



Supporting Environmental governance
for the POSidonia oceanica Sustainable
transplanting Operations



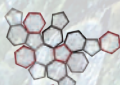
Prodotto realizzato con il contributo del programma LIFE dell'Unione Europea progetto LIFE 16 GIE/IT/000761

MANUALE

delle tecniche e delle procedure operative
per il trapianto di *Posidonia oceanica*



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



**Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente**



**Consiglio Nazionale
delle Ricerche**



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO**



ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

SETIN srl
Servizi Tecnici Infrastrutture

ve3enda



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Settentrionale
Porti di Livorno, Piombino,
Capraia Isola, Portoferraio, Rio Marina, Cavo



Tor Vergata



life project

S.E.POS.S.O.



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

A CURA DI Bacci Tiziano, La Porta Barbara

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

AUTORI

Acunto Stefano, Alagna Adriana, Ardizzone Giandomenico, Assenzo Mauro, Badalamenti Fabio, Bedini Roberto, Belluscio Andrea, Bertasi Fabio¹, Buia Maria Cristina, Bulleri Claudia, Calvo Roberta, Calvo Sebastiano, Casseti Federica P., Cinelli Francesco, Cotugno Marcello, D'Anna Giovanni, Di Stefano Giuseppe, Ferrari Paolo, Giacalone Massimiliano, Magliola Carlo, Magri Michele, Mancini Gianluca, Mancusi Cecilia², Mottini Mauro, Piazzì Luigi, Pierozzi Natalia, Pipitone Carlo, Pipitone Giuseppe, Raimondi Vincenzo, Scardi Michele, Sozzi Francesco, Targusi Monica¹, Tomasello Agostino, Valiante Maria Luigi, Zenone Arturo.

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

²Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana - ARPAT,
Via G. Marradi 114, 57126 Livorno (Italia)

CITAZIONE

Bacci T., La Porta B. (2022). Manuale delle tecniche e delle procedure operative per il trapianto di *Posidonia oceanica*. LIFE SEPOSSO (LIFE 16 GIE/IT/000761), Roma.

Edizione: gennaio 2022

Finito di stampare nel mese di gennaio 2022,
presso **GESI**
Via delle Sette Chiese 140, 00145 Roma (Italia)

MANUALE

delle tecniche e delle procedure operative
per il trapianto di *Posidonia oceanica*



Supporting Environmental governance
for the POSidonia oceanica Sustainable
transplanting Operations



INDICE

Premessa pag. 7

Capitolo 1 | Tecniche di trapianto di *Posidonia oceanica*

e loro applicazioni pag. 9

1.1 | Il trapianto di talee di *Posidonia oceanica* pag. 11

1.1.1 | La tecnica delle cornici in cemento armato
con rete metallica pag. 15

1.1.2 | La tecnica delle griglie metalliche pag. 25

1.1.3 | La tecnica dei picchetti pag. 35

1.1.4 | La tecnica delle geostuoie e delle biostuoie pag. 47

1.1.5 | La tecnica dei supporti modulari biodegradabili pag. 59

1.1.6 | La tecnica delle strutture a raggiera
in calcestruzzo armato pag. 71

1.1.7 | La tecnica dei gabbioni riempiti di pietrame pag. 81

1.2 | Il trapianto mediante trasferimento
di zolle di *Posidonia oceanica* pag. 89

1.2.1 | La tecnica delle zolle di *Posidonia oceanica*:
il caso di Piombino pag. 93

Capitolo 2 | Ricolonizzazione spontanea delle praterie

di *Posidonia oceanica* su substrati consolidati pag. 99

2.1 | La ricolonizzazione spontanea
di *Posidonia oceanica* a Capo Feto (Sicilia) pag. 101

2.2 | La ricolonizzazione spontanea
di *Posidonia oceanica* lungo l'escavo
del gasdotto di Ischia (Golfo di Napoli) pag. 109

Capitolo 3 | Semi e germogli di *Posidonia oceanica*

nelle attività di trapianto pag. 115

3.1 | Le sperimentazioni con semi e germogli di *Posidonia oceanica*
nelle attività di trapianto in Mediterraneo pag. 117

3.1.1 | Ricucitura di impatti meccanici
con impianto di germogli di *Posidonia oceanica* pag. 127



PREMESSA

Il 19,1 per cento delle acque italiane sono oggi sottoposte a qualche misura di conservazione, tuttavia, per raggiungere entro il 2030 gli obiettivi della Strategia dell'UE sulla biodiversità questa percentuale deve aumentare significativamente. A tal fine il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prevede per l'Italia interventi su larga scala per ripristinare e proteggere i fondali e gli habitat marini nelle acque nazionali, così da invertire la tendenza al degrado degli ecosistemi mediterranei e potenziarne la resilienza ai cambiamenti climatici. Le praterie di *Posidonia oceanica* sono un habitat endemico del Mediterraneo e sono protette ai sensi della Direttiva Habitat 1992/43/CEE. Pur occupando l'1% dei fondi mediterranei *P. oceanica* è una pianta che ha un ruolo essenziale nell'equilibrio dell'ecosistema marino; produce circa 20 l/m² di ossigeno e sottrae anidride carbonica all'ambiente contrastando i cambiamenti climatici, ospita circa il 25% della biodiversità marina mediterranea, contribuisce a contrastare l'erosione costiera grazie al suo denso manto fogliare e stabilizza i fondi sabbiosi intrappolando i sedimenti nella tipica struttura a terrazzo detta *matte*. Purtroppo, le praterie di *Posidonia* sono in regressione in diverse aree del bacino del Mediterraneo: si stima che negli ultimi 50 anni la loro superficie sia diminuita di oltre il 30%. Le attività umane e le forme di inquinamento ad esse correlate sono tra le principali minacce per questo ecosistema.

Il ripristino di questo prezioso habitat attraverso attività di trapianto sostenibili ed efficaci, in sinergia con le numerose azioni di protezione e conservazione, non solo contribuirà al raggiungimento degli obiettivi nazionali ed europei per la biodiversità e per i cambiamenti climatici ma favorirà anche il mantenimento e la sostenibilità di attività fondamentali per le aree costiere del nostro Paese come la pesca, il turismo e la crescita blu, in ottemperanza con le normative ambientali europee (e.g. *Habitat Directive* 1992/43/CEE, *Marine Strategy Framework Directive* 2006/56/EC, *Maritime*



Spatial Planning Directive 2014/89/EU, Water Framework Directive 2000/60/EC, Environmental Impact Assessment Directive 2014/52/EC, Aarhus Convention 25 June 1998).

Il progetto LIFE SEPOSSO (*Supporting Environmental governance for the POSidonia oceanica Sustainable transplanting Operations LIFE16 GIE/IT/000761*), coordinato dall'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, insieme ai partner e ai numerosi attori coinvolti, ha verificato l'esito dei trapianti realizzati, ad oggi, in Italia e ha fornito specifici strumenti per migliorarli.

Il "Manuale delle tecniche e delle procedure operative del trapianto di *Posidonia oceanica*", costituisce uno di questi strumenti e fornisce, agli addetti ai lavori e ai diversi *stakeholder* coinvolti, informazioni dettagliate e modalità esecutive sulle principali tecniche di trapianto impiegate lungo le coste italiane e nel Mediterraneo.

L'accuratezza delle informazioni fornite è fondata sul fatto che l'Italia è, ad oggi, il Paese che, nel bacino mediterraneo, ha investito di più in ricerca e sperimentazione dei trapianti di *P. oceanica*. Infatti, fin dagli anni '80 in Italia sono stati eseguiti numerosi trapianti sperimentali e, a partire dagli anni 2000, sono stati realizzati estesi trapianti, di cui alcuni in corso, sia per il recupero di praterie degradate, sia per compensare i danni causati da opere e infrastrutture costiere. Hanno, infatti, contribuito alla stesura del presente Manuale alcuni tra maggiori esperti italiani in materia di trapianto di *Posidonia*, sia partner del LIFE SEPOSSO sia esterni al progetto, coinvolti con la condivisa finalità di capitalizzare le conoscenze relative al tema dei trapianti e contribuire al comune progetto di ripristino di questo prezioso e delicato habitat del Mediterraneo.

Centro Nazionale per la rete nazionale dei laboratori.

Il Responsabile

Dott. Damiano Centoli

CAPITOLO 1

TECNICHE DI TRAPIANTO DI POSIDONIA OCEANICA E LORO APPLICAZIONI



1.1 | IL TRAPIANTO DI TALEE DI POSIDONIA OCEANICA

Le prime esperienze di trapianto di *Posidonia oceanica*, realizzate impiegando tecniche generalmente utilizzate per rafforzare e migliorare lo stato di conservazione di praterie di altre fanerogame marine, non ebbero un esito positivo. Le ulteriori esperienze, a partire da quelle condotte dalla scuola francese di Georges Cooper e dal gruppo dei *Jardiniers de la Mer* (Cooper, 1982; Augier *et al.*, 1996) e le successive sperimentazioni, realizzate soprattutto in Italia, hanno, nel tempo, mostrato risultati più incoraggianti in termini di successo dei trapianti di *P. oceanica*. L'esperienza maturata dagli insuccessi pregressi, le nuove scoperte sulla biologia della pianta, l'impiego di nuove tecnologie, nonché la disponibilità di dati di monitoraggio dei trapianti su lunghi periodi ha, infatti, permesso di perfezionare e ideare tecniche di trapianto sempre più efficaci e sostenibili (<https://lifese posso.eu>; Bacci *et al.*, 2019; Badalamenti *et al.*, 2015; Boudouresque *et al.*, 2021; Calvo *et al.*, 2021; Piazzini *et al.*, 2021).

I due fattori principali da cui dipende il successo di un trapianto di *P. oceanica* sono la scelta del sito di trapianto e della tecnica più idonea per la tipologia di substrato selezionato. Il buon esito di un trapianto dipende anche dalle specifiche modalità di esecuzione delle rispettive tecniche, che i diversi operatori subacquei devono eseguire scrupolosamente, rispettando determinati accorgimenti che, talvolta, risultano cruciali per la realizzazione di un trapianto efficace e duraturo nel tempo (<https://lifese posso.eu>; AA.VV., 2020).

