworthy W. J., Thayer G. W. (1998). Guidelines for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, MD: 222 pp.

Fonseca M. S., Koehl M. A. R., Kopp B. S. (2007). Biomechanical factors contributing to self-organization in seagrass landscapes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340(2): 227–246. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.09.015>

Francour P. (1997). Fish Assemblages of *Posidonia oceanica* Beds at Port-Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of Composition and Long-Term Fluctuations by Visual Census. *Marine Ecology*, 18(2): 157–173. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1997.tb00434.x>

Gall S. C., Rodwell L. D. (2016). Evaluating the social acceptability of Marine Protected Areas. *Marine Policy*, 65: 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.004>

Gambi M. C., Lorenti M., Russo G. F., Scipione M. B., Zupo V. (1992). Depth and Seasonal Distribution of Some Groups of the Vagile Fauna of the *Posidonia oceanica* Leaf Stratum: Structural and Trophic Analyses. *Marine Ecology*, 13(1): 17–39. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00337.x>

Genot I., Caye G., Meinesz A., Orlandini M. (1994). Role of chlorophyll and carbohydrate contents in survival of *Posidonia oceanica* cuttings transplanted to different depths. *Marine Biology*, 119(1): 23–29. <https://doi.org/10.1007/BF00350102>

Giakoumi S., Halpern B. S., Michel L. N., Gobert S., Sini M., Boudouresque C.-F., Gambi M., Katsanevakis S., Lejeune P., Montefalcone M. (2015). Towards a framework for assessment and management of cumulative human impacts on marine food webs. *Conservation Biology*, 29(4): 1228–1234. <https://doi.org/10.1111/cobi.12468>

González-Correa J., Bayle Sempere J., Sánchez-Jerez P., Valle C. (2007). *Posidonia oceanica* meadows are not declining globally. Analysis of population dynamics in marine protected areas of the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 336: 111–119. <https://doi.org/10.3354/meps336111>

Graham J., Amos B., Plumptre T. W. (2003). Graham, J.; Amos, B.; Plumptre, T.W. Governance Principles for Protected Areas in the 21st Century. Institute on Governance, Ottawa, ON, Canada: 1–40.

Gumusay M. U., Bakirman T., Tuney Kizilkaya I., Aykut N. O. (2019). A review of seagrass detection, mapping and monitoring applications using acoustic systems. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1): 1–29. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1544838>

Hagan K., Williams S. (2016). Oceans of Discourses: Utilizing Q Methodology for Analyzing Perceptions on Marine Biodiversity Conservation in the Kogelberg Biosphere Reserve, South Africa. *Frontiers in Marine Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00188>

IPCC (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: a Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, & N. M. Weyer: 765 pp.

Jahnke M., Olsen J. L., Procaccini G. (2015). A meta-analysis reveals a positive correlation between genetic diversity metrics and environmental status in the long-lived seagrass *Posidonia oceanica*. *Molecular Ecology*, 24(10): 2336–2348. <https://doi.org/10.1111/mec.13174>

Jahnke M., D’Esposito D., Orrù L., Lamontanara A., Dattolo E., Badalamenti F., Mazzuca S., Procaccini G., Orsini L. (2019). Adaptive responses along a depth and a latitudinal gradient in the endemic seagrass *Posidonia oceanica*. *Heredity*, 122(2): 233–243. <https://doi.org/10.1038/s41437-018-0103-0>

Jeu de Grissac A. (1979). Impact des aménagements littoraux. Installations portuaires, plage artificielles. Quelques exemples provençaux. GEOMER, Marseille: 1-46.

Jeu de Grissac A. (1984). Effets des herbiers à *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. In: *International workshop on Posidonia oceanica beds*, Eds. C.-F. Boudouresque, A. Jeu de Grissac, & J. Olivier. GIS Posidonie, Marseille, France: 437–443.

