



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di *Posidonia oceanica*





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di *Posidonia oceanica*

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per suo conto non sono responsabili per l'uso improprio che può essere fatto delle informazioni contenute in questo manuale.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, MLG 106//2014
ISBN 978-88-448-0642-2

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Francesco Cinelli, Fabio Badalamenti, Agostino Tomasello, Luigi Maria Valiante

Coordinamento editoriale:

Daria Mazzella

ISPRA – Settore Editoria

Febbraio 2014

Autori

Per ISPRA:

Tiziano Bacci
Barbara La Porta
Chiara Maggi
Ornella Nonnis
Daniela Paganelli
Francesco Sante Rende*
Monica Targusi

Collaboratori:

Federico Boccalaro* – AIPIN e SIGEA
Giancarlo Bovina – GEOSPHERA
Nicola Cantasano – CNR ISAFoM
Milena Polifrone – Seaweed Canarias S. L.

Autori delle schede

Stefano Acunto (Scheda 8)
Dipartimento di Biologia, Università degli studi di Pisa

Adriana Alagna (Scheda 13-14)
Laboratorio di Ecologia Marina, IAMC-CNR, Castellammare del Golfo (Trapani)

Fabio Badalamenti (Scheda 13-14)
Laboratorio di Ecologia Marina, IAMC-CNR, Castellammare del Golfo (Trapani)

Marina Burgassi (Scheda 5-6-7-8)
A.C.S.D.I.S.S.D. “Anna Proietti Zolla” Viterbo

Sebastiano Calvo (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Piero Cappa (Scheda 8)
Area Marina Protetta Capo Rizzuto (Crotone)

Francesco Cinelli (Scheda 5-6-7-8)
Dipartimento di Biologia, Università degli studi di Pisa

Giovanni D’Anna (Scheda 13)
Laboratorio di Ecologia Marina, IAMC-CNR, Castellammare del Golfo (Trapani)

Giuseppe Di Carlo (Scheda 14)
World Wide Fund for Nature, Mediterranean Program Office, Roma

Germana Di Maida (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Paolo Ferrari (Scheda 13)
Saipem S.p.A., San Donato Milanese (Milano)

Maria Lorella Grippa (Scheda 8)
A.C.S.D.I.S.S.D. “Anna Proietti Zolla” Viterbo

Filippo Luzzu (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Carlo Magliola (Scheda 13)
Saipem S.p.A., San Donato Milanese (Milano)

Fabio Maria Montagnino (Scheda 4)
IDEA S.r.l., Termini Imprese, Palermo

Mauro Mottini (Scheda 13)
Saipem S.p.A., San Donato Milanese (Milano)

Carla Orestano (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Filippo Paredes (Scheda 4)
IDEA S.r.l., Termini Imprese, Palermo

Luigi Piazzi (Scheda 6-8)
Dipartimento di Biologia, Università degli studi di Pisa

Natalia Pierozzi (Scheda 13)
Saipem S.p.A., San Donato Milanese (Milano)

Maria Pirrotta (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Domenico Rocca (Scheda 8)
A.C.S.D.I.S.S.D. "Anna Proietti Zolla" Viterbo

Simone Scalise (Scheda 8)
Area Marina Protetta Capo Rizzuto (Crotone)

Antonino Scannavino (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Michele Scardi (Scheda 9-10-11-12)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Roma "Torvergata"

Agostino Tomasello (Scheda 1-2-3-4)
Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Palermo

Luigi Maria Valiante (Scheda 9-10-11-12)
Econ S.r.l., Napoli

* Gli Autori hanno partecipato anche alla stesura delle Schede 5-6-7-8

INDICE

PREFAZIONE	7
PREMESSA	8
1. LE FANEROGAME MARINE E LE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA	9
1.1 Le fanerogame marine mediterranee.....	9
1.2 La <i>Posidonia oceanica</i>	10
1.2.1 <i>Caratteristiche biologiche</i>	10
1.2.2 <i>Caratteristiche fisiografiche e struttura della prateria</i>	12
1.2.3 <i>Caratteristiche ecologiche</i>	14
1.2.4 <i>Il ruolo delle praterie di Posidonia oceanica nella difesa della costa</i>	15
1.3 Le cause di regressione delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	15
2. IL QUADRO NORMATIVO	17
Box 1 Infrastrutture di collegamento e <i>Posidonia oceanica</i> . Quale compensazione?.....	19
3. IL TRAPIANTO DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA	20
3.1 Il trapianto come strumento di conservazione e gestione degli ecosistemi marini.....	20
3.2 Le metodologie di trapianto di <i>Posidonia oceanica</i> : lo stato dell'arte.....	22
3.2.1 <i>Messa a punto e definizione di una strategia decisionale sito-specifica per la valutazione della fattibilità degli interventi di trapianto</i>	22
3.2.2 <i>Caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria (ricevente e donatrice)</i>	22
3.2.3 <i>Scelta della tecnica di trapianto</i>	25
3.2.4 <i>Scelta delle talee</i>	25
Box 2 Utilizzo di semi di <i>Posidonia oceanica</i> negli interventi di piantumazione.....	27
3.2.5 <i>Il monitoraggio dell'intervento di trapianto</i>	29
3.2.6 <i>Verifica della riuscita dell'intervento di piantumazione</i>	32
4. I TRAPIANTI DI POSIDONIA OCEANICA IN ITALIA: CASI STUDIO	33
Scheda 1 Selezione di aree per il reimpianto di <i>Posidonia oceanica</i> mediante modello multicriteriale ed impianti pilota.....	34
Scheda 2 Tecniche di reimpianto mediante griglie metalliche.....	40
Scheda 3 Recupero di fondali a <i>matte</i> morta nel golfo di Palermo mediante riforestazione con <i>Posidonia oceanica</i>	43
Scheda 4 Tecnica di reimpianto mediante supporto biodegradabile.....	47
Scheda 5 Tecnica di reimpianto mediante biostuoie e geostuoie.....	52
Scheda 6 Riforestazione di praterie di <i>Posidonia oceanica</i> all'isola d'Elba con l'uso di rivestimenti antiosivi (2007 – 2008).....	55
Scheda 7 Tecnica di reimpianto mediante materassi rivegetati.....	61
Scheda 8 L'impianto pilota dell'AMP Capo Rizzuto - Crotona (2008-2009).....	66
Scheda 9 Trapianto su moduli quadrati in cemento armati con rete metallica.....	70
Scheda 10 Trapianto in località Santa Marinella (2004-2010).....	75
Scheda 11 Trapianto in località Ischia (2008-2010).....	78
Scheda 12 Moduli alternativi per la piantumazione di praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	80
Scheda 13 Regressione e recupero naturale della prateria di <i>Posidonia oceanica</i> su substrati rocciosi artificiali: l'esperienza di Capo Feto.....	86
Scheda 14 Tecnica di reimpianto di <i>Posidonia oceanica</i> mediante utilizzo di materassi di pietrame.....	89
BIBLIOGRAFIA	93

“Dal 1980 a oggi si è persa ogni 30 minuti un’area ricoperta di fanerogame marine, equivalente a un campo di calcio. Ciò significa che nel tempo di gioco di una partita di calcio, tre campi di fanerogame marine scompaiono” (Dennison, 2009).

PREFAZIONE

Il sistema costiero italiano si sviluppa per circa 8.000 chilometri e rappresenta un'importante risorsa strategica, sia perché comprende aree fra le più densamente popolate sia perché è sede di un'intensa attività economica, principalmente legata a insediamenti urbani, turistici, portuali e industriali. Allo stesso tempo la fascia costiera ospita alcuni degli ambienti di maggior pregio naturalistico, caratterizzati da una elevata vulnerabilità, la cui tutela è da ritenersi prioritaria ai fini della conservazione della biodiversità.

Nel corso del secolo scorso, il rapidissimo e fortissimo processo di antropizzazione verificatosi lungo la fascia costiera ne ha significativamente alterato le caratteristiche naturali, con effetti non trascurabili sia sugli ambienti emersi quali spiagge, dune costiere e retro dune, sia su quelli sommersi, caratterizzati peraltro da alcuni tra gli ecosistemi marini più preziosi e sensibili del bacino mediterraneo, quali le praterie di *Posidonia oceanica*. Tutte le alterazioni indotte, causate da eventi naturali o da attività antropiche, dovrebbero essere quindi attentamente valutate, principalmente in considerazione dei possibili effetti che queste possono generare in termini di perdita di habitat e di diminuzione della biodiversità, soprattutto in presenza di habitat e/o specie sensibili. Da considerare che tale degrado comporta inevitabilmente anche effetti non trascurabili in termini socio-economici, particolarmente rilevanti soprattutto a scala locale.

La gestione della fascia costiera rappresenta, pertanto, una problematica fondamentale da affrontare attraverso un approccio integrato e non settoriale, attraverso la programmazione e gestione sostenibile delle risorse ambientali ivi presenti, nell'ottica della conservazione della naturalità degli ambienti marino-costieri. La gestione integrata non può prescindere dalla messa in opera di azioni di protezione e di ripristino, volte a recuperare sia la naturalità dei sistemi coinvolti sia la valenza economico-sociale degli stessi.

In questo contesto è nata l'idea di presentare lo stato dell'arte relativamente ad alcuni tipi di intervento finalizzati alla "Conservazione e gestione della naturalità negli ambienti marino-costieri", con specifico riferimento al contesto mediterraneo, e per i quali ad oggi non sono ancora disponibili linee guida e/o procedure consolidate.

Luciano Bonci

PREMESSA

Le praterie di *Posidonia oceanica* costituiscono uno degli ecosistemi di maggior pregio ambientale dell'ambiente marino costiero mediterraneo.

E' noto che esse sono oggi in forte regressione in tutti i paesi dell'area mediterranea e tale problematica è maggiormente sentita in prossimità dei grandi centri urbanizzati.

In tale contesto, accanto alle numerose azioni di protezione, si è ultimamente sviluppata l'idea di tutelare le praterie anche mediante interventi di trapianto, in grado da un lato di accelerare la colonizzazione lenta tipica della prateria, dall'altro di favorire il ripristino dell'ecosistema degradato.

Tuttavia il trapianto, indipendentemente dagli esiti attesi, è da considerarsi come l'ultimo tentativo di recupero dell'ecosistema degradato e non deve pertanto essere utilizzato come alibi per favorire lo sviluppo indiscriminato della fascia costiera.

I risultati ottenuti nell'ambito dei reimpianti di praterie di *P. oceanica* sono stati spesso negativi e possono essere considerati a tutt'oggi ancora incerti, soprattutto se riferiti ad ampi settori di prateria e valutati alla scala temporale adeguata, ovvero a lungo termine.

Tuttavia alcuni recenti risultati hanno fornito esiti incoraggianti, almeno sul breve e medio periodo ed è pertanto auspicabile che vengano svolte ulteriori ricerche e sperimentazioni. Le tecniche di reimpianto di praterie di fanerogame marine, comunque, possono essere considerate ancora tecniche innovative, non del tutto consolidate, la cui affidabilità non è comparabile con quella acquisita nelle tecniche di riforestazione condotte sulla terraferma.

In tale contesto è nata l'idea di presentare in un unico volume le informazioni oggi disponibili sul tema dei trapianti di *P. oceanica*, derivanti dall'analisi critica della letteratura scientifica e tecnica, fornendo così un utile strumento di supporto, redatto in lingua italiana, per i tecnici e gli amministratori coinvolti.

Il documento presentato è organizzato in diversi capitoli che trattano le caratteristiche principali delle praterie di *P. oceanica*, gli aspetti normativi, le procedure operative inerenti le attività di trapianto ed alcuni casi studio. Questi ultimi, curati direttamente dai responsabili dei singoli progetti, sono organizzati in schede tecniche che riportano sia la descrizione della tecnica di trapianto utilizzata, sia i risultati ottenuti.

Anna Maria Cicero

Massimo Gabellini

1 LE FANEROGAME MARINE E LE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA

1.1 Le fanerogame marine mediterranee

L'importanza ecologica delle praterie di fanerogame marine è nota per tutti i sistemi costieri, siano essi tropicali o di mari temperati. Le praterie di fanerogame, sia monospecifiche che costituite da più specie, sono caratterizzate da un'elevata produzione ed esportazione di biomassa e, aumentando l'eterogeneità del substrato, offrono una molteplicità di habitat e risorse alla fauna e alla flora ad esse associate. Le praterie inoltre costituiscono un'efficace barriera per la difesa della costa dall'erosione, per effetto sia della stabilizzazione dei fondi sia dello smorzamento operato sul moto ondoso.

In Mediterraneo sono presenti 5 specie di fanerogame marine: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* (Figura 1.1), *Halophila stipulacea* (Figura 1.2), *Zostera noltii* (Figura 1.3), *Zostera marina* (Figura 1.4).

***Posidonia oceanica* (L.) Delile** – È una specie endemica del mar Mediterraneo e per ampiezza di distribuzione e abbondanza rappresenta la specie più importante per l'equilibrio ecologico costiero. Si insedia su substrati sabbiosi, rocciosi e su *matte*, a profondità generalmente comprese tra la superficie e 40 m.

***Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson** – È molto comune nel mar Mediterraneo ove si insedia su fondi sabbiosi e fangosi, in prevalenza da 1 a 10 metri di profondità; si comporta da specie pioniera su substrati poco areati (Figura 1.1).

***Halophila stipulacea* (Forsskål) Ascherson** – È l'unica rappresentante delle Hydrocharitacee in mar Mediterraneo, è una specie ampiamente distribuita nei mari tropicali e ha colonizzato alcune aree del mar Mediterraneo orientale e meridionale a seguito dell'apertura del Canale di Suez. Recentemente ha esteso il proprio areale al Tirreno meridionale. Vive su substrati sabbiosi in prossimità della superficie, tuttavia è stata osservata fino a 40 metri di profondità (Figura 1.2).

***Zostera noltii* Hornemann** – Presenta un'ecologia simile a *Cymodocea nodosa* e come questa è distribuita nel mar Mediterraneo, ove è principalmente diffusa in luoghi riparati e poco profondi ed anche negli ambienti lagunari (Figura 1.3).

***Zostera marina* Linnaeus.** – È distribuita nell'oceano Atlantico lungo tutte le coste boreali settentrionali, ed è sempre più rara nel mar Mediterraneo, ove vive fino a 5-7 metri di profondità su fondi mobili (Figura 1.4).



Figura 1.1 - *Cymodocea nodosa*.



Figura 1.2 - *Halophila stipulacea*.



Figura 1.3 - *Zostera noltii* (foto di G. Favaro).



Figura 1.4 - *Zostera marina* (tratto da <http://m.a.r.n.sicilia.forumfree.it>).

1.2 La *Posidonia oceanica*

1.2.1 Caratteristiche biologiche

Posidonia oceanica (L.) Delile è una fanerogama marina endemica del mar Mediterraneo; la pianta è organizzata in radici, fusto, detto rizoma a causa dell' *habitus* ipogeo, e foglie (Figura 1.5).



Figura 1.5 - *Pianta di Posidonia oceanica*.

I rizomi sono fusti modificati che presentano la caratteristica di accrescersi sia in senso orizzontale (rizoma plagiotropo o tracciante) 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*.

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 (Figura 1.6). 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 e mezzo di lunghezza; 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.

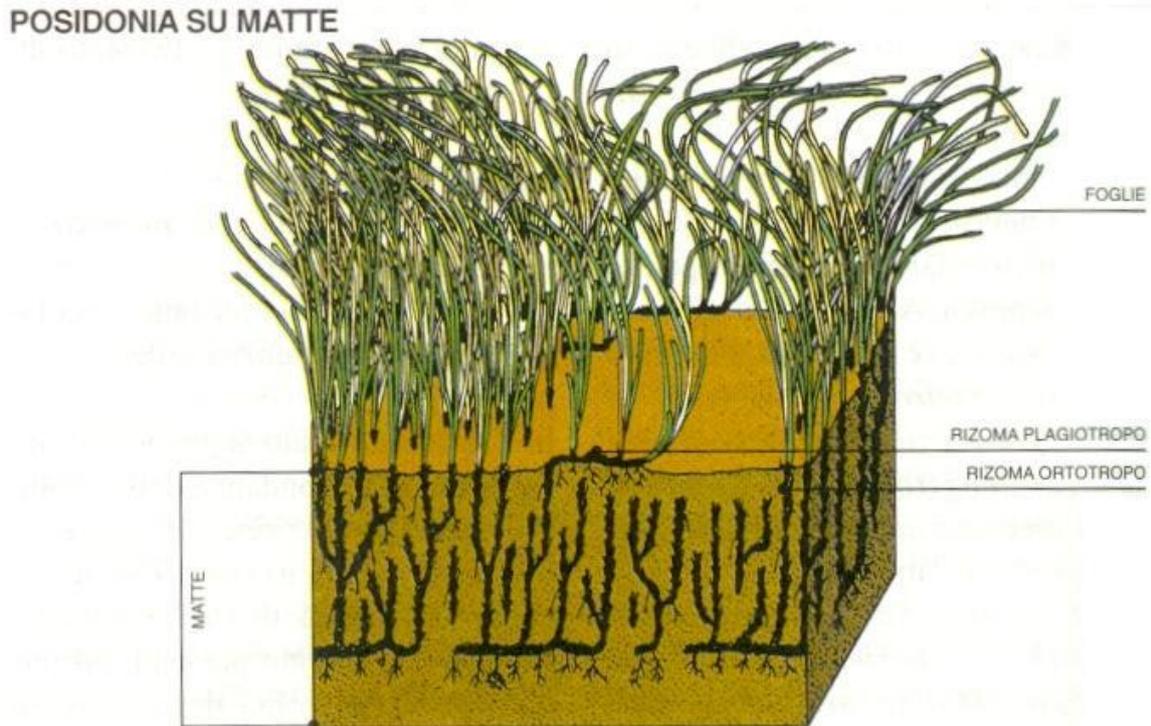


Figura 1.6 – *Struttura di Posidonia oceanica su mattoni, da Boudouresque e Meinesz (1982).*

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. Questo processo è particolarmente lento in quanto l'allungamento dei rizomi ortotropi raggiunge 1 centimetro all'anno e quello dei rizomi plagiotropi è di 3,5-7,5 centimetri all'anno. Dai rizomi plagiotropi possono, inoltre, originarsi ogni anno da 1 a 6 rizomi ad andamento sia orizzontale sia verticale. La riproduzione sessuale avviene mediante produzione di infiorescenze recanti 3-7 fiori, di cui alcuni ermafroditi e altri maschili (Figura 1.7). Dai fiori maturano i frutti (Figura 1.8) che, staccatisi dalla pianta, galleggiano fino alla rottura del pericarpo che libera il seme dal quale si svilupperà una nuova pianta.



Figura 1.7 - Infiorescenza di *Posidonia oceanica*.

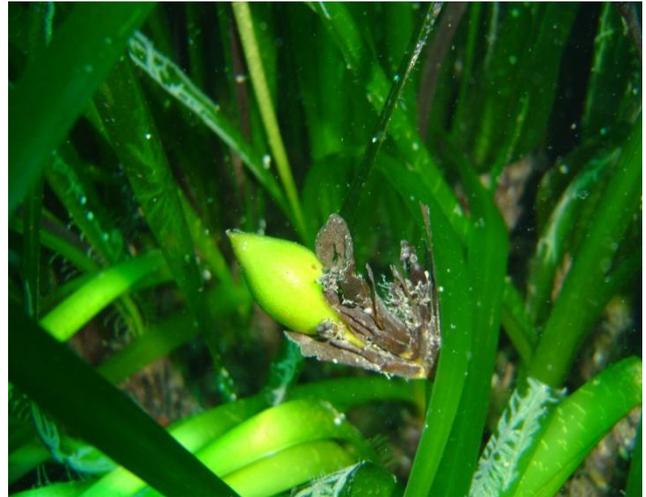


Figura 1.8 - Frutti di *Posidonia oceanica*.

1.2.2. Caratteristiche fisiografiche e struttura della prateria

E' noto che *P. 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 distese chiamate praterie, caratterizzate da densità variabile, normalmente decrescente all'aumentare della profondità. Le praterie si estendono dalla superficie fino a circa 30-35 metri di profondità, spingendosi a volte fino a 40-50 metri in acque particolarmente limpide (Figura 1.9).

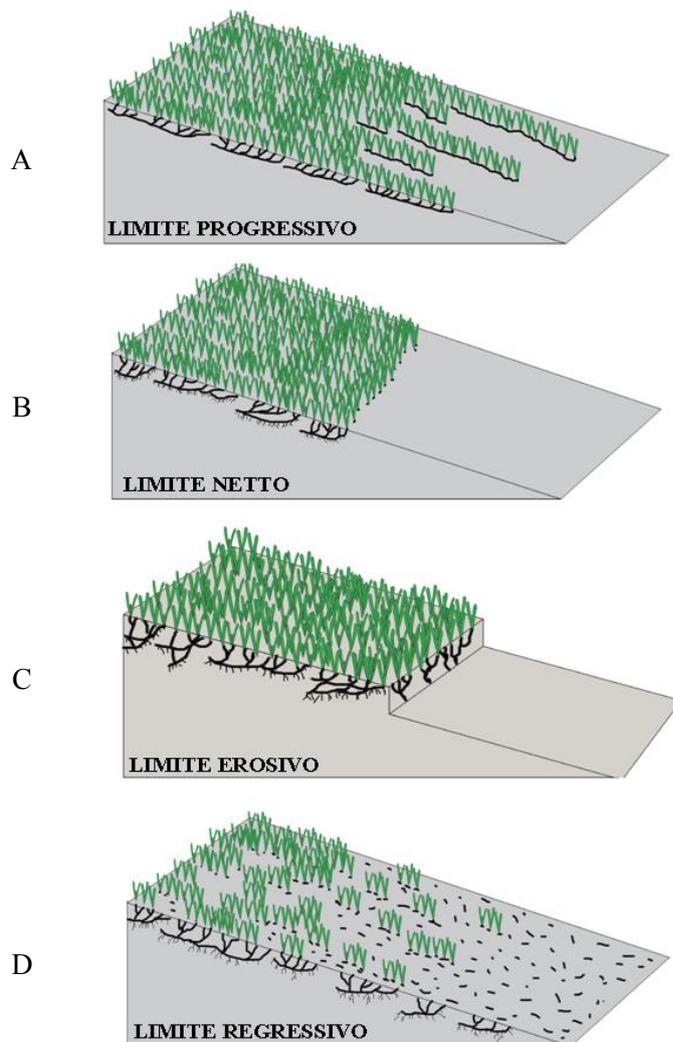


Figura 1.9 - Prateria di *Posidonia oceanica*.

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 base alla distribuzione delle piante in relazione alla natura del fondo, la prateria è detta continua (il fondo è interamente colonizzato dalla pianta), discontinua (la prateria è interrotta dalla presenza di canali e radure) o discreta (distribuzione a macchie). In funzione della composizione si possono rinvenire praterie "pure" o monospecifiche (caratterizzate dalla sola specie *P. oceanica*) e "miste" o plurispecifiche (caratterizzate dalla copresenza 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 difforme) (Buia *et al.*, 2003).

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 a *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 (Meinesz e Laurent, 1978; Pergent *et al.*, 1995) (Figura 1.10). Per ulteriori approfondimenti si rimanda a Montefalcone (2009).



© ISPRA

Figura 1.10 - Schema dei diversi tipi di limite inferiore delle praterie a *Posidonia oceanica*. Legenda: A=limite progressivo; B=limite netto; C=limite erosivo; D=limite regressivo (da Pergent *et al.*, 1995, modificato).

1.2.3 Caratteristiche ecologiche

Le praterie di *P. 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* (Mazzella *et al.*, 1989; Gambi *et al.*, 1992; Buia *et al.*, 2003). Le specie associate allo strato fogliare sono spesso esclusive delle foglie di *P. oceanica* (Figura 1.11); le specie associate ai rizomi, invece, non presentano elementi esclusivi e caratteristiche così peculiari, in quanto simili alle specie sciafile dell'infralitorale o del coralligeno circalitorale, in funzione della profondità e della quantità di luce corrispondenti (Figura 1.12) (Boudouresque, 1968; Piazzì *et al.*, 2002).

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 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).

E' 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, da un'elevata biomassa vegetale 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 sottoforma 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 il la base di una complessa rete trofica (Mazzella *et al.*, 1992). Inoltre, la prateria riveste un ruolo estremamente importante come polo di biodiversità, in quanto ospita circa il 25% di tutte le specie presenti in mar Mediterraneo.

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.



Figura 1.11 - Foglie di *Posidonia oceanica* epifitate.



Figura 1.12 - Rizomi di *Posidonia oceanica* epifitati.

1.2.4 Il ruolo delle praterie di *Posidonia oceanica* nella difesa della costa

È noto che le praterie di *P. 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 (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, 1984a), rappresentando perciò un'importante cintura naturale di contenimento e di protezione delle coste dall'azione erosiva del moto ondoso.

E' evidente come la gestione delle *banquette*, considerate le possibili ripercussioni ambientali derivanti dalla loro non corretta gestione, costituisca un aspetto fondamentale di cui tenere conto in un'ottica di pianificazione e programmazione degli interventi da attuare sulla fascia costiera, secondo i principi della gestione integrata (ISPRA, 2010; Simeone e De Falco, 2013). Da ciò deriva l'auspicio che tali aspetti debbano essere affrontati nell'ambito di linee guida consolidate e condivise, anche a livello locale.

Nell'intento di salvaguardare le praterie a *P. oceanica*, quali barriere naturali contro l'erosione costiera assume un'importanza basilare definire 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 (Pergent *et al.*, 1995).

1.3 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 (Pergent *et al.*, 1995; Montefalcone, 2009). Alcuni Autori asseriscono che *P. oceanica* mostra 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 delle praterie sono da collegare alla crescente pressione antropica agente sull'ambiente costiero (quali la realizzazione di opere costiere, la posa di cavi e condotte sottomarini, il crescente inquinamento delle acque) che determina effetti sulla prateria essenzialmente riconducibili alle variazioni di torbidità della colonna d'acqua e alle variazioni dei tassi di sedimentazione, nonché agli effetti diretti imputabili anche ai danni generati dalla pesca a strascico e dagli ancoraggi (Boudouresque *et al.*, 2006).

In particolare, l'aumento di torbidità con la conseguente riduzione della trasparenza delle acque riduce la capacità fotosintetica della pianta e risulta essere una delle cause più frequenti di regressione delle praterie (Larkum e West 1983; Duarte 1991). L'alta concentrazione di inquinanti organici, causando un eccessivo sviluppo algale, può provocare sia un aumento della torbidità delle acque sia un eccessivo sviluppo di epifiti sulle foglie di *P. oceanica*. 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 sottocosta, 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. E' 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 (Marbà e Duarte 1997; Manzanera *et al.*, 1998), nel secondo promuovendo lo scalzamento dei rizomi e rendendo quindi la prateria più sensibile ai fenomeni erosivi (Jeudy de Grissac, 1979; Astier, 1984).

Altre cause di regressione delle praterie possono infine essere riconducibili all'introduzione di specie alloctone che possono entrare in competizione con *P. oceanica* (Montefalcone *et al.*, 2007, 2010), Come nel caso dell'espansione di due specie di alghe verdi di origine tropicale appartenenti al genere *Caulerpa* (de Villele e Verlaque, 1995).

Per una disamina esaustiva delle cause di regressione delle praterie di *P. oceanica* si veda Boudouresque *et al.*, 2006.

2. IL QUADRO NORMATIVO

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

A livello di prateria la *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) 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, 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 di incidenza". La Valutazione d'incidenza 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 il mancato rispetto dell'iter indicato comporterà, da parte della Comunità Europea, l'avvio di specifiche procedure di infrazione.

Alle Angiosperme, cui appartiene la specie *Posidonia oceanica*, si fa inoltre riferimento anche nell'ambito della Direttiva europea 2000/60/CE (recepita 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 chimico-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 europea Strategia Marina (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.

Ulteriori strumenti di protezione delle praterie di *P. oceanica* sono identificabili nelle leggi 426/1998 (Nuovi interventi in campo ambientale) e 93/2001 (Disposizioni in campo ambientale) che hanno individuato specifiche disposizioni finanziarie per la realizzazione di studi e di programmi per la protezione e la cartografia delle praterie italiane. Precedenti informazioni sulla distribuzione delle praterie in Italia erano state raccolte con il progetto "BioItaly" (avviato nel 1994 dal MATTM) che aveva nello specifico lo scopo di identificare le aree in cui sono presenti gli habitat e le specie riportate negli allegati delle direttive europee succitate e che ha pertanto portato, per l'ambiente marino, all'individuazione dei siti caratterizzati dalla presenza di praterie di *P. oceanica*.

I dati ufficiali sulla distribuzione delle praterie di *P. oceanica* in Italia sono consultabili online sul portale Web GIS della banca dati Si.Di.Mar. (www.sidimar.tutelamare.it)¹.

Oltre alle succitate norme, le praterie di *P. oceanica* vengono trattate nella giurisprudenza nell'ambito delle procedure autorizzative connesse alla realizzazione di opere costiere. Sempre più spesso, infatti, nel caso di opere costiere la cui realizzazione può incidere sullo stato di conservazione delle praterie, i decreti autorizzativi prescrivono il trapianto di piccoli settori di prateria come una delle possibili forme di compensazione degli impatti (Box 1).

Si ritiene infine 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 152/2006.²

¹ I dati del programma nazionale delle mappature delle praterie di *Posidonia oceanica*, sono disponibili, per la consultazione a enti pubblici, comuni, province e regioni, ed enti di ricerca scientifica. La richiesta di consultazione delle cartografie, disponibili in formato GIS, va inoltrata alla Direzione Protezione della Natura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

² Art. 300, commi 1 e 2 (a, b, c) del decreto legislativo 152/2006:

1. E' danno ambientale qualsiasi deterioramento significativo e misurabile, diretto o indiretto, di una risorsa naturale o dell'utilità assicurata da quest'ultima.

2. Ai sensi della direttiva 2004/35/CE costituisce danno ambientale il deterioramento, in confronto alle condizioni originarie, provocato:

a) alle specie e agli habitat naturali protetti dalla normativa nazionale e comunitaria di cui alla legge 11 febbraio 1992, n.157, recante norme per la protezione della fauna selvatica, che recepisce le direttive 79/409/CEE del Consiglio del 2 aprile 1979; 85/411/CEE della Commissione del 25 luglio 1985 e 91/244/CEE della Commissione del 6 marzo 1991 ed attua le convenzioni di Parigi del 18 ottobre e di Berna del 19 settembre 1979, e di cui al decreto del Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n. 357, recante regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche, nonché alle aree naturali protette di cui alla legge 6 dicembre 1991, n. 394, e successive norme di attuazione;

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 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.

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 raggiungere gli scopi previsti, la Convenzione si è dotata di 7 protocolli: nell'ambito del presente studio, 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).

-
- b) *alle acque interne, mediante azioni che incidano in modo significativamente negativo sullo stato ecologico, chimico e/o quantitativo oppure sul potenziale ecologico delle acque interessate, quali definiti nella direttiva 2000/60/CE, ad eccezione degli effetti negativi cui si applica l'articolo 4, paragrafo 7, di tale direttiva;*
- c) *alle acque costiere e a quelle ricomprese nel mare territoriale mediante le azioni suddette, anche se svolte in acque internazionali.*

BOX 1
INFRASTRUTTURE DI COLLEGAMENTO E POSIDONIA OCEANICA.
QUALE COMPENSAZIONE?

La realizzazione di infrastrutture, quali cavi e condotte, in presenza di praterie di Posidonia oceanica in buona salute, può comportare un impatto sull'ecosistema praticamente trascurabile qualora si ricorra alla semplice posa o all'utilizzo di dispositivi che ancorano il cavo sul fondo marino e consentono alla prateria di ricoprirlo e incorporarlo nella matre (Bacci et al. 2013). In determinati contesti può essere, tuttavia, necessario l'impiego di strumenti di protezione del cavo, quali l'interramento, che possono determinare impatti consistenti sulle praterie (Francour et al., 1992; Di Carlo et al., 2011). L'interramento, infatti, diventa indispensabile, per ragioni di sicurezza, nel caso di gasdotti in corrispondenza degli approdi costieri (Decreto Ministero dello sviluppo economico del 17.04.08), o auspicabile qualora esista un ragionevole rischio di trascinarsi e danno del cavo a causa della pesca a strascico illegale. Lo scavo realizzato per l'interramento, in aree a prateria, può distruggerne porzioni anche rilevanti (di dimensioni proporzionali allo scavo), con conseguente frammentazione dell'habitat da essa rappresentato, alimentando, inoltre, ulteriori possibili impatti indiretti sull'intera prateria. Sebbene sia necessario privilegiare sempre tecniche di protezione del cavo alternative all'interramento (es. dissuasori passivi antistrascico), qualora queste non siano attuabili, è ormai pratica diffusa l'individuazione di misure di compensazione (es: il trapianto di P. oceanica), che non sempre sono proporzionate, in termini economici, al danno arrecato.