Alcuni moduli di ancoraggio, quali le cornici in cemento con rete metallica, le griglie metalliche di diversa tipologia e i picchetti sono, ad oggi, tra le tecniche più usate per fissare talee di *P. oceanica* al substrato. Alcuni trapianti realizzati nel passato con tali tecniche sono, oggi, testimonianze uniche, fornendo una preziosa fonte conoscitiva, indispensabile per analizzare nel lungo periodo l'evoluzione di una prateria trapiantata e l'efficacia della tecnica utilizzata. Nel tempo sono state ideate e sperimentate ulteriori modalità di ancoraggio,



come geostuoie e biostuoie, materassi di varia tipologia e moduli di ancoraggio in bioplastica, sempre con maggiore attenzione alla sostenibilità ambientale della tecnica.

Sulla base dell'esperienza italiana, di seguito vengono descritte le principali tecniche di trapianto di talee di *P. oceanica* utilizzate nell'ambito di attività di *restoring* ambientale o di compensazione di danni arrecati alle praterie da opere marino-costiere sottoposte a Valutazione d'Impatto Ambientale. Accanto ai trapianti di talee sono stati sviluppati ulteriori metodi di riforestazione delle praterie, come il trasferimento di zolle di *P. oceanica* in cui, insieme alle talee, viene prelevata anche la sottostante *matte*, la creazione di substrati consolidati per accelerare il naturale processo di ricolonizzazione spontanea di *Posidonia* e l'utilizzo di semi e germogli come materiale di trapianto. Alcune esperienze relative a tali metodi verranno descritte nei capitoli successivi.

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2020). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B2. <https://www.lifeseosso.eu>

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

Bacci T., Scardi M., Calvo S., Tomasello A., Valiante L. M., Di Nuzzo F., Raimondi V., Assenzo M., Piazzi L., Cecchi E., Penna M., Gennaro P., Tomassetti P., Pampalone V., Bulleri C., Sozzi F., Zenone A., Bertasi F., Targusi M., Piazzi A., La Porta B. (2019). Il LIFE S.E.POS.S.O. monitora i trapianti di *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Italia. *Biologia Marina Mediterranea*, 26(1): 132–135.

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

Boudouresque C.F., Blanfuné A., Pergent G., Thibaut T. (2021). Restoration of Seagrass Meadows in the Mediterranean Sea: A Critical Review of Effectiveness

and Ethical Issues. *Water*, 13(8): 1034. <https://doi.org/10.3390/w13081034>

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

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

Piazzì L., Acunto S., Frau F., Atzori F., Cinti M. F., Leone L., Ceccherelli G. (2021). Environmental engineering techniques to restore degraded *Posidonia oceanica* meadows. *Water*, 13(5): 661. <https://doi.org/10.3390/w13050661>



1.1.1 | La tecnica delle cornici in cemento armato con rete metallica

Michele Scardi¹, Maria Luigi Valiante²

Storia della tecnica

La tecnica di trapianto di *Posidonia oceanica* basata su cornici in cemento armate con rete metallica è stata introdotta in Italia da Eugenio Fresi all'inizio degli anni '90, sulla scorta di una precedente esperienza francese, condotta negli anni '70 da Georges Cooper e dal gruppo dei *Jardiniers de la Mer* (Augier *et al.*, 1996; Cooper 1982). I trapianti francesi erano stati effettuati su superfici limitate, di poche centinaia di metri quadri, mentre successivamente le prime esperienze italiane avevano riguardato, in Sardegna, la rada di Porto Conte e i fondali antistanti la Spiaggia delle Bombarde, poco ad ovest di Alghero, ed erano ancor più limitate per estensione, con poche decine di metri quadri. I risultati furono positivi, così come lo erano stati quelli delle precedenti esperienze francesi, anche se le cornici impiegate in Italia furono progettate in modo da essere meno massicce di quelle francesi, essendo anche armate con una rete più leggera e disposta su un solo strato, a vantaggio della degradabilità. Fu proprio l'obiettivo di minimizzare l'impatto sul fondale a consigliare di sperimentare moduli sempre più leggeri e degradabili, con l'obiettivo di favorire la naturale disgregazione prima della rete metallica e poi anche della cornice in cemento, anche grazie all'azione abrasiva del sedimento.

Descrizione sintetica della tecnica

Le cornici in cemento utilizzate come supporti di ancoraggio delle talee sono quadrate e misurano 50 cm di lato (*fig. 1*). Il lume interno

¹ Dipartimento di Ecologia, Università degli studi di Roma "Torvergata", via Cracovia 1, 00133, Roma (Italia).

² Econ S.r.l., Via Santa Maria della Libera 42, 80127, Napoli (Italia)



misura 40 cm di lato, per una superficie utile pari a 1600 cm², mentre lo spessore della cornice è di circa 5 cm. Le cornici sono armate con rete di ferro zincato a maglia poligonale, con una dimensione della maglia adatta a trattenere le talee (circa 1,5-2 cm). La rete metallica deve essere sufficientemente duttile da consentire di schiacciare le maglie per meglio assicurare le talee alla cornice.

Per garantire una degradazione sufficientemente rapida delle cornici il tenore di cemento deve essere il più basso possibile, compatibilmente con la necessità di non rendere le cornici eccessivamente fragili. Per ovviare ad eventuali fratture delle cornici è buona norma posarle su *pallets* alla produzione e calarle in acqua sui medesimi *pallets*, per poi movimentarle a mano una volta posati i *pallets* sul fondale.

Le cornici sono coperte da brevetto italiano n. 0001360267 (“Struttura di ancoraggio per organismi vegetali”).



Figura 1 | Modulo di ancoraggio delle talee.

Substrato di ancoraggio

I fondi mobili rappresentano la tipologia di fondo ideale per la posa delle cornici di cemento, purché la granulometria del sedimento non sia tanto grossolana da suggerire l’esistenza di condizioni di forte stress idrodinamico. Queste ultime potrebbero spostare le cornici o sommergerle di sedimento, in entrambi i casi danneggiando i trapianti. Ovviamente un substrato a sabbie grossolane non è di per sé ostativo, ma deve essere attentamente valutata la sua dinamicità. Le

granulometrie psammitiche più fini possono essere ideali, da questo punto di vista, purché non abbiniate ad una frazione pelitica troppo abbondante.

Le condizioni ideali, per intensità dell'irradianza discendente e per idrodinamismo attenuato, si incontrano fra 10 e 15 m di profondità, con tutte le eccezioni del caso legate a specifiche caratteristiche del paraggio. Stante la tessitura ideale del sedimento, come sopra specificato, la pendenza del fondale non potrà essere particolarmente pronunciata.

Modalità di esecuzione del trapianto

In primo luogo, per quanto riguarda l'identificazione delle aree idonee all'espianto, 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 è stato osservato che questa condizione non è favorevole in termini di probabilità di successo del trapianto. Nelle aree ritenute ottimali all'espianto viene determinata la densità dei fasci e la dimensione delle aree stesse, in modo da poter stimare il numero totale di talee prelevabili.

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. Tuttavia, anche nell'ambito di un documento fortemente orientato alla conservazione (Diaz-Almela e Duarte, 2008) è stato ritenuto possibile effettuare un prelievo a bassa densità di fasci da praterie in buone condizioni, capaci di bilanciare rapidamente la sottrazione di un piccolo numero di fasci da destinare al reimpianto.

Per l'individuazione dei siti adatti al reimpianto, viene data preferenza alle radure che si trovano all'incirca intorno ai 12 m. Nelle radure candidate si stima lo stato di salute apparente della prateria al contorno, rilevando, in via speditiva: litologia, presenza di detrito organico, *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 an-



coraggi 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 ritenuta utile.

Nella scelta delle aree in cui effettuare trapianti si privilegiano, in linea di massima, quelle di dimensioni intermedie (es. 100-200 m²), protette dalla prateria circostante ed esenti da evidenti fenomeni erosivi e di mobilità del sedimento. Al contrario, può non essere consigliabile considerare aree di piccola superficie (es. 10-20 m²), per evitare di parcellizzare eccessivamente l'intervento e di rendere quindi impossibile un efficace monitoraggio. Per ottimizzare le operazioni, riducendo al minimo i tempi morti, è opportuno predisporre la posa dei moduli di trapianto (*fig. 2a*) prima di procedere all'espianto dei fasci da cui ottenere le talee per il trapianto (*fig. 2b*).

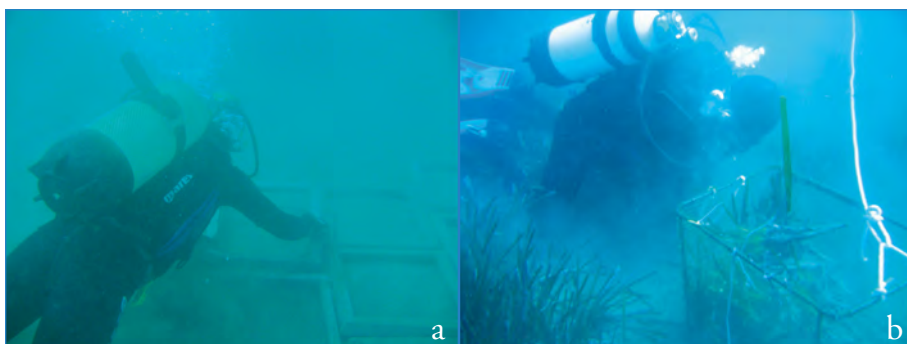


Figura 2 | Posa dei moduli (a) e prelievo dei fasci da cui ottenere le talee per il trapianto (b)

I fasci da cui saranno ottenute le singole talee devono essere espantati avendo cautela di non rovinarli durante la raccolta. Possono anche essere prelevate “zolle” (più fasci fogliari 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. Essendo prelevati da porzioni non marginali della prateria, i rizomi da cui saranno ottenute le talee saranno a prevalente accrescimento ortotropo. 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 di rete rigidi 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 (*fig. 3*), 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. I moduli non necessitano di essere fissati al substrato o resi solidali fra loro.