Jones T. A., Monaco T. A. (2009). A role for assisted evolution in designing native plant materials for domesticated landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(10): 541–547. <https://doi.org/10.1890/080028>

Kennedy H., Björk M. (2009). Seagrass meadows. In: *The management of natural coastal carbon sinks*, Eds. D. d’A. Laffoley & G. Grimsditch. IUCN, Gland, Switzerland: 23–30.



Koch E. W. (2001). Beyond Light: Physical, Geological, and Geochemical Parameters as Possible Submersed Aquatic Vegetation Habitat Requirements. *Estuaries*, 24(1): 1. <https://doi.org/10.2307/1352808>

Lanuru M., Mashoreng S., Amri K. (2018). Using site-selection model to identify suitable sites for seagrass transplantation in the west coast of South Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, 979: 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/979/1/012007>

Larkum A. W., Orth R. J., Duarte C. M. eds. (2006). Seagrasses: biology, ecology and conservation. Springer Netherlands: 691 pp.

Lockwood M., Davidson J., Curtis A., Stratford E., Griffith R. (2010). Governance Principles for Natural Resource Management. *Society & Natural Resources*, 23(10): 986–1001. <https://doi.org/10.1080/08941920802178214>

Lucia V., D’Anna C., Pacione T., Paganelli D., Zenone A., Bertasi F., Cacciuni A., Bacci T., La Porta B. (2022). Approfondimento degli indirizzi metodologici per la predisposizione dei quadri prescrittivi nei provvedimenti di VIA: struttura della condizione ambientale. Fattore ambientale “Biodiversità” – Praterie di *Posidonia oceanica* – Habitat 1120\*. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Roma. <https://www.lifeseosso.eu>

Madden F., McQuinn B. (2014). Conservation’s blind spot: The case for conflict transformation in wildlife conservation. *Biological Conservation*, 178: 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.015>

Manzanera M., Pérez M., Romero J. (1998). Seagrass mortality due to over-sedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation*, 4(1): 67–70. <https://doi.org/10.1007/BF02806491>

Marbà N., Duarte C. M. (1997). Interannual changes in seagrass (*Posidonia oceanica*) growth and environmental change in the Spanish Mediterranean littoral zone. *Limnology and Oceanography*, 42(5): 800–810. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.0800>

Marbà N., Díaz-Almela E., Duarte C. M. (2014). Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, 176: 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.024>

Marbà N., Jordà G., Agustí S., Girard C., Duarte C. M. (2015). Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Frontiers in Marine Science*, 2: 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00056>

Marín-Guirao L., Entrambasaguas L., Dattolo E., Ruiz J. M., Procaccini G. (2017). Molecular Mechanisms behind the Physiological Resistance to Intense Transient Warming in an Iconic Marine Plant. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1142. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01142>

Mazzella L., Scipione M. B., Buia M. C. (1989). Spatio-Temporal Distribution of Algal and Animal Communities in a *Posidonia oceanica* Meadow. *Marine Ecology*, 10(2): 107–129. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1989.tb00069.x>

Mazzella L., Buia M. C., Gambi M. C., Lorenti M., Russo G. F., Scipione M. B., Zupo V. (1992). Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea. In: *Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos*, Eds. D. M. John, S. J. Hawkins, & J. H. Price. Clarendon Press: 165–187.

McLeod E., Chmura G. L., Bouillon S., Salm R., Björk M., Duarte C. M., Lovelock C. E., Schlesinger W. H., Silliman B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10): 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>

Meinesz A., Laurent R. (1978). Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France)—Campagne Poseïdon 1976—. *Botanica Marina*, 21(8): 513–526. <https://doi.org/10.1515/botm.1978.21.8.513>

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. Taranto*, 17: 131–142.