Lo strumento della compensazione, ovvero tutte quelle misure destinate ad attenuare gli effetti dell'impatto di un'attività antropica, deve essere adoperato con la massima prudenza al fine di non utilizzarlo quale alibi per realizzazione di opere che prevedono la distruzione di praterie, poiché non esiste alcuna compensazione reale alla distruzione di una prateria. Tale strumento, inoltre, deve essere commisurato al danno, prevedendo già in fase di progettazione la quantificazione del danno arrecato alla prateria, la valutazione degli effettivi benefici che l'ecosistema può trarre dalla compensazione proposta nonché la compatibilità ambientale della sua realizzazione, al fine di evitare di realizzare opere di scarso interesse ambientale o di facile insuccesso, pur di esaurire il budget economico calcolato come equivalente del danno arrecato.

A garanzia che le misure di compensazione non diventino un alibi per nuove distruzioni e che la compensazione prevista abbia una effettiva valenza in termini ambientali, le Autorità preposte al rilascio delle autorizzazioni all'esecuzione di opere o infrastrutture in mare, che interessano aree con praterie di P. oceanica, dovrebbero prevedere, dalla fase autorizzativa fino alle successive fasi di monitoraggio, il supporto di un Ente Scientifico pubblico, con comprovata esperienza in materia.

Questo consentirebbe di prevedere, già in fase progettuale, una minimizzazione del danno e una mitigazione degli effetti mediante l'impiego di accorgimenti e modalità operative tali da permettere sia una riduzione della superficie direttamente impattata sia un contenimento degli impatti nelle aree limitrofe.

Qualche esempio.

Durante le operazioni di scavo o affossamento di cavi e/o condotte dovrebbero essere adoperate tecnologie in grado di limitare la fascia di fondo a P. oceanica interessata dalle operazioni di movimentazione; dovrebbe, inoltre, essere contenuta la risospensione e il trasporto di sedimenti evitando, ad esempio, l'impiego di macchine che utilizzano sistemi di fluidificazione del sedimento. I mezzi navali operanti all'interno di aree in cui sono presenti praterie di P. oceanica dovrebbero essere dotati di sistemi di ancoraggio ad alta efficienza con cavi tessili galleggianti; tale tecnologia dovrebbe essere utilizzata unitamente a una pianificazione della posizione delle ancore, selezionando intramatte o aree già compromesse.

Le consuete operazioni di collegamento in superficie, e il successivo riposizionamento sul fondo del cavo/condotto saldato, dovrebbero essere eseguite fuori dalla prateria e comunque ad opportuna distanza da ecosistemi sensibili.

Inoltre, per favorire la ricolonizzazione spontanea della pianta nel tracciato dello scavo, il ricoprimento della trincea dovrebbe essere effettuato con lo stesso materiale scavato contenente parti di matre e resti di rizomi divelti.

Nel corso di tutte le operazioni in mare dovrebbero essere attuate misure per limitare la diffusione di alghe alloctone e/o infestanti (es: Caulerpa racemosa, Caluerna taxifolia).

Infine, qualora la ripiantumazione sia stata individuata quale idonea misura di compensazione, il supporto di un Ente Scientifico pubblico, competente in materia, può garantire che l'esecuzione dei programmi di reimpianto possa essere effettuata con tecniche e protocolli operativi non adeguati.

3. IL TRAPIANTO DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA

Prima di entrare nel merito specifico delle possibili modalità di intervento finalizzate al trapianto di praterie di *P. oceanica*, si è ritenuto opportuno fornire alcune indicazioni relativamente all'uso della terminologia corrente, che vede spesso impiegati voci differenti quali piantumazione, trapianto, riforestazione eccetera. Per esempio, in termini generali, viene definita "piantumazione" l'operazione finalizzata alla messa a dimora di materiale vegetale, in questo caso di talee di *P. oceanica*; in particolare, Calumpong e Fonseca (2001) parlano di "trapianto di talee" (*transplants*) riferendosi alle operazioni di trasferimento di materiale vegetale da una prateria donatrice a un nuovo sito o prateria ricevente.

Considerato quindi che non esiste ad oggi un accordo univoco sui termini da utilizzare, in questo contesto le voci trapianto, reimpianto, piantumazione, restauro e riforestazione sono utilizzate come sinonimi.

In questo volume è trattato principalmente il caso del trapianto a mezzo talee, riferito sia agli interventi di compensazione che prevedono la rimozione e lo spostamento di porzioni di prateria a seguito del danneggiamento diretto della prateria, indotto nell'ambito della realizzazione di opere e/o interventi costieri (come costruzione di opere di difesa costiera, opere portuali, posa di cavi e condotte sottomarine), sia a tutti quegli interventi messi in atto a seguito di un generale deterioramento dello stato di conservazione di una prateria, generalmente riconducibile a pressioni e impatti antropici che agiscono anche indirettamente sulla prateria (come scarichi di acque reflue, impianti di maricoltura, movimentazione di sedimenti in ambito costiero e, sebbene vietati, ancora relativamente diffusi, pesca a strascico e ancoraggi).

Per quanto concerne infine le esperienze di piantumazione di praterie di *P. oceanica* mediante l'utilizzo di talee derivanti da semi o da plantule in vitro, si rimanda alle informazioni contenute nel box 2.

3.1 Il trapianto come strumento di conservazione e gestione degli ecosistemi marini

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 *P. oceanica* sono oggi in forte regressione in tutti i paesi dell'area mediterranea (Boudouresque *et al.*, 2006). Le praterie, infatti, sono assai vulnerabili agli impatti antropici e la loro regressione è particolarmente accentuata soprattutto in prossimità dei grandi centri urbani, industriali e portuali (Bourcier *et al.*, 1979; Boudouresque e Meinesz, 1982; Meinesz e Lefèvre, 1984; Pérès, 1984; Blanc e Jeudy de Grissac, 1989; Meinesz *et al.*, 1991a; Bianchi e Peirano, 1995; Pasqualini *et al.*, 1999; Boudouresque *et al.*, 2006).

Tutto ciò, unitamente alla lentezza dei processi di ricolonizzazione naturale, ha favorito 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.*, 1990, 1991b; Molenaar e Meinesz, 1992a, 1992b; Calumpong e Fonseca, 2001; Boudouresque *et al.*, 2006). *P. oceanica* è infatti una delle Magnoliophyte con la più lenta crescita al mondo, pertanto, di fronte a effetti distruttivi, di stress o di disturbo, il trapianto ha il solo scopo di ovviare in parte a questa lentezza, accelerando, per quanto possibile, il processo naturale di recupero. Infatti, la gestione corretta di un intervento di trapianto non può prescindere dalla consapevolezza che il trapianto stesso è un lento processo di ricolonizzazione da parte di talee selezionate che si espandono fino a ricostituire, solamente dopo molti anni, una prateria continua. Un trapianto, quindi, non deve essere immaginato come un rapido rinverdimento, così come avviene per un prato in ambiente terrestre.

Alcune tecniche di reimpianto hanno dimostrato, negli anni, di essere valide per le fanerogame marine pioniere, caratterizzate da un elevato tasso di accrescimento e da una discreta tolleranza a condizioni ambientali avverse.

Storicamente le prime esperienze di piantumazione di fanerogame marine sono state associate al tentativo di rafforzare/migliorare lo stato di salute di praterie (di fanerogame marine) il cui stato di conservazione era stato compromesso dal generale peggioramento delle condizioni ambientali, come nel caso dei rimpianti con *Thalassia testudinum*, condotti con successo in un'area in cui la specie era stata distrutta a causa dell'immissione in mare di reflui termici (Thourhaug, 1979). Le stesse tecniche non sono risultate altrettanto efficaci per le praterie di *P. oceanica*, caratterizzate al contrario da una

crescita estremamente lenta e da una limitata tolleranza alla variazione di alcuni parametri, quali la trasparenza dell'acqua e i tassi di sedimentazione.

Accanto all'idea di reimpiantare praterie distrutte, danneggiate o sofferenti per effetto delle alterazioni causate nel passato sull'ambiente marino-costiero (ad esempio variazioni della dinamica costiera indotte dalla realizzazione di opere costiere), negli ultimi anni il trapianto di limitati 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 associati³.

A tal riguardo, in considerazione sia dell'elevata sensibilità degli habitat a praterie di *P. oceanica*, sia della modesta esperienza nella realizzazione degli interventi di piantumazione, è opportuno fare alcune riflessioni.

Da un lato è doveroso sottolineare come oggi esista concretamente il rischio che le operazioni di compensazione si risolvano esclusivamente in un alibi da esibire nei confronti dell'opinione pubblica in quanto "...omissis..." non esiste una compensazione reale a un danno e la distruzione di una prateria di *P. oceanica* è un fenomeno irreversibile, perché il biotopo è stato definitivamente distrutto" (Boudouresque *et al.*, 2006).

In Mediterraneo sono diversi gli esempi di reimpianti di *P. oceanica*, quale misura di compensazione, realizzati senza tenere conto della necessità che le procedure di trapianto da un lato devono essere sito-specifiche dall'altro devono essere inserite in più ampi progetti di gestione integrata della fascia costiera (Boudouresque *et al.*, 2006). Oltretutto, la necessità di una valutazione delle procedure più idonee da adottare caso per caso deriva non solo dalla complessità che caratterizza tali procedure, ma anche dalla constatazione dell'elevato numero di insuccessi documentati in letteratura, soprattutto per interventi di grande estensione. I risultati in termini di successo dei trapianti di fanerogame marine, in base ai dati disponibili su scala mondiale, restano alquanto contrastanti. In Mediterraneo, ad esempio, a più di 25 anni dal primo intervento di trapianto di talee di *P. oceanica* non si è costituita una vera prateria (Boudouresque *et al.*, 2000).

Tuttavia, alcune delle esperienze più recenti sembrano indicare risultati incoraggianti in termini di successo delle attività di trapianto, soprattutto nel caso di interventi a piccola scala con talee, semi e giovani plantule di *P. oceanica*, (Borum *et al.*, 2004; Diaz-Almela e Duarte, 2008; Carannante, 2011).

A tutt'oggi, le tecniche di reimpianto di praterie di fanerogame marine possono essere considerate ancora tecniche innovative, non del tutto consolidate, la cui affidabilità non è comparabile con quella acquisita nelle tecniche di riforestazione condotte sulla terraferma (Boudouresque *et al.*, 2006). Tuttavia, attualmente in Italia sono in corso diversi progetti per la messa a punto e sperimentazione di nuove tecniche di reimpianto, al fine di individuare modalità operative sempre più affidabili, che siano al contempo economicamente sostenibili, tali da poter essere impiegate anche ad una scala spaziale più vasta. E' pertanto auspicabile investire in attività di ricerca volte a testare e sviluppare le tecniche di trapianto soprattutto per conoscere la variabilità delle risposte biologiche associate e selezionare quelle più idonee in funzione sia delle diverse caratteristiche dei siti sia delle specifiche esigenze progettuali.

Secondo alcune stime, il valore dei servizi forniti da un ecosistema a fanerogame marine raggiunge mediamente 15837 euro ha⁻¹a⁻¹, pari a due ordini di grandezza maggiore di quello stimato per le terre coltivate (Costanza *et al.*, 1997; Terrados e Borum, 2004); questo valore, nel caso di *P. oceanica* è stimato pari a 1720000 euro ha⁻¹a⁻¹ (Vassallo *et al.*, 2013).

Pertanto, sia il valore ecologico sia il servizio ecosistemico fornito dalle praterie impongono una scrupolosa valutazione nelle fasi autorizzative di opere la cui realizzazione possa comportare effetti diretti e/o indiretti su settori più o meno ampi di prateria. E' da sottolineare che, allorché tali autorizzazioni vengano concesse, dovranno essere valutate tutte le prescrizioni utili ai fini della minimizzazione dei danni (Box 1). Inoltre, qualora il trapianto di *P. oceanica* sia indicato come misura compensativa dell'impatto, è necessario che il trapianto venga realizzato utilizzando, caso per caso, tecniche di intervento ragionevolmente consolidate e affidabili, già testate mediante monitoraggi pluriennali.

In mancanza di protocolli operativi di riferimento, nonché in considerazione della grande "fragilità" dell'habitat "praterie di *P. oceanica*", sarebbe infine auspicabile che gli interventi di piantumazione vengano condotti sotto la supervisione di un Ente Scientifico pubblico, con comprovata esperienza in materia, che dovrebbe avere il compito di validare sia il progetto sia il piano di monitoraggio proposto.

³ Le misure di mitigazione hanno l'obiettivo di ridurre o contenere gli impatti ambientali previsti, mentre le misure di compensazione hanno lo scopo di migliorare le condizioni dell'ambiente interessato, ma non riducono gli impatti attribuibili specificamente all'intervento considerato.

3.2 Le metodologie di trapianto di *Posidonia oceanica*: lo stato dell'arte

In generale, la piantumazione di talee di *P. oceanica* rappresenta un intervento difficile e delicato per via dell'elevata complessità del sistema rappresentato dalle praterie stesse. La gestione corretta di un intervento di piantumazione richiede quindi 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 l'intervento.

Tali fasi, mutuando quanto riportato in letteratura (Calumpang e Fonseca, 2001), possono essere riassunte nei seguenti passaggi:

- messa a punto e definizione di una strategia decisionale sito-specifica per valutare la fattibilità degli interventi di trapianto;
- caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria (ricevente e donatrice);
- scelta della tecnica di trapianto;
- scelta delle talee;
- monitoraggio delle talee;
- verifica della riuscita dell'intervento di piantumazione.

Nell'insieme, tutte queste fasi rappresentano il *core* di tutto il processo.

3.2.1 Messa a punto e definizione di una strategia decisionale sito-specifica per la valutazione della fattibilità degli interventi di trapianto

Per la messa a punto di una strategia decisionale sito-specifica, da effettuare prima di avviare una intervento di trapianto, è necessario effettuare un'analisi costi/benefici, prendendo in considerazione tutti gli elementi coinvolti nel progetto, al fine di verificare se, alla luce delle conoscenze disponibili, ci siano, in concreto, i presupposti affinché l'intervento di piantumazione possa essere realizzato con successo.

Una volta verificata l'esistenza dei presupposti tecnici ed economici che sono alla base di un intervento di trapianto, è possibile applicare un modello concettuale, che sia in grado di guidare il decisore nel processo di valutazione della fattibilità dell'intervento (Boudouresque, 2000; Boudouresque *et al.*, 2006). Tale modello prevede che la verifica venga condotta sia a livello locale (nella prateria in cui si prevede di effettuare l'intervento di trapianto), sia a livello di sito (rappresentato da un territorio omogeneo esteso, ad esempio fino all'unità fisiografica) e prende in esame i seguenti elementi: superficie totale delle praterie esistenti; superficie persa annualmente a causa della regressione; superficie guadagnata ogni anno per rigenerazione naturale (se presente); superficie che, ragionevolmente, si attende di guadagnare con la piantumazione, a intervalli di 10, 20 e 50 anni; costo del trapianto, comparato con gli effetti derivanti da un investimento alternativo, da mettere in atto eventualmente per il controllo delle cause sito-specifiche responsabili della regressione (miglioramento della depurazione delle acque, installazione di barriere anti-strascico, posizionamento di ormeggi organizzati per le imbarcazioni da diporto, creazione di aree marine protette eccetera).

3.2.2 Caratterizzazione e valutazione del sito e della prateria (ricevente e donatrice)

La caratterizzazione e la valutazione del sito e della prateria ricevente e donatrice rappresentano una fase molto delicata nell'ambito degli interventi di piantumazione di talee di *P. oceanica*. Secondo Short *et al.* (2001) la scelta della prateria ricevente in cui realizzare un intervento di piantumazione dovrebbe essere sempre sostenuta dalla buona conoscenza degli aspetti ambientali e geografici. In particolare, questi sono importanti al fine di ampliare, alla scala del sito, lo stato delle conoscenze dell'ecosistema considerato. Per caratterizzare e valutare le proprietà del sito e della prateria, è possibile fare riferimento, in accordo con la letteratura specialistica (Borum *et al.*, 2004; Díaz-Almela e Duarte, 2008), ai seguenti descrittori:

a livello di sito

- *descrittori geomorfologici, sedimentologici e idrologici*: geomorfologia e profilo della costa, morfologia e batimetria del fondo, caratteristiche litologiche e sedimentologiche (granulometria dei sedimenti superficiali e tassi di sedimentazione), regime idrodinamico locale;
- *descrittori chimico-fisici della colonna d'acqua*: intensità della luce, trasparenza, ossigeno disciolto, salinità, temperatura, pH, carico di nutrienti e particolato sospeso (organico e inorganico).

a livello di prateria

- *descrittori fisiografici*: tipologia e distribuzione della prateria, substrato di impianto, tipologia di limite inferiore;
- *descrittori strutturali* : densità dei fasci fogliari e copertura %;
- *descrittori funzionali*: fenologia, produzione di biomassa fogliare e dei rizomi.

Ulteriori informazioni, utili ai fini di una corretta valutazione del sito e della prateria ricevente nonché della prateria donatrice, possono inoltre essere raccolte relativamente a (Díaz-Almela e Duarte, 2008):

- distanza della prateria donatrice rispetto alla prateria ricevente⁴;
- disponibilità complessiva di rizomi da prelevare nella prateria donatrice e da utilizzare nell'intervento di trapianto;
- variabilità genetica tra la prateria ricevente e donatrice di *P. oceanica* (Procaccini *et al.*, 2001).

Per una rappresentazione grafica e una migliore comprensione dei termini sopra descritti di “sito”, di “prateria ricevente” e di “prateria donatrice” si rimanda al paragrafo 3.2.5 (Il monitoraggio dell'intervento di trapianto).

In questo contesto, si propone un modello concettuale derivante dalla combinazione del modello proposto da Boudouresque *et al.* (2006) e quello sviluppato da Campbell *et al.* (2000), da utilizzare nella fase di caratterizzazione e valutazione dell'idoneità di un sito e della relativa prateria potenzialmente interessata da interventi di piantumazione, e basato su alcuni dei descrittori precedentemente considerati (Figura 3.1).

Inoltre, tenuto conto di quanto riportato in Fonseca *et al.* (1998), si sottolinea che, per favorire l'esito positivo del trapianto, è opportuno:

- scegliere la prateria ricevente a profondità simile o inferiore a quella della prateria donatrice;
- verificare che l'area scelta per il trapianto sia sufficientemente ampia da consentire nel medio e lungo periodo l'espansione della prateria trapiantata.

A tal proposito si sottolinea l'importanza di condurre, prima di ogni intervento di trapianto, specifici progetti pilota al fine di individuare, attraverso la sperimentazione condotta in piccoli settori interni al sito precedentemente individuato per il trapianto, sia le aree più idonee sia le tecniche più appropriate per lo specifico caso considerato⁵.

⁴ La distanza tra i siti può infatti condizionare fortemente le scelte logistiche e/o procedurali dell'intervento

⁵ Ad esempio, il “Codice di buon Comportamento”, emanato dal Ministero dell'Ambiente francese, prevede che ogni riforestazione debba essere preceduta da una riforestazione sperimentale di qualche centinaio di talee, al fine di valutare l'idoneità del sito prima di effettuare il trapianto su ampia scala.

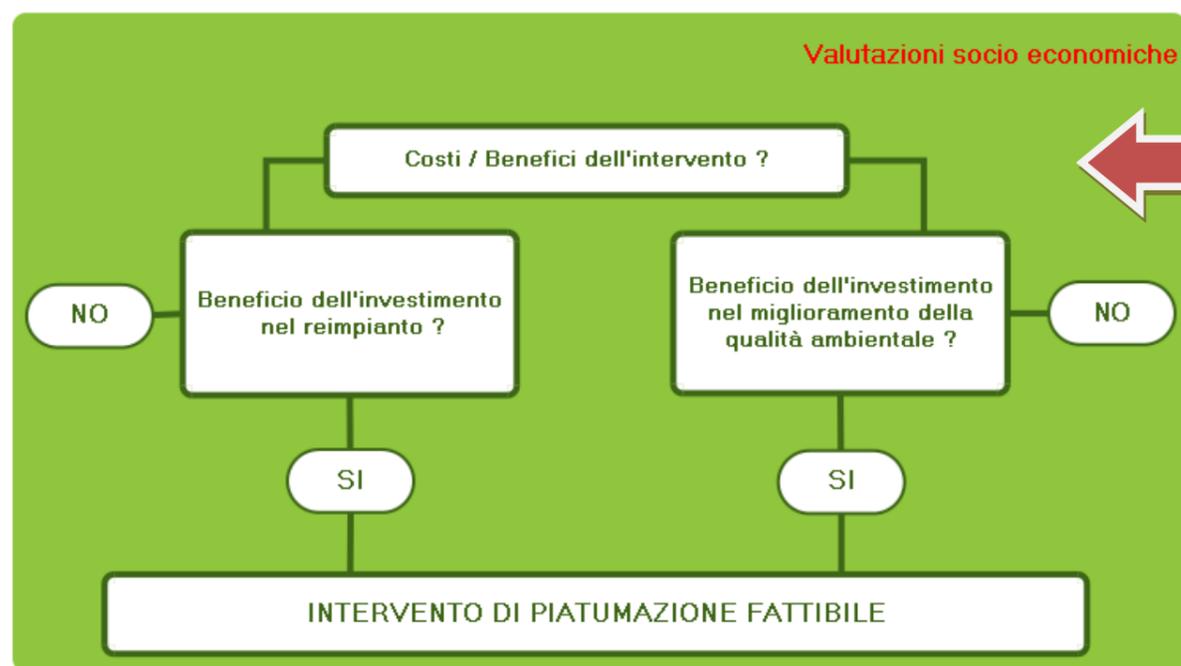
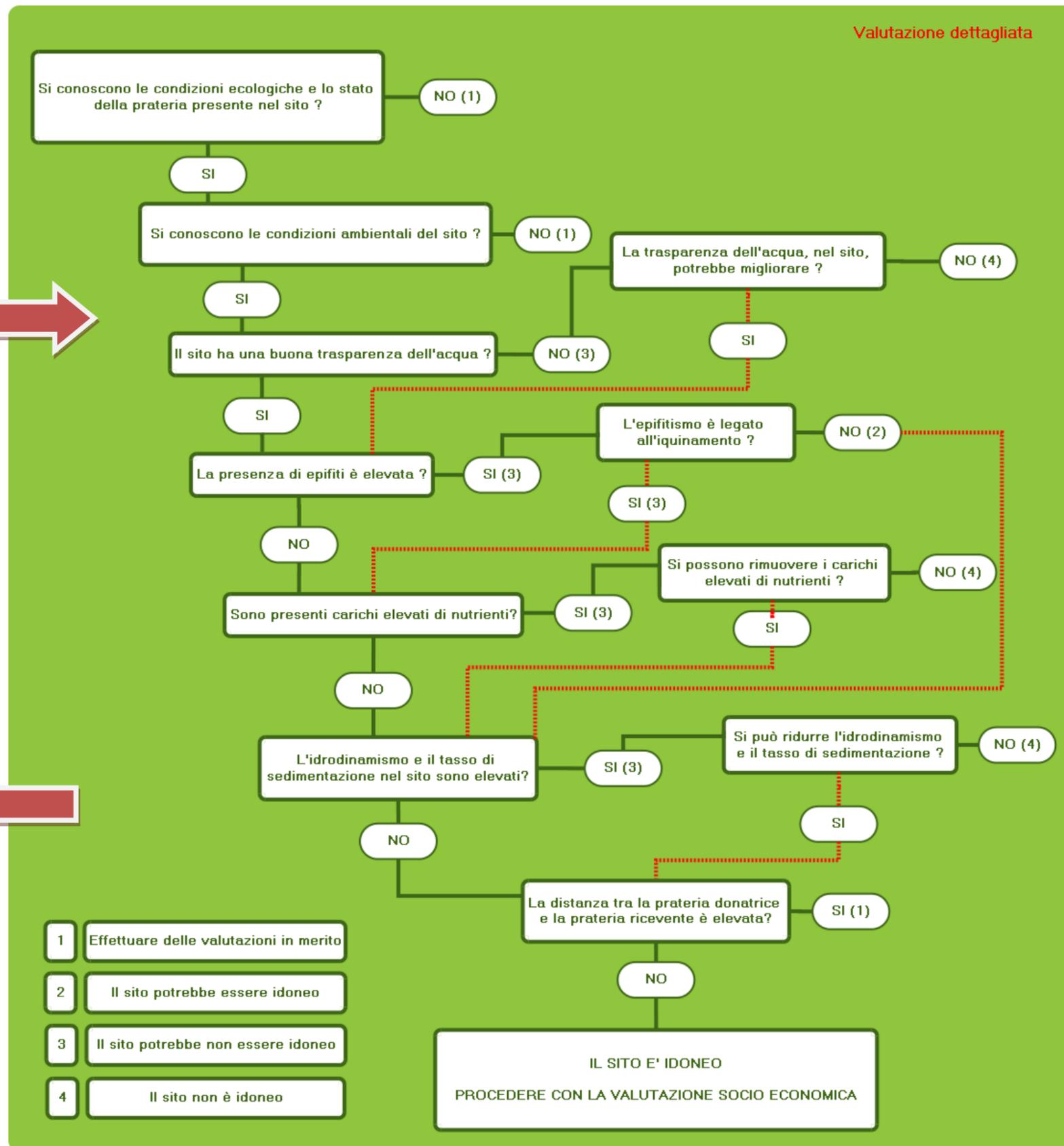
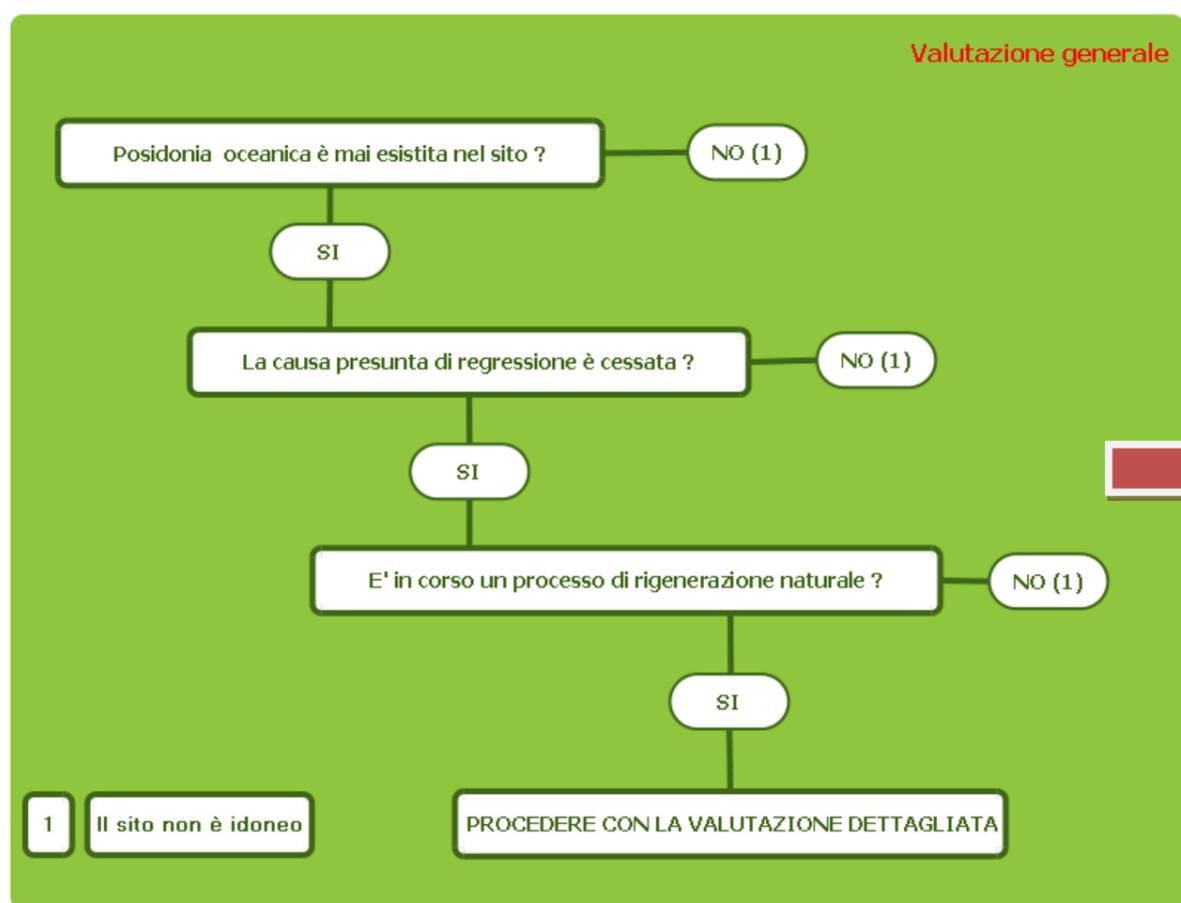


Figura 3.1– Diagramma di supporto alle decisioni per la caratterizzazione di siti idonei, finalizzato alle operazioni di reimpianto di Posidonia oceanica (da Boudouresque et al., 2006, e Campbell et al., 2000 modificato)

3.2.3 Scelta della tecnica di trapianto

Qualora il modello concettuale (Figura 3.1) abbia fornito un esito positivo, si può passare alla fase successiva che riguarda la scelta della tecnica di trapianto. A tal fine e a garanzia del buon esito dell'intervento, si sottolinea come in generale sia fortemente auspicabile che vengano scelte, di volta in volta, tecniche già impiegate con successo in siti con caratteristiche analoghe a quelle del sito di intervento⁶.

In merito alla scelta della tecnica di intervento è fondamentale considerare come uno degli aspetti più critici del trapianto di talee di *P. oceanica* sia quello relativo alle modalità di ancoraggio delle talee al fondo. Tale criticità scaturisce dalla necessità di utilizzare strutture che siano in grado di resistere all'azione del moto ondoso e alle correnti di fondo.

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.

In generale, tra i tanti metodi testati, l'ancoraggio al fondo di talee avviene comunemente attraverso l'impiego di:

- reti in plastica o in metallo (Larkum, 1976; Molenaar e Meinesz, 1992a, 1992b; Molenaar *et al.*, 1993; Piazzì e Cinelli, 1995; Piazzì *et al.*, 1998, 2000);
- reti in materiale biodegradabile (Fonseca *et al.*, 1979; Kenworthy *et al.*, 1980);
- sistemi di ancoraggio che utilizzano ganci metallici, paletti (tutori) o chiodi (Molenaar, 1992; Charbonnel *et al.*, 1995; Rismondo *et al.*, 1995; Davis e Short, 1997);
- cornici in calcestruzzo munite di rete metallica (Cooper, 1976; Giaccone e Calvo, 1980; Cooper, 1982; Chessa e Fresi, 1994, Fresi *et al.*, 2006; Valiante *et al.*, 2010; Carannante, 2011);
- lastre in cemento dotate di fori, all'interno dei quali vengono posizionate le talee (Maggi, 1973);
- zolle (blocchi di *matte*) da posizionare in appositi scavi (Addy, 1947a; Phillips, 1980; Noten, 1983; Jeudy de Grissac, 1984b; Dennison e Alberte, 1986; Chessa e Fresi, 1994; Rismondo *et al.*, 1995; Faccioli, 1996);
- materassi riempiti di sabbia e rinverditi con fasci di *P. oceanica* (Cinelli *et al.*, 2007a, 2007b; Boccalaro *et al.*, 2008).

In tutte le tecniche di trapianto di *P. oceanica* citate, questo procede principalmente sfruttando la capacità di divisione dei fasci dalle talee trapiantate, attraverso l'espansione di nuclei di ricolonizzazione. Tali nuclei, costituiti da una o più talee trapiantate, si espandono attraverso crescita plagiotropa colonizzando le aree adiacenti fino a ripristinare, nel lungo periodo, laddove il trapianto ha un esito positivo, una prateria di simile o comparabile valore ecosistemico rispetto a quella preesistente e/o a praterie limitrofe.