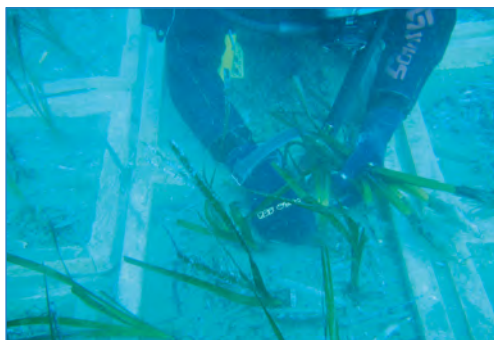


Figura 3 | Trapianto delle talee.

Accorgimenti esecutivi

Dall'esperienza acquisita è emerso che l'impiego di personale non qualificato è una delle principali cause di fallimento del trapianto. Pertanto, si raccomanda il coinvolgimento di professionalità specifiche. Le operazioni di posa dei moduli e quelle di movimentazione del materiale vegetale prelevato possono essere svolte da Operatori Tecnici Subacquei (OTS) non specializzati. Le operazioni di espianamento, la messa a dimora delle talee e la direzione del cantiere devono, invece, essere effettuate da OTS laureati in discipline biologiche con

albo professionale e con esperienza nel manipolare talee di *Posidonia* nei trapianti. Analoga formazione biologica ma non necessariamente con esperienza subacquea, è essenziale per chi deve preparare le talee in superficie, ponendo la massima cura nella loro manipolazione, nel mantenimento della temperatura, minimizzando l'esposizione all'aria. Nella zona interessata dalla riforestazione è opportuno interdire la pesca e gli ancoraggi al fine di minimizzare i danni al trapianto e aumentare le possibilità di successo.

Dopo 10 anni, è stato osservato che, se ben eseguiti, tali trapianti possono ricreare una prateria assimilabile da una prateria naturale per struttura e funzioni, a meno, ovviamente, dello sviluppo verticale della *matte*, che in quest'arco di tempo, tuttavia, inizia a formarsi. In figura 4 è mostrata l'evoluzione di un'area dal termine delle operazioni di trapianto al momento in cui i moduli scompaiono nel sedimento, dopo 1 anno, e poi ancora durante il progressivo aumento della densità dei fasci, dopo 5 e 10 anni.

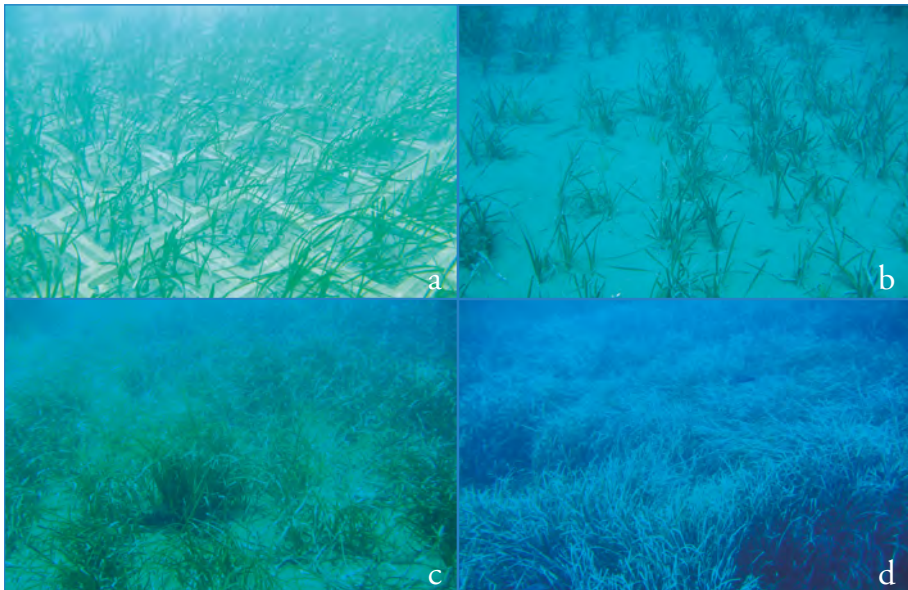


Figura 4 | Un'area trapiantata, al termine delle operazioni (a), dopo un anno, con la scomparsa dei moduli nel sedimento (b), dopo 5 anni (c) e dopo 10 anni (d).

Sostenibilità ambientale della tecnica

Le cornici in cemento sono costruite in modo da facilitare un processo di lenta disgregazione, ma evidentemente si tratta di un processo che si compie in tempi lunghi e soprattutto che dipende da quanto le cornici stesse sono esposte all'azione dell'idrodinamismo. Ovviamente, una volta che saranno state inglobate nella *matte* che si forma quando il trapianto assume densità pari o superiori alla prateria naturale (AA.VV., 2020), il processo di disgregazione delle cornici potrebbe interrompersi.

Il paesaggio marino viene ovviamente modificato in maniera percettibile dalla posa delle cornici, ma queste tendono rapidamente ad affondare nel sedimento e quindi già a pochi mesi dalla loro posa possono non essere più visibili. La completa integrazione con il paesaggio marino inizia dopo circa 5 anni, quando la crescita della densità dei fasci inizia ad essere apprezzabile e a dieci anni dal trapianto le cornici sono virtualmente scomparse alla vista (AA.VV., 2020). Finché ciò non avviene, il substrato solido che esse rappresentano attrae organismi animali e vegetali che normalmente sono presenti nei piccoli affioramenti rocciosi.

Con l'inizio della formazione della *matte*, che risulta evidente a circa 10 anni dal trapianto, il servizio di sequestro di carbonio tipico delle praterie di *Posidonia* può assumere una valenza del tutto simile a quella di una prateria naturale.

Periodo di intervento

Le operazioni di espianto e reimpianto sono state sempre effettuate nel periodo autunnale e invernale, sotto l'ipotesi che questa sia la fase del ciclo vitale della pianta in cui l'attività vegetativa è meno intensa. Questa scelta è stata basata sul principio di precauzione, ma al momento non esiste una controprova su scala spaziale sufficientemente ampia.

Casistica

Tabella di sintesi dei casi di studio in Italia dove sono state im-



piegate la tecnica e le procedure operative di trapianto descritte. I trapianti sono stati tutti eseguiti a profondità comprese fra 7 e 13 m.

Tabella 1.1.1 | Trapianti realizzati in Italia con le cornici in cemento armato con rete metallica

Sito del trapianto	Substrato impianto/ profondità	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Porto Conte e Alghero (Sardegna)	sabbia/10 m	1989	40 m ²	1.280	2 anni (1989-1991)	Progetto EU - ENEL - Ministero Marina Mercantile
S. Marinella (Lazio)	sabbia/7-13 m	2004	10000 m ²	306.592	16 anni (2005-2010; 2015-2021)	Valutazione di Impatto Ambientale; Progetto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2020, Bacci <i>et al.</i> , 2019, Scardi <i>et al.</i> , in stampa)
Pioppi Pollica (Campania)	sabbia/10m	2005	10 m ²	320	5 anni (2005-2010)	Valutazione di Impatto Ambientale (area di controllo per S. Marinella)
La Maddalena (Sardegna)	sabbia/7,5 m	2005	10 m ²	320	1 anno (2005-2006)	Valutazione di Impatto Ambientale (area di controllo per S. Marinella)
Ischia Isola di Ischia (Campania)	sabbia/7-9 m	2009	1600 m ²	50.032	12 anni (2009-2021)	Valutazione di Impatto Ambientale; Progetto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2020, Bacci <i>et al.</i> , 2019, Scardi <i>et al.</i> , in stampa)
Secche della Meloria Livorno (Liguria)	sabbia/7 m	2011	2 m ²	64	8 anni (2011-2016; 2019)	Valutazione di Impatto Ambientale; Progetto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2021)
Pioppi Pollica (Campania)	sabbia/10m	2013	3 m ²	96	-	Attività dimostrativa- Festa dell'Albero (Legambiente)
Acciaroli Pollica (Campania)	sabbia/12-15m	2014	5 m ²	160	-	Attività sperimentale

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2020). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B2. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021). Reporting di casi studio toscani relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseosso.eu>

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

Bacci T., Scardi M., Calvo S., Tomasello A., Valiante L. M., Di Nuzzo F., Raimondi V., Assenzo M., Piazzi L., Cecchi E., Penna M., Gennaro P., Tomassetti P., Pampalone V., Bulleri C., Sozzi F., Zenone A., Bertasi F., Targusi M., Piazzi A., La Porta B. (2019). Il LIFE S.E.POS.S.O. monitora i trapianti di *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Italia. *Biologia Marina Mediterranea*, 26(1): 132–135.

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

Díaz-Almela E., Duarte C. M. (2008). Management of Natura 2000 habitats * *Posidonia* beds (*Posidonia oceanica*) 1120. Management of Natura 2000 habitats. European Commission https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/habitats/pdf/1120_Posidonia_beds.pdf

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



1.1.2 | La tecnica delle griglie metalliche

Sebastiano Calvo^{1,3}, *Roberta Calvo*², *Vincenzo Raimondi*³, *Mauro Assenzo*³, *Giuseppe Pipitone*³, *Federica P. Cassetti*¹, *Agostino Tomasello*¹

Storia della tecnica

Le griglie di varia tipologia sono state utilizzate nel trapianto di *Posidonia oceanica* alla fine degli anni '80 in Francia (Meinesz *et al.*, 1992; Meinesz *et al.*, 1993; Molenaar e Meinesz, 1992; Molenaar *et al.*, 1993) e sono successivamente state utilizzate in differenti trapianti nel Mar Mediterraneo, soprattutto in Italia, sia per fini sperimentali che nell'ambito di valutazioni ambientali (es: Piazzini *et al.*, 1998; Lepoint *et al.*, 2004; Pereda-Briones *et al.*, 2018; Calvo *et al.*, 2021).