Meinesz A., Molenaar H., Bellone E., Loques F. (1992). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica* I. Effects of rhizome length and transplantation season in orthotopic shoots. *Marine Ecology*, 13(2): 163–174. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00347.x>

Meinesz A., Caye G., Loquès F., Molenaar H. (1993). Polymorphism and Development of *Posidonia oceanica* Transplanted from Different Parts of the Mediterranean into the National Park of Port-Cros. *Botanica Marina*, 36(3): 209–216. <https://doi.org/10.1515/botm.1993.36.3.209>

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and human well-being : synthesis. Island Press, Washington DC: 155 pp. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>



Mohamed H., Nadaoka K., Nakamura T. (2018). Assessment of Machine Learning Algorithms for Automatic Benthic Cover Monitoring and Mapping Using Towed Underwater Video Camera and High-Resolution Satellite Images. *Remote Sensing*, 10(5): 773. <https://doi.org/10.3390/rs10050773>

Molenaar H. (1992). Etude de la transplantation de boutures de la Phanérogamie marine *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance. *PhD Thesis*, Université Nice Sophia Antipolis, 221 pp.

Molenaar H., Meinesz A. (1992). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. II. Effects of depth changes on transplanted orthotropic shoots. *Marine Ecology*, 13(2): 175–185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00348.x>

Molenaar H., Meinesz A., Caye G. (1993). Vegetative Reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and Development in Different Morphological Types of Transplanted Cuttings. *Botanica Marina*, 36(6): 481–488. <https://doi.org/10.1515/botm.1993.36.6.481>

Molenaar H., Meinesz A. (1995). Vegetative Reproduction in *Posidonia oceanica*: Survival and Development of Transplanted Cuttings According to Different Spacings, Arrangements and Substrates. *Botanica Marina*, 38(1–6): 313–322. <https://doi.org/10.1515/botm.1995.38.1-6.313>

Molinier R., Picard J. (1953). Notes biologiques à propos d'un voyage d'étude sur les côtes de Sicile. *Annales de l'Institut Océanographique*, 28(4): 164–187.

Montefalcone M. (2009). Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: A review. *Ecological Indicators*, 9(4): 595–604. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.09.013>

Montefalcone M., Albertelli G., Morri C., Bianchi C. N. (2010). Patterns of wide-scale substitution within meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* in NW Mediterranean Sea: invaders are stronger than natives. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(5): 507–515. <https://doi.org/10.1002/aqc.1128>

Pacione T., Lucia V., D'Anna C., Bertasi F., Cacciuni A., La Porta B., Bacci T. (2022). Proposta di aggiornamento: Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale delle opere sottoposte a VIA- Fattore ambientale “Biodiversità” – Praterie di *Posidonia oceanica* – Habitat 1120\*. LIFE SEPOSSO (LIFE16 GIE/IT/000761), Roma. <https://www.lifeseosso.eu>

Paling E. I., Van Keulen M., Wheeler K. D., Phillips J., Dyhrberg R. (2003).

Influence of Spacing on Mechanically Transplanted Seagrass Survival in a High Wave Energy Regime. *Restoration Ecology*, 11(1): 56–61. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00072.x>

Pazzaglia J., Nguyen H. M., Santillán-Sarmiento A., Ruocco M., Dattolo E., Marín-Guirao L., Procaccini G. (2021). The Genetic Component of Seagrass Restoration: What We Know and the Way Forwards. *Water*, 13(6): 829. <https://doi.org/10.3390/w13060829>

Pèrès J.-M., Picard J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, Bulletin*, 31(47): 5–137.

Pergent G., Romero J., Pergent-Martini C., Mateo M. A., Boudouresque C.-F. (1994). Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, 106: 139–146.

Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.-F. (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée (Marseille)*, 54: 3–27.

Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G. (1994). Primary production of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean Basin. *Marine Biology*, 120(1): 9–15. <https://doi.org/10.1007/BF00381936>

Piazzi L., Cinelli F. (1995). Restoration of the littoral sea bottom by means of transplantation of cuttings and sprouts. In: *Posidonia oceanica, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem*, Eds. F. Cinelli, E. Fresi, C. Lorenzi, & A. Mucedola. *Revista marittima, Italy*: 69–71.