3.2.4 Scelta delle talee

La scelta della tecnica di piantumazione presuppone una buona conoscenza della procedura di messa a dimora delle talee. Tuttavia, una serie di accorgimenti in merito alla scelta delle talee di *P. oceanica*, di seguito descritti, possono costituire un valido ausilio:

- 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 piantumazione; infatti, il periodo più favorevole per la piantumazione di talee plagiotrope (rizomi 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 di talee inizialmente ortotrope (rizomi 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). E' da sottolineare che la limitata disponibilità di tali

⁶ Per quanto riguarda alcune tecniche di trapianto di *P. oceanica* è noto che esse derivano da tecniche testate e utilizzate su altre specie di fanerogame marine come *Cymodocea nodosa* o *Zostera noltii*. Inoltre, molte delle tecniche e dei metodi messi a punto per la piantumazione di talee di *P. oceanica* (e delle fanerogame marine in genere) sono protetti da brevetti sia nazionali, sia internazionali. Informazioni sui brevetti, riguardanti le procedure di piantumazione di talee di *Posidonia oceanica*, sono disponibili sulla banca dati del Ministero dello Sviluppo Economico (<http://www.uibm.gov.it/uibm/dati/default.aspx>) e sulla banca dati Europea relativa ai brevetti internazionali (<http://ep.espacenet.com/>).

rizomi, a volte, condiziona la scelta a favore dei rizomi ortotropi, i quali garantiscono comunque in adeguate condizioni una buona velocità di crescita (Carannante. 2011);

- le talee devono essere disposte a distanza ravvicinata, separate le une dalle altre da uno spazio di 5-10 cm (Molenaar e Meinesz, 1995);
- per le talee ortotrope la lunghezza ottimale del rizoma è di 10-15 cm (Meinesz et al., 1992);
- il prelievo di talee, ove possibile, deve essere eseguito in praterie donatrici situate a profondità maggiori rispetto a quelle delle praterie riceventi (Molenaar e Meinesz, 1992a; Chessa e Fresi, 1994; Génot *et al.*, 1994);
- la selezione di talee provenienti da praterie geograficamente distanti rispetto all'area di trapianto garantisce una certa variabilità genetica (Meinesz *et al.*, 1993);
- il prelievo delle talee deve essere effettuato preferibilmente in più praterie donatrici differenti o, quando non possibile, in porzioni diverse della stessa prateria, al fine di ridurre la pressione del prelievo e i possibili effetti negativi che potrebbero derivare da prelievi troppo invasivi (Boudouresque, 2000);

Da considerare infine come l'utilizzo di talee galleggianti o spiaggiate potrebbe costituire un'alternativa all'espianto da praterie donatrici, sebbene la sperimentazione sia ancora limitata (Boudouresque, 2000).

BOX 2
UTILIZZO DI SEMI DI POSIDONIA OCEANICA
NEGLI INTERVENTI DI PIANTUMAZIONE

Come metodi alternativi all'impiego di talee espiantate da una prateria donatrice, negli interventi di piantumazione di Posidonia oceanica, si possono utilizzare sia i semi, sia le giovani plantule che da tali semi si generano (Addy, 1947b; Cooper, 1976; Thorhaug, 1979; Lewis e Phillips, 1980; Kawasaki et al., 1988; Piazzì e Cinelli, 1995; Balestri et al., 1998; Piazzì et al., 2000).

L'unico inconveniente consiste nel fatto che le praterie di P. oceanica fioriscono solo in casi eccezionali e in concomitanza di elevate temperature stagionali registrate in primavera ed estate. Tuttavia, informazioni sull'andamento delle temperature primaverili ed estive possono essere di supporto, al fine di prevedere potenziali eventi di fioritura e fruttificazione e programmare in anticipo la fase di recupero dei semi.

Per quanto concerne i frutti (Figura 1), questi possono essere raccolti abbastanza agevolmente nel periodo primaverile ed estivo, poiché, una volta maturi, si staccano dalla pianta, risalgono in superficie e galleggiano.



Figura 1 – Frutti di Posidonia oceanica (foto: E. Infantes - Imedeà CSIC-UIB).

I mesi di giugno e di luglio sono invece i mesi migliori per quanto concerne il trapianto delle giovani plantule provenienti dalla germinazione dei semi.

Generalmente, dopo la raccolta, i semi vengono lasciati in acquario per un periodo di crescita di circa due mesi, fino all'avvenuta germinazione. Infatti, i semi di P. oceanica germinano bene in serbatoi con acqua di mare o in appositi acquari (successo di germinazione 70% – 80) (Polifrone, com. pers.), dove possono sopravvivere e generare giovani plantule. Queste ultime possono essere trasportate in vivai sperimentali collocati in mare.

Analoghe sperimentazioni, finalizzate al restauro delle praterie di P. oceanica mediante il reimpianto di plantule ottenute da semi naturali, sono state condotte in Spagna, come nel caso del progetto "Tecniche di recupero ed espansione di praterie di P. oceanica mediante reimpianto con semi" realizzato da IMEDEA (Istituto Mediterráneo de Estudios Avanzados). La ricerca aveva come obiettivo l'individuazione delle condizioni ottimali per la raccolta dei frutti, la germinazione e la piantumazione delle giovani plantule; a tal fine sono stati monitorati i parametri che più significativamente incidono sulla vitalità delle giovani plantule piantumate (luce, correnti, erbivoria ecc.) e i risultati indicano che circa l'80% delle plantule trapiantate è sopravvissuto in ambiente naturale (Polifrone, com. pers.) (Figura 2).

Sempre in Spagna (Isola Pitiuse, Baleari) è stato avviato un progetto sperimentale di restauro (Estructuras de Regeneración de Posidonia oceanica ERPO), consistente nella ideazione e realizzazione di un semenzaio biodegradabile (prototipo) da installare sul fondo marino e che ospiterà i semi di P. oceanica raccolti sulla spiaggia o direttamente in mare. Il progetto comprende studi sulla fioritura di P. oceanica e sulle modalità di trasporto dei semi ad opera delle correnti. L'obiettivo dello studio è mettere a punto un sistema alternativo di restauro delle praterie, che possa incrementare le possibilità di riuscita dell'intervento, riducendone i costi e semplificando gli aspetti logistici. Il progetto si basa sulla considerazione che il semenzaio, realizzato con materiali biodegradabili, possa indurre effetti minimi e/o trascurabili sull'ambiente circostante, proteggendo inoltre per i primi anni le giovani piante dall'azione del moto ondoso e delle correnti.



Figura 2 – Giovani plantule di *Posidonia oceanica* sviluppate da semi (foto: E. Infantes - Imedeia CSIC-UIB).

A causa della difficoltà di reperire su campo un numero sufficiente di semi per realizzare esperimenti di germinazione, è stato avviato nel 2007 un progetto sperimentale che ha portato nel 2010 alla messa a punto di un “Metodo di coltura in vitro di piante di fanerogame marine” (realizzato da TRAGSA e Università di Las Palmas de Gran Canaria, Spagna). Si tratta in particolare di un metodo per coltivare fanerogame marine (e quindi anche *P. oceanica*), che controlla l’induzione, il mantenimento e la maturazione di colture cellulari fino allo stato pre-embriionario⁷. Questo metodo permette di ottenere materiale vegetale clonato, per mezzo del quale possono essere realizzati ripopolamenti di fanerogame sui fondi.

Infine, differenti sperimentazioni sono attualmente in corso in Italia, a Brindisi, attraverso il progetto START (Sviluppo di una Tecnologia Ambientale per la Ricostruzione e la Tutela delle praterie sottomarine di *Posidonia*). Il progetto, sviluppato dalla TCT srl di Brindisi in partnership con Legambiente Puglia e Regione Puglia, ha previsto la messa a punto di un sistema artificiale per la coltivazione di *P. oceanica*. In maggior dettaglio, l’impianto START è costituito da un sistema complesso per la coltivazione di *P. oceanica*, in grado di riprodurre in ambiente controllato le condizioni ottimali di crescita delle piante (che tipicamente si trovano intorno ai 15 metri di profondità). L’ambiente è stato ottenuto realizzando una vasca di dimensioni adeguate per ospitare 1500 talee. Si è giunti così alla messa a punto di un sistema capace sia di garantire il massimo comfort vitale per le talee di *P. oceanica* durante l’intero ciclo di produzione, sia di adattare le condizioni di coltura alle specifiche condizioni ambientali necessarie per il reimpianto in mare. Al termine del progetto, si sono registrati risultati positivi, con una percentuale media di sopravvivenza delle talee pari al 94,4% dopo 9 mesi di coltivazione (SEC Mediterranea/Lega Ambiente Puglia).

⁷ Il metodo prevede, in particolare, diverse fasi: l’estrazione di espianti selezionati dalla zona distale dell’apice meristemico fogliare di una plantula di fanerogama marina; la coltivazione degli espianti ottenuti in un mezzo di coltura liquido; la produzione di cellule libere mediante l’uso di tecniche di digestione cellulare; stabilire colture cellulari inducendo la formazione di massa pre-embriogenetica; la raccolta delle masse ottenute che vengono successivamente messe in contatto con un mezzo di coltura solido per completare la maturazione.

3.2.5 Il monitoraggio dell'intervento di trapianto

Al fine di valutare la risposta delle talee all'intervento di trapianto, è opportuno pianificare specifici piani di monitoraggio.

Il monitoraggio delle talee di *P. oceanica* deve essere condotto a intervalli regolari predefiniti, soprattutto nel primo periodo, e deve interessare un adeguato arco temporale, valutato in funzione dei tassi di crescita attesi. Ad esempio, Borum *et al.* (2004) indicano una frequenza delle attività di monitoraggio *post*-trapianto, che prevede l'esecuzione di tre campagne di rilevamento durante il primo anno, di due campagne nel secondo e terzo anno e di una campagna negli anni successivi.

In particolare, i principali parametri da tenere in considerazione per il monitoraggio dell'intervento di trapianto riguardano principalmente descrittori funzionali (di seguito presentati), relativi ad un numero significativo di talee di *P. oceanica* reimpiantate. Si sottolinea che l'analisi dei suddetti descrittori deve essere effettuata attraverso metodi non distruttivi, applicando tecniche standard o adattando le stesse al monitoraggio subacqueo (senza prelievo di fasci). Inoltre, un adeguato monitoraggio dovrebbe prevedere che l'analisi dei descrittori (a livello di sito e di prateria), avviata nella fase di caratterizzazione e valutazione del sito di intervento, prosegua durante tutto il monitoraggio *post-operam*. Ai fini di valutare correttamente l'esito dell'intervento di reimpianto è, infatti, importante prevedere il monitoraggio di opportune e significative aree di controllo, individuate in porzioni di prateria adiacenti (prateria ricevente) alla zona direttamente interessata dall'intervento di piantumazione e specificatamente finalizzato alla ricostruzione della dinamica naturale agente nel periodo di studio.

I monitoraggi *post-operam* dovrebbero quindi prevedere (a livello di sito, a livello di prateria ricevente e donatrice e a livello di area di trapianto, Figura 3.2) lo studio dei seguenti parametri:

a livello di sito

- *descrittori sedimentologici e idrologici*: tasso di sedimentazione, granulometria dei sedimenti superficiali, regime idrodinamico locale;
- *descrittori chimico-fisici della colonna d'acqua*: intensità della luce, trasparenza, ossigeno disciolto, salinità, temperatura, pH, carico di nutrienti e particolato sospeso (organico e inorganico).

a livello di prateria

- *descrittori strutturali* : densità dei fasci fogliari e copertura %;
- *descrittori funzionali*: fenologia, produzione di biomassa fogliare e dei rizomi.

a livello delle aree di trapianto

- *descrittori funzionali*: tasso di sopravvivenza delle talee⁸, formazione di nuovi fasci⁹, allungamento del rizoma, allungamento delle foglie (Zieman, 1974), sviluppo di radici, fenologia, produzione di biomassa fogliare e dei rizomi;
- *descrittori strutturali*: ricoprimento dell'area colonizzata dalle talee¹⁰.

A titolo di esempio, si riporta nella Tabella 3.1 un possibile piano di monitoraggio di un intervento di trapianto con talee e/o giovani plantule di *P. oceanica*, che riporta sia i parametri da indagare, sia la frequenza temporale delle campagne sperimentali (fase di caratterizzazione *ante-operam* e fase di monitoraggio *post-operam*).

Per verificare la buona riuscita dell'intervento di trapianto è necessario, nei primi anni di monitoraggio (almeno 5 anni), quantificare la sopravvivenza delle talee trapiantate, misurare il loro accrescimento, nonché valutare la comparsa di nuovi fasci fogliari. Inoltre, per verificare il valore ecologico della "nuova" prateria, è necessario prevedere nel piano di monitoraggio anche una fase (di monitoraggio) a lungo termine. Nell'ambito di questa fase, la cui durata dovrebbe essere compatibile con l'instaurarsi di una consolidata dinamica di crescita (10, 20 o 50 anni), dovranno essere presi in considerazione la produzione primaria della prateria, le biocenosi a essa associate, nonché la macro-struttura della prateria stessa, che gioca un ruolo fondamentale nella riduzione dei processi erosivi della costa.

Inoltre, laddove c'è la necessità di indagare lo stato di salute della prateria donatrice nel tempo, si sottolinea l'importanza di un monitoraggio anche sul lungo periodo.

⁸ Il tasso di sopravvivenza delle talee rappresenta il numero di talee che, in fase di monitoraggio, sono ancora del tutto vive.

⁹ La formazione di nuovi fasci fogliari si riferisce al numero di fasci per talea.

¹⁰ Il ricoprimento areale rappresenta l'area totale in % colonizzata dalle talee.

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



Figura 3.2 – Schema rappresentativo delle diverse aree di indagine da prendere in esame in un piano di monitoraggio relativo ad attività di trapianto di Posidonia oceanica.

Tabella 3.1- *Suggerimenti per la scelta dei parametri e delle frequenze di campionamento da adottare per monitorare un intervento di piantumazione con talee di Posidonia oceanica (Borum et al., 2004 modificato).*

Area indagata	Parametri	Monitoraggio di caratterizzazione	Monitoraggio a breve/medio termine (almeno 5 anni)			Monitoraggio a lungo termine
		Frequenza	Frequenza I° Anno	Frequenza II° e III° Anno	Frequenza IV° e V° Anno	Frequenza
Prateria donatrice	Copertura della prateria Densità Fenologia Produzione di biomassa fogliare e dei rizomi Composizione e abbondanza degli epifiti associati Flora e fauna associata	Una volta (prima dell'espianto)	—	Una volta (Fase intermedia monitoraggio)	—	Almeno una volta
Sito (in prossimità della prateria ricevente)	Temperatura 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	Una volta (prima dell'espianto)	—	Una volta (Fase intermedia monitoraggio)	Una volta (Fase finale monitoraggio)	Almeno una volta
Prateria ricevente	Copertura della prateria Densità Fenologia Produzione di biomassa fogliare e dei rizomi Composizione e abbondanza degli epifiti associati Flora e fauna associata	Una volta (prima dell'espianto)	—	Una volta (Fase intermedia monitoraggio)	Una volta (Fase finale monitoraggio)	Almeno una volta
Area di trapianto (nella prateria ricevente)	Tasso di sopravvivenza delle talee Allungamento delle foglie Allungamento del rizoma Produzione di radici	—	Ogni 4 mesi	Ogni 6 mesi	Ogni 12 mesi	—
	Ricoprimento dell'area colonizzata dalle talee Formazione di nuovi fasci Densità dei fasci fogliari Fenologia Produzione di biomassa fogliare e dei rizomi Composizione e abbondanza degli epifiti fogliari Flora e fauna associata	—	—	—	—	Ogni 2-3 anni

3.2.6 Verifica della riuscita dell'intervento di piantumazione

Un intervento di piantumazione può essere considerato riuscito soltanto quando le talee si sono stabilizzate e mostrano una crescita buona e persistente e un attivo processo di ricolonizzazione (Fonseca *et al.*, 1998). Inoltre, le talee si possono ritenere consolidate soltanto quando sono giudicate in grado di garantire le funzioni di base dell'ecosistema: stabilizzazione del sedimento, supportare il ciclo dei nutrienti, produzione di biomassa, produzione secondaria. Il monitoraggio a lungo termine di un trapianto di talee rappresenta, quindi, il migliore strumento di verifica di tali funzioni.

In letteratura esistono diverse indicazioni su come valutare, a breve/medio termine (1-5 anni *post operam*), la riuscita di un intervento di trapianto, principalmente riferite alle *performance standard* di: tassi di sopravvivenza delle talee trapiantate, crescita delle talee con formazione di nuovi fasci, ricoprimento % dell'area riforestata (Campbell, 2000; Calumpang e Fonseca, 2001; Borum *et al.*, 2004; Boudouresque *et al.*, 2006). Calumpang e Fonseca (2001) introducono, inoltre, il concetto di intervento riparatore, riferendosi a un intervento di trapianto, successivo al primo, da effettuare quando la percentuale di talee sopravvissute, un anno dopo l'intervento, risulti troppo bassa.

In dettaglio, secondo Campbell (2000), un'operazione di reimpianto costituisce un successo se sia il tasso di sopravvivenza delle talee trapiantate sia la vitalità dei rizomi, in termini di allungamento e divisione dei fasci, sono maggiori del 50%. Da segnalare come tale valore sia spesso preso come riferimento (valore soglia) per la valutazione del buon esito dei trapianti condotti nell'ambito delle prescrizioni riportate nei decreti VIA, relativi alla realizzazione di opere costiere, che individuano il trapianto come misura compensativa degli impatti di tali opere.

In quest'ottica, infatti, è necessario rilevare come non sia sufficiente considerare esclusivamente la sopravvivenza delle talee trapiantate come base di valutazione di un obiettivo di qualità, se non nel breve periodo (es. primo o secondo anno). Infatti, un miglior esito di un trapianto è ritenuto quello di un sito in cui, dopo 5 anni, su n talee trapiantate ne sopravvive una soltanto, che dà origine a un numero di nuovi fasci (m_1) molto maggiore del numero di talee inizialmente trapiantate ($m_1 \gg n$), rispetto a quello di un sito analogo in cui tutte le n talee trapiantate sopravvivono, ma dando origine a un numero di nuovi fasci (m_2) $m_2 < m_1$. Si sottolinea, inoltre, 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 (Scardi, com. pers.).

Relativamente ai valori di riferimento per valutare il successo di un trapianto di *P. oceanica*, sulla base delle più recenti evidenze sperimentali e prendendo come riferimento il numero totale di fasci per unità di superficie (considerando quindi non soltanto le talee trapiantate ma anche la formazione di nuovi fasci) è certamente possibile e auspicabile un innalzamento dell'obiettivo di qualità a oggi fissato al 50%.

4. I TRAPIANTI DI POSIDONIA OCEANICA IN ITALIA: CASI STUDIO

L'analisi condotta sulla letteratura scientifica disponibile, relativa al tema dei trapianti di praterie di *P. oceanica*, ha messo in evidenza come per la loro realizzazione vengano utilizzate tecniche diverse, riconducibili a 2 gruppi principali: senza ancoraggio (per esempio poggiando sul fondo talee in contenitori biodegradabili) e con ancoraggio (per esempio talee fissate a reti metalliche appoggiate sul fondo).

In tempi recenti sono stati proposti e/o sottoposti a sperimentazione nuovi materiali e tecniche di fissaggio, quali ancoraggi flessibili, materassi rivegetati, stuoie antiersive ecc., presi in prestito dai metodi dell'ingegneria naturalistica.

In questo capitolo sono presentati alcuni casi studio relativi a interventi di trapianto recenti, talvolta ancora in corso, condotti lungo le coste italiane, da soggetti diversi, pubblici e privati. In particolare la struttura del capitolo prevede dapprima la presentazione della tecnica di intervento e a seguire la presentazione, per ogni tecnica descritta, di uno o più casi studio.

I casi studio presentati, caratterizzati da scale temporali anche molto diverse, sono riferiti o a specifici progetti di ricerca, con aree di intervento assai limitate, o a interventi di compensazione su praterie danneggiate, con aree di intervento generalmente maggiori.

SCHEDA 1
SELEZIONE DI AREE PER IL REIMPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA
MEDIANTE MODELLO MULTICRITERIALE ED IMPIANTI PILOTA

Sebastiano Calvo, Antonino Scannavino, Filippo Luzzu, Germana Di Maida, Maria Pirrotta,
Carla Orestano, Agostino Tomasello

e-mail: sebastiano.calvo@unipa.it

INTRODUZIONE

Gli interventi di riforestazione con fanerogame marine finalizzati al recupero di fondali degradati hanno talvolta evidenziato, unitamente ad elevati costi, risultati contrastanti e variabili (Calumpong e Fonseca, 2001; Short et al., 2002; Orth et al., 2006). In tale contesto, una selezione ottimale dei siti idonei per interventi di riforestazione è considerata un elemento chiave per il successo del trapianto (Fonseca et al., 1998). Solo di recente sono stati sviluppati dei modelli quali-quantitativi per valutare non solo l'idoneità dell'area da risanare ma anche le potenzialità di successo dell'intervento (Campbell, 2002). In questa scheda vengono presentati i risultati di una sperimentazione finalizzata all'individuazione di siti idonei per interventi di ripristino di fondi degradati mediante riforestazione con Posidonia oceanica. Lo studio è stato condotto nel Golfo di Palermo, un territorio sottoposto fino ad un recente passato ad un'elevata pressione antropica (Genchi et al., 1982; Calvo et al., 1994) che ha determinato la regressione della prateria di P. oceanica su ampie zone di fondale, come evidenziato dal recente rinvenimento di estese formazioni a matte morta nell'area (Tomasello et al., 2009). Tuttavia negli ultimi anni si è assistito ad un progressivo miglioramento della qualità delle acque costiere (ARPA Sicilia e Università Degli Studi di Palermo, 2006), a seguito di interventi di risanamento su tutto il complesso metropolitano. Si sono, pertanto, create le condizioni per avviare una sperimentazione finalizzata al ripristino delle praterie pre-esistenti.

La sperimentazione è stata condotta secondo il diagramma di flusso riportato in Figura 1.



Figura 1 – Rappresentazione schematica delle fasi che precedono la selezione delle aree potenzialmente idonee alla riforestazione.

SVILUPPO DEL MODELLO DI PRE-SELEZIONE DELLE AREE IDONEE AL TRAPIANTO

Al fine di individuare le aree del Golfo di Palermo idonee a ricevere interventi di riforestazione con *P. oceanica*, è stato sviluppato l'Indice d'Idoneità Potenziale al Trapianto (IPT) derivato dal Preliminary Transplantation Sustainable Index (PTSI), proposto da Short et al. (2002) per *Zostera marina*, opportunamente modificato e riadattato in relazione alle differenze strutturali e funzionali fra le due specie.

Preliminarmente sono stati considerati sei parametri con i relativi punteggi assegnati, riportati in Tabella 1. Mediante piattaforma GIS i parametri sono stati rasterizzati in differenti layer con celle di 30x30 metri, cui sono stati attribuiti valori corrispondenti ai punteggi assegnati.

Tabella 1 - Parametri utilizzati e punteggi per il calcolo dell'indice IPT.

Parametri	Punteggi
Distribuzione attuale della prateria	0 = presenza 1 = assenza
Presenza/assenza di tanatocenosi a Posidonia	1 = zona non vegetata 2 = presenza di matte morta
Prossimità ad una prateria naturale	0 = Entro un buffer di 30 metri dalla prateria presente nell'area 1 = buffer > di 30 metri
Intervallo batimetrico potenziale della prateria	0 = > del limite inferiore e < del limite superiore delle praterie presenti nell'area 1 = tra il limite superiore e la profondità media - D.S. delle praterie presenti nell'area 1 = tra il limite inferiore e la profondità media + D.S. delle praterie presenti nell'area 2 = profondità media \pm D.S. delle praterie presenti nell'area
Tipologia del substrato	0 = limo e roccia nuda 1 = sabbia 2 = matte, sabbia con <i>Cymodocea nodosa</i>
Qualità dell'acqua (basata sull'Indice Trofico TRIX)	0 = scarsa 1 = media 2 = elevata

Il prodotto dei punteggi ottenuto dalla sovrapposizione dei layer ha consentito di calcolare per ogni cella l'indice IPT, successivamente convertito nei seguenti giudizi di idoneità:

- da 0 a 4 = non idoneo alla sperimentazione;
- > 4 = idoneo alla sperimentazione con maggiore probabilità di successo al crescere dei valori.

La mappa dei valori di IPT ha fornito le indicazioni per la pre-selezione delle aree idonee a ricevere impianti pilota. In particolare le aree con un Indice IPT da 0 a 4 sono state escluse; sono stati quindi individuati quattro siti all'interno dell'area con IPT = 8: Bandita, Ficarazzi, Eleuterio, Aspra ed infine un solo sito (Vergine Maria) all'interno dell'area con IPT = 16 (Figura 2).

SCelta DELLA PRATERIA DONATRICE

La scelta della prateria donatrice è stata effettuata sulla base dei seguenti criteri:

- qualità della prateria definita sulla base di parametri strutturali, fenologici e lepidocronologici;
- rapporto rizomi plagiotropi/ortotropi;
- distanza dal sito ricevente;
- profondità dei siti pre-selezionati.

Sulla base dei suddetti criteri, è stata individuata una prateria donatrice localizzata ad Est del Golfo di Palermo in località Solanto (Figura 2), nella quale sono state prelevate talee di

P. oceanica.

REALIZZAZIONE DEGLI IMPIANTI PILOTA DI RIFORESTAZIONE

Dalla prateria donatrice sono state prelevate, nell'autunno del 2007, un totale di 702 talee. Le attività di prelievo di talee nel sito donatore sono state eseguite secondo criteri di sostenibilità, riducendo al minimo l'impatto sulla popolazione naturale. Il taglio delle talee è stato infatti limitato alle piante che colonizzavano i margini dei gradini di erosione delle matte. Questa procedura risulta non distruttiva in quanto incide su materiale destinato a essere asportato naturalmente per azione idrodinamica.

Ogni talea è costituita da un rizoma plagiotropo lungo almeno 10 cm che porta almeno 3 fascicoli fogliari.

Gli impianti pilota sono stati posizionati in cinque siti individuati all'interno del Golfo di Palermo, caratterizzati da substrato sabbioso privo di copertura vegetale (Figura 2). Un ulteriore impianto, definito "controllo procedurale", è stato posizionato in prossimità della prateria donatrice, al fine di valutare lo stress indotto sulle talee dal trapianto. La metodologia adottata per la realizzazione dell'impianto pilota rientra tra le tecniche provviste di sistemi di ancoraggio (Molenaar, 1992). In particolare le talee sono state fissate su griglie metalliche in ferro zincato elettrosaldato di dimensioni 1x1 m, con maglie di 5 cm di lato. Ogni impianto pilota è costituito da 3 griglie su ognuna delle quali sono state posizionate 39 talee. Le griglie sono state ancorate al substrato mediante chiodi in ferro di opportuna lunghezza (70 cm).

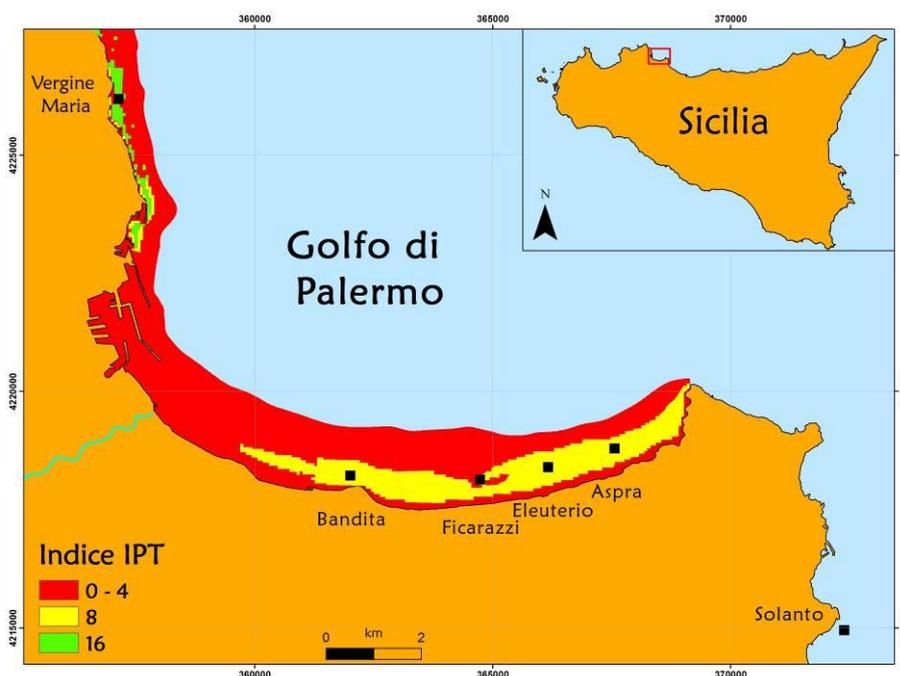


Figura 2 – Golfo di Palermo: mappa dell'Indice IPT ed ubicazione dei siti selezionati per ospitare gli impianti pilota.

MONITORAGGIO

A distanza di un anno è stato possibile rilevare i tassi di sopravvivenza nei siti scelti per la sperimentazione pilota. Nel controllo procedurale il 76% delle talee sono sopravvissute agli stress dovuti al taglio, alla manipolazione e al reimpianto. Stress aggiuntivi legati alle peggiori condizioni ambientali hanno determinato invece un ulteriore calo della sopravvivenza in quasi tutti gli altri siti. In particolare, nei siti di Bandita e Ficarazzi la sopravvivenza delle talee non è scesa quasi mai al di sotto del 50% (Figura 3), in accordo con i valori registrati in altri esperimenti di trapianto condotti nel Mediterraneo (Meinesz et al., 1990, 1992, 1993; Molenaar e Meinesz, 1995; Balestri et al., 1998; Piazzi et al., 2000).

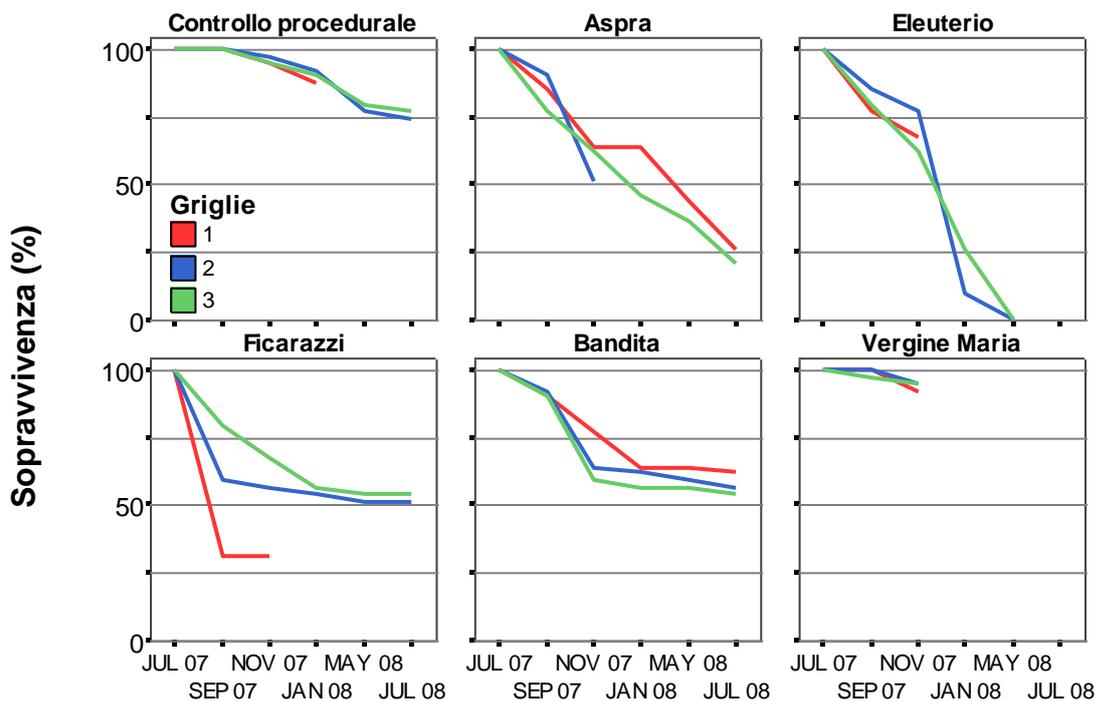


Figura 3 - Sopravvivenza delle talee nei siti considerati.

E' utile evidenziare che una moderata perdita di talee non comporta necessariamente la perdita di efficacia dell'intera unità di trapianto, poiché una mortalità inferiore al 50% può essere compensata nel tempo dall'allungamento e dalla ramificazione delle talee rimaste (Calumpong e Fonseca, 2001). Nel sito di Aspra è stata riscontrata una sopravvivenza del 15% dovuta ad un'eccessiva sedimentazione sulle talee, mentre nel sito di Eleuterio è stata rilevata una assenza di sopravvivenza probabilmente a causa dell'ancoraggio e delle arature di strumenti da pesca. Infine, anche nel sito di Vergine Maria, le griglie sono andate perdute dopo appena 5 mesi, probabilmente a causa di attività legate alla piccola pesca sia sportiva che professionale (Figura 4). Va sottolineato comunque che in questo sito la sopravvivenza delle talee, durante il periodo iniziale di rilevazione, ha mostrato un andamento molto simile a quello osservato nel controllo procedurale, evidenziando nel contempo i valori più elevati rispetto agli altri siti del Golfo di Palermo. Ciò è in accordo con l'indice IPT che aveva attribuito al sito di Vergine Maria maggiore probabilità di successo.