Relativamente alle valutazioni ambientali, la tecnica di trapianto di *Posidonia oceanica* mediante griglie metalliche elettrosaldate è stata applicata nel 2008 in Italia (Pirrotta *et al.*, 2015) lungo la costa nord-occidentale della Sicilia, in un'area marina costiera degradata del Golfo di Palermo, come misura compensativa dell'impatto ambientale dovuto alla realizzazione della barriera di protezione sottomarina, volta a contrastare l'erosione della spiaggia in località Arenella, all'interno della stessa area geografica. Il sito oggetto dell'intervento, selezionato utilizzando il modello multicriterio (Pirrotta *et al.*, 2015), si trova su un fondo marino caratterizzato da strutture a *matte* morta. Di seguito, viene descritta l'attività di trapianto mediante griglie metalliche, facendo specifico riferimento all'esperienza maturata nel caso di studio del Golfo di Palermo.

¹ Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM), Università di Palermo, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).

² Assessorato dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti -- Regione Siciliana, Viale Campania 36, 90144 Palermo (Italia).

³ Biosurvey Srl (www.biosurvey.it), spin-off dell'Università di Palermo, c/o Incubatore d'Impresa ARCA, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).



Descrizione sintetica della tecnica

Il supporto di ancoraggio è costituito da una griglia metallica elettrosaldata 1 x 1 m, maglia 50 x 50 mm di Ø 2 mm e peso di 1,3 kg, ancorata alla *matte* mediante paletti di ferro ad ombrello di ~70 cm di lunghezza o su substrati duri con tasselli e viti ad espansione. Ad ogni griglia metallica possono essere fissate, mediante fascette a strappo biodegradabili o fili metallici, circa venti talee di *P. oceanica* portanti almeno tre fasci, con una densità finale di ~60 fasci/m². Il supporto di ancoraggio può essere opportunamente adattato anche per piantumare altri organismi vegetali.

La semplicità della struttura e la facilità di reperimento e movimentazione del materiale, fa sì che la griglia metallica possa essere facilmente ed economicamente impiegata in interventi di ripristino di fondi marini con *P. oceanica*.

Substrato di ancoraggio

Il supporto di ancoraggio con griglia metallica può essere utilizzato efficacemente in interventi di trapianto su *matte* morta. I substrati sabbiosi non sembrano essere idonei all'utilizzo di reti metalliche (Scardi e Valiante 2014), mentre su substrati rocciosi la letteratura è ancora scarsa.

Modalità di esecuzione del trapianto

La prateria donatrice dovrà essere preferibilmente individuata in prossimità del sito ricevente. Il prelievo di talee/rizomi sarà limitato alle piante che colonizzano i margini della prateria e sarà eseguito secondo criteri di sostenibilità, con una pressione non superiore all'1% di fasci/m² (Díaz-Almela e Duarte, 2008). In alternativa, al fine di ridurre e/o annullare l'impatto del prelievo sulla prateria donatrice, rizomi e talee, distaccati e trasportati sul fondale a seguito di azione idrodinamica, si possono raccogliere facilmente e in gran numero in aree marine costiere dove preferenzialmente si accumulano durante il periodo autunno/inverno (Balestri *et al.*, 2011). Il recupero di rizomi o talee distaccati naturalmente, presuppone, tuttavia, una program-

mazione del trapianto che preveda il loro utilizzo entro pochi giorni dal recupero per evitare ulteriori stress alla pianta già distaccata e aumentare le possibilità di successo del trapianto.

Operatori scientifici subacquei, titolati e con esperienza specifica nella manipolazione delle talee di *Posidonia*, preleveranno il materiale vegetale, costituito prevalentemente da talee di almeno 15 cm portanti almeno 3 fasci (*fig. 1*). Il prelievo sarà effettuato possibilmente in prossimità del sito ricevente avendo cura, nel caso di interventi di compensazione di opere marittime, di prelevare il materiale vegetale nelle aree che saranno direttamente interferite dalle opere o da interventi di escavo, riducendo al minimo l'impatto del prelievo. Il materiale vegetale raccolto nel sito donatore sarà conservato in sacchi di juta e trasportato immerso in acqua immediatamente a terra per le successive operazioni.



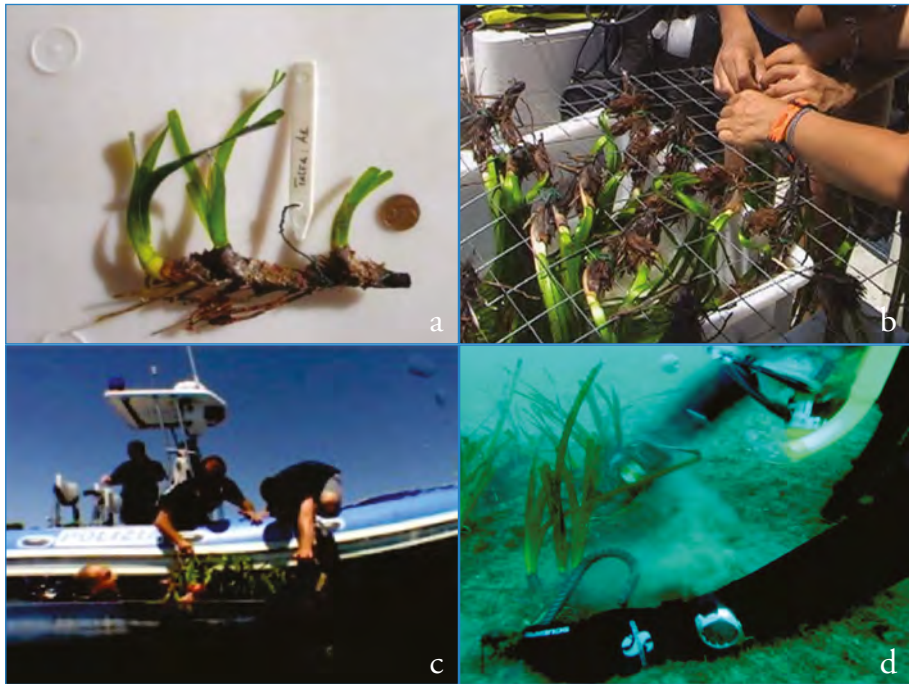


Figura 1 | Rappresentazione fotografica delle principali fasi realizzative di un intervento di riforestazione mediante griglie metalliche, dalla preparazione delle talee (a, b), al posizionamento e ancoraggio delle griglie sul fondo (c, d).

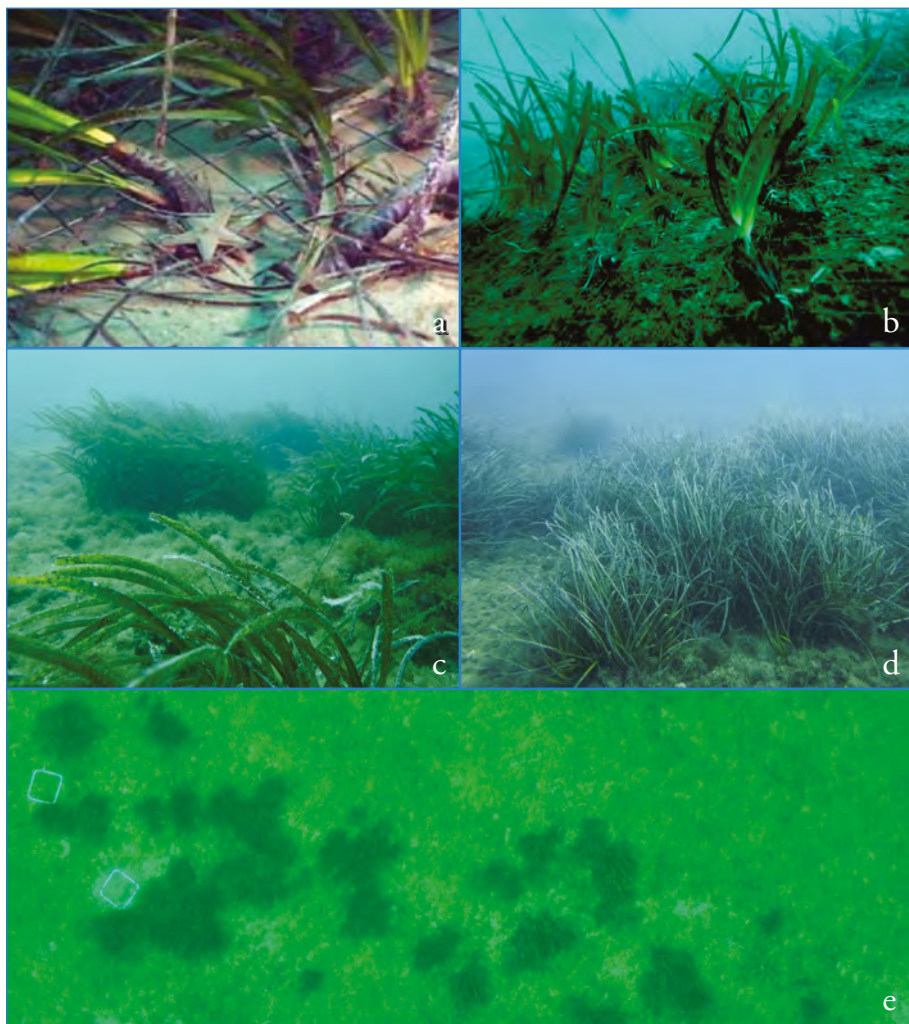


Figura 2 | Evoluzione strutturale e funzionale del trapianto dal 2008 (a), al 2012 (b), al 2020 (c,d); foto-mosaico dell'impianto pilota di riforestazione realizzato a maggio 2020 (e) (Calvo et al., 2021).

Il materiale vegetale sarà selezionato e successivamente fissato a terra alla griglia metallica elettrosaldata mediante fili metallici e/o fascette a strappo, preferibilmente in materiale biodegradabile, avendo cura che i fasci siano rivolti verso l'alto rispetto al supporto (*fig. 2*). In tal modo, la posizione delle talee/rizomi simula quella adottata dalla maggior parte delle piante quando, staccatesi dalla prateria di origine, si adagiano sul fondale per poi ancorarsi ad esso (Meinesz *et al.*, 1992).