Piazzi 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(1–6): 593–602. <https://doi.org/10.1515/botm.1998.41.1-6.593>

Piazzi L., Balestri E., Balata D., Cinelli F. (2000). Pilot transplanting experiment of *Posidonia oceanica* (L.) Delile to restore a damaged coastal area in the Mediterranean Sea. *Biologia marina mediterranea*, 7(2): 409–411.

Piazzi L., Balata D., Cinelli F. (2002). Epiphytic macroalgal assemblages of *Posidonia oceanica* rhizomes in the western Mediterranean. *European Journal of Phycology*, 37(1): 69–76. <https://doi.org/10.1017/S0967026201003432>

Piazzi L., Acunto S., Frau F., Atzori F., Cinti M. F., Leone L., Ceccherelli G.



(2021). Environmental engineering techniques to restore degraded *Posidonia oceanica* meadows. *Water*, 13(5): 661. <https://doi.org/10.3390/w13050661>

Pirrotta M., Tomasello A., Scannavino A., Maida G. D., 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. <https://doi.org/10.12681/mms.1045>

Procaccini G., Alberte R., Mazzella L. (1996). Genetic structure of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Western Mediterranean: ecological implications. *Marine Ecology Progress Series*, 140: 153–160. <https://doi.org/10.3354/meps140153>

Procaccini G., Piazzì L. (2001). Genetic Polymorphism and Transplantation Success in the Mediterranean Seagrass *Posidonia oceanica*. *Restoration Ecology*, 9(3): 332–338. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2001.009003332.x>

Redpath S. M., Young J., Evelyn A., Adams W. M., Sutherland W. J., Whitehouse A., Amar A., Lambert R. A., Linnell J. D. C., Watt A., Gutiérrez R. J. (2013). Understanding and managing conservation conflicts. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(2): 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.021>

Rende S. F., Bosman A., Di Mento R., Bruno F., Lagudi A., Irving A. D., Dattola L., Giambattista L. D., Lanera P., Proietti R. (2020). Ultra-High-Resolution Mapping of *Posidonia oceanica* (L.) Delile Meadows through Acoustic, Optical Data and Object-based Image Classification. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9): 647. <https://doi.org/10.3390/jmse8090647>

Robello C. (2019). Efficacia di un intervento di trapianto di *Posidonia oceanica* (L.) Delile nel golfo di Rapallo 23 anni dopo. *Tesi di Laurea Triennale in Scienze Naturali*, Università degli studi di Genova.

Ruiz-Frau A., Krause T., Marbà N. (2019). In the blind-spot of governance – Stakeholder perceptions on seagrasses to guide the management of an important ecosystem services provider. *Science of The Total Environment*, 688: 1081–1091. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.324>

Sánchez-Lizaso J. L., Fernández-Torquemada Y., González-Correa J. M. (2009). Evaluation of the viability of *Posidonia oceanica* transplants associated with a marina expansion. 52(5): 471–476. <https://doi.org/10.1515/BOT.2009.052>

Scanu S., Piazzolla D., Bonamano S., Penna M., Piermattei V., Madonia A., Manfredi Frattarelli F., Mellini S., Dolce T., Valentini R., Coppini G., Fersini G.,

Marcelli M. (2022). Economic Evaluation of *Posidonia oceanica* Ecosystem Services along the Italian Coast. *Sustainability*, 14(1): 489. <https://doi.org/10.3390/su14010489>

Scardi M., Carannante F., Casola E., Dato P. D., Nuzzo F. D., Valiante L. M. (in stampa). Monitoraggio a lungo termine di due trapianti di *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813. *Biologia Marina Mediterranea*.