Figura 4 – Polpara incastrata nelle maglie della griglia metallica di un impianto.

Nel complesso il successo degli impianti conferma le indicazioni suggerite dal modello di pre-selezione dei siti, anche se altri fattori non considerati in fase di modellazione, come il tasso di sedimentazione e le attività di ancoraggio e pesca, hanno in parte compromesso l'esito finale dei trapianti. Per il successo dell'intervento si rende essenziale, pertanto, interdire tali attività nella zona interessata dalla riforestazione, attuando nel contempo un'efficace azione di sorveglianza al fine di rendere effettivi i divieti

BIBLIOGRAFIA

- ARPA SICILIA, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO (2006) - Studi applicativi finalizzati all'attivazione del sistema di monitoraggio delle acque marino costiere della Regione Sicilia. Convenzione di ricerca CISAC – ARPA Sicilia, Rapporto finale, pp. 224.
- BALESTRI E., PIAZZI L., CINELLI F. (1998) - Survival and growth of transplanted and natural seedlings of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in a damaged coastal area. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **228**(2): 209-225
- CALUMPONG H.P., FONSECA M.S. (2001) - Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods. In: Short F.T. and Coles R.G. (Eds.) *Global Seagrass Research Methods*,: 425-442.
- CALVO S. (2009) - Detection and mapping of *Posidonia oceanica* dead matte by high-resolution acoustic imaging. *Italian Journal of Remote Sensing*, **41**(2): 139-146.
- CALVO S., GALLUZZO M., VIVIANI G. (1994) - Water pollution problems in the Palermo area. In: Dellow B. and Puusola T. Editors, Proceedings UETP-EEE Annual Conference "Improving the Urban Environment". London,: 73-87.
- 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.
- 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 No. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, Maryland, pp. 222.
- GENCHI G., DI BERNARDO F., LUGARO A., CALVO S., RAGONESE S., RIGGIO S. (1982) - Dystrophic and eutrophic states of coastal sea-water in Palermo bay during the summer season (august 1981). VI^e Journées Etudes Pollution Méditerranée, CIESM. Cannes, 635-639.
- MEINESZ A., CAYE G., LOCQUES F., MACAUX S. (1990) - Analyse bibliographique sur la culture de phanérogames marines. *Posidonia newsletters*, **3**(1): 3-57.
- MEINESZ A., CAYE G., LOCQUES 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**: 209-216.
- MEINESZ A., MOLENAAR H., BELLONE E., LOCQUES F. (1992) - Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. I. Effects of rhizomes length and transplantation seasons in orthotropic shoots. P.S.Z.N.I: *Marine Ecology*, **13**(2): 163-174.
- MOLENAAR H. (1992) - Etude de la transplantation de boutures de la phanérogame marine *P. oceanica* (L.) Delile. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance. DSc Thesis, Université de Nice-Sophia Antipolis, pp. 221.
- 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**: 313-322
- ORTH R.J., LUCKENBACH M.L., MARION S.R., MOORE K.A., WILCOX D.J. (2006) - Seagrass recovery in the Delmarva Coastal Bays, USA. *Aquatic Botany*, **84**: 26-36.
- 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
- SHORT F.T., DAVIS R.C., KOPP B.S., SHORT C.A., BURDICK D.M. (2002) - Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the north-eastern US. *Marine Ecology Progress Series*, **227**: 253-267.
- TOMASELLO A., LUZZU F., DI MAIDA G., ORESTANO C, PIRROTTA M., SCANNAVINO A., CALVO S. (2009) - Detection and mapping of *Posidonia oceanica* dead *matte* by high-resolution acoustic imaging. *Italian Journal of Remote Sensing*, **41**(2): 139-146.

SCHEDA 2
TECNICA DI REIMPIANTO MEDIANTE GRIGLIE METALLICHE

Sebastiano Calvo, Antonino Scannavino, Filippo Luzzu, Germana Di Maida, Maria Pirrotta, Carla Orestano, Agostino Tomasello

e-mail: sebastiano.calvo@unipa.it

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA TECNICA

Talee di Posidonia oceanica fissate su griglie metalliche elettrosaldate ancorate al substrato mediante paletti metallici.

CAMPI DI APPLICAZIONE

Fondali marini con substrato mobile e/o matte.

MATERIALI IMPIEGATI

Talee di P. oceanica costituite da un rizoma plagiotropo portante almeno 3 fascicoli fogliari. Griglie metalliche in ferro zincato elettrosaldato ($\varnothing 3$ mm) di dimensioni variabili ($0,5 \times 0,5$ m o 1×1 m) con maglie di 5 cm di lato, ancorate al substrato mediante chiodi ($\varnothing 12$ mm) in ferro a forma di manico di ombrello di lunghezza 70 cm.

MODALITÀ DI ESECUZIONE

La metodologia adottata rientra tra le tecniche provviste di sistemi di ancoraggio (Molenaar, 1992). Le talee di P. oceanica vengono prelevate da una prateria donatrice ubicata ad una profondità \geq a quella del sito ricevente, trasportate immediatamente al sito di allestimento delle griglie e posizionate subito dopo nel sito ricevente. In particolare, le talee vengono posizionate al di sotto della rete e a diretto contatto con il substrato e fissate con fascette a strappo in plastica, in modo tale che i fascicoli fogliari fuoriescano verso alto (Figure 1-4). Le griglie sono ancorate al substrato con una disposizione a scacchiera, secondo lo schema della quinconce.

RACCOMANDAZIONI

- *Verificare l'idoneità del sito a sostenere l'intervento di ripristino previa valutazione della qualità della colonna d'acqua, dei sedimenti, delle biocenosi e di sperimentazioni pilota.*
- *Scegliere il sito donatore tenendo conto della distanza dal sito ricevente, della profondità di prelievo delle talee e della qualità della prateria donatrice. In particolare, è preferibile individuare praterie donatrici con densità \geq alla classe "normale" definita da Pergent et al. (1995).*
- *Prelevare dalla prateria donatrice un numero di fasci/m² \leq all'1% della densità media presente, al fine di ridurre al minimo l'impatto e rendere più sostenibile l'intervento (Diaz Almela e Duarte, 2008).*
- *Trapiantare le talee entro poche ore dall'espianto, evitando di esporle a disidratazione e stress termici.*
- *Interdire la pesca e gli ancoraggi nella zona interessata dalla riforestazione.*

LIMITI DI APPLICABILITÀ

- *Non applicabile su fondali rocciosi.*
- *Non applicabile su fondali soggetti a insabbiamento e forte idrodinamismo.*



Figura 1 – Prateria donatrice.



Figura 2 – Fissaggio delle talee alla griglia.



Figura 3 – Posizionamento delle griglie.



Figura 4 – Particolare delle griglie.

VANTAGGI

- Esecuzione della maggior parte del lavoro a terra, limitando il lavoro subacqueo alle fasi di prelievo delle talee ed ancoraggio delle griglie al fondale.
- Riduzione significativa dei tempi e dei costi della riforestazione.
- Durata del supporto di ancoraggio compatibile con i tempi di attecchimento delle talee.
- Facilità di movimentazione delle griglie sia a terra che in mare.
- Utilizzo della griglia sia su matte che su substrato sabbioso.
- Scomparsa per ossidazione del supporto metallico nel medio termine (3-5 anni).

SVANTAGGI

- Difficoltà di adattamento su fondali molto irregolari.
- Introduzione nell'ambiente di significative quantità di elementi metallici, soprattutto ferro, e plastica non biodegradabile (fascette a strappo).

EFFETTI

- Riduzione dei tempi di radicazione delle talee al substrato.
- Aumento delle probabilità di successo dell'impianto.

PERIODO DI INTERVENTO

Le operazioni di raccolta delle talee, allestimento delle griglie e loro reimpianto nel sito ricevente devono avvenire preferibilmente durante il periodo di riposo vegetativo della pianta (autunno).

POSSIBILI ERRORI

- *Errato posizionamento delle talee nella griglia.*
- *Fissaggio non adeguatamente serrato delle talee alla griglia.*
- *Disidratazione e stress termici delle talee durante le fasi di fissaggio alla griglia.*

BIBLIOGRAFIA

DÍAZ-ALMELA E., DUARTE C.M. (2008) - Management of Natura 2000 habitats. 1120 *Posidonia beds* (*Posidonium oceanicae*). European Commission.

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

PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDORESQUE C.F. (1995) - Utilization de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée* 5: 3–27.

SCHEDA 3
RECUPERO DI FONDALI A MATTE MORTA NEL GOLFO DI PALERMO
MEDIANTE RIFORMAZIONE CON POSIDONIA OCEANICA

Sebastiano Calvo, Antonino Scannavino, Filippo Luzzu, Germana Di Maida, Maria Pirrotta,
Carla Orestano, Agostino Tomasello

e-mail: sebastiano.calvo@unipa.it

INTRODUZIONE

Posidonia oceanica è l'unica fanerogama marina in grado di formare matte, una struttura biogenica prodotta dall'intreccio di rizomi e radici con sedimento di provenienza autoctona ed alloctona (Boudouresque e Meinesz, 1982). A causa della natura altamente refrattaria, la matte può preservarsi per lungo tempo formando strutture spesse diversi metri (Mateo et al., 1997). Fattori naturali e/o antropici possono determinare la formazione di tanatocenosi, chiamate matte morte, a seguito della scomparsa di fasci viventi sulla parte sommitale (Pergent et al., 1995). Alla morte della prateria la crescita verticale della matte viene interrotta, impedendo il processo di ulteriore organicazione e accumulo di carbonio. Per poter preservare queste strutture da fenomeni erosivi e riattivare i processi di accrescimento verticale occorre accelerare il ripristino della prateria preesistente attraverso interventi di riforestazione. Pertanto, si rende necessario conoscere la distribuzione e lo spessore della matte morte, al fine di potere orientare gli interventi di riforestazione. In riferimento a questa problematica, si riportano i risultati di una sperimentazione pilota relativa al ripristino di matte morte del Golfo di Palermo mediante riforestazione con P. oceanica, come misura di compensazione di un intervento di risanamento ambientale (Chimica Arenella - Tutela integrata dell'area costiera) realizzato nell'ambito del Piano di Intervento Territoriale "Palermo Capitale dell'Euromediterraneo".

La sperimentazione è stata condotta secondo il diagramma di flusso riportato in Figura 1.



Figura 1 – Sintesi delle fasi salienti dello studio.

INDIVIDUAZIONE DELLE MATTE MORTE

Il fondo coperto dalle tanatocenosi è stato localizzato nel settore centro orientale del Golfo di Palermo, dove era stata segnalata in precedenza la presenza di estese formazioni a matte morta (Tomasello et al., 2007), prodotte dall'intensa pressione antropica esercitata lungo la costa a partire dalla fine della II Guerra mondiale (Genchi et al., 1982; Calvo et al., 1994). In particolare, le ricerche sono state circoscritte all'interno di un'area ritenuta da studi precedenti sufficientemente idonea ad interventi di riforestazione (cfr. scheda 1 in questo manuale). Nella zona sono state effettuate campagne di rilevamento di dati acustici mediante profilatore sub-bottom e sistema sonar Multibeam, integrandole con osservazioni dirette (operatori in immersione) e in remoto (ROV). Le elaborazioni dei dati hanno permesso di descrivere e caratterizzare i fondi sommersi prospicienti il tratto costiero di interesse. Nel settore occidentale dell'area, e in minor misura in quello centrale, si riscontra la presenza di matte morta per una copertura di circa 7 ettari. La matte raggiunge un'altezza massima di 2,2 metri rispetto al piano del fondo che permette di datare fra 530 – 3.600 anni fa, l'epoca di colonizzazione della prateria nell'area (Tomasello et al., 2009). Il sito idoneo ad ospitare l'impianto di riforestazione è stato individuato tra le batimetriche -13 e -14 metri (Figura 2).

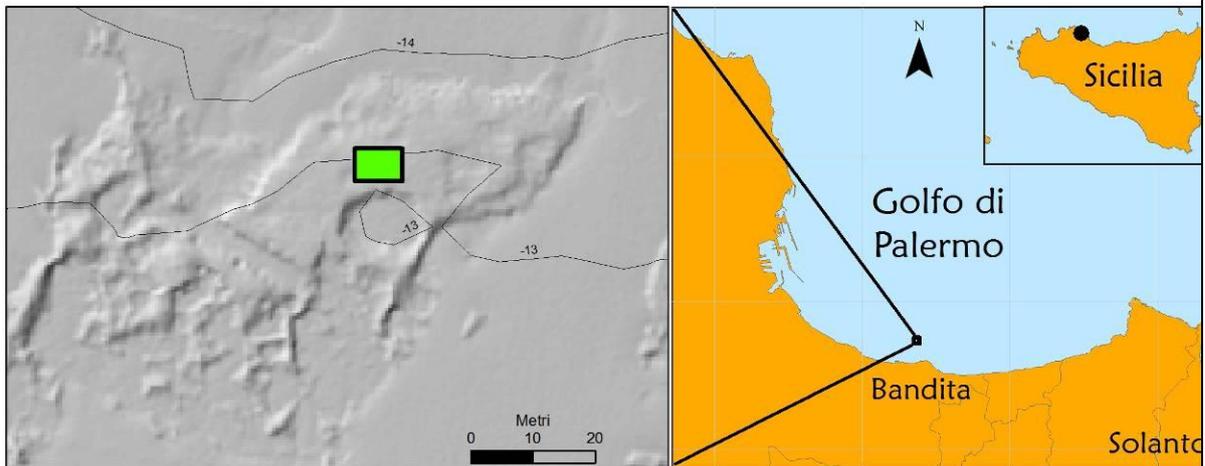


Figura 2 – Area del Golfo di Palermo scelta per ricevere l'impianto di riforestazione. Rilievo batimorfologico Multibeam (in grigio) con le formazioni a matte morta (in rilievo) e impianto di riforestazione (in verde).

REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO PILOTA DI RIFORESTAZIONE

Nel novembre del 2008 in località Solanto (PA) sono state prelevate talee con rizomi plagiotropi portanti almeno 3 fascicoli fogliari ciascuno. Le attività di prelievo di talee nel sito donatore sono state eseguite secondo criteri di sostenibilità, riducendo al minimo l'impatto sulla popolazione naturale. Il taglio delle talee è stato, infatti, limitato alle piante che colonizzavano i margini dei gradini di erosione delle matte. Questa procedura risulta non distruttiva in quanto incide su materiale destinato a essere asportato naturalmente per azione idrodinamica.

Durante le fasi di trasporto le talee prelevate sono state conservate costantemente sommerse in appositi contenitori e mantenute a temperatura costante fino al trapianto in mare, avvenuto nell'arco della stessa giornata.

Le talee sono state fissate su griglie metalliche in ferro zincato elettrosaldato di dimensioni 1×1 m. In ogni griglia sono state posizionate circa 20 talee. Tale tecnica ha permesso di eseguire la maggior parte del lavoro a terra e limitare il lavoro subacqueo al solo ancoraggio delle griglie sul fondo (Figure 3-4).

I rizomi plagiotropi sono stati collocati con il rizoma principale a contatto con la griglia e i fasci fogliari rivolti verso l'alto. Le griglie sono state ancorate al substrato mediante 5

chiodi in ferro di opportuna lunghezza (70 cm) e collocate secondo una disposizione a scacchiera su una superficie di 40 m². Complessivamente sono state sistemate 20 griglie, per un totale di 394 talee e 1313 fasci e con una densità media di 66 fasci/m². Tutte le fasi dell'intervento, dal prelievo al posizionamento e ancoraggio delle griglie, sono state eseguite nell'arco di 2 giorni.



Figura 3 – Ancoraggio di una griglia.



Figura 4 – Griglia ancorata su matte morta.

MONITORAGGIO IN SITU SULLO SVILUPPO DELLE COLONIE DI IMPIANTO

Da novembre 2008 a ottobre 2012, sono stati rilevati nell'impianto pilota le seguenti variabili:

- attecchimento delle talee;
- distacco delle talee;
- mortalità delle talee;
- densità della prateria.

La percentuale media di attecchimento delle talee rilevata dopo 46 mesi di monitoraggio è del 31% (Figura 5). La perdita di talee per mortalità si mantiene bassa e arriva ad un massimo del 7% dopo circa 2 anni dall'impianto; invece la perdita di talee per distacco è alta, cresce costantemente nel tempo ed è stata valutata intorno al 62% a ottobre 2012. Ciò è da mettere in relazione probabilmente con il rinvenimento di numerosi attrezzi da pesca agganciati alle griglie.

La densità media dei fasci decresce fino a ottobre 2010, riducendosi di circa il 47% (Figura 5). Successivamente si osserva un incremento della densità che si attesta intorno a 40 fasci/m² ad ottobre 2012. Pertanto, dopo circa due anni dall'impianto si assiste a una stabilizzazione nel numero delle talee e a un aumento del numero dei fasci. Le figure 6 e 7 mostrano dettagli dell'impianto a ottobre 2012.

In accordo con quanto già osservato (cfr. caso di studio 1; Scannavino, 2009), si sottolinea che la limitazione dell'ancoraggio e della pesca sportiva e artigianale e la messa in atto di un efficace controllo del rispetto dei divieti sono misure prioritarie da adottare al fine di proteggere i trapianti.

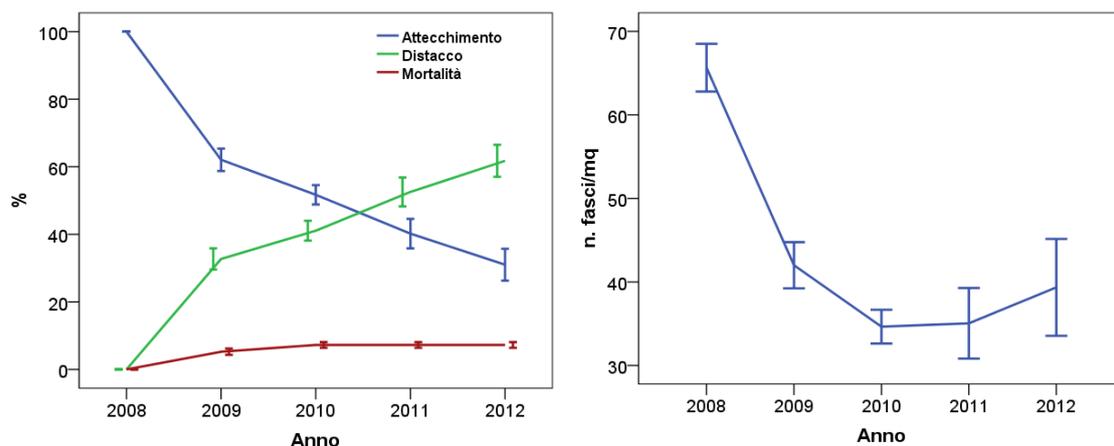


Figura 5 - Atteccimento, distacco e mortalità delle talee (sinistra), densità della prateria impiantata (destra).



Figura 6 – Griglie a ottobre 2012.



Figura 7 – Griglie a ottobre 2012.

BIBLIOGRAFIA

- BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A. (1982) - Découverte de l'herbier de Posidonie. Parc National de Port-Cros, Parc Naturel Regional de la Corse, Cahier n. 4, pp. 79.
- CALVO S., GALLUZZO M., VIVIANI G. (1994) - Water pollution problems in the Palermo area. In: Dellow B. and Puusola T. Editors, Proceedings UETP-EEE Annual Conference "Improving the Urban Environment". London, 73-87.
- GENCHI G., DI BERNARDO F., LUGARO A., CALVO S., RAGONESE S., RIGGIO S. (1982) - Dystrophic and eutrophic states of coastal sea-water in Palermo bay during the summer season (August 1981). VI^e Journées Etudes Pollution Méditerranée, CIESM. Cannes, 635-639.
- MATEO M.A., ROMERO J., PÉREZ M., LITTLER M.M., LITTLER D.S. (1997) - Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**: 103-110.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F. (1995) - Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, **54**: 3-27.
- SCANNAVINO A. (2009) - Sperimentazione di interventi di riforestazione con *Posidonia oceanica* finalizzati al recupero di fondali degradati. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Palermo, pp. 129.
- TOMASELLO A., CALVO S., DI MAIDA G., LOVISON G., PIRROTTA M., SCIANDRA M. (2007) - Shoot age as a confounding factor on detecting the effect of human-induced disturbance on *Posidonia oceanica* growth performance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **343**: 166-175.
- TOMASELLO A., LUZZU F., DI MAIDA G., ORESTANO C, PIRROTTA M., SCANNAVINO A., CALVO S. (2009) - Detection and mapping of *Posidonia oceanica* dead matte by high-resolution acoustic imaging. *Italian Journal of Remote Sensing*, **41**(2): 139-146.

SCHEDA 4
TECNICA DI REIMPIANTO MEDIANTE SUPPORTO BIODEGRADABILE

Sebastiano Calvo, Antonino Scannavino, Filippo Luzzu, Germana Di Maida, Maria Pirrotta, Carla Orestano, Filippo Paredes, Fabio Maria Montagnino, Agostino Tomasello

e-mail: sebastiano.calvo@unipa.it
e-mail: scannavino@biosurvey.it

DESCRIZIONE SINTETICA

La presente tecnica prevede l'utilizzo di un prodotto innovativo (brevetto depositato da Biosurvey S.r.l., Spin-off dell'Università di Palermo e IDEA S.r.l.) costituito da un sistema realizzato in plastica biodegradabile (bioplastica Mater-Bi) per il posizionamento in forma rapida ed efficace di talee di Posidonia oceanica sul fondo marino, allo scopo di garantirne l'attecchimento e la crescita e di agevolare la dinamica naturale di sviluppo della prateria.

Tale sistema consiste in una struttura a raggiera, interamente realizzata in materiale bioplastico di derivazione naturale, ancorabile sul fondo tramite un picchetto a fissaggio rapido (Figure 1a e 1c). In relazione alla tipologia di fondale (matte, sabbia, misto) può essere adottata una tipologia di picchetto di differenti lunghezze.

La struttura a raggiera è modulare con un nodo centrale, bloccato al picchetto da un dado, e sei braccetti su cui sono presenti un numero variabile di supporti (pinzette) per l'ottimale fissaggio delle talee. In particolare, tenuto conto che P. oceanica presenta rizomi con sezione ellittica, la pinzetta è stata configurata in forma ovale così da ottenere un migliore inserimento del rizoma (Figura 1b). Inoltre, le pinzette sono disposte con un'inclinazione di ~ 40° allo scopo di mimare l'angolo di espansione clonale con cui la pianta in natura colonizza il fondale (Marbà e Duarte, 1998). Tale sistema permette di fissare anche plantule di Posidonia, attraverso sistemi di aggancio opportunamente dimensionati.

MODALITÀ DI ESECUZIONE

Le talee prelevate dalla prateria donatrice vengono inserite nelle pinzette dei braccetti, caratterizzate da un profilo adatto alla specie vegetale da trapiantare e da dentelli antisfilamento. La struttura a raggiera viene preparata fuori dall'acqua bloccando i braccetti con le talee al nodo centrale. L'operatore subacqueo, dopo avere poggiato il puntale sul fondale, utilizzando un apposito avvitatore (manuale o ad aria compressa) introduce tutto il picchetto nel substrato. Successivamente la struttura a raggiera precedentemente predisposta viene bloccata alla testa del picchetto mediante il dado di fissaggio. La densità e la forma dei braccetti di impianto dipendono dalla condizione specifica del fondale.

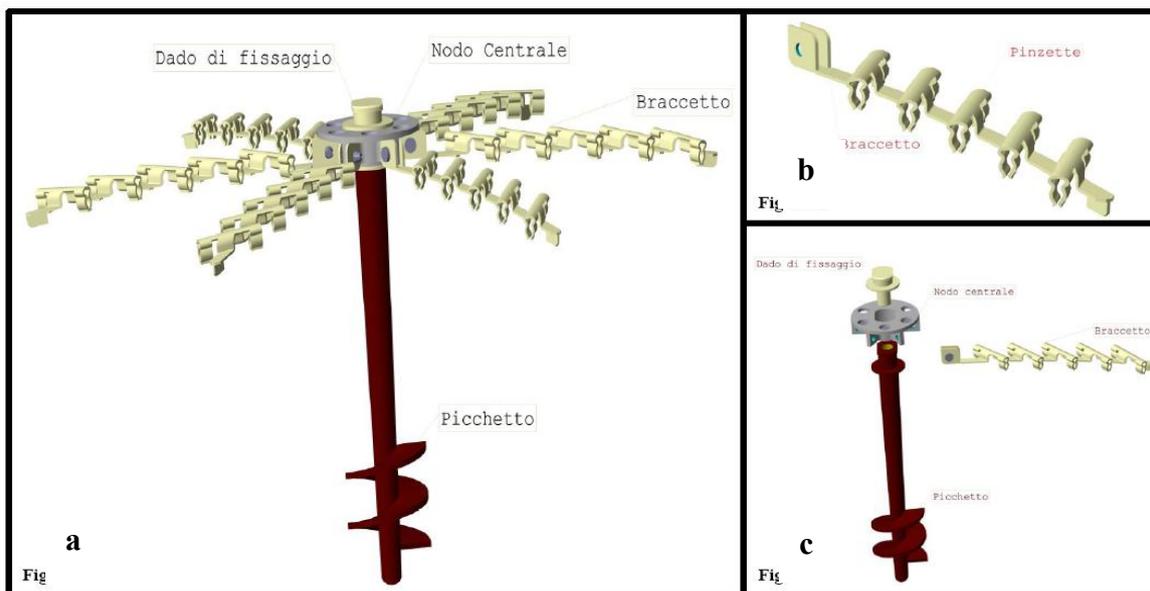


Figura 1 – Supporto biodegradabile in Mater-Bi assemblato a raggiera (a) e particolari dei singoli moduli: braccetto (b) e picchetto con modalità di montaggio (c).

SPERIMENTAZIONE

All'interno dell'area marina protetta Capo Gallo - Isola delle Femmine è stata condotta, nel gennaio 2011, una sperimentazione per verificare l'attecchimento dei trapianti ancorati su un fondale sabbioso, in un'area a elevato idrodinamismo, posizionata a una profondità di 12 metri. A distanza di 20 mesi dal trapianto (Figura 2) è stato possibile rilevare che circa l'80% delle talee sono sopravvissute agli stress dovuti al taglio, alla manipolazione e al reimpianto, con valori di mortalità e distacco intorno rispettivamente a 1% e 10%.

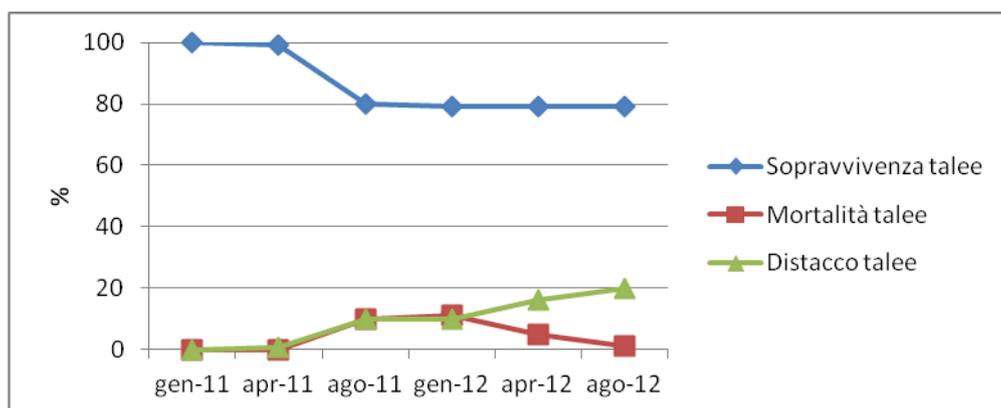


Figura 2 – Andamenti di attecchimento, distacco e mortalità delle talee.

Una ulteriore sperimentazione pilota è stata condotta nel Maggio 2012 in un'area a elevata qualità ambientale (Baia di Mondello – Palermo) per verificare l'attecchimento dei trapianti ancorati sia su un fondale a *Cymodocea nodosa* (Figura 3) che su matte morta (Figura 4), a circa 6 metri di profondità.



Figura 3 –Impianto su Cymodocea.



Figura 4 –Impianto su matte morta.

A distanza di 7 mesi dal trapianto non si rilevano differenze significative nell'attecchimento, distacco e mortalità delle talee tra i due substrati (Figura 5). In particolare, le percentuali di sopravvivenza delle talee rilevate nel mese di novembre 2012 sono state rispettivamente del 96% su matte e del 94% su Cymodocea.

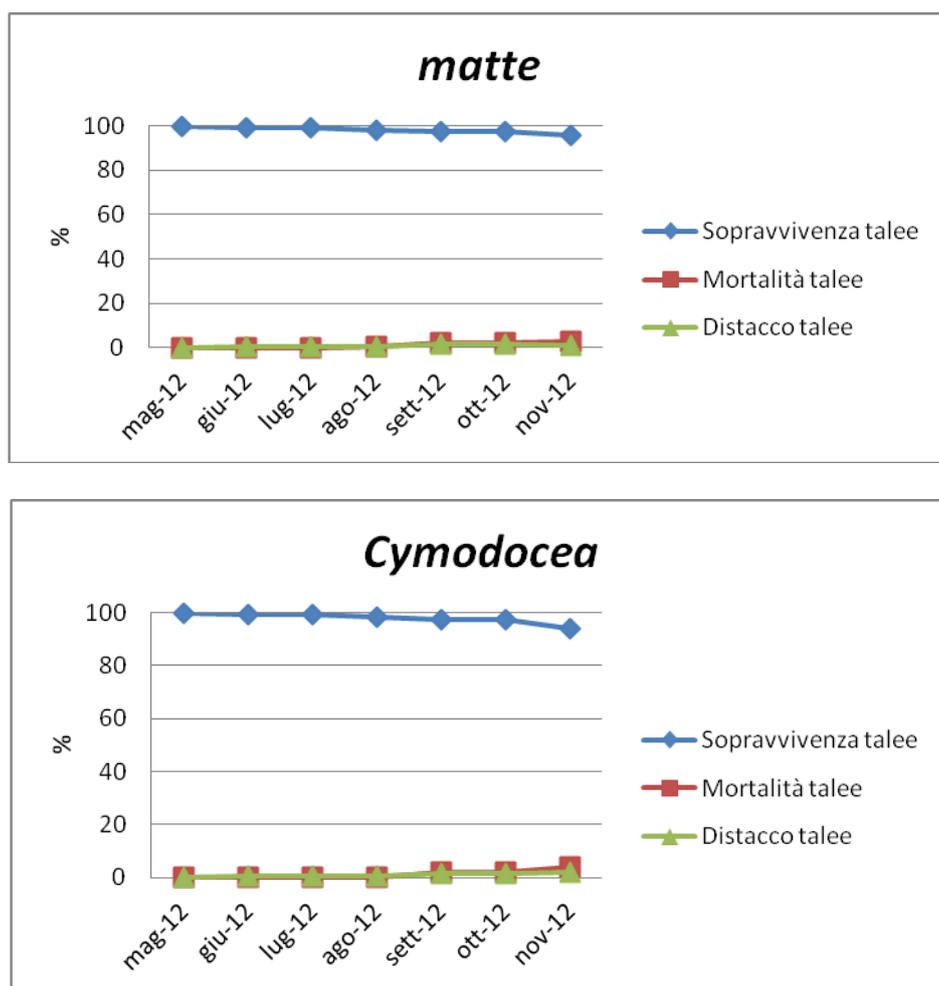


Figura 5 – Attecchimento, distacco e mortalità delle talee su matte morta e Cymodocea.

RACCOMANDAZIONI

- Una conoscenza approfondita delle caratteristiche ambientali dell'area da ripristinare e la sperimentazione con impianti pilota forniscono elementi per valutare l'idoneità del sito prima di effettuare il trapianto su ampia scala.
- Le talee devono essere trapiantate entro poche ore dall'espianto.
- L'intera procedura di fissaggio delle talee alla struttura deve essere condotta all'interno di vasche di opportune dimensioni, per mantenere costantemente sommerso il materiale per il trapianto.
- La scelta del sito donatore deve tenere conto della distanza dal sito ricevente, della profondità di prelievo delle talee e della qualità della prateria donatrice. Al fine di ridurre al minimo l'impatto sulla prateria donatrice si suggerisce di non superare per m² circa l'1% della sua densità.
- Interdire la pesca e gli ancoraggi nella zona interessata dalla riforestazione.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

- Non applicabile su substrati duri irregolari.
- Non applicabile su fondali soggetti a insabbiamento.