Ciascuna griglia metallica potrà ospitare fino a 20 talee/rizomi per un totale di 60 fasci nel caso di talee. Per tutta la durata delle attività di fissaggio alla griglia metallica, il materiale vegetale sarà tenuto costantemente sommerso per evitarne la disidratazione.

Al fine di emulare il meccanismo di colonizzazione di *Posidonia* e il mantenimento a regime delle praterie a fanerogame marine in condizioni naturali (Olesen *et al.*, 2004; Sintes *et al.*, 2006), i supporti di ancoraggio possono essere organizzati spazialmente a filari, a quinconce e/o *patch* formate da 1 o più griglie, tra loro distanti qualche metro in modo da emulare il meccanismo di colonizzazione naturale e il potenziale naturale di ripristino delle praterie (Cunha *et al.*, 2012; Calvo *et al.*, 2021).

Accorgimenti esecutivi

- Prima di effettuare il trapianto su ampia scala verificare con impianti pilota l'idoneità del sito a ricevere il trapianto (Pirrotta *et al.*, 2015).
- L'area di prelievo di talee/rizomi di *P. oceanica* nella prateria donatrice si deve trovare ad una profondità \geq a quella del sito ricevente (Molenaar e Meinesz, 1992).
- Il materiale vegetale (talee e rizomi) prelevato dalla prateria donatrice deve essere trapiantato entro poche ore dall'espianto.
- L'intera procedura di fissaggio di talee/rizomi alla griglia metallica elettrosaldata deve essere condotta a terra all'interno di vasche di opportune dimensioni, e mantenendo costantemente sommerso il materiale vegetale.

- Evitare sbalzi eccessivi di temperatura delle talee durante le fasi di trasporto e fissaggio del materiale vegetale al supporto.
- La scelta del sito donatore deve tenere conto della distanza dal sito ricevente e della qualità della prateria donatrice.
- Interdire la pesca e gli ancoraggi nella zona interessata dalla riforestazione.

Sostenibilità ambientale della tecnica

Le dimensioni e il peso della struttura che compone la griglia metallica elettrosaldata rende il supporto di ancoraggio leggero, di facile trasporto e manovrabilità e adattabile anche a substrati con morfologie articolate. Inoltre, le ridotte dimensioni della struttura favoriscono la completa dissoluzione nell'arco di circa 4-5 anni, svolgendo comunque il compito di ancorare al substrato talee e rizomi per un arco temporale più che sufficiente alla radicazione. L'impiego di fascette a strappo in plastica biodegradabile favorisce ulteriormente la sostenibilità ambientale della tecnica.

Periodo di intervento

La stagione favorevole per effettuare i trapianti è l'autunno avanzato e i primi mesi dell'inverno. È infatti stato riscontrato che la mortalità è massima per i trapianti effettuati all'inizio dell'estate, quando le temperature superano i 20°C, e minima per quelli effettuati in autunno con tassi di sopravvivenza dal 92% al 97% (Meinesz *et al.*, 1992). Pertanto, Le operazioni di raccolta delle talee, allestimento delle griglie metalliche ed il loro impianto nel sito ricevente devono avvenire preferibilmente durante il periodo di riposo vegetativo della pianta, coincidente peraltro con una minore lunghezza dell'apparato fogliare, che agevola le attività di trapianto in tutte le sue fasi, dal prelievo all'impianto.



Casistica

Tabella di sintesi del caso di studio del Golfo di Palermo e degli altri casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica delle griglie.

Tabella 1.1.2 | Trapianti realizzati in Italia con le griglie metalliche

Sito del trapianto	Substrato impianto/ profondità	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~ N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Palermo (Sicilia)	sabbia e matte morta 13-15 m	2007	15 m ²	900	1 anno (2007-2008)	Valutazione di Impatto Ambientale (Pirrotta et al., 2015)
Palermo (Sicilia)	matte morta 14 m	2008	20 m ²	1.200	12 anni (2008-2014; 2020)	Valutazione di Impatto Ambientale; Progetto LIFE SEPOSSO (Pirrotta et al., 2015; Calvo et al., 2021)
Vada Rosignano (Toscana)	matte morta 10 m	1994	400 m ²	3000	25 anni (1994-1997; 2019)	Trapianto sperimentale; Progetto LIFE SEPOSSO (Piazzi et al., 1998; AA.VV., 2021)
Ischia Isola di Ischia (Campania)	sabbia 7-9 m	2009	30 m ²	968	1 anno (2009)	Valutazione di Impatto Ambientale (Scardi e Valiante, 2014);
Rapallo (Liguria)	matte morta 5 m	1996	10 m ²	618	23 anni (1996; 2019)	Trapianto sperimentale (Robello, 2019)

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021). Reporting di casi studio toscani relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseosso.eu>

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

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

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

Díaz-Almela E., Duarte C. M. (2008). Management of Natura 2000 habitats * *Posidonia* beds (*Posidonia oceanica*) 1120. Management of Natura 2000 habitats. European Commission https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/habitats/pdf/1120_Posidonia_beds.pdf

Lepoint G., Vangeluwe D., Eisinger M., Paster M., van Treeck P., Bouqueneau J.-M., Gobert S. (2004). Nitrogen dynamics in *Posidonia oceanica* cuttings: implications for transplantation experiments. *Marine Pollution Bulletin*, 48(5): 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.08.023>

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

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

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

Molenaar H., Meinesz A., Caye G. (1993). Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*. Survival and development in different morphological types of transplanted cuttings. *Botanica marina*, 36(6), 481-488. <https://doi.org/10.1515/botm.1993.36.6.481>

Olesen B., Marba N., Duarte C. M., Savelle R. S., Fortes M. D. (2004). Recolonization dynamics in a mixed seagrass meadow: The role of clonal versus sexual processes. *Estuaries*, 27(5): 770–780. <https://doi.org/10.1007/BF02912039>

Pereda-Briones L., Tomas F., Terrados J. (2018). Field transplantation of seagrass (*Posidonia oceanica*) seedlings: Effects of invasive algae and nutrients. Securing a future for seagrass. *Marine Pollution Bulletin*, 134: 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.034>



Piazzì L., Balestri E., Magri M., Cinelli F. (1998). Experimental Transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a Disturbed Habitat in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, 41(1–6): 593–602. <https://doi.org/10.1515/botm.1998.41.1-6.593>

Pirrotta M., Tomasello A., Scannavino A., Maida G. D., Luzzu F., Bellissimo G., Bellavia C., Costantini C., Orestano C., Sclafani G., Calvo S. (2015). Transplantation assessment of degraded *Posidonia oceanica* habitats: site selection and long-term monitoring. *Mediterranean Marine Science*, 16(3): 591–604. <https://doi.org/10.12681/mms.1045>

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

Scardi M., Valiante L. (2014). Moduli alternativi per la piantumazione di prateria di *Posidonia oceanica*. Manuali e Linee Guida. In: *Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di Posidonia oceanica*, ISPRA. 80–85 pp. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/conservazione-e-gestione-della-naturalita-negli-ecosistemi-marino-costieri.-il-trapianto-delle-praterie-di-posidonia-oceanica>

Sintes T., Marbà N., Duarte C. M. (2006). Modeling nonlinear seagrass clonal growth: Assessing the efficiency of space occupation across the seagrass flora. *Estuaries and Coasts*, 29(1): 72–80. <https://doi.org/10.1007/BF02784700>

1.1.3 | La tecnica dei picchetti

Giandomenico Ardizzone¹, Gianluca Mancini¹, Andrea Belluscio¹

Storia della tecnica

La tecnica che prevede l'impiego di picchetti di varia natura, dimensione e forma vede il suo primo impiego in Fonseca *et al.* (1982) durante un trapianto di *Zoostera marina* Linnaeus 1753. Successivamente i picchetti furono utilizzati per il trapianto anche di altre fanerogame, come *Posidonia oceanica*, sia in interventi sperimentali volti a verificare l'efficacia del picchetto come sistema di ancoraggio e/o analizzare la sopravvivenza delle talee in differenti condizioni di profondità, substrato e *pattern* spaziali (Genot *et al.*, 1994; Meinesz *et al.*, 1993; Molenaar e Meinesz, 1995; Robello, 2019) sia in trapianti su vasta scala finalizzati al restauro ambientale (Castejón-Silvo *et al.*, 2021).

Relativamente a quest'ultimi, la tecnica è stata utilizzata ultimamente in un trapianto di *P. oceanica* all'isola del Giglio, nell'ambito di un piano di ripristino ambientale dell'area soggetta all'impatto del naufragio della Costa Concordia, avvenuta nel 2012 (Bacci *et al.*, 2016; Mancini *et al.*, 2019). Di seguito, viene descritta l'attività di trapianto mediante picchetti, facendo specifico riferimento al caso di studio dell'isola del Giglio.

Descrizione sintetica della tecnica

Il picchetto utilizzato all'isola del Giglio è formato da due tondini di ferro di 0,6 cm di diametro ciascuno, saldati tra loro in uno o più punti e ricurvi ad una delle due estremità a formare due archi che hanno lo scopo di fermare i rizomi di *Posidonia*. L'altra estremità del picchetto è appuntita per facilitarne la penetrazione all'interno del substrato. La resistenza alla trazione dei picchetti, misurata in im-

¹ Dipartimento di Biologia Ambientale, Università degli studi di Roma La Sapienza, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma (Italia).



mersione tramite un dinamometro a molla, è pari a 6 kg (59,5 N) su *matte*, più che sufficiente per assicurare una buona tenuta del rizoma.

Le dimensioni del picchetto sono: lunghezza di 30 cm, larghezza di 10 cm, ogni arco è largo 5 cm e alto 8 cm (*fig. 1, fig. 2*).

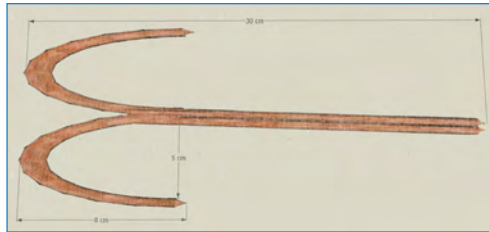


Figura 1 | Il picchetto utilizzato per il trapianto.