Short F. T., Coles R. G. (2001). Global seagrass research methods. Elsevier  
Short F. T., Neckles H. A. (1999). The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany*, 63(3–4): 169–196. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(98\)00117-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(98)00117-X)

Short F., Davis R., Kopp B., Short C., Burdick D. (2002). Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US. *Marine Ecology Progress Series*, 227: 253–267. <https://doi.org/10.3354/meps227253>

Statton J., Dixon K. W., Hovey R. K., Kendrick G. A. (2012). A comparative assessment of approaches and outcomes for seagrass revegetation in Shark Bay and Florida Bay. *Marine and Freshwater Research*, 63(11): 984. <https://doi.org/10.1071/MF12032>

Tan Y. M., Dalby O., Kendrick G. A., Statton J., Sinclair E. A., Fraser M. W., Macreadie P. I., Gillies C. L., Coleman R. A., Waycott M., van Dijk K., Vergés A., Ross J. D., Campbell M. L., Matheson F. E., Jackson E. L., Irving A. D., Govers L. L., Connolly R. M., McLeod I. M., Rasheed M. A., Kirkman H., Flindt M. R., Lange T., Miller A. D., Sherman C. D. H. (2020). Seagrass Restoration Is Possible: Insights and Lessons From Australia and New Zealand. *Frontiers in Marine Science*, 7: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2020.00617>

Telesca L., Belluscio A., Criscoli A., Ardizzone G., Apostolaki E. T., Fraschetti S., Gristina M., Knittweis L., Martin C. S., Pergent G., Alagna A., Badalamenti F., Garofalo G., Gerakaris V., Louise Pace M., Pergent-Martini C., Salomidi M. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, 5(1): 1–14. <https://doi.org/10.1038/srep12505>

Valiante L. M., Carannante F., Casola E., Di Dato P., Di Nuzzo F., Scardi M., Fresi E. (2010). Monitoraggio a lungo termine di trapianti di *Posidonia oceanica* su grande scala. In: *Atti XX Congresso della SITE.*, “La Sapienza” Università di Roma 27–30.



Van Katwijk M., Bos A., De Jonge V., Hanssen L., Hermus D., De Jong D. (2009). Guidelines for seagrass restoration: importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine pollution bulletin*, 58(2): 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.09.028>

Vassallo P., Paoli C., Rovere A., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C. N. (2013). The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: A natural capital assessment. *Marine pollution bulletin*, 75(1–2): 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.044>

Veertil B. K., Ward R. D., Lima M. D. A. C., Stankovic M., Hoai P. N., Quang N. X. (2020). Opportunities for seagrass research derived from remote sensing: A review of current methods. *Ecological Indicators*, 117: 106560. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106560>

Ventura D., Mancini G., Casoli E., Pace D. S., Lasinio G. J., Belluscio A., Ardizzone G. (2022). Seagrass restoration monitoring and shallow-water benthic habitat mapping through a photogrammetry-based protocol. *Journal of Environmental Management*, 304: 114262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114262>

de Villèle X., Verlaque M. (1995). Changes and Degradation in a *Posidonia oceanica* Bed Invaded by the Introduced Tropical Alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina*, 38: 1–6. <https://doi.org/10.1515/botm.1995.38.1-6.79>

Zenone A., Pipitone C., D’Anna G., La Porta B., Bacci T., Bertasi F., Bulleri C., Cacciuni A., Calvo S., Conconi S., Gravina M. F., Mancusi C., Piazzi A., Targusi M., Tomasello A., Badalamenti F. (2021). Stakeholders’ Attitudes about the Transplantations of the Mediterranean Seagrass *Posidonia oceanica* as a Habitat Restoration Measure after Anthropogenic Impacts: A Q Methodology Approach. *Sustainability*, 13(21): 12216. <https://doi.org/10.3390/su132112216>

Zieman J. (1974). Methods for the study of the growth and production of the turtle grass, *Thalassia testudinum* Koning. *Acquaculture*, 4: 139–143.



Prodotto realizzato con il contributo del programma LIFE dell'Unione Europea progetto LIFE 16 GIE/IT/000761





**S.E.POS.S.O.**

Supporting Environmental governance  
for the POSidonia oceanica Sustainable  
transplanting Operations

Life project



*Prodotto realizzato con il contributo del programma  
LIFE dell'Unione Europea progetto LIFE 16 GIE/IT/000761*