VANTAGGI

- *Utilizzo di materiale in bio-plastica per garantire alla fine del processo di radicamento la completa biodegradazione del supporto di ancoraggio delle talee nel medio termine (3-5 anni), senza rilascio di residui nocivi nell'ambiente.*
- *Semplificazione delle tecniche di ancoraggio per aumentare l'efficienza di posa e ridurre i costi.*
- *Utilizzo di geometrie bio-ispirate che emulano la modalità naturale di colonizzazione del fondale da parte della pianta.*
- *Possibilità di combinare i supporti a raggiera in un reticolo a geometria esagonale allo scopo di realizzare un fitto ricoprimento del fondo, ovvero di installarli indipendentemente per la colonizzazione a macchia.*
- *Esecuzione della maggior parte del lavoro a terra, limitando il lavoro subacqueo al solo posizionamento dei supporti sul fondo marino.*
- *Utilizzo su prato a *Cymodocea nodosa*, matte morta e sabbia.*
- *Riduzione di tempi e costi della riforestazione.*
- *Tempi di bio-degradazione compatibili con quelli necessari alle talee per la radicazione e la loro fissazione in maniera stabile al substrato.*

SVANTAGGI

- *Difficoltà di adattamento su fondi irregolari.*

EFFETTI

- *Riduzione dei tempi di radicazione delle talee al substrato.*
- *Aumento delle probabilità di successo dell'impianto.*

PERIODO DI INTERVENTO

Le operazioni di raccolta delle talee, allestimento dei supporti e loro impianto nel sito ricevente devono avvenire preferibilmente durante il periodo di riposo vegetativo della pianta (autunno).

POSSIBILI ERRORI

Eccessivo intervallo di tempo tra espianto e trapianto (max 12 h).

Sbalzi di temperatura delle talee durante le fasi di trasporto e fissaggio al supporto.

BIBLIOGRAFIA

MARBA, N., DUARTE, C.M. (1998) - Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Marine Ecology Progress Series* **174**: 269–280.

SCHEDA 5
TECNICA DI REIMPIANTO MEDIANTE BIOSTUOIE E GEOSTUOIE

Francesco Cinelli, Federico Boccalaro, Francesco Sante Rende, Marina Burgassi

fcinelli@biologia.unipi.it
posi2donia@yahoo.it

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA TECNICA

Rivestimento di fondali soggetti a erosione mediante la stesura di una biostuoia in agave e di una geostuoia sintetica tridimensionale, spessore min. 10 mm, sormontata da una rete metallica a doppia torsione. Rete e geostuoia vengono fissati al fondo mediante picchetti o ancoraggi. Il rivestimento viene abbinato a messa a dimora di talee e rizomi di specie di fanerogame marine con capacità di propagazione vegetativa (Posidonia oceanica, Cymodocea nodosa).

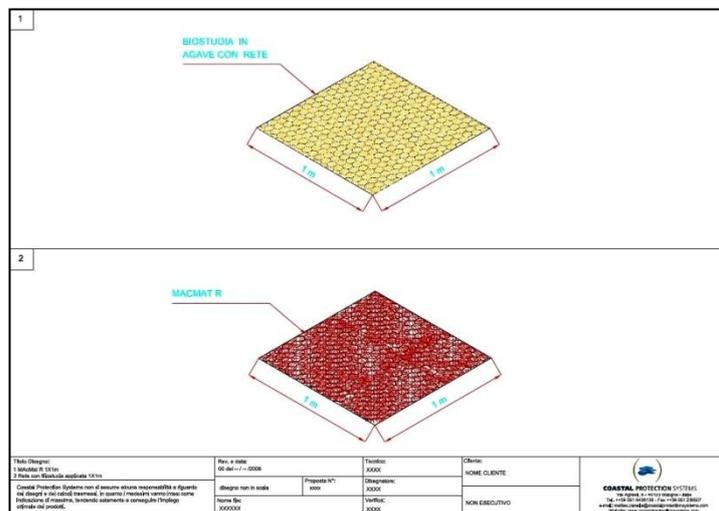


Figura 1 – Biostuoia in agave e geostuoia in polipropilene.



Figura 2 – Esempi di impiego della Biostuoia in agave e della geostuoia in polipropilene.

CAMPI DI APPLICAZIONE

Fondali in erosione con presenza di praterie di P. oceanica.

VARIANTI

Rivestimento in rete metallica e biostuoia in fibra di agave. La biorete in agave presenta una maglia di 5x5 mm e massa areica minima pari a 700 g/m². Può essere utilizzata per realizzare una protezione in zone di particolare pregio biologico per la sua naturalità e biodegradabilità.

L'abbinamento con la stuoia organica non è invece proponibile su fondali soggetti a frequente idrodinamismo per i quali viene impiegata la stuoia sintetica come di seguito descritto.

MATERIALI IMPIEGATI

- *geostuoia tridimensionale di min. 10 mm di spessore e massa areica minima pari a 750 g/m²;*
- *rete metallica a doppia torsione \varnothing 2,2 mm, maglia 6x8 cm, zincata e, in ambienti chimici aggressivi, plastificata;*
- *ancoraggi in acciaio zincato a caldo o inox (tipo "Manta Rey"), con ancora della portata da 36 a 88 kN, cavo di diametro \varnothing 10-16 mm e piastra di ripartizione, profondità di infissione $L = 2,5-3,5$ m per il fissaggio preventivo della stuoia e/o della rete;*
- *semina a spaglio;*
- *talee di Posidonia, Cymodocea, ecc..*

MODALITÀ DI ESECUZIONE

1. *regolarizzazione del fondale di natura sabbiosa con allontanamento di relitti, massi, ecc.;*
2. *stesura per file parallele dei teli di geostuoia tridimensionale, avendo cura di sovrapporre lateralmente i teli per almeno 10 cm;*
3. *fissaggio della geostuoia sopraflutto e lungo i lati mediante ancoraggi in acciaio con ausilio di martello idrodinamico a bicchiere e asta di guida in acciaio di diametro e lunghezza adeguati, secondo quantità variabili dipendenti dalla pendenza e dall'idrodinamismo del fondale stesso;*
4. *stesura e fissaggio della rete metallica a doppia torsione al disopra della geostuoia (esistono materiali in cui la rete a doppia torsione e la geostuoia tridimensionale sono preassemblate in fase di fabbricazione; in questo caso la posa avviene in un'unica soluzione);*
5. *messa a dimora di talee e rizomi di fanerogame marine, previo taglio, se necessario, di alcune maglie della stuoia.*

RACCOMANDAZIONI

La sovrapposizione dei teli della stuoia si rende necessaria per evitare l'erosione tra le fasce stesse.

I teli della rete possono invece essere resi solidali tramite legature con filo metallico.

Geostuoia e rete dovranno essere perfettamente adagiati e a contatto con il suolo sottostante, avendo cura di evitare la formazione di spazi vuoti.

La quantità di ancoraggi per m² dovrà essere valutata in base alla pendenza e all'idrodinamismo del fondale e comunque in quantità non inferiori a 1-2 ancoraggi per m².

Le talee devono essere trapiantate entro poche ore dal prelievo.

Scegliere zone di trapianto con non elevato idrodinamismo e con costante stabilità del sedimento, favorita dalla presenza di una parallela vegetazione algale.

Far precedere l'esecuzione da adeguate verifiche progettuali alle forze di sollevamento e trascinarsi idrodinamiche.

I risultati migliori si ottengono su aree morte di matre.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Le talee devono essere trapiantate entro poche ore dal prelievo di spianto.

Fondali molto irregolari o rocciosi.

Fondali con elevata velocità della corrente, forte moto ondoso e consistente trasporto solido.

Fondali con pendenza superiore a 2/3.

Fondali soggetti a insabbiamento.

VANTAGGI

Metodo di rivestimento molto robusto ad immediata e duratura funzione antierosiva. Elevata permeabilità che impedisce l'insorgere di sottopressioni. Capacità di stabilizzazione corticale del fondale in presenza di fenomeni di idrodinamismo.

Il rivestimento può, se di dimensioni ridotte, essere pre-assemblato a riva o su pontile, e poi calato sul fondale, con risparmio di manodopera subacquea.

Il rivestimento in breve tempo viene colonizzato da coperture algali strutturanti.

SVANTAGGI

La presenza di reti metalliche sulla superficie del fondale artificializza la struttura, e può creare problemi per la fauna, se non resa ben aderente al substrato.

EFFETTO

Immediato e robusto rivestimento antierosivo ad alta permeabilità all'acqua e favorevole allo sviluppo graduale di vegetazione a fanerogame marine e algale.

PERIODO DI INTERVENTO

La stesura di reti e geostuoie può avvenire in qualsiasi momento dell'anno, mentre la messa a dimora di talee e rizomi deve essere eseguita nel periodo di riposo vegetativo (autunno).

POSSIBILI ERRORI

Rete non adeguatamente fissata al substrato e quindi destinata a sollevarsi.

Piantagioni fuori stagione.

Impiego di reti a scadente zincatura, nei casi di ambiente chimico aggressivo, o non plastificate.

SCHEDA 6
RIFORESTAZIONE DI PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA
ALL'ISOLA D'ELBA CON L'USO DI RIVESTIMENTI ANTIEROSIVI
(2007 – 2008)

Francesco Cinelli, Federico Boccalaro, Francesco Sante Rende, Luigi Piazzì, Marina Burgassi

fcinelli@biologia.unipi.it
posi2donia@yahoo.it

La sperimentazione di riforestazione con talee di Posidonia oceanica, condotta nel 2006 presso l'isola d'ELBA, in località Cavo (Figura 1), si è focalizzata soprattutto sulla valutazione della resistenza alle condizioni subacquee di alcune tipologie di materiali impiegati normalmente dall'Ingegneria Naturalistica terrestre, con l'obiettivo di mettere a punto una metodologia per il rinverdimento dei fondi marini, utilizzando tecniche di ingegneria naturalistica applicate alle fanerogame marine e in particolare P. oceanica (L.) Delile. I materiali e le metodologie utilizzate sono stati ampiamente sperimentati in ambiente terrestre, mentre le applicazioni marine sono fino ad adesso ancora praticamente inesplorate.



Figura 1 – Isola d'Elba, panoramica della località Cavo.

Nell'ambito della sperimentazione condotta, vari tipi di materiale, alcuni dei quali totalmente biodegradabili, sono stati posizionati nel mese di ottobre 2006 a una profondità di circa 7 m nella località di Cavo, Isola d'Elba. Il materiale non biodegradabile è costituito da 3 materassi tipo "Reno", (1×1×0,23 m), rivestiti alla base e sui lati con geotessuto e muniti di coperchio "Macmat R", inoltre sono stati adoperati 3 riquadri di "Macmat R", con geostuoia tridimensionale e rete metallica a doppia torsione (1 m × 1 m) fissati direttamente sul fondo (Figura 2).

Infine, per testare la resistenza in acqua di un materiale completamente biodegradabile, sono state utilizzate 4 biostuoie in fibra di agave a trama fitta, di cui 2 rinforzate con rete metallica a doppia torsione, e 2 prive di rinforzi. Su ogni struttura, sono state posizionate 20 talee di P. oceanica, delle quali quelle inserite sulle stuoie sono state fissate singolarmente con filo monotubolare in PVC utilizzato nella pratica del giardinaggio. Lo scopo principale della sperimentazione, almeno in questa fase, è stato quello di verificare, in primis, la resistenza e la compatibilità dei sistemi di ancoraggio delle talee, come secondo aspetto è stata invece valutata la sopravvivenza delle talee di P. oceanica impiantate.

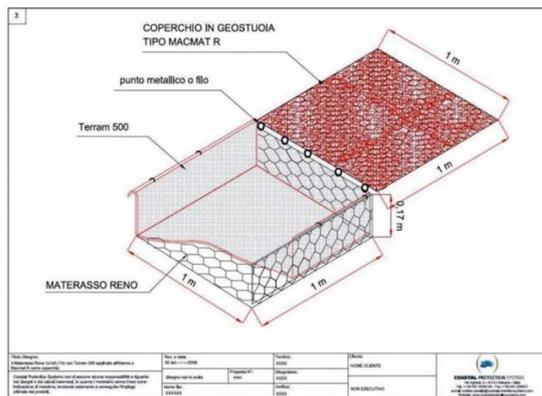


Figura 2 - Materasso in rete metallica con geostuoia in polipropilene e geotessuto in bopolimero (sulla sinistra) e biostuoia in agave (sulla destra).

La messa in posa in mare del materiale adoperato per la sperimentazione (materasso Reno e coperchio "Macmat R") è stata preceduta da una complessa fase, avvenuta a terra, di confezionamento dei materassi, come riportato nella sequenza delle Figure da 3 a 11.

In pratica, si è provveduto a sezionare il rivestimento in geotessuto tipo "Macmat R" in taglie di 1×1 m ed a rivestire i materassi con la fibra terram 1000, successivamente si è provveduto a trasportare i materassi in mare.



Figure 3-5 - Rivestimento del materasso rivegetabile in rete metallica con geotessuto (3), geostuoia in fase di sezionamento (4), materasso rivegetabile pronto per la messa in mare (5).



Figure 6-8 - Materasso collocato sul fondo e riempito di sabbia (6), materasso coperto con geostuoia (7), materasso con geostuoia fissato lungo il bordo con fascette di nylon (8).

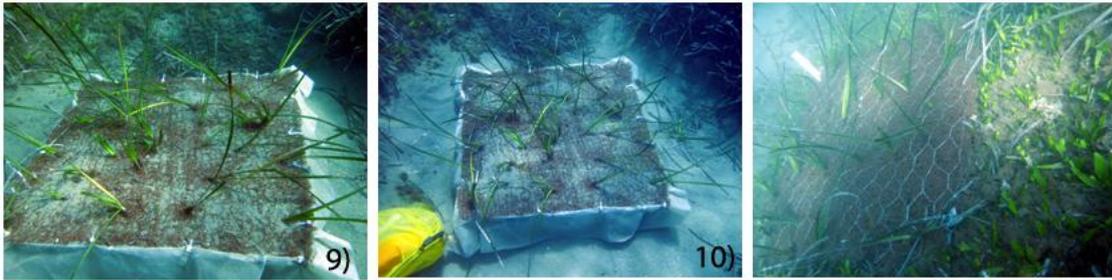


Figure 9-11 - Talee di *Posidonia oceanica* fissate al coperchio del materasso (9), talee in fase di fissaggio (10), geostuoia "Macmat R" fissata su matte morta di *P. oceanica* con talee impiantate (11).

In riferimento alle stuoie d'agave queste sono state fissate sul fondo di sabbia per mezzo di picchetti d'acciaio; i quadrati di geostuoia "Macmat R" sono stati posizionati su sabbia e su matte morta di *P. oceanica* (secondo lo schema di Figura 12) sempre per mezzo di picchetti d'acciaio (Figura 13).

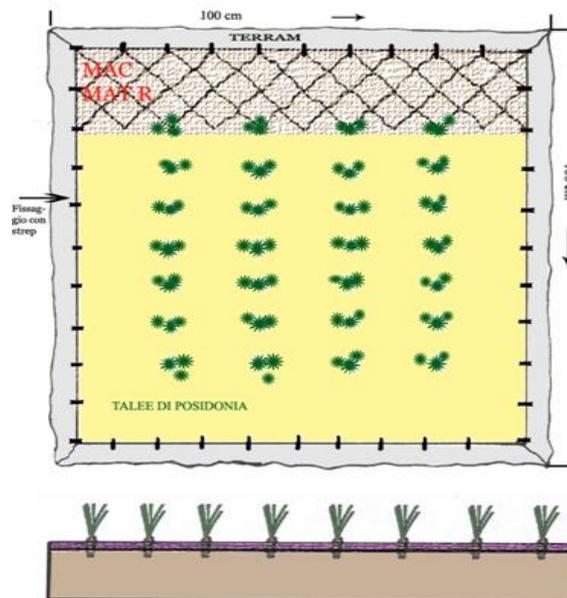


Figura 12 - Schema del posizionamento di talee di *Posidonia oceanica* su materasso rivegetato

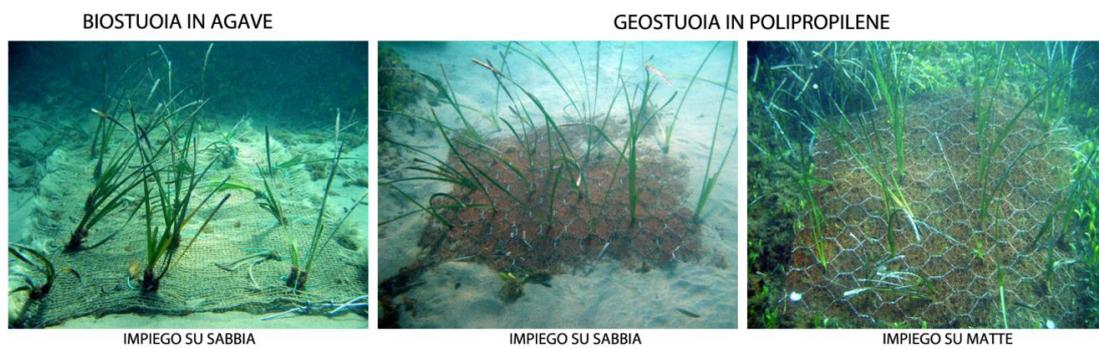


Figura 13 - Sistemi fissati sul fondo sabbioso e su matte per mezzo di picchetti d'acciaio.

I dati raccolti dalla sperimentazione dei materassi Reno e delle geostuoie “Macmat R” sottolineano che i materiali scelti possono essere utilizzati per la riforestazione di P. oceanica per l’elevata stabilità e la resistenza ad un idrodinamismo non eccessivo, per la semplicità d’assemblaggio e di messa in opera. Le talee sorrette dall’estruso tridimensionale spugnoso, senza alcun sistema di fissaggio ulteriore, sono ben impiantate e hanno cominciato il processo di radicazione e di allungamento del rizoma. Nei mesi successivi il posizionamento sono stati effettuati una serie di controlli, per rilevare lo stato di conservazione dei materiali e la stabilità delle strutture e delle talee alle correnti.

Nel primo controllo, effettuato circa un mese dopo il posizionamento, è stato rilevato un ottimo stato di conservazione di tutti materiali. In particolare, il riquadro in geostuoia “Macmat R” posizionato sulla scarpata di matte morta, presentava già una completa integrazione con l’ambiente bentonico grazie alla crescita, all’interno della struttura tridimensionale che costituisce la geostuoia, dell’alga Caulerpa prolifera (Forskaal) Lamouroux già presente nell’area in oggetto. In questo controllo tutte le talee posizionate erano in buone condizioni (Figura 14).



Figura 14 - Riquadro in “Macmat R” su matte morta con talee di Posidonia oceanica e crescita di Caulerpa prolifera dopo circa un mese dalla messa in posa della struttura.

I successivi controlli (estate 2007) sono stati effettuati a seguito di forti mareggiate che hanno interessato l’area: in questo caso le strutture presentavano ancora un ottimo stato di conservazione e gli ancoraggi dei materiali si sono dimostrati efficaci. Dopo circa un anno dall’avvio della sperimentazione, effettuata con l’impiego del quadrato in geostuoia “Macmat R”, viene confermata la completa integrazione con l’ambiente marino, permettendo la piena penetrazione della struttura tridimensionale della geostuoia ad opera di alghe bentoniche (Figura 15).

Similmente i materassi “Reno”, grazie al riempimento con sabbia che conferisce pesantezza e solidità alla struttura, hanno evidenziato una grande stabilità e resistenza e, a due anni dalla messa in opera, non mostrano danneggiamenti, spostamenti o cedimenti a causa dell’idrodinamismo o degli ancoraggi. Infine le strutture si sono ben integrate con il substrato, permettendo la crescita della vegetazione algale, che oramai li ricopre completamente (Figura 16).



Figura 15 - Quadrato di geostuoia "Macmat R" su matte di Posidonia oceanica (controllo estate 2007).



Figura 16 - Materasso "Reno" con talee di Posidonia oceanica e crescita di alghe bentoniche dopo circa un anno dalla messa in posa della struttura (controllo estate 2007).

Nell'estate 2008 è stata effettuata una successiva serie di controlli, che ha mostrato come nel tempo le strutture fissate al substrato sabbioso mediante pali zincati presentino una minore stabilità rispetto al materasso "Reno", legata in particolare all'azione degli ancoraggi. Le biostuoie in agave diversamente si sono disgregate quasi completamente evidenziando una durata in acqua di mare troppo breve per il loro utilizzo in interventi di riforestazione.

Infine, in aree a sedimentazione elevata, strutture che non presentano un elevato spessore tendono a essere seppellite con conseguente soffocamento e abrasione delle talee che sono state posizionate sopra di esse.

L'ultimo controllo effettuato a marzo 2009 conferma la stabilità e la capacità

d'integrazione con il substrato marino dei materassi e del riquadro in geostuoia "Macmat R" su matte, come verificato nei precedenti controlli dell'estate 2008. Infine su tutte queste strutture le talee di *P. oceanica* inserite hanno mostrato un buono stato di conservazione, presentando un accentuato allungamento dell'apparato radicale (figure 17-18).

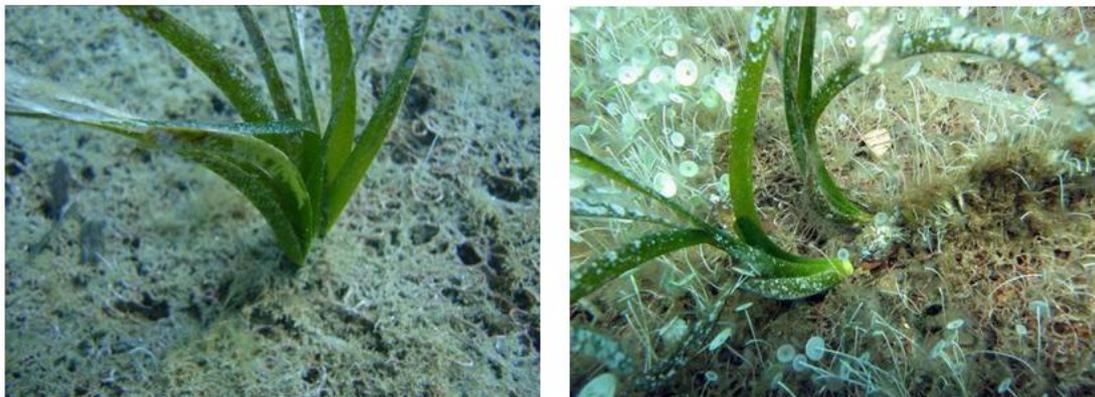


Figura 17 – A sinistra: talea fissata e radicata (controllo estate 2009); a destra: talea radicata e riprodotta (controllo estate 2009).



Figura 18 – A sinistra: talea con radici neoformate (controllo estate 2009); a destra: talea con radici neoformate (controllo estate 2009).

I risultati preliminari sembrerebbero indicare che i materassi "Reno" e i quadrati "Macmat R" possano essere utilizzati vantaggiosamente in interventi di riforestazione con *P. oceanica* e altre fanerogame marine, grazie all'elevata stabilità e resistenza ai fenomeni idrodinamici, alla semplicità di assemblaggio e posizionamento in mare, alla possibilità di confezionamento a terra e ai contenuti costi di realizzazione. In particolare sembra particolarmente felice la scelta dell'utilizzo del quadrato in "Macmat R" su matte morta in presenza di altre macrofite. La biostuoia in agave pur essendo un materiale biodegradabile, mostra una resistenza in ambiente marino molto limitata, che non la rendono utilizzabile in mare per operazioni di reimpianto. La sperimentazione condotta evidenzia invece la necessità di una variazione alla metodologia di fissaggio delle talee sui materassi "Reno", inserendo le talee di *P. oceanica* nel coperchio della struttura prima del montaggio finale e del riempimento con sabbia del materasso, al fine di integrare i rizomi con il sedimento e di stabilizzare le talee evitando che l'elevato idrodinamismo del moto ondoso possa rimuoverle.

SCHEDA 7
TECNICA DI REIMPIANTO MEDIANTE MATERASSI RIVEGETATI

Francesco Cinelli, Federico Boccalaro, Francesco Sante Rende, Marina Burgassi

fcinelli@biologia.unipi.it
posi2donia@yahoo.it

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA TECNICA

Materassi prefabbricati in rete metallica zincata, con spessore di minimo 0,17 cm. Rivestiti nella parte superiore con geostuoia o biofeltri, vengono riempiti con materiale inerte (ghiaia, sabbia o limo) e foderati con geotessili. I moduli e le parti dei moduli vengono assemblati con punti metallici in acciaio zincato o con fascette in nylon, in modo tale da costituire una struttura monolitica. Vengono messe a dimora talee e rizomi di specie di fanerogame marine autoctone con piantatore, previo eventuale taglio di alcune maglie della geostuoia nella parte superiore.

CAMPI DI APPLICAZIONE

Nei fondali marini con energia idrodinamica significativa dove svolgono funzione di protezione rispetto all'erosione marina. Sono strutture permeabili che non ostacolano la filtrazione dell'acqua da e verso la riva. Vanno utilizzate verificandone la stabilità rispetto alle tensioni di trascinarsi dovute all'azione dell'acqua; la resistenza dipenderà dalla presenza della rete metallica e dall'eventuale zavorramento del riempimento. Si deve valutare accuratamente il trasporto solido per evitare la parziale sommersione da parte del sedimento mobile presente nelle aree circostanti.

MATERIALI IMPIEGATI

- *Moduli prefabbricati in rete metallica zincata con maglia tipo 6×8, filo ø 2,2 mm, eventualmente plastificato. I moduli hanno lunghezza minima 2 m, larghezza minima 1 m e spessore minimo 0,17 cm.*
- *All'interno, ed eventualmente in superficie, sono foderati con geotessili non tessuti sintetici o in fibra vegetale, con funzione di filtro e ritenzione di fini.*
- *Filo di ferro zincato ø 2,0 mm o punti metallici meccanizzati in acciaio ø 3,0 mm o, in alternativa, fascette in nylon da 5,0 mm.*
- *Materiale di riempimento: inerte con assortimento granulometrico e/o sabbia.*
- *Nelle applicazioni su fondali con forte moto ondoso e/o intense correnti si usano ancoraggi a scomparsa (tipo "Manta Ray") dotati di cavo o barre metalliche di lunghezza e diametro variabili in funzione delle condizioni del sito.*
- *Geostuoia tridimensionale o biorete per il controllo dell'erosione superficiale.*
- *Concimi organici e inorganici.*
- *Talee di Posidonia, Cymodocea, ecc.*

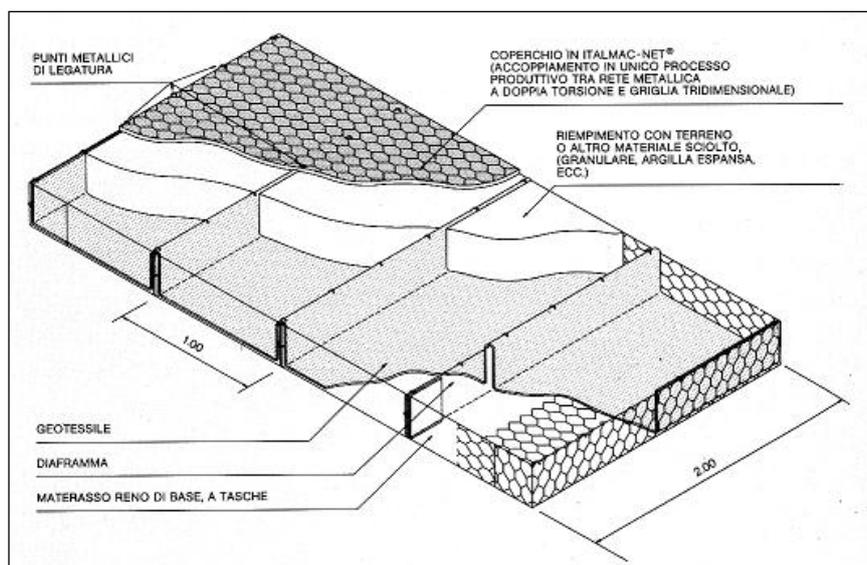


Figura 1 – Spaccato di un materasso rinverdibile



Figura 2 – Esempio di materasso impiegato in un intervento sperimentale.

MODALITÀ DI ESECUZIONE

1. Preparazione del piano di posa mediante movimento terra.
2. Allestimento dei materassi (foderati sul fondo e ai lati in geotessuto sintetico o in fibra vegetale, ritentori di fini) a piè d'opera (su battigia, pontone o imbarcazione) o in opera (sul fondo prescelto) e unione dei vari moduli mediante impiego di punti metallici meccanizzati o filo metallico o fascette in nylon.
3. Se necessario, su fondali soggetti a forte idrodinamismo, ancoraggio al substrato con ancoraggi metallici a scomparsa, in quantità e qualità tali da garantire aderenza e stabilità del materasso al substrato o con zavorramento.
4. Riempimento con ghiaia, sabbia o limo additivato con concimi organici o inorganici e con fibre organiche.
5. Rivestimento superficiale superiore con biostuoia o con stuoie sintetiche tridimensionali; se necessario proteggere la sabbia del fondo posando un geotessile non tessuto filtrante prima della messa in opera del materasso. Si può anche prevedere la stesura di un geotessile prima della chiusura del coperchio affinché agisca da ritentore di fini, favorendo la crescita di vegetazione.
6. Chiusura del materasso nella parte superiore.

7. Riempimento con uno strato di sabbia mista a fibre organiche.
8. Messa a dimora di talee di fanerogame marine, previo taglio eventuale di alcune maglie della stuoia.
9. Aggancio del materasso lungo le apposite barre di rinforzo; movimentazione in sollevamento o galleggiamento con apposita imbarcazione; affondamento su fondo prescelto (se preparato a piè d'opera).

RACCOMANDAZIONI

Le talee devono essere trapiantate entro poche ore dal prelievo di espianto.

Far precedere l'esecuzione da adeguate verifiche progettuali relativamente alle forze di sollevamento e trascinamento idrodinamiche.

E' da valutare accuratamente la possibilità di presenza di "maree di sabbia" (Figura 3 e Figura 4).

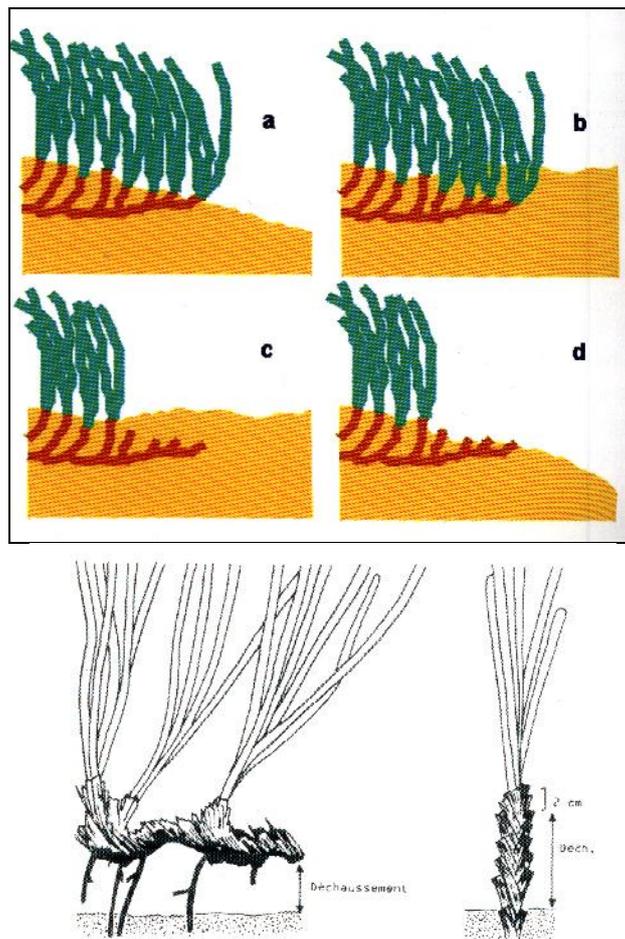


Figura 3 - "Marea di sabbia" che ricopre i rizomi e le foglie con possibile scalzamento successivo che determina una moria nella prateria (da Boudouresque, 2006).

Le maree di sabbia, già segnalate in molte parti del Mediterraneo, possono determinare sia la morte delle praterie, seppellendo le foglie per periodi molto lunghi, sia l'asportazione delle foglie lasciando i rizomi completamente scalzati a causa dell'effetto abrasivo esercitato dalla sabbia.

Si dovranno svolgere con la massima cura le operazioni di legatura delle reti metalliche e di chiusura dei coperchi.

Durante la movimentazione, la struttura può essere soggetta a deformazioni temporanee in quanto il materasso ritrova la propria forma originaria una volta posto in opera. In genere è comunque opportuno inserire barre di rinforzo ϕ 20 mm legate alla struttura per ridurre le deformazioni e per meglio agganciare il materasso durante la movimentazione.