Figura 2 | Picchetto prima dell'ancoraggio sul fondo (a); picchetti pronti per essere posizionati a fissare i rizomi (b)

A partire da questo modello lungo 30 cm sono state sviluppate due varianti per l'utilizzo del picchetto in situazioni particolari. Il primo tipo, da utilizzare su *matte* con spessore ridotto, presenta dimensioni minori (20 cm) mentre il secondo si caratterizza per una lunghezza maggiore (50 cm) ed è idoneo per l'impiego su fondi mobili laddove necessario.

Substrato di ancoraggio

Il substrato su cui sono stati effettuati i trapianti di *Posidonia* presso l'isola del Giglio è costituito da *matte* morta. Si tratta di un'area dove in precedenza era presente una prateria di *Posidonia* che, a causa dell'incidente della nave Concordia e dei lavori effettuati per la sua rimozione, è morta. Spostata la nave e l'ombra che creava ed eliminati i materiali che ricoprivano la *matte* (sedimenti, materiale cementizio, rifiuti antropici), il substrato è tornato idoneo ad ospitare *Posidonia*.

Il trapianto è stato effettuato tra 8 e 23 m su un fondo caratterizzato da una bassa pendenza; un limitato trapianto sperimentale è stato effettuato a maggiori profondità, fino a 30 m.

La *matte* morta al momento del trapianto si presentava compatta e poco sfibrata, talvolta ricoperta da uno strato sottile di sabbia grossolana, con un discreto popolamento algale, rappresentando quindi il substrato ottimale per il trapianto mediante picchetti.

Alcune prove sperimentali di trapianto sono state effettuate anche su sabbia grossolana (sabbia tra il 60 e il 98% di ghiaia). Il picchetto "lungo" sembra tenere ben ancorato il rizoma al substrato sabbioso ma, vista la disponibilità di superfici con *matte* morta, il trapianto è stato effettuato prevalentemente su quest'ultimo substrato.

Modalità di esecuzione del trapianto

Il materiale vegetale utilizzato è rappresentato da fasci sia ortotropi che plagiotropi, provenienti per lo più da zolle trovate sul fondo, distaccatesi naturalmente a causa dell'idrodinamismo o dall'attività di ancoraggio delle imbarcazioni (*fig. 3*).





Figura 3 | Una cala del Giglio con numerose imbarcazioni ancorate su Posidonia nel periodo estivo (a) e una grossa zolla distaccatasi dalla prateria (b).

Le zolle di *Posidonia* vengono raccolte dagli operatori subacquei direttamente in immersione e portate in superficie in borse di plastica (retini) (fig. 4). A bordo dell'imbarcazione i retini vengono immersi in contenitori con acqua di mare e protetti dal sole. Il materiale viene poi trasferito per la sua conservazione nell'area di trapianto dove viene riposto all'interno di un apposito recinto costruito sul fondo fino ad un massimo di 3 giorni per evitare di danneggiare rizomi, fasci e foglie (fig. 5).



Figura 4 | Trasferimento del materiale biologico



Figura 5 | Conservazione delle talee di Posidonia raccolte in recinti sul fondale.

Prima del loro trapianto le zolle vengono pulite e suddivise direttamente in immersione dalle parti morte o danneggiate. Le talee più grandi vengono divise in parti più piccole portanti più fasci fogliari e radici.

Il materiale ottimale è composto da rizomi preferibilmente plagiotropi lunghi 10-30 cm, portanti ognuno 2-4 fasci fogliari, preferibilmente con radici in buone condizioni. Sono stati impiegati anche fasci ortotropi.

Gli operatori subacquei provvedono ad impiantare le singole talee manualmente, fissandole al substrato per mezzo di uno o due picchetti

a secondo della loro lunghezza. Il picchetto viene spinto fino a che possibile a mano, dopodiché, se necessario, si usa un piccolo martello per meglio fissarlo nel substrato. L'operazione viene fatta con molta accortezza per evitare di spezzare il rizoma con il picchetto stesso (fig. 6).



Figura 6 | Fase del trapianto in cui l'operatore installa le talee all'interno del frame di alluminio 1 x 1 m (a); particolare di talee trapiantate (b).

Il fondo viene preparato preventivamente suddividendo tutta l'area da trapiantare in quadrati di 10 x 10 m, delimitati con cime fissate al substrato e georeferenziati. Ogni operatore dispone all'interno di questo quadrato un *frame* mobile in alluminio di 1 x 1 m e all'interno di questo *frame* inizia le operazioni di trapianto. Il *frame* serve a garantire la copertura del 100% di tutta l'area da trapiantare (fig. 7). Completato il posizionamento delle talee all'interno del quadrato metallico, questo viene infatti spostato nella posizione adiacente

e inizia una nuova operazione di trapianto, e così via fino al completamento di tutta l'area. Le talee vengono posizionate in maniera casuale, cercando di distanziarle tra di loro in maniera omogenea. La densità delle talee e dei fasci dell'area trapiantata al Giglio è pari a 5-9 talee/m², corrispondenti mediamente a 23-28 fasci/m².



Figura 7 | Con il metodo del quadrato 1 x 1 m il posizionamento delle talee viene effettuato in modo omogeneo in tutta l'area.

I vantaggi di tale metodologia di trapianto sono rappresentati dalla facilità e rapidità di esecuzione in immersione, non dovendo spostare materiali pesanti da un punto all'altro o realizzare strutture fuori o dentro l'acqua. Questo significa che non è necessaria l'assistenza di pontoni in superficie e cantieri a terra.

Accorgimenti esecutivi

I problemi derivanti dall'utilizzo del metodo di trapianto impiegato potrebbero riguardare l'utilizzo di materiale non in buone condizioni di salute, il loro eccessivo tempo di permanenza all'interno

dei recinti di contenimento e l'eccessiva pressione impressa al picchetto durante la fase di fissaggio.

Si raccomanda quindi di:

- utilizzare rizomi plagiotropi dotati di radici e, preferibilmente, fasci in divisione, che presentino un aspetto vitale;
- non utilizzare il materiale vegetale raccolto da più di 3 giorni;
- spingere il picchetto nel substrato a mano, senza imprimere troppa pressione per evitare rotture della talea e possibili infezioni batteriche e fungine con conseguente morte del materiale.

Tra le prove sperimentali effettuate prima di procedere al trapianto vero e proprio, c'è stata anche quella di verificare se ci fosse una differenza nella sopravvivenza delle talee/fasci fogliari provenienti da diverse profondità e piantati a profondità differenti. Si è osservato che il risultato migliore si ottiene piantando i rizomi alla stessa profondità di provenienza, rispetto a quanto osservato da Molenaar e Meinesz (1992), in cui le probabilità di maggiore successo venivano imputate al materiale biologico proveniente da profondità maggiori o uguali a quelle di trapianto.

Non sono state riscontrate criticità tali da rendere il trapianto difficoltoso o di scarso successo, sebbene siano stati riscontrati alcuni inconvenienti di origine naturale sia sulle praterie naturali che su quelle trapiantate, rappresentati da i) massicce fioriture di mucillagine epifite sulle foglie da aprile a luglio e ii) elevata attività di grazing a carico delle foglie adulte e subadulte da parte della salpa *Sarpa salpa*.

Sostenibilità ambientale della tecnica

Il materiale ferroso di cui è composto il picchetto, immerso in acqua di mare, è soggetto ad una rapida corrosione nel tempo. Dopo 4 anni, i picchetti utilizzati hanno diminuito il proprio spessore del 20%, arrivando nelle parti più esposte fino al 50% in meno. Si stima quindi che nel giro 8-24 anni i picchetti si possano

completamente degradare, risultando così di limitato impatto per l'ambiente.

Il picchetto è praticamente invisibile una volta piantato nella *matte*. I rizomi stessi, assieme alle alghe che crescono sulla *matte*, tendono a coprire alla vista la parte che rimane affiorante del picchetto.

I picchetti per il trapianto di *Posidonia* non forniscono un aumento della disponibilità dell'habitat e non alterano quello che era il paesaggio della prateria originaria. Inoltre, in caso di mancata riuscita dell'intervento, non si pone il problema della presenza sul fondale di corpi duraturi ed "estranei" all'ambiente marino.

La ricerca e raccolta di materiale vegetale naturalmente disponibile staccato dal fondale ha permesso di non pesare sulle praterie naturali circostanti con prelievi diretti. Buona parte di questo materiale sarebbe stato destinato alla morte.

Periodo di intervento

Gli interventi di trapianto di *P. oceanica* presso l'isola del Giglio sono stati effettuati da maggio a ottobre nel 2019, 2020 e 2021. Ulteriori interventi sono previsti per lo stesso periodo del 2022. Anche se la scarsa letteratura esistente riporta il tardo autunno – inizio inverno (periodo di stasi vegetativa della pianta) come momento migliore per il trapianto (Meinesz *et al.*, 1992), al Giglio si è scelto di operare nel periodo tarda primavera-autunno in base a due considerazioni.

La prima è legata al fatto che in questo periodo è elevata la disponibilità di zolle scalzate dal substrato dalle ancore a causa dell'intensa attività della nautica da diporto, così come la disponibilità di materiale in buone condizioni scalzato dalle mareggiate invernali.

La seconda è legata ad esigenze logistiche in quanto nel periodo estivo la disponibilità di giornate operative con buone condizioni meteo è sicuramente più elevata rispetto al periodo invernale.

I periodi di intervento osservati in questo caso di studio possono essere suggeriti in future analoghe attività per le evidenti facilitazioni che comportano.



Casistica

Tabella di sintesi del caso di studio del Giglio e degli altri casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica dei picchetti.