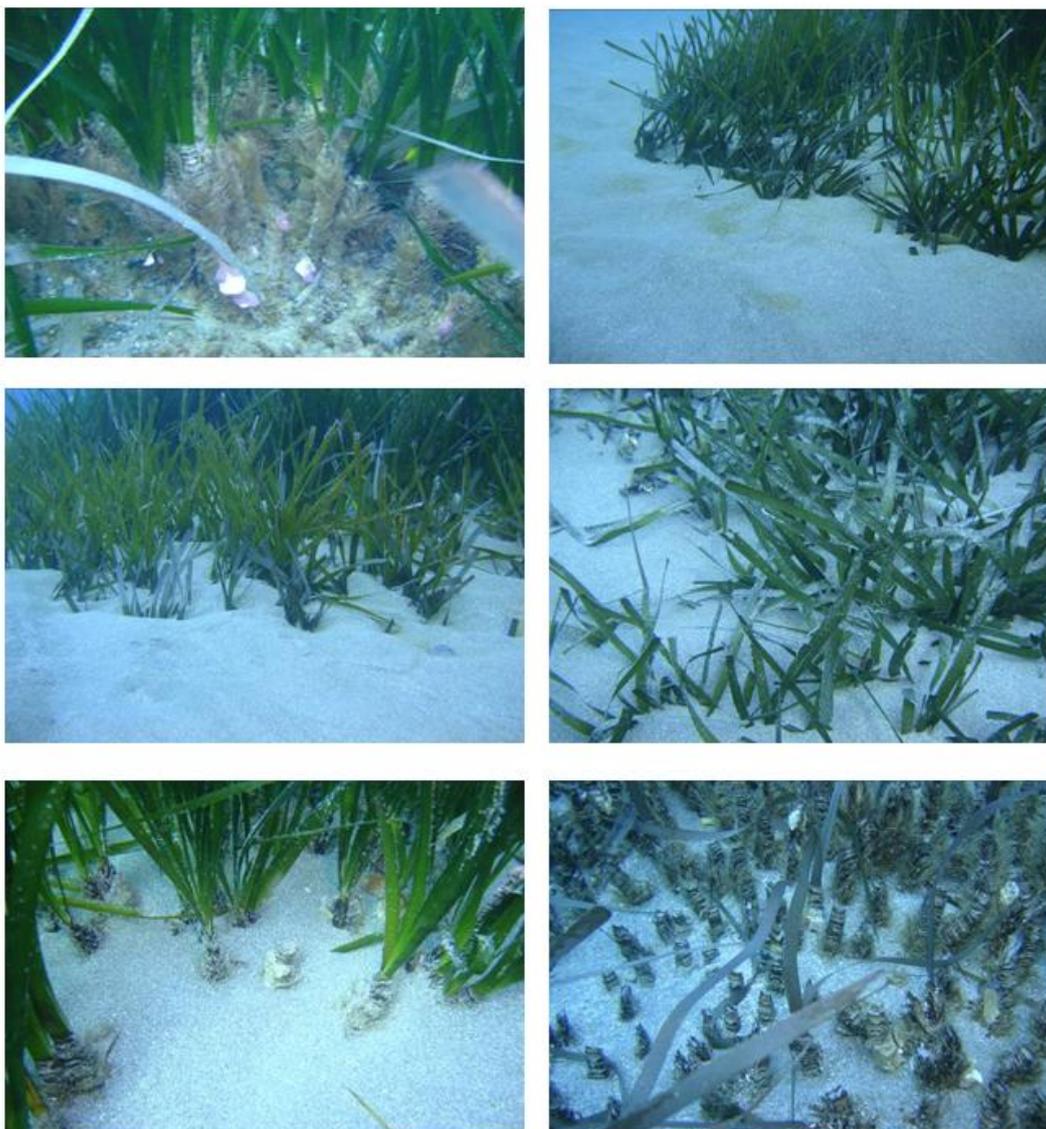


Figura 4 - Effetto di abrasione e scalzamento dei rizomi dovuto all'effetto delle "maree di sabbia".

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Fondi rocciosi irregolari.

Fondi con pendenza superiore a 2/3.

Fondi soggetti a insabbiamento.

Le talee devono essere trapiantate entro poche ore dal prelievo.

VANTAGGI

I materassi hanno un'elevata durata temporale. Si adattano alla morfologia dei fondi e vengono colonizzati in tempi brevi da alghe e altri organismi sessili naturali diventando parte integrante del paesaggio sottomarino.

Possono essere impiegati anche per il rinverdimento di fondali soggetti a forte idrodinamismo, salvo opportune chiodature di fissaggio.

Il materasso può essere pre-assemblato a riva o su pontile, e successivamente calato sul fondo, con notevole risparmio di manodopera subacquea.

SVANTAGGI

E difficilmente ripiantumabile una volta posto in opera e quindi la costruzione ha un vincolo stagionale legato ai periodi di messa a dimora delle talee.

La realizzazione si basa sulla disponibilità in loco di idoneo materiale sabbioso-limoso (con

granulometria il più possibile simile a quella dell'area di prelievo delle talee) da utilizzare per i riempimenti.

L'uso di materiale litoide alloctono incrementa i costi e non è coerente con il principio dell'impiego di risorsa locale e con l'effetto ecologico.

Le condizioni del mare influenzano fortemente la continuità e la durata delle operazioni di trapianto.

Il ritmo di crescita della P. oceanica è molto lento.

EFFETTO

Graduale rivestimento di fondi, rinverdibili nel breve e medio termine per la colonizzazione da parte della vegetazione algale e nel lungo termine per la crescita delle talee e dei rizomi.

PERIODO DI INTERVENTO

La raccolta e l'inserimento di materiale vegetale è preferibile che avvenga durante i periodi stagionali maggiormente favorevoli quali: la primavera per le talee plagiotrope e l'autunno per le talee ortotrope.

POSSIBILI ERRORI

Insufficiente zavorramento o inadeguato ancoraggio al fondo dei materassi.

Fondale con pendenza eccessiva.

Riempimento con materiale di granulometria non idonea.

Impiego di non tessuti sintetici non degradabili che impediscono la radicazione a lungo termine.

Inserimento di talee e rizomi di Posidonia con fissaggio poco efficace e stabile.

Esecuzione fuori stagione con scarse possibilità di attecchimento.

Eccessivo intervallo di tempo tra espianto e trapianto (max 12 h).

Uso di materiale litoide alloctono.

SCHEDA 8

L'IMPIANTO PILOTA DELL'AMP "CAPO RIZZUTO" CROTONE (2008-2009)

Francesco Cinelli, Federico Boccalaro, Francesco Sante Rende, Stefano Acunto, Luigi Piazzì, Domenico Rocca, Piero Cappa, Simone Scalise, Marina Burgassi, Maria Lorella Grippa

fcinelli@biologia.unipi.it
posi2donia@yahoo.it

Il progetto sperimentale "Intervento di riforestazione, protezione di fondali marini e creazione di un vivaio sperimentale mediante l'utilizzo di Posidonia oceanica", nasce da una collaborazione tra l'Area Marina Protetta di Capo Rizzuto (KR) e l'International School for Scientific Diving (I.S.S.D.) ora (A.C.S.D.I.S.S.D.) "Anna Proietti Zolla".

Il progetto si colloca come un importante intervento che trae origine dalla consapevolezza che la messa a punto di nuove metodologie di riforestazione in mare con fanerogame marine possa significativamente aiutare a proteggere le praterie di P. oceanica. I materiali scelti per l'intervento, che già da tempo sono utilizzati per riforestare e consolidare le sponde di fiumi e corsi d'acqua, sono stati selezionati in una precedente sperimentazione iniziata all'Isola d'Elba nell'ottobre 2006, che ha permesso di testare in mare per più di 2 anni le tipologie di materiale scelto e verificare la loro compatibilità con l'ambiente marino. In base alle caratteristiche dell'Area Marina Protetta di Capo Rizzuto, all'estensione del progetto e alle particolari caratteristiche idrodinamiche dell'area è stato scelto di utilizzare esclusivamente i materassi Reno. L'area oggetto dell'intervento è situata all'interno dell'Area Marina Protetta di Capo Rizzuto (Figura 1).

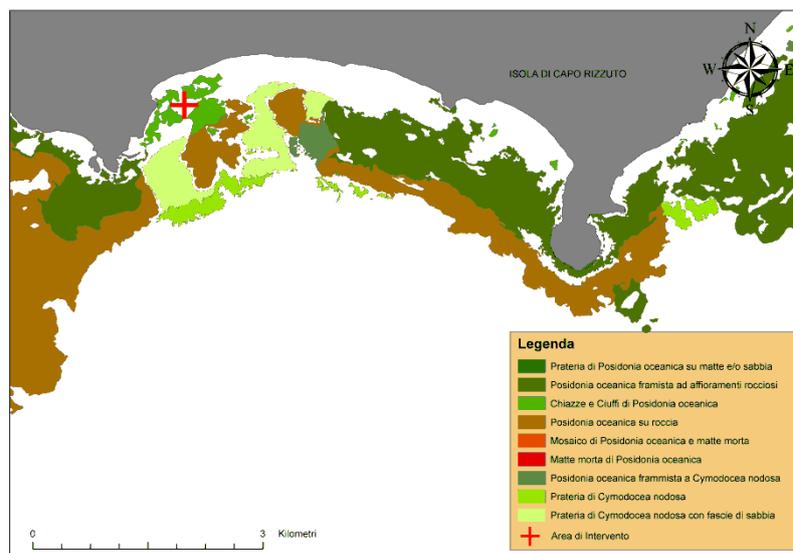


Figura 1. - Area Marina Protetta di Capo Rizzuto zona di intervento del posizionamento dei materassi.

La prima fase del progetto è stata caratterizzata dall'assemblaggio dei materassi "Reno" (dimensioni 2×1×0,23 m) foderati di geotessuto terram 1000 (Figura 2). Successivamente i materassi sono stati trasportati sul luogo scelto per la realizzazione dell'impianto e agilmente calati in mare, grazie alla loro leggerezza e maneggevolezza.

Per quanto riguarda le attività in mare, si è provveduto al posizionamento dei materassi sul fondo individuato nei precedenti survey, al loro riempimento con sabbia (Figura 3) e infine alla piantumazione di talee di P. oceanica (Figura 4).



Figura 2 – Fasi di confezionamento dei materassi.



Figura 3 - Posizionamento subacqueo dei materassi rivestiti di tessuto Terram 1000 (a sinistra) e riempimento dei materassi con sorbona ad aria (a destra).

*E' stato necessario sostituire l'utilizzo di plantule nate da seme con talee prelevate in situ e provenienti dal disfacimento della matte per naturale erosione, questo poiché non si è verificata una fruttificazione di *P. oceanica* che potesse produrre materiale vegetale sufficiente alla realizzazione del vivaio. Le talee utilizzate sono state scelte soprattutto tra quelle già scalzate dalle forti mareggiate invernali e già in parte staccate dalla prateria per disfacimento della matte.*

Le operazioni di realizzazione dell'impianto sperimentale si sono svolte nel mese di maggio del 2009.

Le attività sopraccitate hanno richiesto un notevole impegno: infatti sono state effettuate ogni giorno 2 immersioni, al fine di ottimizzare i tempi di messa in posa e ridurre i tempi di giacenza delle talee.

Si descrivono di seguito nel dettaglio le operazioni di realizzazione dell'impianto (Figura 4).

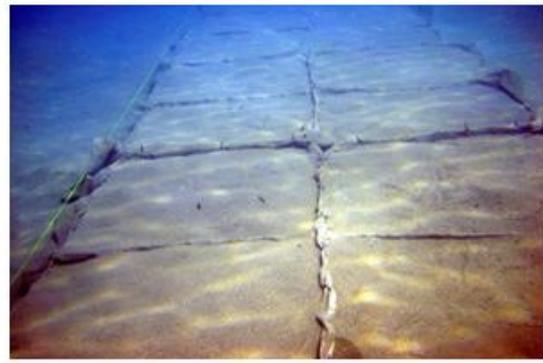


Figura 4 - Varie fasi della piantumazione su materassi.

Si è scelto di creare un'unica struttura posizionando i singoli moduli uno accanto all'altro, così da costruire un'unica continua striscia lunga 14 m e larga 2 m.

La motivazione di creare un'unica struttura è quella di assicurare la massima stabilità possibile nel tempo all'impianto. Per facilitare il corretto posizionamento dei materassi è stata stesa una sagola di riferimento lungo la quale sono stati posizionati i singoli moduli che sono stati fissati tra loro tramite fascette. Tutti i materassi sono stati riempiti sia manualmente con delle palette, sia con l'uso di una sorbona. Il materiale sabbioso necessario

per il riempimento è stato prelevato in loco. A seguito del riempimento dei materassi, si è provveduto alla loro chiusura sul lato superiore. A tal riguardo è stata utilizzata una geostuoia tridimensionale in polipropilene, appositamente tagliata a terra delle stesse dimensioni del vivaio (14×2 m). Questa geostuoia presenta una struttura tridimensionale, costituita da un elemento di rinforzo in rete metallica a doppia torsione al quale è fissato, in fase produttiva, un filamento estruso di polipropilene, che la rende estremamente porosa. Il rotolo di geostuoia pre-tagliato è stato trasportato sul luogo del vivaio, calato in mare e steso direttamente sopra l'intera struttura, controllando che aderisse perfettamente alla superficie superiore dei materassi e fissando i lati con fascette di nylon. La scelta di utilizzare un'unica geostuoia per coprire l'intera struttura dei materassi ha permesso di ridurre sensibilmente sia i lavori di premontaggio a terra dei materiali sia il lavoro subacqueo di copertura.

Successivamente alla fase di montaggio dell'impianto, si è provveduto al reperimento e alla successiva piantumazione di talee ortotrope e plagiotrope di *P. oceanica*.

Le talee sono state prelevate dalla prateria circostante, alla stessa profondità di trapianto, scegliendo soprattutto quelle già scalzate dal moto ondoso invernale e provenienti dalle parti della matte in disfacimento per erosione. Questa scelta è stata fatta per tutelare il più possibile la prateria di *P. oceanica* sia prelevando la quantità minore possibile di fasci dalla prateria sia riutilizzando del materiale vegetale che sarebbe andato probabilmente perso nelle successive mareggiate.

Sono state trapiantate circa 20 talee di *P. oceanica* per m², delle quali 10 talee con rizoma ortotropo e 10 con rizoma plagiotropo, per un totale di circa 560 talee.

Le talee non sono state fissate alla struttura, ma sono state semplicemente inserite nella struttura tridimensionale della geostuoia stessa, agevolando l'operazione d'inserimento tramite l'uso di un piantatore manuale. Infatti la geostuoia, grazie alla sua struttura porosa, riesce a "intrappolare" i rizomi, evitando così i lunghi tempi di lavoro subacqueo normalmente necessari per il fissaggio delle talee stesse.

A seguito della fase di trapianto si è provveduto a un controllo finale della struttura, aggiungendo quando necessario un po' di sabbia affinché tutti i rizomi di *P. oceanica* fossero a contatto con il sedimento, condizione necessaria alla successiva radicazione delle talee. Tutte le operazioni sono state documentate con videoriprese subacquee e fotografie digitali. Le coordinate geografiche dell'area dell'impianto sperimentale sono state comunicate alla Area Marina Protetta di Capo Rizzuto che le ha opportunamente inviate alla Capitaneria di Porto di Crotona per la realizzazione di un divieto di ancoraggio nell'area. Il perimetro del vivaio è stato inoltre segnalato da 4 boe, fissate a 4 corpi morti posizionati sul fondo, sopra le quali sono stati installati degli appositi cartelli informativi che spiegano ai naviganti che nell'area è in corso un esperimento scientifico. A seguito della realizzazione del vivaio sperimentale, è iniziata una fase di monitoraggio dell'impianto, per valutare sia la stabilità della struttura rispetto al forte idrodinamismo locale, sia il tasso di sopravvivenza delle talee di *P. oceanica* nel tempo, anche in relazione ai lunghi tempi di radicazione delle talee che caratterizzano *P. oceanica*.

Alla fine del mese di luglio 2009 è stato effettuato un primo controllo, che ha permesso di constatare la sopravvivenza di tutto il materiale vegetale utilizzato per l'impianto.

Successivamente si è ritenuto indispensabile proseguire i controlli con un costante monitoraggio del vivaio di durata almeno annuale, al fine di valutare i primi risultati effettivi dell'impianto pilota in termini di stabilità e di sopravvivenza delle talee. A tal proposito, si evidenzia come a causa della particolare esposizione del tratto di costa considerato, che risente dei venti provenienti da Sud-Est (120° - 135°, Scirocco), da dove proviene il moto ondoso con la maggiore energia e che può generare sottocosta onde >5 m, tutta la struttura dell'impianto pilota è stata seppellita dalla sabbia movimentata dalle intense mareggiate invernali. Quindi, a causa di tali eventi estremi, non è stato possibile portare avanti il programma di monitoraggio stabilito.

SCHEDA 9
TRAPIANTO SU MODULI QUADRATI IN CEMENTO
ARMATI CON RETE METALLICA

Michele Scardi, Luigi Valiante

mscardi@mclink.it
lvaliante@mare-net.com

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA TECNICA

Gli interventi di trapianto di Posidonia oceanica su larga scala che la ECON S.r.l. da alcuni anni sta eseguendo si basano sull'uso di moduli quadrati di reimpianto con lato di 50 cm, costituiti da una cornice in cemento dotata di una rete metallica che trattiene le talee. In realtà, però, gli interventi eseguiti hanno previsto una strategia complessiva che non riguarda soltanto il vero e proprio reimpianto di talee, ma anche altre linee di attività, che hanno lo scopo di guidare la realizzazione del trapianto e di monitorare nel tempo i suoi esiti. In particolare, un intervento di trapianto si basa su i seguenti momenti:

1. *Identificazione delle aree idonee al prelievo di fasci di P. oceanica*
2. *Identificazione delle aree idonee al reimpianto*
3. *Determinazione dello stato della prateria ricevente prima dell'intervento*
4. *Installazione di moduli atti ad ancorare le talee al substrato*
5. *Prelievo, selezione e trasporto delle talee di Posidonia dalle aree di espianto a quelle di reimpianto*
6. *Messa a dimora delle talee nelle aree di reimpianto*
7. *Monitoraggio quinquennale*

CAMPI DI APPLICAZIONE

Ad oggi, compensazione di opere marittime come dragaggi, posa di condotte e cavi, realizzazione di porti ecc. In prospettiva (vedi sezione "Limiti di applicabilità) anche restauro ambientale di praterie che hanno subito impatti diretti o fenomeni di regressione.

MATERIALI IMPIEGATI

Per ancorare le talee al substrato vengono utilizzate cornici in cemento di 50×50 cm (Figura 1), con lume interno 40×40, per una superficie utile pari a 1600 cm². Lo spessore delle cornici è di 6-8 cm. Esse sono armate con rete di ferro zincato a maglia poligonale, di luce adatta a trattenere le talee (circa 1,5-2 cm). La rete metallica impiegata è sufficientemente duttile da consentire di schiacciare le maglie per meglio assicurare le talee alla cornice.



Figura 1 - Modulo di ancoraggio delle talee.

MODALITÀ DI ESECUZIONE

Per quanto riguarda l'identificazione delle aree idonee all'espianto della Posidonia, vengono prese in considerazione sia la qualità dei fasci, sia la loro densità, cercando di privilegiare siti di espianto che non siano più superficiali di quelli in cui è previsto il reimpianto, poiché questa condizione non è favorevole in termini di probabilità di successo del trapianto. Nelle aree ritenute ottimali viene determinata la densità dei fasci e la dimensione delle aree stesse, in modo da poter stimare il numero totale di talee realizzabili. A tutt'oggi il prelievo è stato sempre effettuato in aree di prateria destinate ad una distruzione certa, motivata da operazioni di dragaggio o dall'escavo di trincee per la posa di condotte.

Per l'individuazione dei siti adatti al reimpianto, viene data preferenza alle radure che si trovano all'incirca intorno ai 10-12 m di profondità. Nelle radure candidate si stima lo stato di salute apparente della prateria al contorno, rilevando, in via speditiva: litologia, presenza di detrito, ripple marks, matte morta, macroalghe e, se al margine della prateria, il tipo di limite. Viene rilevata, inoltre, anche la presenza di "marcatori" di pressione antropica quali: reti abbandonate, segni di ancoraggi ripetuti, corpi morti, detriti e rifiuti. Vengono stimate, infine, le dimensioni delle radure ritenute ottimali o, nel caso di siti non interamente contornati dalla prateria, si valuta la superficie utile. Nella scelta delle radure si privilegiano, in linea di massima, quelle di dimensioni intermedie (es. 200-300 m²), protette dalla prateria circostante ed esenti da evidenti fenomeni erosivi e di mobilità del sedimento. Al contrario, non vengono prese in considerazione radure di piccola superficie (es. 10-20 m²), per evitare di parcellizzare eccessivamente l'intervento e di rendere quindi impossibile un efficace monitoraggio. La scelta di radure più ampie avviene solo nel caso in cui non esistano alternative.

Nella prateria adiacente alle aree selezionate per il reimpianto, prima di effettuare quest'ultimo, vengono individuate delle stazioni in cui si eseguono misure dirette di densità della prateria e si prelevano fasci fogliari per la determinazione dei parametri fenologici, per l'analisi della comunità epifita e per la stima della produzione fogliare mediante analisi lepidocronologica.

I moduli di ancoraggio delle talee vengono posati a mano da operatori in immersione (Figura 2), che li posizionano in modo da riempire al meglio le superfici da restaurare. Le operazioni di espianto di fasci dalla prateria donatrice vengono eseguite a mano da operatori subacquei (Figura 3).



Figura 2 - Posa dei moduli di reimpianto.



Figura 3 - Espianto dei fasci.

Le singole talee devono essere espiantate avendo cautela di non rovinarle durante la raccolta. Possono anche essere prelevate "zolle" (più fasci foliari con i rispettivi rizomi e radici, insieme con i sedimenti intrappolati nel loro intreccio), di dimensioni diverse, che possono poi essere disgregate al fine di produrre singole talee. La selezione delle talee deve tenere in considerazione numerosi fattori, che riguardano non solo lo stato generale di ogni fascio, ma anche lo stato delle foglie, la presenza di radici e lo spessore del rizoma. Il trasporto delle talee viene eseguito in appositi contenitori rigidi di rete curando che le talee, con l'esclusione di alcune brevissime fasi del trasporto e della manipolazione, rimangano costantemente immerse in acqua di mare ed esposte a temperature il più possibile vicine a quelle della quota di prelievo e comunque non inferiori a 15°C e non superiori a 25°C.

La messa a dimora delle talee avviene a mano in immersione subacquea (Figura 4), semplicemente infilando i rizomi nelle maglie della rete poligonale, in modo che il rizoma stesso o le radici siano a contatto con il sedimento. Le maglie della rete metallica vengono poi schiacciate in modo che le talee siano saldamente assicurate al modulo di ancoraggio.



Figura 4 - Reimpianto delle talee.

Dopo tre mesi dal termine delle operazioni di reimpianto delle talee, si procede all'avvio delle attività di monitoraggio, che ha la durata di cinque anni e che deve valutare nel tempo il successo dell'operazione. Le attività da eseguire nel corso della fase di monitoraggio sono le seguenti:

Ai fini del **monitoraggio non distruttivo** vengono eseguite solo misure in situ, sia per i trapianti, sia per la prateria al contorno. Le cornici destinate a questo tipo di studio sono installate ad hoc ed appositamente marcate. Quattro volte l'anno, per cinque anni, vengono effettuate le seguenti misure in immersione:

- conta delle talee residue;
- determinazione dell'accrescimento fogliare attraverso il metodo di Zieman (1974), secondo quanto preconizzato da Ott (1980), con l'esclusione del tempo 0, al quale viene eseguita la sola punzonatura delle foglie;
- determinazione del rango e della lunghezza/larghezza della foglia più lunga;
- determinazione dello stato degli apici e stima del tessuto bruno;
- valutazione qualitativa della comunità epifita delle foglie.

Il **monitoraggio distruttivo** è basato su campagne annuali effettuate per cinque anni, basate sul prelievo di talee appositamente piantate in cornici "riservate" e di analoghe attività nelle stazioni poste nella prateria naturale. In ciascuna stazione vengono prelevate talee o fasci per le seguenti determinazioni:

- analisi della comunità epifita (tre fasci per stazione);
- misurazione dei parametri fenologici delle foglie: larghezza, lunghezza totale, presenza della ligula, lunghezza del tessuto verde o del lembo, lunghezza del tessuto bruno e del tessuto bianco (ove presenti) e stato dell'apice;
- calcolo dei seguenti parametri fenologici: numero medio di foglie per ciuffo delle varie categorie e in totale; lunghezza media delle foglie per categoria e in totale; larghezza media delle foglie per categoria e in totale; indice fogliare per fascio e per m²; coefficiente "A";
- analisi lepidocronologiche.

Per il **controllo della mortalità delle talee** sono riservati 20 moduli scelti casualmente in ciascuna stazione, che vengono adeguatamente marcati nel corso della prima campagna di monitoraggio e poi destinati alla conta dei fasci.

RACCOMANDAZIONI

L'espianto potrà essere eseguito senza particolari cautele solo nel caso in cui l'intervento di reimpianto sia una misura di compensazione prevista per un'opera che determinerà la distruzione della prateria donatrice. Per quanto riguarda la messa a dimora delle talee, la densità di reimpianto va calibrata sulla base di quella osservata in sito e non deve essere così bassa da impedire la ritenzione di sedimento tra le talee. I migliori risultati sembrano essere quelli ottenuti con densità intorno ai 30 fasci per m², che evita un'eccessiva competizione tra le talee e favorisce una rapida crescita plagiotropa dei rizomi.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

La tecnica proposta risulta particolarmente idonea per radure sabbiose presenti all'interno delle praterie di Posidonia. Su matre morta la tecnica è comunque applicabile, ma altri metodi possono fornire risultati comparabili.

Il problema di reperire le talee necessarie senza causare danni alle praterie esistenti e non destinate a essere rimosse per altre cause è assolutamente centrale ai fini di un'eventuale estensione dell'applicazione dei trapianti ad azioni di conservazione e restauro delle praterie (sempre che siano state rimosse le cause del loro degrado). In quest'ambito, sulla base di recenti risultati sperimentali (Valiante et al., 2010), sembra possibile affermare che il prelievo a bassissima densità di fasci (es. 1-4 fasci per m²) possa essere del tutto compatibile con la conservazione della prateria donatrice.

VANTAGGI

La metodologia di reimpianto basata sull'uso di moduli in cemento è la sola al mondo che, ad oggi, abbia dato risultati validi e comprovati su grandi superfici e che, di conseguenza, possa essere applicata al di fuori di una logica puramente sperimentale, con risultati attesi e costi di realizzazione, manutenzione e monitoraggio calcolabili con precisione. In tutti i casi, infatti, la sopravvivenza è stata di gran lunga superiore alle specifiche di progetto (pari al 50% al primo anno). Dal punto di vista operativo, la posa dei moduli di reimpianto non richiede esperienze specialistiche, che sono invece essenziali in tutte le altre fasi del lavoro. Infine, i moduli con il tempo tendono ad essere coperti dal sedimento e la loro presenza non è più percepibile (Figura 5).



Figura 5 - Un'area di reimpianto dopo 15 mesi.

SVANTAGGI

Gli svantaggi della tecnica presentata sono principalmente quelli legati all'impossibilità di operare in condizioni idrodinamiche inidonee. Infatti, in siti troppo superficiali ed esposti all'azione del moto ondoso l'effetto combinato del forte idrodinamismo e dell'instabilità del sedimento può provocare danni estesi, spostando o insabbiando i moduli di reimpianto. Tutto ciò, ovviamente, è indipendente dal metodo di trapianto. In ogni caso, se si verificano danni di questo tipo, è necessario procedere alla rimozione dei moduli di reimpianto danneggiati per ripristinare la naturalità del panorama subacqueo

EFFETTO

La tecnica proposta, come è ovvio, non va valutata in termini di ripiantumazione a copertura di una determinata superficie, ma piuttosto in funzione della formazione di nuovi nuclei di

ricolonizzazione del substrato a partire dalle talee a più elevata fitness, che sono evidentemente meglio adattate alle effettive condizioni locali della stessa prateria preesistente (es. talee prelevate in siti più profondi possono adattarsi a condizioni di torbidità troppo elevata per la prateria esistente). Dunque, non si trapiantano migliaia di talee per ricoprire il substrato come nella preparazione del manto erboso di un campo da calcio, ma piuttosto per far sì che anche una piccola percentuale di queste (es. il 10%) possa perfettamente attecchire e garantire un'attiva propagazione plagiotropa, restituendo continuità e vitalità alla prateria naturale.

PERIODO DI INTERVENTO

Alla luce delle esperienze effettuate, sembra che il periodo migliore per l'attività di reimpianto sia quello che va tra la metà dell'autunno a tutto l'inverno, quando si minimizza l'interferenza con il ciclo vegetativo della pianta. Inoltre, le differenze di temperatura tra aria ed acqua sono minime e ciò consente alle talee, con l'esclusione di alcune brevi fasi di trasporto e manipolazione, di non subire shock termici che potrebbero influire negativamente sul successo del reimpianto.

POSSIBILI ERRORI

Un'errata scelta dei siti di reimpianto può generare estese fallanze. I migliori risultati si hanno con talee prelevate in più profondità e trapiantate più in superficie ed è anche ovvio che il lavoro subacqueo è più spedito e agevole in siti meno profondi. Tuttavia, se le condizioni idrodinamiche non sono adeguate, si possono subire danni estesi, e il rischio è inversamente proporzionale alla profondità. In quest'ottica, sarebbe essenziale poter effettuare dei piccoli trapianti pilota per valutare l'idoneità dei siti candidati su un ciclo che comprenda almeno le condizioni autunno-invernali. La stretta tempistica delle opere da compensare non ha però consentito, ad oggi, di effettuare questo tipo di valutazione preliminare.

BIBLIOGRAFIA

- 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. XX Congresso della S.I.Te., "La Sapienza" Università di Roma, 27 – 30 settembre 2010.
- OTT J. (1980) - Growth and production in *Posidonia oceanica* (L.) delile. Marine Ecology PSZN, 1:47-64.
- ZIEMAN J.C. (1974) - Methods for the study of growth and production of the turtle grass, *Thalassia testudinum* Koning. *Acquaculture*, 4: 139 – 143.

SCHEDA 10
TRAPIANTO IN LOCALITÀ SANTA MARINELLA (2004-2010)

Michele Scardi, Luigi Valiante

mscardi@mclink.it
lvaliante@mare-net.com

L'intervento di reimpianto eseguito a S. Marinella nasce in ottemperanza a una misura di compensazione che il Ministero dell'Ambiente ha imposto all'ENEL S.p.A. per il progetto di conversione a carbone della centrale termoelettrica di Torrealvaldliga Nord di Civitavecchia che prevedeva, tra l'altro, la realizzazione di due banchine all'interno della nuova Darsena Energetico - Grandi Masse del Porto di Civitavecchia, attrezzate per lo scarico del carbone. Per la realizzazione di queste opere era previsto il dragaggio dei fondi antistanti la centrale e la conseguente rimozione di una vasta aliquota della prateria di Posidonia oceanica compresa all'interno del sito SIC denominato "Fondali compresi tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara". La prescrizione consisteva nell'espianto dalla prateria della Mattonara di 300.000 fasci fogliari di P. oceanica e il successivo reimpianto in aree idonee individuate all'interno della prateria di Santa Marinella, su una superficie complessiva di 10.000 m².

All'interno della prateria donatrice sono state condotte una serie di prospezioni subacquee allo scopo di identificare le migliori aree in cui effettuare l'espianto dei fasci di Posidonia da destinare successivamente alla preparazione delle talee da reimpiantare. Per quanto riguarda, invece, la prateria di S. Marinella (prateria ricevente) è stata effettuata un'ampia prospezione dell'intera prateria (70 stazioni di osservazione) allo scopo di identificare i siti più idonei al reimpianto della Posidonia. In particolare, sono state identificate 13 radure sabbiose (fig. 6) poste tra i 7 ed i 13 metri di profondità, all'interno delle quali sono stati posizionate circa 40.000 moduli destinati al reimpianto delle talee. La messa a dimora delle talee (oltre 300.000) è stata effettuata a mano in immersione subacquea con una densità di 32 talee m⁻².

Al termine di questa fase, che ha avuto una durata di circa 8 mesi (da agosto 2004 a marzo 2005), di cui circa 3 dedicati al trapianto vero e proprio, sono state avviate le attività di monitoraggio allo scopo di valutare nel tempo il successo dell'operazione di trapianto (Figura 1).

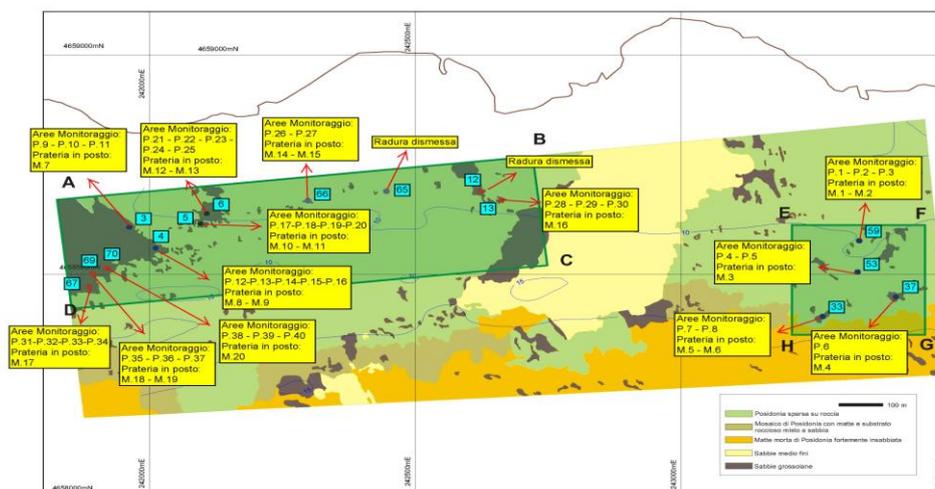


Figura 1 - Aree di reimpianto e stazioni di monitoraggio.

Tali attività hanno avuto una durata complessiva di 5 anni (giugno 2005 – marzo 2010) e hanno previsto 20 campagne trimestrali di monitoraggio non distruttivo (Figure 2 e 3) e di controllo della mortalità, oltre a 5 campagne annuali di monitoraggio distruttivo.



Figura 2 - Misurazione non distruttiva delle foglie.



Figura 3 - Perforazione delle lamine fogliari per la misura dell'accrescimento.

In particolare per le attività di monitoraggio non distruttivo, all'interno di ciascuna radura sono state individuate 40 stazioni (identificate dalla lettera P in Figura 1), distribuite nelle aree di reimpianto in funzione della loro estensione. In ciascuna stazione è stato identificato un modulo campione per le misure non distruttive (contrassegnato con un galleggiante rosso posto a 2 metri dal fondo e una lettera identificativa, Figura 4) e nel suo intorno sono stati marcati i moduli per la stima della sopravvivenza (20 per stazione) e per il prelievo distruttivo dei fasci su base annuale. Nelle immediate vicinanze della metà delle suddette stazioni è stata inoltre posizionata una stazione di campionamento anche nella prateria in posto, allo scopo di monitorare anche l'andamento delle condizioni della prateria "naturale". Su tali stazioni, sono state eseguite le stesse determinazioni sopra descritte, con la medesima cadenza temporale.

Le 20 stazioni nella prateria limitrofa alle aree di reimpianto sono state marcate mediante galleggianti gialli posti a 2 metri dal fondo (Figura 5).



Figura 4 - Segnale delle stazioni di monitoraggio nelle aree di reimpianto.



Figura 5 - Segnale delle stazioni di monitoraggio nella prateria naturale.

Le coordinate delle stazioni di monitoraggio sono state comunicate al MATTM e all'ex-ICRAM al momento della prima campagna e – ovviamente – mai più modificate.

Le misure della sopravvivenza delle talee negli 800 moduli campione (20 per ciascuna delle 40 stazioni) nel corso delle venti campagne trimestrali condotte nei cinque anni di

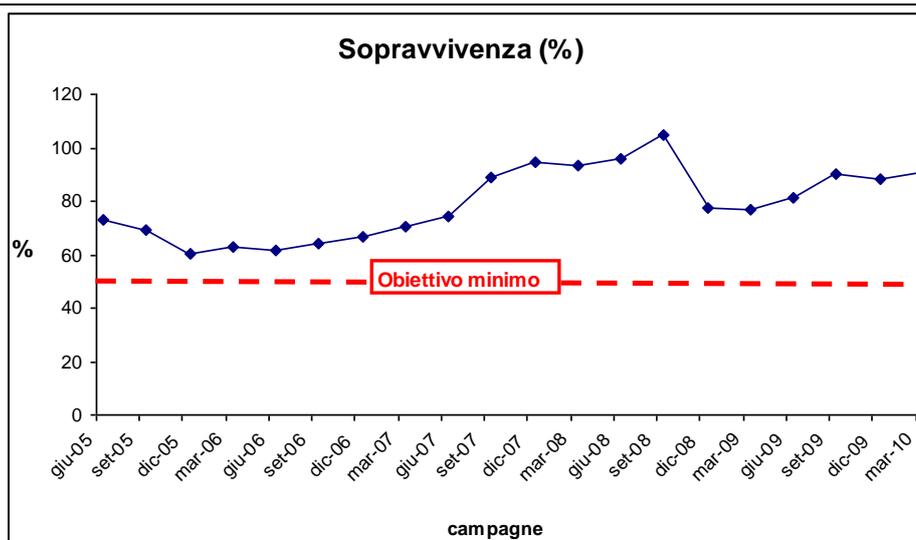


Figura 6 - Andamento della sopravvivenza dei fasci originati dal reimpianto delle talee (giugno 2005 - marzo 2010).

monitoraggio hanno fornito risultati superiori alle aspettative, poiché in nessuna fase si è scesi al di sotto dell'obiettivo fissato dalle specifiche di progetto (pari al 50% di sopravvivenza). Al termine del quinquennio di monitoraggio la percentuale media di sopravvivenza è risultata pari al 91%, con un picco massimo del 104,6% registrato nel mese di settembre 2008 e un valore minimo pari al 60,6% evidenziato nel mese di marzo 2006, ovvero al termine del primo inverno successivo alla conclusione delle attività di reimpianto (Figura 6).

Nell'esperienza di Santa Marinella hanno senz'altro giocato un ruolo determinante sull'andamento delle sopravvivenze le condizioni al contorno e i diversi fattori ambientali che caratterizzano le prateria ricevente. In particolare, l'elevatissima torbidità della colonna d'acqua ha certamente rallentato l'accrescimento e la propagazione dei fasci trapiantati soprattutto in quelle radure al disotto dei 12 metri di profondità, mentre l'elevata instabilità dei sedimenti e le intense mareggiate registrate nel corso dei cinque anni di monitoraggio hanno causato danni materiali rilevanti sia ai trapianti che alla prateria naturale. In particolare, nell'autunno 2008 si sono verificate mareggiate di eccezionale intensità, il cui effetto sui reimpianti è chiaramente visibile in figura 6 e che hanno divelto interi blocchi di matte nella prateria naturale. Successivamente a tale evento, però la propagazione dei fasci originati dalle talee reimpiantate è ripresa e oggi si possono osservare macchie consolidate formate da 50 o più fasci originati da una singola talea, che mostrano una elevata vitalità e un'attiva crescita plagiotropa.

Le attività di questo progetto sono state effettuate da un'Associazione Temporanea di Imprese che comprendeva anche Strategie Ambientali s.r.l. (gestione amministrativa, come mandataria), Naval Service S.r.l. (fornitura mezzi nautici) e Co.Bi. S.c.r.l. (supporto al monitoraggio). Econ S.r.l., in questo contesto, ha seguito tutte le fasi di espianto, posa dei moduli di reimpianto e reimpianto delle talee, nonché tutte quelle di monitoraggio e reporting. Al progetto hanno collaborato circa 40 operatori subacquei e circa 20 persone per il supporto a terra (preparazione delle talee e logistica).

SCHEDA 11
TRAPIANTO IN LOCALITÀ ISCHIA (2008-2010)

Michele Scardi, Luigi Valiante

mscardi@mclink.it
lvaliante@mare-net.com

L'attività di reimpianto eseguita a Ischia (NA) è avvenuta nell'ambito del progetto di metanizzazione dell'isola, che prevedeva la realizzazione di un gasdotto che collegasse la terraferma, ovvero il litorale del Lago Fusaro, nel comune di Bacoli (NA), a Punta San Pietro, nel comune di Ischia (NA), con l'attraversamento da parte del gasdotto della prateria di Posidonia antistante quest'ultimo approdo. Il MATTM ha imposto questo trapianto come misura di compensazione del danno causato dallo scavo della trincea del gasdotto attraverso la prateria di Posidonia. In particolare tale operazione consisteva nell'espianco dal corridoio di posa del gasdotto di 51.200 fasci fogliari di Posidonia ed il successivo reimpianto in aree idonee individuate all'interno della stessa prateria, su una superficie complessiva di 1.600 m². Il tratto interessato dal corridoio di scavo del gasdotto che ricade all'interno della prateria ha una lunghezza di circa 400 m e una superficie complessiva pari a quella prescritta per il reimpianto, a una profondità compresa tra i 7 e i 12 metri.

All'interno dell'area di cui era previsto lo scavo della trincea sono state eseguite una serie di prospezioni subacquee allo scopo di individuare i siti di espianco più idonei.

Le indagini per l'identificazione delle aree idonee al reimpianto sono state eseguite in un'area collocata immediatamente a Sud-Est dal tracciato del gasdotto (in fucsia, Figura 1), entro una distanza di circa 400 m dallo stesso. Durante le prospezioni sono state individuate diverse aree candidate, fra le quali sono state selezionate cinque radure sabbiose idonee ad ospitare reimpianti per una superficie complessiva conforme alle specifiche. Queste radure sono evidenziate con cerchi blu proporzionali alla loro area (Figura 1).

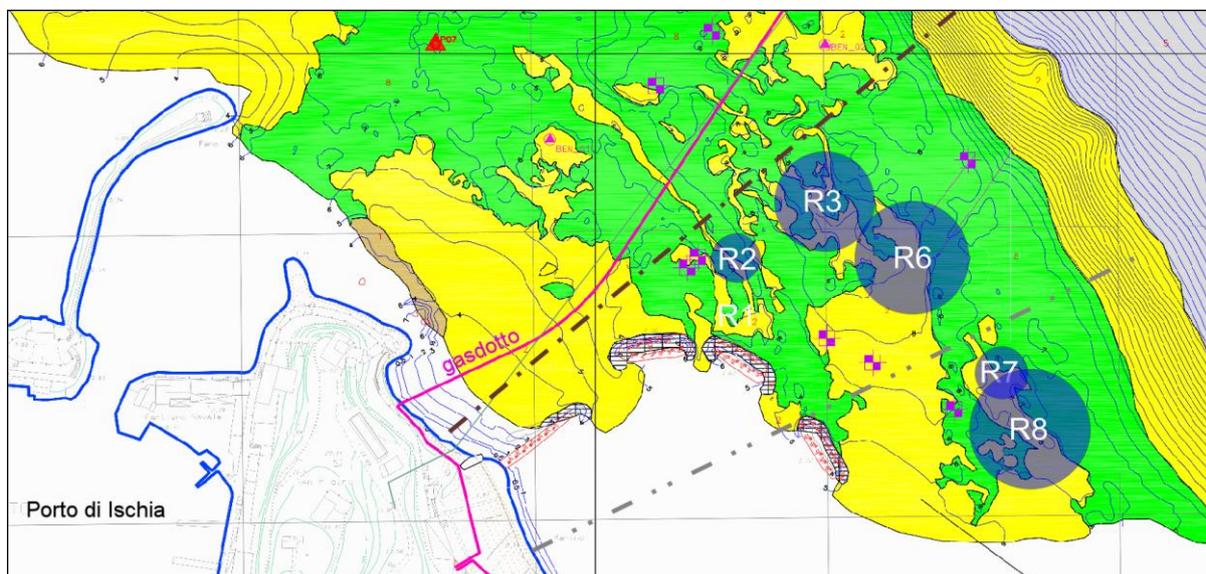


Figura 1 - Posizione delle aree di reimpianto e della traccia del gasdotto.

All'interno delle radure prescelte sono stati collocati 6400 moduli destinati al reimpianto di 51.200 talee, per una densità di 32 talee m⁻². Sia l'espianco dei fasci dall'area di scavo, sia la posa dei moduli di reimpianto, sia la messa a dimora delle talee sono stati effettuati a mano in immersione subacquea fra il dicembre 2008 e il febbraio 2009. La preparazione delle talee è avvenuta a terra, nelle immediate vicinanze dei siti di espianco e di reimpianto.

Dopo tre mesi dal termine delle attività di trapianto è stato avviato il monitoraggio, allo

scopo di valutare nel tempo il successo dell'operazione. Le modalità di esecuzione sono identiche a quelle descritte per il metodo in generale e per l'esperienza di S. Marinella, con un numero di stazioni di monitoraggio inferiore (6 nelle aree di reimpianto e 3 nella prateria in posto), in ragione della più ridotta superficie del trapianto (1.600 m² contro 10.000 m²). I risultati ottenuti a distanza di quattro anni e mezzo dal termine della messa a dimora delle talee di Posidonia sono estremamente positivi, con tassi di sopravvivenza che già dopo appena sei mesi hanno superato il 100% fino ad arrivare oltre il 200% nel mese di settembre 2013 (Figura 2).

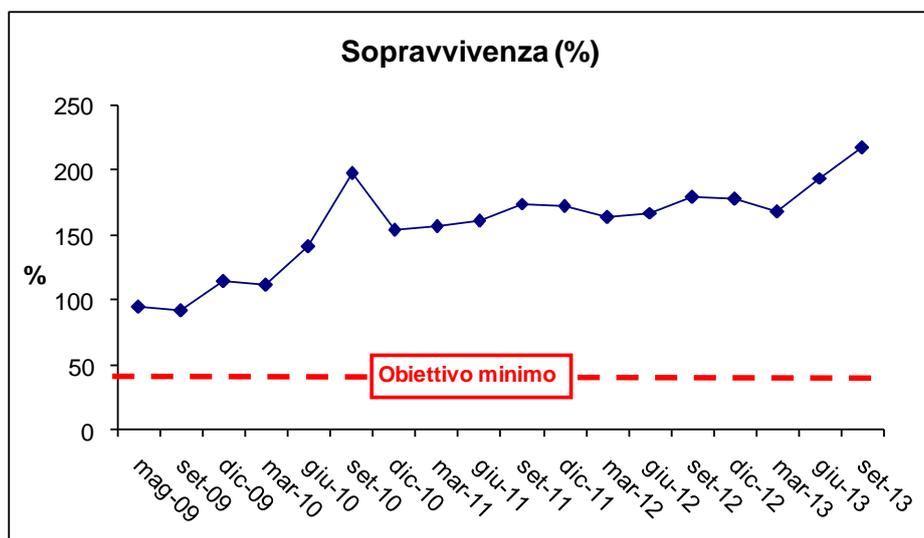


Figura 2 - Andamento della sopravvivenza dei fasci originati dal reimpianto delle talee (maggio 2009 - settembre 2013).

L'andamento eccezionalmente positivo dei trapianti è dovuto al continuo aumento del numero di nuovi fasci fogliari che si sono formati da ciascuna talea impiantata (Figura 3) e che si evidenzia in tutti i moduli di impianto destinati al controllo della mortalità. Al termine del primo anno, quando, alla luce dell'esperienza di Santa Marinella, era atteso un calo della sopravvivenza, il numero di fasci vitali, invece, è risultato già superiore a quello delle talee reimpiantate. Dopo quattro anni e mezzo dal termine delle attività di reimpianto la percentuale media di sopravvivenza è pari al 217,6% ed in costante e rapido aumento. Tutte le attività di questo progetto sono state eseguite da Econ S.r.l..



Figura 3 - Rizoma con fasci multipli generato da una singola talea.

SCHEDA 12
MODULI ALTERNATIVI PER LA PIANTUMAZIONE DI PRATERIE
DI POSIDONIA OCEANICA

Michele Scardi, Luigi Valiante

mscardi@mclink.it
lvaliante@mare-net.com

NUOVI SUPPORTI DI ANCORAGGIO

Nell'ambito delle attività di trapianto di Posidonia prescritte come compensazione per lo scavo della trincea del gasdotto Bacoli-Ischia è stata effettuata, secondo quanto prescritto, una sperimentazione di nuove tecniche di trapianto su un totale di 100 m² di superficie. La superficie sperimentale era divisa in diverse aree di dimensioni più limitate, posizionate in siti diversi della prateria.

In particolare sono stati sperimentati tre diversi approcci, dedicando a ciascuno una parte della superficie disponibile:

- *trapianto su picchetti metallici (Figura 1), sia su substrato sabbioso sia su mattoni morti;*
- *trapianto mediante croci in cemento semplici (Figura 2) o con anima in legno (Figura 3);*
- *trapianto su rete metallica fissata sul fondo sabbioso per mezzo di picchetti in alluminio (Figura 4).*



Figura 1 - Picchetti metallici.

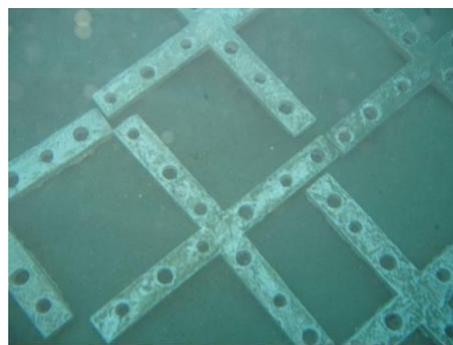


Figura 2 - Croci in cemento semplici.



Figura 3 - Croci in cemento semplici con anima in legno.



Figura 4 - Rete metallica.

PICCHETTI METALLICI

Le talee vengono ancorate ai picchetti direttamente durante la fase di preparazione a terra, utilizzando un elastico in gomma (Figura 5). I picchetti metallici così predisposti possono essere conficcati sia nel substrato sabbioso (Figura 6) che nella matre (Figura 7).



Figura 5 - Fase di preparazione delle talee.



Figura 6 - Picchetti metallici conficcati nel substrato sabbioso.



Figura 7 - Picchetti metallici conficcati nella matre.

CROCI

Per questo tipo di supporto sono state sperimentate due diverse soluzioni: una totalmente realizzata in cemento (Figura 8) e un'altra dotata di un'anima in legno (Figura 9). Ciascuna tipologia è stata sperimentata con sedi per le talee sia pervie che chiuse al fondo. In ogni caso, i fori hanno diametri differenti (da 1,5 a 2,5 cm) e ciò permette di utilizzare talee con rizoma di diverso spessore.



Figura 8 - Croci in cemento semplici in situ.



Figura 9 - Croci in cemento con anima in legno in situ.

RETE METALLICA

La rete metallica è stata impiegata su una superficie rettangolare di 15 metri in lunghezza per 1 metro di larghezza. La rete è stata posizionata direttamente sul fondo sabbioso e fissata con picchetti metallici (Figura 10). Per quanto riguarda la tecnica di messa a dimora delle talee, questa è molto simile a quella in uso per i moduli in cemento tradizionali: la talea viene infilata all'interno della maglia della rete avendo cura di stringerla leggermente in modo da assicurare che il rizoma rimanga fissato alla rete. Anche la densità adottata per il reimpianto segue lo schema applicato ai moduli in cemento e cioè 32 talee m⁻².



Figura 10 - Rete metallica posizionata su fondo sabbioso.

RISULTATI

Il monitoraggio dei reimpianti sperimentali realizzati con le diverse tecniche fin qui descritte, relativo ai primi 18 mesi, è stato eseguito con cadenza trimestrale seguendo l'andamento delle sopravvivenze delle talee impiantate. I risultati ottenuti indicano come la maggiore sopravvivenza sia stata ottenuta su matte con i picchetti e su substrato sabbioso con le croci in cemento con foro cavo (con o senza anima in legno).

Per quanto riguarda i picchetti metallici, quelli impiantati su matte mostrano in entrambe le aree sperimentali ottimi tassi di sopravvivenza (137,5% e 200%, rispettivamente), grazie all'elevato numero di ramificazioni che si sono generate (Figure 11-12).

Le croci di cemento, testate su sabbia, hanno dato risultati molto variabili in assoluto, e anche in funzione della tipologia di croce (con o senza anima in legno, fori ciechi o pervi). In particolare, in uno dei due siti nei quali sono stati disposti i moduli a croce con fori pervi, la percentuale di sopravvivenza rilevata dopo 18 mesi nelle strutture a croce in cemento, è risultata pari al 124,1%, con la maggior parte delle talee impiantate che mostrava la formazione di nuovi fasci fogliari (Figura 13).



Figura 11 - Formazione di nuovi fasci fogliari su picchetti metallici.



Figura 12 - Formazione di nuovi fasci fogliari su picchetti metallici.



Figura 13 - Formazione di nuovi fasci fogliari su croci di cemento semplici.

Nelle croci di cemento con anima in legno, invece, la percentuale media di sopravvivenza è risultata pari al 72,5%, ma anche in questo caso è stata osservata la formazione di nuovi ciuffi fogliari (Figura 14).



Figura 14 - Formazione di nuovi fasci fogliari su croci di cemento con anima in legno.

Le strutture a croce con foro cieco (sia in cemento sia in cemento con anima in legno), invece, presentano una mortalità delle talee impiantate molto elevata (>90%) a causa, probabilmente, del poco spazio a disposizione del rizoma per poter rimanere ancorato alla struttura.

Nella seconda area in cui sono state disposte le strutture a croce, i valori di sopravvivenza riscontrati, sia per i moduli in cemento con foro pervio (34,6%), sia per quelli in cemento con anima in legno con foro cavo (15,8%), sono molto bassi.

La netta differenza di sopravvivenza che esiste tra le strutture a croce nelle due radure è da imputare esclusivamente al fatto che in una delle due aree in cui sono state posizionate le strutture a croce si è verificato un forte insabbiamento (Figura 15) delle stesse con conseguente considerevole riduzione dei valori di sopravvivenza.



Figura 15- *Insabbiamento delle talee su alcune strutture a croce.*

La rete metallica, infine, non ha dato risultati incoraggianti in nessuna delle due aree di posa. positivi essendo risultata non idonea a causa della estrema leggerezza che, probabilmente, dopo qualche mareggiata di maggiore intensità, ne ha provocato il distacco, con il conseguente sradicamento delle talee impiantate (Figura 16).



Figura 16- *Talee sradicate precedentemente impiantate su rete metallica.*

In conclusione, i picchetti sembrano rappresentare una soluzione interessante per il trapianto su matte, mentre su fondi mobili dovrà essere ulteriormente sperimentato il trapianto con croci di solo cemento munite di fori pervi. Infine, l'uso della sola rete metallica, cioè come tale e non supportata da una cornice in cemento, sembra essere decisamente poco efficiente.

SCHEDA 13
REGRESSIONE E RECUPERO NATURALE DELLA PRATERIA
DI POSIDONIA OCEANICA SU SUBSTRATI ROCCIOSI ARTIFICIALI:
L'ESPERIENZA DI CAPO FETO

Fabio Badalamenti, Giuseppe Di Carlo, Adriana Alagna

fabio.badalamenti@cnr.it

L'impatto prodotto dalla posa di un metanodotto sulla prateria di Posidonia oceanica è stato per la prima volta documentato a seguito della realizzazione del gasdotto Italo-Algerino TRANSMED (Badalamenti et al., 2011). La realizzazione del metanodotto ha richiesto due interventi di dragaggio in corrispondenza dell'approdo costiero di Capo Feto (Mazara del Vallo, Sicilia occidentale), che si trova circondato da una delle praterie di P. oceanica più estese del Mediterraneo.

Il primo intervento è avvenuto negli anni 1980-1981, con lo scavo di una trincea sulla prateria, l'alloggiamento delle condotte e il successivo ricoprimento con materiali di residuo provenienti dall'escavazione (rocce, sabbia e matte morta di P. oceanica). Sulla sommità di questi materiali è stato deposto uno strato di massi calcarenitici, parte dei quali si è eroso progressivamente, dando origine ad ampie lenti di sabbia e ghiaia. A seguito di questi interventi 53,42 ettari di prateria sono andati distrutti sia a causa della rimozione e del seppellimento della prateria che a causa del disturbo indiretto causato dalla prolungata presenza di un pennacchio di torbidità e dalla mobilità delle lenti di sabbia e ghiaia (Badalamenti et al. 2011, 2006).

Negli anni 1992-1993 è stato realizzato il potenziamento del metanodotto ed è stata scavata una nuova trincea. In questa occasione i materiali dragati sono stati posizionati in un'area dove la prateria di P. oceanica era già notevolmente danneggiata e per riempire la trincea sono stati utilizzati massi calcarei di dimensioni medie $19,2 \pm 9,5$ DS cm di lunghezza, $15,9 \pm 2,3$ DS cm di larghezza, $10,6 \pm 1,9$ DS cm di altezza scaricati da pontoni direttamente sulla trincea. Questa operazione ha portato alla formazione diletti di massi di calcare da cui si elevano cumuli di circa $1,5 \pm 0,4$ DS m di altezza e $5 \pm 1,1$ DS m di diametro (Di Carlo et al., 2005). Al termine delle operazioni di dragaggio, nel 1993, l'area impattata era costituita da un mosaico eterogeneo di materiali: lenti di sabbia e ghiaia provenienti dall'erosione del materiale calcarenitico, cumuli di massi calcarei utilizzati come materiale di riempimento, ampie aree di matte morta ai margini della trincea, aree sabbiose in cui si era insediata Cymodocea nodosa e grandi blocchi rocciosi rimasti nell'area della trincea dopo il primo scavo. Complessivamente la realizzazione del metanodotto ha determinato la perdita di 81.20 ettari di prateria (Badalamenti et al., 2011). Terminati i lavori di ricoprimento della trincea è stato possibile osservare sui letti di pietrame calcareo il reclutamento di propaguli vegetativi (rizomi) provenienti dalla prateria di P. oceanica circostante, divelti dalle correnti e dal moto ondoso e trasportati nell'area impattata (Figura 1).

Il recupero naturale della prateria attraverso propaguli vegetativi è stato monitorato dal 1993 al 1999 e analizzato in funzione del tempo e dei substrati presenti nell'area di studio (Badalamenti et al., 2011; Alagna 2010). Il recupero della prateria è stato osservato esclusivamente sui letti di massi calcarei mentre nessun incremento significativo è stato registrato nel corso degli anni su matte morta, sabbia e grandi blocchi calcarenitici. La copertura percentuale di P. oceanica nelle aree ribassate tra cumuli di massi calcarei adiacenti è aumentata in modo continuo da $0,75 \pm 0,41$ DS% nel 1993 a $44,38 \pm 3,05$ DS% nel 1999 nella prateria superficiale (5-15 m), e da $0,75 \pm 0,41$ DS % a $26,88 \pm 2,30$ DS nella prateria profonda (16-25m) (Badalamenti et al., 2011).

Sulla base delle cartografie realizzate è stato stimato un recupero complessivo della prateria di 3,24 ettari in sei anni, pari al 4,1% della prateria danneggiata.



Figura. 1 - Ricolonizzazione dei cumuli di massi calcarenitici attraverso propaguli vegetativi, anni 2001-2003.

Il monitoraggio del recupero naturale della prateria è proseguito dal 2001 al 2003. La densità dei fasci fogliari in corrispondenza dei letti di pietrame ha fatto registrare un incremento costante nel tempo (Di Carlo 2004; Di Carlo et al., 2005; 2007). In particolare, in corrispondenza delle aree ribassate tra cumuli adiacenti la densità dei fasci fogliari è passata da 170 ± 17 ES fasci m^{-2} nel 2001 a 342 ± 17 ES fasci m^{-2} nel 2003 (Di Carlo et al., 2005). Osservazioni condotte recentemente lungo il corridoio di posa della condotta del metanodotto confermano la persistenza delle patch di *P. oceanica* che risultano in continua espansione e formare lembi di prateria piuttosto estesi al di sotto dei quali si rinviene pietrame calcareo e calcarenitico (2010-13, Alagna e Badalamenti comm. pers.) (Figura 2).

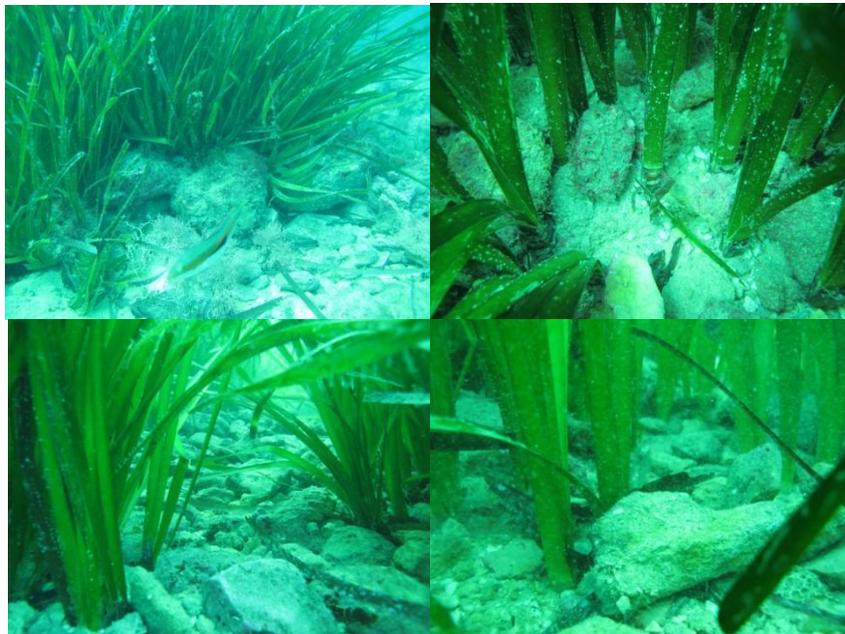


Figura 2 - Persistenza e coalescenza delle patch di *P. oceanica* lungo il corridoio di posa delle trincee. Il substrato su cui le patch sono insediate è costituito pietrame calcareo e calcarenitico.

I letti di pietrame calcareo presentano caratteristiche di stabilità (resistenza all'idrodinamismo) e complessità (disponibilità di fenditure tra massi adiacenti) atte a consentire l'insediamento e il reclutamento dei frammenti di rizoma a differenza degli altri substrati presenti nell'area di studio che mancano della necessaria complessità o stabilità (*Cymodocea nodosa*, matte morte, massi calcarenitici e sabbia).

L'esperienza di Capo Feto costituisce un caso di enorme rilevanza nell'ambito dell'ecologia del ripristino delle praterie di P. oceanica, con importanti ricadute per la protezione e gestione di questa specie. Ciò è dovuto sia al fatto che il recupero è avvenuto naturalmente, senza intervento dell'uomo, che comporterebbe per altro costi elevatissimi, a partire da un substrato completamente privo di vegetazione e con una velocità molto elevata rispetto ai dati di letteratura (Meinesz e Lefèvre, 1984; González-Correa et al., 2005, 2008), sia alla durata del monitoraggio che, pur utilizzando differenti metodologie, ha coperto un arco temporale di 20 anni.

Nel caso in cui la posa di cavi e condotte sottomarine richieda necessariamente l'interramento e l'escavazione della prateria, l'utilizzo di materiali lapidei di ricoprimento, caratterizzati da un'opportuna stabilità (intesa come scarsa friabilità e resistenza all'erosione) e complessità, come quelli utilizzati a Capo Feto, è altamente raccomandato poiché può consentire e facilitare il processo di naturale recupero della prateria, comportandosi da catcher di propaguli. La presenza di un apporto di propaguli dalle praterie adiacenti e l'assenza di fonti di disturbo per la pianta (eccessiva torbidità e disturbo sedimentario) rappresentano condizioni necessarie perché il processo possa avere inizio.

BIBLIOGRAFIA

- ALAGNA A. (2010) - Spatial distribution of *Posidonia oceanica*: habitat preference and substrate influence on vegetative fragment and seedling settlement and recruitment processes. *Tesi di dottorato, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Università degli studi del Salento, Lecce*.
- BADALAMENTI F., ALAGNA A., D'ANNA G., TERLIZZI A., DI CARLO G. (2011) - The impact of dredge-fill on *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Regression and patterns of recovery. *Marine Pollution Bulletin* 62:483-489.
- BADALAMENTI F., DI CARLO G., D'ANNA, G., GRISTINA M., TOCCACELI M. (2006) - Effects of dredging activities on population dynamics of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean Sea: the case study of Capo Feto (SW Sicily, Italy). *Hydrobiologia* 555 (1): 253–261.
- DI CARLO G. (2004) - The natural recolonisation process of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile after the introduction of the Italo-Algerian methane pipeline in the SW Mediterranean sea. *PhD Thesis, School of Ocean and Earth Science, Faculty of Engineering, Science and Mathematics, University of Southampton, Southampton*.
- DI CARLO G., BADALAMENTI F., JENSEN A. C., KOCH E. W., RIGGIO S. (2005) - Colonisation process of vegetative fragments of *Posidonia oceanica* (L.) Delile on rubble mounds. *Marine Biology*, 147(6): 1261-1270.
- DI CARLO G., BADALAMENTI F., TERLIZZI A. (2007) - Recruitment of *Posidonia oceanica* on rubble mounds: Substratum effects on biomass partitioning and leaf morphology. *Aquatic Botany*, 87(2): 97-103.
- GONZÁLEZ-CORREA J.M., BAYLE J.T., SÁNCHEZ-LIZASO J.L., VALLE C., SÁNCHEZ-JEREZ P., RUIZ J.M. (2005) - Recovery of deep *Posidonia oceanica* meadows degraded by trawling. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 320 (1): 65–76.
- GONZÁLEZ-CORREA J.M., TORQUEMADA Y.F., SÁNCHEZ-LIZASO J.L., (2008) - Long-term effect of beach replenishment on natural recovery of shallow *Posidonia oceanica* meadows. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 76 (4): 834–844.
- MEINESZ A., LEFEVRE J.R. (1984) - Régénération d'un herbier de *Posidonia oceanica* quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes-Maritimes, France). In: Boudouresque, C.F., Jeudy de Grissac, A., Olivier, J. (Eds.). *International Workshop Posidonia oceanica Beds. GIS Posidonie, France*, pp. 39–44.