Tabella 1.1.3 | Trapianti realizzati in Italia con i picchetti

Sito trapianto	Substrato di impianto/ profondita'	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Giglio Porto Isola del Giglio (Toscana)	matte 8-23 m	2019 (in corso)	1.700 m ² al 30/09/2021 (2.000 m ² totali)	47.900 (nel periodo 2019-2021)	3 anni (2019-2021)	Restauro Ambientale; LIFE SEPOSSO ² (Mancini <i>et al.</i> , 2019; Mancini <i>et al.</i> , 2021; AA.VV., 2021)
Ischia Isola di Ischia (Campania)	sabbia/ matte/ 8 m	2009	20 m ²	600	10 anni (2009-2019)	Valutazione di Impatto Ambientale (Scardi e Valiante, 2014).
Rapallo (Liguria)	matte/5 m	1997	5 m ²	300	23 anni (1997;2019)	Trapianto sperimentale (Robello, 2019).

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021). Reporting di casi studio toscani relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseosso.eu>

Bacci T., Penna M., Rende S. F., Trabucco B., Gennaro P., Bertasi F., Marusso V., Grossi L., Cicero A. M. (2016). Effects of Costa Concordia shipwreck on epiphytic assemblages and biotic features of *Posidonia oceanica* canopy. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1): 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.012>

Castejón-Silvo I., Montanyès M., Burgos E., Terrados J. (2021). Ecosystem functioning recovery after restoration of seagrass *Posidonia oceanica*. In: *9th World Conference on Ecological Restoration Virtual Conference*, June 21-24, 2021.

Fonseca M. S., Kenworthy W. J., Thayer G. W. (1982). A low-cost planting technique for eelgrass (*Zostera marina* L.). Coastal engineering technical aid. Coastal Engineering Research Center (U.S.), Engineer Research and Development Center (U.S.) <https://hdl.handle.net/11681/2832>

² nel sito di trapianto dell'Isola del Giglio è stato effettuato un sopralluogo nell'ambito del Progetto LIFE SEPOSSO (AA.VV. 2021).

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

Mancini G., Casoli E., Ventura D., Jona-Lasinio G., Criscoli A., Belluscio A., Ardizzone G. D. (2019). Impact of the Costa Concordia shipwreck on a *Posidonia oceanica* meadow: a multi-scale assessment from a population to a landscape level. *Marine Pollution Bulletin*, 148: 168–181. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.044>

Mancini G., Casoli E., Ventura D., Jona Lasinio G., Belluscio A., Ardizzone G. D. (2021). An experimental investigation aimed at validating a seagrass restoration protocol based on transplantation. *Biological Conservation*, 264: 109397. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109397>

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

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

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

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

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

Scardi M., Valiante L. (2014). Moduli alternativi per la piantumazione di prateria di *Posidonia oceanica*. Manuali e Linee Guida. In: *Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di Po-*





Posidonia oceanica, ISPRA. 80–85 pp. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/conservazione-e-gestione-della-naturalita-negli-ecosistemi-marino-costieri.-il-trapianto-delle-praterie-di-posidonia-oceanica>



1.1.4 | La tecnica delle geostuoie e delle biostuoie

Stefano Acunto¹, Luigi Piazzzi¹, Francesco Cinelli¹

Storia della tecnica

La tecnica qui descritta nasce dall'idea di utilizzare materiali e metodi già impiegati con successo in ambiente terrestre in opere di ingegneria naturalistica. In queste applicazioni vengono utilizzate piante vive per interventi antiersivi e di consolidamento, in genere in abbinamento con altri materiali (legno, terra, roccia, geotessili, reti zincate ecc.). Tecniche e materiali sono di uso comune in ambiente terrestre e fluviale e, a partire dalle prime sperimentazioni su sabbia e *matte* (Cinelli *et al.*, 2007a; 2007b; Cinelli *et al.*, 2014) e una successiva applicazione su vasta scala realizzata su sabbia come misura di compensazione conseguente alla Valutazione di Impatto Ambientale di un'opera portuale (Acunto *et al.*, 2015), le più recenti e soddisfacenti applicazioni in ambiente marino risalgono al 2016 (Acunto *et al.*, 2017; Frau *et al.*, in stampa; Piazzzi *et al.*, 2021) e al 2019 (Acunto *et al.*, in stampa; Piazzzi *et al.*, 2021).

Descrizione sintetica della tecnica

La tecnica prevede come supporto di ancoraggio per talee, semi e/o germogli di *P. oceanica* l'utilizzo di geostuoie "MacMat[®]" o biostuoie in fibra naturale 100% di cocco.

Le geostuoie MacMat[®] sono strutture tridimensionali in filamento di polipropilene in grado di trattenere al proprio interno il sedimento. Nella gamma di geocompositi denominati "MacMat[®]", la geostuoia risulta fissata mediante un processo termico, già durante la fase produttiva, ad un elemento di rinforzo metallico costituito da una rete esagonale a doppia torsione (8 x 10 cm con filo di 2,70 mm di diametro) (*fig. 1*). La resistenza alla trazione dei geocompositi della famiglia "R" può arrivare fino a 200 kN/m.

¹ International School for Scientific Diving "Anna Proietti Zolla" (ISSD), P.le Italia, 279, 55100 Lucca (Italia).



Nei geocompositi “R.E.C.S.[®] - Cocco” (*Reinforced Erosion Control System*), alla rete metallica a doppia torsione descritta in precedenza viene accoppiata una rete in fibra di cocco (biostuoia) (*fig. 1*). Quest’ultima ha una massa areica di 700 g/m² e presenta una buona resistenza meccanica alla trazione longitudinale (= 20 kN/m).

Entrambi i geocompositi vengono normalmente venduti in rotoli di dimensioni 50 x 2 m (*fig. 2*) dai quali, essendo facilmente sezionabili, possono essere ricavate stuoie tagliate su misura a seconda delle esigenze dell’utente. Stuoie di dimensioni variabili tra i 5 m e 12,5 m di lunghezza per 2 m di larghezza hanno dato ottime garanzie di stabilità e tenuta (*fig. 3, 4 e 5*).

Le stuoie che faranno da supporto alle piante vengono stese sul fondo e ancorate al substrato mediante semplici picchetti costituiti da tondini metallici lunghi almeno 120 cm e sezione del diametro di 1,4 cm.

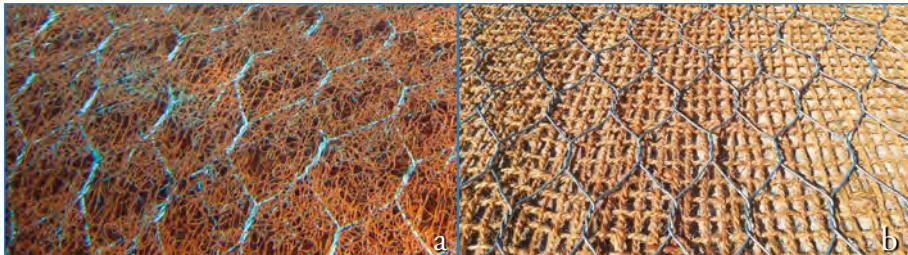


Figura 1 | Dettaglio dei geocompositi denominati “MacMat[®] R” (a) e “R.E.C.S.[®] - Cocco” (b).



Figura 2 | Rotoli di geocomposito da 50 x 2 m.



Figura 3 | Geostuoie MacMat® in situ a tre anni dal trapianto di talee presso l'AMP di Capo Carbonara (Villasimius, CA).



Figura 4 | Biostuoie R.E.C.S.® - Cocco in situ ad un anno dal trapianto di talee presso la località Cavo (Isola d'Elba, comune di Rio - LI).



*Figura 5 | Biostuoia R.E.C.S.® - Cocco in situ rinverdita con semi e germogli di *Posidonia oceanica* ad un anno dalla semina presso la località Cavo (Isola d'Elba, comune di Rio - LI).*

Substrato di ancoraggio

Per la tecnica descritta il substrato migliore si è dimostrato la *matte* morta di *P. oceanica*. Tuttavia, anche l'uso su sabbia è possibile ma, in questo caso, particolare attenzione dovrà essere posta al sito di installazione che non dovrà essere soggetto ad elevato idrodinamismo. Si ritiene, inoltre, che la tecnica possa essere utilizzata con ottimi risultati sui fondi mobili degli ambienti lagunari per il trapianto di specie di fanerogame diverse da *P. oceanica* adattate a questi particolari habitat (es. *Zostera* spp., *Cymodocea nodosa* ecc.).

La tecnica può essere utilizzata potenzialmente a qualunque profondità entro il *range* di sopravvivenza di *P. oceanica*, potendo quindi permettere il ripristino di superfici di prateria degradate per motivi diversi. Le esperienze finora effettuate hanno evidenziato che in acque oligotrofiche e coste esposte ad elevato idrodinamismo la profondità ideale di utilizzo della tecnica è da considerare tra i 12 e i 20 m. In questo intervallo batimetrico si riesce ad ottenere il giusto equilibrio tra operatività subacquea, nelle fasi di installazione delle stuoie e trapianto, e condizioni di idrodinamismo e illuminazione ottimali per la sopravvivenza delle piante.

L'inclinazione del substrato di impianto, nelle esperienze in cui la tecnica è stata utilizzata, è quasi sempre stata sub-orizzontale o comunque scarsa (al massimo circa 10°). Tuttavia, in un piccolo impianto sperimentale presso Lido di Capoliveri (Isola d'Elba) (AA. VV., 2021a) sono state testate 2 geostuoie MacMat® R di 2 x 2 m su *matte* morta con inclinazione fino a 25° con buoni risultati. Pertanto, si ritiene che le stuoie possano essere tranquillamente installate anche su fondi molto inclinati se si considera che in ambiente terrestre i geocompositi vengono utilizzati per il controllo dell'erosione superficiale e il rinverdimento di scarpate fino ad inclinazione massima di 65°-70°.

Modalità di esecuzione del trapianto

Per eseguire il trapianto la prima operazione da attuare è la preparazione a secco delle geostuoie per portarle alle dimensioni de-

siderate. Una volta pronte, le stuoie possono essere spostate senza la necessità di particolari attrezzi da carico e trasportate, insieme ai picchetti necessari al loro ancoraggio, anche su piccoli natanti di lunghezza inferiore ai 10 m. Una volta sul posto, tutto il materiale viene calato sul fondo dove può essere facilmente manipolato da Operatori Tecnici Subacquei (OTS) che le stenderanno sul fondo, per poi ancorarle mediante i picchetti che verranno infissi utilizzando mazze da minimo 5 kg. Sarà necessario prevedere l'utilizzo di almeno 1 picchetto per ogni m² di geostuoia.