SCHEDA 14
TECNICA DI REIMPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA MEDIANTE UTILIZZO DI
MATERASSI DI PIETRAME

Fabio Badalamenti, Adriana Alagna, Giovanni D'Anna, Carlo Magliola, Mauro Mottini, Natalia Pierozzi, Paolo Ferrari

fabio.badalamenti@cnr.it

DESCRIZIONE SINTETICA DELLA TECNICA

Questa metodologia è stata sviluppata dall'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del CNR (CNR-IAMC) di Castellammare del Golfo, su incarico e in collaborazione con Saipem S.p.A, il cui scopo è stato quello di mettere a punto una metodologia in grado di minimizzare l'impatto sulle praterie di P. oceanica dovuto all'installazione di condotte sottomarine.

Per tale metodologia è stata presentata domanda di brevetto (European Patent 2548435A1).

La tecnica consiste nell'utilizzo di materassi di rete metallica, riempiti di pietrame di pezzatura idonea a permettere la penetrazione, l'ancoraggio e l'attecchimento dei rizomi di P. oceanica.

Tali materassi sono costituiti da gabbioni di rete metallica di dimensioni variabili, con lunghezza fino a 2 m e altezza fino a 50 cm (Figura 1), dotati di un coperchio apribile, al fine di permettere il posizionamento dei rizomi all'interno del materasso.

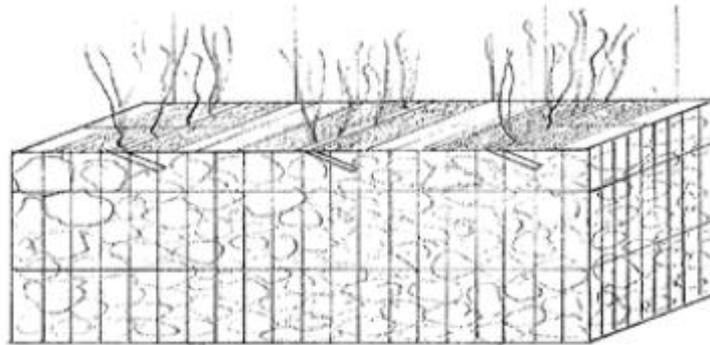


Figura 1 - Materasso di pietrame.

CAMPI DI APPLICAZIONE

Tutti i casi in cui sia necessario il ripristino di porzioni di prateria di P. oceanica che abbia subito una regressione o sia stata rimossa a causa di attività umane e laddove le cause dell'impatto siano state individuate e rimosse ma sia necessario ripristinare ottimali condizioni del substrato per facilitare l'attecchimento e lo sviluppo della pianta.

MATERIALI IMPIEGATI

La struttura del materasso è costituita da una rete metallica in acciaio inox, di 4mm circa di diametro. Le maglie della rete hanno dimensioni 5×20 cm, il coperchio del materasso è apribile ed ha una maglia di 15×10 cm. Per il riempimento dei materassi è stato utilizzato pietrame calcareo di pezzatura selezionata: 40% rocce di pezzatura 19×12×10 cm e 60% rocce di pezzatura 15×10×7 cm.

MODALITÀ DI ESECUZIONE

- 1) Selezione della prateria donatrice e del sito idoneo per il reimpianto
- 2) Espianto manuale dal sito donatore e stoccaggio dei rizomi per periodi limitati (< 3 giorni) in attesa del trapianto. Lo stoccaggio dei rizomi può avvenire anche in mare con l'aiuto di contenitori ancorati al fondo.

- 3) *Trapianto dei rizomi e assemblaggio finale dei materassi. Operazioni da eseguire preferibilmente su di una imbarcazione, all'interno di vasche che garantiscano la continua immersione del materiale biologico in acqua.*
- 4) *Posizionamento dei materassi sul fondo e monitoraggio.*

SPERIMENTAZIONE

*La metodica sviluppata si basa sui risultati dello studio del processo di ricolonizzazione naturale della prateria di *P. oceanica* avvenuto a Capo Feto, Mazara del Vallo, in corrispondenza dell'approdo dei metanodotti TRANSMED. In quest'area, dopo circa venti anni di osservazioni e sperimentazioni, è stato dimostrato che *P. oceanica* ha ricolonizzato con successo alcune porzioni della prateria impattata dagli scavi delle trincee, insediandosi esclusivamente sui massi di calcare deposti a ricoprimento del corridoio di posa delle condotte (Badalamenti et al., 2011; Di Carlo et al., 2005). Il processo di colonizzazione ha chiaramente dimostrato una preferenza di microhabitat per i substrati consolidati e caratterizzati da un certo grado di complessità. La colonizzazione dei substrati artificiali è avvenuta attraverso propaguli vegetativi (rizomi) naturalmente distaccati dalla prateria e trasportati all'interno dell'area della trincea. L'insediamento è risultato persistente nel tempo (vedi Scheda 14).*

La sperimentazione è stata effettuata a Capo Feto, Mazara del Vallo, dove è stata selezionata un'ampia lente sabbiosa alla profondità di circa 10-11 m, caratterizzata da elevato idrodinamismo e con una morfologia del fondo regolare. I rizomi utilizzati per il trapianto sono stati prelevati manualmente a circa 200 m dal sito di sperimentazione. Sono stati selezionati rizomi di circa 10-15 cm di lunghezza, successivamente stoccati in mare in reti ancorate al fondo in attesa del trapianto. L'assemblaggio dei materassi e il trapianto dei rizomi è avvenuto a bordo di un'imbarcazione. I materassi sono stati posizionati sul fondo e monitorati ogni 3-6 mesi.

Sono state ideate tre varianti di materasso da utilizzare per la sperimentazione:

- 1) *materasso semplice;*
- 2) *materasso in cui sono inseriti alloggiamenti inclinati fissi (tasche) di circa 12 cm di profondità e 2 cm di larghezza per favorire l'ancoraggio dei rizomi;*
- 3) *materasso in cui sono inseriti alloggiamenti fissi atti ad ospitare dei box pre-allestiti e muniti di rocce e rizomi.*

Gli alloggiamenti inclinati (2), quelli fissi e i box (3) sono costituiti da rete metallica di maglia 1×1 cm.

Sono state sperimentate cinque modalità di trapianto:

- A. *posizionamento dei rizomi tra le rocce su materasso semplice;*
- B. *posizionamento dei rizomi tra le rocce e fissaggio dei rizomi al coperchio del gabbione con utilizzo di fascette in plastica su materasso semplice;*
- C. *fissaggio dei rizomi con utilizzo di una rete elastica su tutore costituito da ciottolo e posizionamento delle unità su materasso semplice;*
- D. *posizionamento dei rizomi nelle tasche. Dopo l'inserimento dei rizomi la tasca viene debolmente serrata tramite fascette di cablaggio posizionate ad intervalli di circa 8 cm per evitare lo spostamento dei rizomi posizionati;*
- E. *posizionamento dei rizomi nei box ed inserimento dei box negli alloggiamenti.*

Sono state quindi misurate la persistenza, la sopravvivenza e il tasso di ramificazione dei rizomi trapiantati nel tempo.

I risultati ottenuti variano in funzione della tipologia di materasso e delle modalità di trapianto utilizzate. Risultati estremamente positivi sono stati ottenuti con la tipologia di materasso 2), modalità di trapianto D (Figure 2 e 3) dove, dopo 16 mesi dalla messa a dimora si è registrata una sopravvivenza dell'86,57±6,51% dei rizomi inizialmente trapiantati. In questo lasso di tempo l'attiva ramificazione delle talee ha determinato un incremento del 37% del numero di fasci fogliari. Complessivamente il numero di fasci fogliari vivi è pari al 124,07±19,6% del numero di

fasci trapiantati inizialmente (Figura 4).

Nel corso della sperimentazione è stato possibile osservare l'insediamento spontaneo di rizomi distaccati dalla prateria circostante e trasportati dal moto ondoso e dalle correnti sui materassi di pietrame con valori massimi di 11 rizomi/m² per la tipologia di materasso 2).



Figura 2 - Materasso tipo 2), modalità di trapianto D, subito dopo la messa a dimora delle talee.

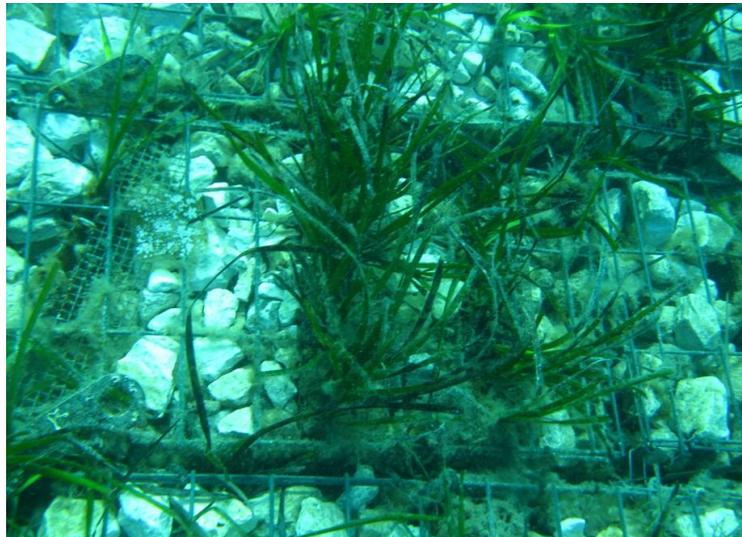


Figura 3 - Materasso tipo 2), modalità di trapianto D, a 16 mesi dalla messa a dimora delle talee.

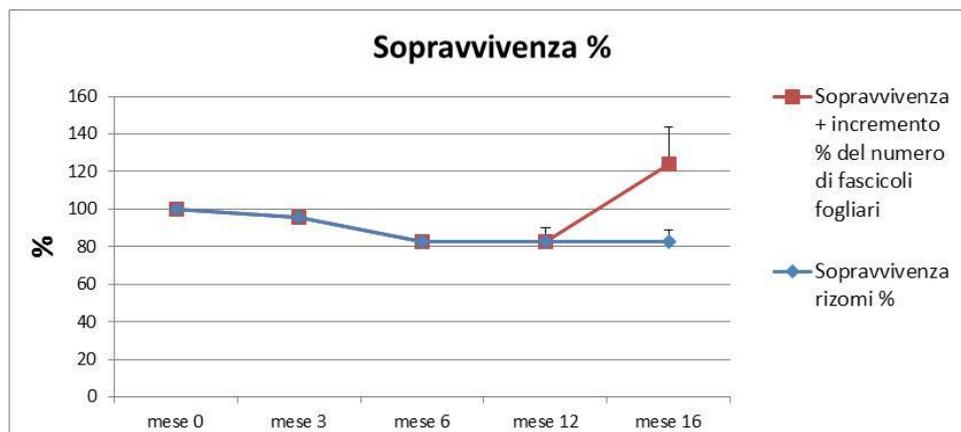


Figura 4 - Andamento della sopravvivenza percentuale delle talee trapiantate nel corso dei primi 16 mesi della sperimentazione.

LIMITI DI APPLICABILITÀ

Difficoltà di posizionamento dei materassi su substrati irregolari

VANTAGGI

- *Elevata resistenza all'idrodinamismo e durata temporale.*
- *Esecuzione della maggior parte del lavoro a terra, limitando il lavoro subacqueo alle fasi di espianto dei rizomi e posa sul fondo marino dei materassi:*
 - *accuratezza nella selezione dei rizomi prelevati e nel loro inserimento all'interno dei materassi;*
 - *sicurezza delle operazioni.*
- *Veloce colonizzazione del materasso da parte di organismi quali alghe, spugne, echinodermi.*

SVANTAGGI

Necessità di un pontone per la movimentazione dei materassi.

EFFETTI

Immediata colonizzazione da parte di vegetazione algale, echinodermi, spugne, briozoi. La colonizzazione da parte della pianta richiede tempi più lunghi.

PERIODI DI INTERVENTO

Il prelievo e la messa a dimora delle talee è preferibile avvenga durante il periodo di riposo vegetativo della pianta.

POSSIBILI ERRORI

Particolare attenzione va dedicata alla pezzatura della roccia utilizzata per il riempimento dei materassi.

BIBLIOGRAFIA

DI CARLO G., BADALAMENTI F., JENSEN A.C., KOCH E.W., RIGGIO S. (2005) - Colonization process of vegetative fragments of *Posidonia oceanica* (L.) Delile on rubble mounds. *Marine Biology*. 147(6): 1261-1270.

BADALAMENTI F., ALAGNA A., D'ANNA G., TERLIZZI A., DI CARLO G. (2011) - The impact of dredge-fill on *Posidonia oceanica* seagrass meadows: Regression and patterns of recovery. *Marine Pollution Bulletin*. 62: 483-489.

BIBLIOGRAFIA

- Addy C.E. (1947a) - *Eelgrass planting guide*. Maryland Conservationist, USA, 24: 16-17.
- Addy C.E. (1947b) - *Germination of eelgrass seed*. Journal of Wildlife Management, 11: 279.
- Arpa Sicilia, Università degli Studi di Palermo (2006) - *Studi applicativi finalizzati all'attivazione del sistema di monitoraggio delle acque marino costiere della Regione Sicilia*. Convenzione di ricerca CISAC – ARPA Sicilia, Rapporto finale, pp. 224.
- 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: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edits. First International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 1: 255-259.
- Bacci T., Rende F.S., Nonnis O., Maggi C., Izzi A., Gabellini M., Massara F., Di Tullio L. (2013) - *Effects of laying power cables on a Posidonia oceanica (L.) Delile prairie: the study case of Fiume Santo (NW Sardinia, Italy)*. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65.
- Badalamenti F., Di Carlo G., D'Anna G., Gristina M., Toccaceli M. (2006) - *Effects of dredging activities on population dynamics of Posidonia oceanica (L.) Delile in the Mediterranean sea: the case study of Capo Feto (SW Sicily, Italy)*. Hydrobiologia, 555: 253-261.
- Balestri E., Piazzoli L., Cinelli F. (1998) - *Survival and growth of transplanted and natural seedlings of Posidonia oceanica (L.) Delile in a damaged coastal area*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 228: 209-225.
- Bianchi C.N., Peirano A. (1995) - *Atlante delle fanerogame marine della Liguria*. Posidonia oceanica e Cymodocea nodosa. ENEA, Centro Ricerche Ambiente Marino, La Spezia: 1-146.
- Blanc J.J., Jeudy De Grissac A. (1989) - *Réflexion géologique sur la régression des herbiers à Posidonies (départements du Var et des Bouches-du-Rhône)*. In: Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. Edits. Second International Workshop on *Posidonia* beds, GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 2: 273-285.
- Boccalaro F., Cinelli F., Rende F., Burgassi M., Zanella M. (2008) - *Ingegneria naturalistica. Il ripristino delle praterie di Posidonia oceanica. Un mare di piante*. ACER, 6/2008 : 57-61.
- Borum J., Duarte CM., Krause-Jensen D., Greve. TM. (2004) - *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. The M&MS project, Copenhagen. pp.88.
- Boudouresque C.F. (1968) - *Contribution à l'étude du peuplement ephiphyte 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 phanérogames marines*. Restauration des écosystèmes côtiers, Dreves L., Chaussepied M. Edits., *IFREMER* publ., 29 : 65-85.
- Boudouresque C.F., Meinesz A. (1982) - *Découverte de l'herbier de Posidonie*. Parc National de Port-Cros, Parc Naturel Regional de la Corse, Cahiers, 4, pp. 79.
- Boudouresque C.F., Charbonnel E., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Cadiou G., Bertrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Rico-Raimondino V. (2000) - *A monitoring network based on the seagrass Posidonia oceanica in the northwestern Mediterranean Sea*. Biologia Marina Mediterranea, 7(2): 328-331.
- Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2006) - *Préservation et Conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. RAMOGE pub.: 1-202.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy De Grissac A., Tine J. (1979) - *Répartition des biocoenoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France)*. Téthys, 9(2): 103-112.
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. (2003) - *I sistemi a Fanerogame marine*. Biologia Marina Mediterranea, 10: 145-198.
- Buia M.C., Gambi M.C., Zupo V. (2000) - *Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview*. Biologia Marina Mediterranea 7: 167-190.
- Calumpong H.P., Fonseca M.S. (2001) - *Seagrass transplantation and other seagrass restoration methods*. In: Global Seagrass Research Methods. Eds: Short F.T. and Coles R.G. Elsevier Science. chapter 22: 425-442.
- Calvo S., Galluzzo M., Viviani G. (1994) - *Water pollution problems in the Palermo area*. In: Dellow B. and Puusola T. Editors, Proceedings UETP-EEE Annual Conference "Improving the Urban Environment". London: 73-87.
- Campbell M.L. (2000) - *A decision-based framework to increase seagrass transplantation success*. Biologia Marina Mediterranea, 7(2): 336-340.

- Capiomont A., Piazzì 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, 1119-1123.
- Carannante F. (2011) - *Monitoraggio a lungo termine di trapianti di Posidonia oceanica su vasta scala*. Tesi di dottorato in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche – XXII ciclo, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo.
- Charbonnel E., Molenaar H., Gravez V. (1995) - *Réimplantation de la phanérogame marine Posidonia oceanica dans le golfe de Marseille (Bouches du Rhône)*. Rapport final 1991-1995. DEGT Ville de Marseille et GIS Posidonie publ: 1-193.
- Chessa L.A., Fresi E. (1994) - *Conservazione e gestione delle praterie di Posidonia*. In: Monbailliu X., Torre A. Edits. La gestione degli ambienti costieri e insulari del Mediterraneo. Edizione del Sole publ., Ital.: 103-127.
- Cinelli F., Boccalaro F., Burgassi M., Rende F., Piazzì L., Zanella M. (2007) - *Utilizzo sperimentale in mare di sistemi tecnici già impiegati dall'ingegneria naturalistica terrestre*. Biologia Marina Mediterranea, 14(2): 342-343.
- Cinelli F., Boccalaro F., Burgassi M., Piazzì L., Rende F., Zanella M. (2007b) - *Technique de fixation des boutures de Posidonia oceanica (L.) Delile en Méditerranée : adaptation en milieu marin d'un système déjà utilisé sur terre*. Atti del «Troisième Symposium Méditerranéen sur la Végétation Marine Marseille, 257-258.
- Cooper G. (1976) - *Jardinier de la Mer. Association-Fondation G. Cooper pour la reconquête des milieux naturels détruits*. Cahier, 1: 1-57.
- Cooper G. (1982) - *Réimplantation de Posidonia oceanica. Protection des implants*. Bulletin d'Ecologie, 13(1): 65-73.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M. (1997) - *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, Nature, 387(6630): 253–260.
- 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., Frankignoulle M. (1995) - *Particle fluxes over a Mediterranean seagrass bed: a one-year sediment trap experiment*. Marine Ecology Progress Series, 126: 233-246.
- Davis R.C., Short F.T. (1997) - *Restoring eelgrass, Zostera marina, habitat using a new transplanting technique: the horizontal rhizome method*. Aquatic Botany, 59: 1-15.
- 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, 38:79–87.
- Dennison W.C., Alberte R.S. (1986) - *Photoadaptation and growth of Zostera marina (eelgrass) transplants along a depth gradient*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 98: 265-282.
- Dennison, W.C. (2009) - *Global Trajectories of Seagrasses, the Biological Sentinels of Coastal Ecosystems*. In: Global Loss of Coastal Habitats: Rates, Causes and Consequences. Eds: Duarte C. M., Fundacion BBVA, Spain, 89-106.
- Díaz-Almela E., Duarte C.M. (2008) - *Management of Natura 2000 habitats. 1120 Posidonia beds (Posidonion oceanicae)*. European Commission.
- Di Carlo, G., Benedetti-Cecchi, L., Badalamenti, F. (2011) - *Response of Posidonia oceanica growth to dredging effects of different magnitude*. Marine Ecology Progress Series, 423, 39-45.
- Duarte C.M. (1991) - *Seagrass depth limits*. Aquatic Botany., 40: 363-377.
- Faccioli F. (1996) - *The morphological restoration of the Venice Lagoon*. Quaderni trimestrali, Consorzio Venezia Nuova, Italie, suppl. 3-4: 1-24.
- Fonseca M.S., Kenworthy W.J., Homziak J., Thayer G.W. (1979) - *Transplanting of eelgrass and shoalgrass as a potential means of economically mitigating a recent loss of habitat*. In: Cole D.P. edit. Proc. 7th ann. Conf. Wetlands Restor. Creation publ., USA: 279-326.
- Fonseca M.S., Kenworthy W.J., Thayer G.W. (1998) - *Guideline for the conservation and restoration of seagrasses in the United States and adjacent waters*. NOAA coastal ocean decision analysis series no. 12. NOAA Coastal Ocean Office, Silver Spring, Maryland 20910. 222 pp.
- 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 : 227–246.
- Francour, P., Sinnassamy, J.M., Urscheler, F., Fleury, M.C., (1992) - *Cartographie des fonds et des herbiers à Posidonia oceanica entre la presqu'île de Giens et l'île de Porquerolles (Var) pour le passage d'un sea-line*. Ville d'Hyères & GIS Posidonie, GIS Posidonie, Fr.: 1-72.

-
- 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, PSZNI, 18(2): 157-173.
- Fresi E., Valiante L.M., Scardi M., Arciprete R., Argenti L., Carannante F., Casola E., Di Dato P., Di Nuzzo F., Ingegnoli P. (2006) - *Un'esperienza di restauro su grande scala di una prateria di Posidonia oceanica*. XVI Congresso della S.I.Te. Viterbo-Civitavecchia, 19-22 settembre 2006.
- 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 Posidonia oceanica leaf stratum: structural and trophic analyses*. P.S.Z.N.I. Marine Ecology, 13(1): 17-40.
- Genchi G., Di Bernardo F., Lugaro A., Calvo S., Ragonese S., Riggio S. (1982) - *Dystrophic and eutrophic states of coastal sea-water in Palermo bay during the summer season (august 1981)*. VI° Journées Etudes Pollution Méditerranée, CIESM. Cannes, 635-639.
- Génot I., Caye G., Meinesz A., Orlandini M. (1994) - *Role of chlorophyll and carbohydrate contents in survival of Posidonia oceanica cuttings planted to different depths*. Marine Biology, 119: 23-29.
- Giaccone G., Calvo S. (1980) - *Restaurazione del manto vegetale mediante trapianto di Posidonia oceanica (Linneo) Delile. Risultati preliminari*. Mem. Biol. Mar. Oceanogr., Ital., suppl. 10: 207-211.
- ISPRA, 2010 - *Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili*. Manuali e Linee Guida: 55/2010. 124 pp.
- Jeuzy De Grissac A. (1979) - *Impact des aménagements littoraux. Installations portuaires, plage artificielles. Quelques exemples provençaux*. Contrat GEOMER: 1-46.
- Jeuzy De Grissac A. (1984a) - *Effets des herbiers à Posidonia oceanica sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale*. In: Boudouresque C.F., Jeuzy de Grissac A., Olivier J. Edits. *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 437-443.
- Jeuzy De Grissac A. (1984b) - *Essais d'implantations d'espèces végétales marines: les espèces pionnières, les Posidonies*. In: Boudouresque C.F., Jeuzy de Grissac A., Olivier J. Edits. *First International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 1: 431-436.
- Kawasaki Y., Iituka T., Goto H., Terawaki T., Watanabe Y., Kikuti K. (1988) - *Study on the technique for Zostera bed creation*. Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan, Rep. n° U-14: 1-231.
- Kenworthy W.J., Fonseca M.S., Homziak J., Thayer G.W. (1980) - *Development of a transplanted seagrass (Zostera marina L.) meadow in Back Sound, Carteret County, North Carolina*. In: Cole D.P. edit. *Proceedings of the Seventh Annual Conference on the Restoration and Creation of Wetlands*, USA: 175-193.
- Larkum A.W.D. (1976) - *Ecology of Botany Bay. 1. Growth of Posidonia australis (Brown) Hook f. in Botany Bay and other bays of the Sidney Basin*. Australian Journal of Marine Freshwater Research 27: 117-127.
- Larkum A.W.D., West R.J. (1983) - *Stability, depletion and restoration of seagrass beds*. Proc. Linn. Soc. NSW, 106: 201-212.
- Lewis R.R., Phillips R.C. (1980) - *Experimental seagrass mitigation in the Florida keys*. In: Cole D.P. Edits. *Proceedings of the Seventh Annual Conference on the Restoration and Creation of Wetlands*, USA: 155-173.
- Maggi P. (1973) - *Le problème de la disparition des herbiers à Posidonies dans le Golfe de Giens (Var)*. Science et Pêche, Bulletin d'Information et de documentation de l'Institut technique et scientifique des Pêches maritimes., 221: 7-20.
- Manzanera M., Pérez M., Romero J. (1998) - *Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach*. Journal of Coastal Conservation, 4: 67-70.
- 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: 800-810.
- Marba N. e C.M. Duarte (1998) - *Rhizome elongation and seagrass clonal growth*, Marine Ecology Progress Series, 174, 1998, pp. 269-280
- Mateo M.A., Romero J., Pérez M., Littler M.M., Littler D.S. (1997) - *Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 44: 103-110.
-

-
- Mazzella L., Scipione M.B., Buia M.C. (1989) - *Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a Posidonia oceanica (L.) Delile meadow*. Marine Ecology, P.S.Z.N.I., 10: 107-131.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G., Scipione M.B., Zupo V. (1992) - *Plant-animal trophic relationships in the Posidonia oceanica ecosystem*. In: Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C., Mucedola A. Edits. *La Posidonia oceanica*, Rivista marittima publ., Ital., 12 (suppl): 31-47.
- Meinesz A., Laurent R. (1978) - *Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de Posidonia oceanica dans les Alpes-Maritimes. Campagne Poséïdon 1976*. Botanica Marina, 21(8): 513-526.
- Meinesz A., Lefevre J.R. (1984) - *Régénération d'un herbier à Posidonia oceanica quarante années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes-Maritimes)*. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. Edits. First International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publisher., Marseille, Fr., 1: 39-44.
- Meinesz, A., Caye, G., Locques, F., Macaux, S. (1990) - *Analyse bibliographique sur la culture des phanerogames marines*. Posidonia Newsl. 3, 1-67.
- Meinesz A., Caye G., Loques F., Molenaar H. (1991a) - *Restoration of damaged areas with transplantation of seaweeds and seagrasses in the Mediterranean: review and perspectives*. Oebalia, 7(1): 131-142.
- Meinesz A., Caye G., Loques F., Molenaar H. (1991b) - *Growth and development in culture of orthotropic rhizomes of Posidonia oceanica*, Aquatic Botany, 39: 367-377.
- Meinesz A., Molenaar H., Bellone E., Loques F. (1992) - *Vegetative reproduction in Posidonia oceanica. I Effects of rhizomes length and transplantation season in orthotropic shoots*. Marine Ecology P.S.Z.N.I., 13(2): 163-174.
- Meinesz A., Caye G., Locques 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: 209-216.
- Molenaar H. (1992) - *Etude de la transplantation de boutures de la Phanérogame marine Posidonia oceanica (L.) Delile. Modélisation de l'architecture et du mode de croissance*. Thèse Doct. Sci. Vie, Univ. Nice Sophia Antipolis, Fr.: 1-221.
- Molenaar H., Meinesz A. (1992a) - *Vegetative reproduction in Posidonia oceanica. II. Effects of depth changes on transplanted orthotropic shoots*. Marine Ecology, PSZNI, 13(2): 175-185.
- Molenaar H., Meinesz A., (1992b) - *Transplantations de Posidonia oceanica (L.) Delile à Cannes. Méditerranée 2000 & Laboratoire Environnement Marin Littoral, Univ. Nice-Sophia Antipolis, Fr.: 1-27*.
- 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: 481-488.
- 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: 313-322.
- Montefalcone M., Morri C., Peirano A., Albertelli G., Bianchi C.N. (2007) - *Substitution and phase-shift in Posidonia oceanica meadows of NW Mediterranean Sea*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 75: 63-71.
- Montefalcone M. (2009) - *Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica: a review*. Ecological Indicators, 9: 595-604.
- Montefalcone M., Albertelli G., Morri C. and 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: 507-515.
- Noten T.M.P.A. (1983) - *Detached shoots of Zostera noltii Hornem. as a means of dispersal: a transplantation experiment*. In: Proceedings International Symposium on Aquatic Macrophytes. Nijmegen, Netherlands: 161-164.
- Orth R.J., Luckenbach M.L., Marion S.R., Moore K.A., Wilcox D.J. (2006) - *Seagrass recovery in the Delmarva Coastal Bays, USA*. Aquatic Botany, 84: 26-36.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent, G. (1999) - *Environmental impacts identification along the Corsican coast (Mediterranean Sea) using image processing*. Aquatic Botany 65, 311-320.
-

-
- Peres J. (1984) - *La regression des herbiers a Posidonia oceanica* In: Boudouresque CF, Jeudy de Grissac A, Olivier J (eds) First International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 1:445-454.
- 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 54: 3-27.
- Pergent-Martini C., Rico-Raimondino V., Pergent G. (1994) - *Primary production of Posidonia oceanica in the Mediterranean basin*. Marine Biology, 120 : 9-15.
- Phillips R.C. (1980) - *Responses of transplanted and indigenous Thalassia testudinum Banks ex Königs and Halodule wrightii Aschers. to sediment loading and cold stress*. Contributions in Marine Science. 23: 79-87.
- Piazzi L., Cinelli F. (1995) - *Restoration of the littoral sea bottom by means of transplantation of cuttings and sprouts*. In: Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C., Mucedola A. Edits. *Posidonia oceanica*, a contribution to the preservation of a major Mediterranean marine ecosystem. Rivista marittima publ., Roma, 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: 593-601.
- 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: 69-76.
- Procaccini G., Alberte R. S., Mazzella L. (1996) - *Genetic structure of the seagrass Posidonia oceanica in the Western Mediterranean: ecological implications*. Marine Ecology Progress Series 140: 153-160.
- Procaccini G., Piazzi L. (2001) - *Genetic Polymorphism and Transplantation Success in the Mediterranean Seagrass Posidonia oceanica*. Restoration Ecology, 9 (3): 332-338.
- Rismondo, A., Curiel D., Solazzi A., Marzocchi M., Chiozzotto E. and Scattolin, M. (1995) - *Sperimentazione di trapianto a fanerogame marine in laguna di Venezia: 1992-1994*, Società Italiana di Ecologia, Atti, 16, 683-685.
- Scannavino A. (2009) - *Sperimentazione di interventi di riforestazione con Posidonia oceanica finalizzati al recupero di fondali degradati*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Palermo, pp. 129.
- Short F.T., Davis R.C., Kopp B.S., Short C.A., Burdick D.M. (2002) - *Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass Zostera marina in the north-eastern US*. Marine Ecology Progress Series, 227: 253-267.
- Simeone S., De Falco G. (2013) - *Posidonia oceanica banquette removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications*. Journal of Coastal Research, Special issue no. 65: 1045-1050.
- Terrados J., Borum J. (2004) - *Why are seagrasses important? – Goods and services provided by seagrass meadows*. In: *European seagrasses: an introduction to monitoring and management*. Edited by Jens Borum, Carlos M. Duarte, Dorte Krause-Jensen and Tina M. Greve: 8-10.
- Thorhaug A. (1979) - *The flowering and fruiting of restored Thalassia beds: a preliminary note*. Aquatic Botany, 6: 189-192.
- Tomasello A., Luzzu F., Di Maida G., Orestano C., Pirrotta M., Scannavino A., Calvo S. (2009) - *Detection and mapping of Posidonia oceanica dead matte by high-resolution acoustic imaging*. Italian Journal of Remote Sensing, 41(2): 139-146.
- 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*. XX Congresso della S.I.Te., “La Sapienza” Università di Roma, 27 – 30 settembre 2010.
- Vassallo P., Paoli C., Rovere A., Montefalcone M., Morri C., Nike Bianchi C. (2013) – *The value of the seagrass Posidonia oceanica: A natural capital assessment*. Marine Pollution Bulletin, 75: 157 – 167.
- Zieman J.C. (1974) - *Methods for the study of growth and production of the turtle grass, Thalassia testudinum Koning*. Acquaculture, 4: 139 – 143.
-