Le fasi di posa delle geostuoie e quelle di trapianto sono completamente distinte rendendo più semplice la gestione dei due cantieri subacquei che prevedono tempistiche, procedure di sicurezza e autorizzative totalmente differenti dal momento che le professionalità coinvolte sono diverse: OTS per la posa e operatori scientifici subacquei, titolati e con esperienza specifica nella manipolazione delle talee di *Posidonia*, per il trapianto e i monitoraggi successivi.

Il materiale di trapianto può derivare indifferentemente da praterie donatrici o da piante eradicite per cause naturali e facilmente reperibili in aree di accumulo presenti all'interno della prateria da ripristinare o, eventualmente, anche di altre praterie.

Nelle esperienze più recenti è stato fatto uso di talee eradicite naturalmente recuperate in aree immediatamente limitrofe ai siti di trapianto (entro 2 km di distanza), ma anche di semi e germogli alla deriva o spiaggiati. Sono state utilizzate sia talee a portamento ortotropo che plagiotropo, con una preferenza per quelle plagiotrope recanti da 1 a 3 fasci e con rizomi ridotti ad una lunghezza di circa 10 cm mediante l'utilizzo di forbici da potatura.

I migliori risultati sono stati ottenuti minimizzando al massimo i tempi tra prelievo e reimpianto: quando possibile è stata condotta una sessione di prelievo seguita da un intervallo di 1-2 ore, utile per la selezione visuale del migliore materiale vegetativo disponibile, e da una successiva sessione di reimpianto. Il tutto si può svolgere nell'arco di 4 - 5 ore durante le quali le talee, riportate in superficie dopo il prelievo, stazionano sempre immerse in vasconi, o appese



fuori bordo della barca appoggio, raccolte in retini portaconchiglie utilizzati anche per i trasferimenti in immersione. Qualora le esigenze operative necessitino di tempi più lunghi, le talee possono essere conservate, sempre immerse, fino ad un massimo di 24 ore in acque libere o anche più a lungo in acquari con condizioni ambientali controllate.

Le talee vengono assicurate alle stuoie incastrando il rizoma nella trama dell'estruso in PVC o della rete in fibra vegetale con l'ausilio di un piantatoio manuale da giardino. Semi e germogli vengono posizionati manualmente senza alcun ausilio meccanico. Le piante vengono disposte in nuclei di ricolonizzazione, costituiti da un minimo di 20 talee, facendo in modo che il centro di ciascun nucleo sia distante almeno 1 metro da tutti gli altri nuclei adiacenti. Si viene quindi a creare una disposizione a scacchiera di tanti nuclei quanti sono i m² di stuoia preventivamente posizionata sul fondo.

Accorgimenti esecutivi

La scelta dei geocompositi “ R.E.C.S.® - Cocco” proposti in questa scheda appare la migliore in considerazione della loro completa biodegradabilità associata comunque ad un'ottima resistenza all'usura che permette loro di conservare la loro funzione di trattenere le piante *in situ* per un periodo (al momento della stesura di questa scheda già superiore ai 24 mesi) che si è dimostrato essere sufficiente a garantire la stabilizzazione e l'attecchimento di talee e germogli al substrato di reimpianto.

Riguardo il posizionamento sul fondo, oltre alla corretta scelta del sito, operativamente è necessario che le stuoie aderiscano il più possibile al fondo, evitando sollevamenti sia ai margini che nelle loro parti centrali, per minimizzare l'attrito opposto ai movimenti delle acque e facilitare il radicamento delle piante al substrato primario. A tale fine si raccomanda di utilizzare stuoie di almeno 5 m di lunghezza in quanto tagli più corti comportano una minore flessibilità della rete metallica di supporto.

Per l'ancoraggio, nelle condizioni di profondità e tipo di substrato raccomandate, possono essere utilizzati picchetti metallici lunghi almeno 120 cm a sezione circolare (diametro 1,4 cm). Circa 20 cm di ciascun picchetto devono essere ripiegati ad "L", sia per facilitare l'infissione sia per offrire una maggior superficie utile a trattenere le stuoie. In situazioni di forte idrodinamismo (es. ambienti superficiali <12 m di profondità ed esposti) dovranno essere valutati sistemi di ancoraggio a maggior tenuta (es. sistema *Manta Ray Anchors*).

Nel caso di utilizzo di piante eradicate naturalmente è necessario accertarsi del grado di vitalità delle talee stesse.

Sostenibilità ambientale della tecnica

L'uso dei geocompositi abbraccia un interessante approccio recentemente sviluppato dall'ingegneria naturalistica. Tale approccio si basa sull'imitazione di proprietà emergenti della pianta stessa che possono generare un'auto-facilitazione (Temmink *et al.*, 2020): molti organismi marini sono capaci di ridurre gli stress fisici attraverso proprietà emergenti che permettono loro di sopravvivere in condizioni altrimenti avverse. *Posidonia oceanica* è capace di costruire un substrato secondario, la *matte*, che permette alla pianta di modificare le proprietà fisiche dell'ambiente circostante e colonizzare così substrati altrimenti non idonei. Le geostuoie imitano questa proprietà emergente di *P. oceanica*, favorendo oltre che l'ancoraggio di talee e germogli, l'intrappolamento di sedimenti, la stabilizzazione del substrato e la colonizzazione di un popolamento algale simile a quello della *matte*. Questo aspetto è particolarmente importante in quanto viene favorito il ripristino di struttura e funzioni di un ecosistema simile a quello delle praterie naturali e, in definitiva, il recupero delle praterie degradate (Valdez *et al.*, 2020).

L'impiego di stuoie biodegradabili rappresenta un metodo di trapianto particolarmente sostenibile da un punto di vista ecologico e quindi idoneo per progetti su ampia scala, per questo motivo è stato proposto l'utilizzo del sistema R.E.C.S.[®] - Cocco e sono in corso di



avanzata valutazione anche bioplastiche basate su idrossialcanoati, ottenute da attività batterica su substrati organici, che potrebbero utilmente sostituire il filamento di polipropilene delle stuoie Mac Mat®.

Anche l'utilizzo di talee reperite *in situ* tra quelle naturalmente eradiccate costituisce un interessante sviluppo applicativo in termini di successo delle attività di trapianto.

Periodo di intervento

Posidonia oceanica può essere teoricamente trapiantata in qualunque stagione anche se i periodi più favorevoli possono essere la primavera e l'autunno. Infatti, in primavera inizia il periodo di massimo accrescimento, permettendo quindi alle talee trapiantate di poter sfruttare al meglio questa opportunità. In autunno, le piante, anche se stanno andando verso un periodo di rallentamento vegetativo, hanno avuto modo di accumulare sostanze di riserva durante la stagione favorevole presentandosi quindi più resistenti agli stress. Nel caso della tecnica qui proposta, il trapianto può essere effettuato durante tutto il periodo favorevole (maggio - ottobre). Tuttavia, è da considerare preferibile il periodo primaverile o di inizio estate, in quanto le strutture e le talee trapiantate hanno modo di potersi stabilizzare durante il periodo estivo, meteorologicamente più favorevole, prima di affrontare il periodo tardo autunnale e invernale, quando aumenta la probabilità di forti mareggiate che potrebbero eradiccare le talee appena trapiantate o danneggiare le stuoie. Infatti, a pochi mesi dall'impianto già si osserva una prima stabilizzazione delle strutture tramite l'intrappolamento di sedimento e la crescita di organismi bentonici (Piazzi *et al.*, 2021) e, inoltre, le piante hanno avuto modo di integrarsi maggiormente con le stuoie mediante la generazione di nuove radici.

Casistica

Tabella di sintesi dei casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica di trapianto descritta.

Tabella 1.1.4 | Trapianti realizzati in Italia con geostuoie e biostuoie

Sito trapianto	Substrato di impianto/ profondità	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~ N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Cavo Isola d'Elba (Toscana)	matte morta e sabbia/ 7 m	2006	10 m ²	200	3 anni (2006 - 2009)	Attività sperimentale (Cinelli et al., 2007a; 2007b; Cinelli et al., 2014)
Capo Linaro (Lazio)	sabbia/7-15 m	2012	10.000 m ²	320.000	3 anni (2012 - 2015)	Valutazione di Impatto Ambientale (Acunto et al., 2015)
Villasimius (Sardegna)	matte morta/ 15-20 m	2016/2017	1.000 m ²	30.000	4 anni (2017 - 2021)	Progetto LIFE+ RESMARIS; Progetto LIFE SEPOSSO. (Acunto et al., 2017, in stampa, Frau et al., in stampa, Piazzì et al., 2021, AA.VV., 2021 b)
Cavo Isola d'Elba (Toscana)	matte morta/ 15 m	2019	100 m ²	2.000	2 anni (2019 - 2021)	Attività sperimentale; LIFE SEPOSSO. (AA.VV. 2021 a, Piazzì et al., 2021)

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021a). Reporting di casi studio toscani relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021b). Reporting di ulteriori casi studio relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseosso.eu>

Acunto S., Piazzì L., Cinelli F., De Biasi A. M., Pacciardi L., Ceraudo S., Fersini G. (2015). Transplantation of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* through naturalistic engineering techniques: value, weakness and further improvements. In: *Mediterranean Seagrass Workshop*, May 18 – 22, 2015, Oristano, Sardinia: PeerJ PrePrints. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1051v1>

Acunto S., Bacchetta G., Bordigoni A., Cadoni N., Cinti M. F., Duràn Navarro M., Frau F., Lentini L., Liggi M. G., Masala M., Meloni F., Pinna R., Podda



L., Sanna A. (2017). The LIFE+ project “RES MARIS – Recovering Endangered habitats in the Capo Carbonara MARIne area, Sardinia”: first results. *Plant Sociology*, 54(1): 85–95. <https://doi.org/10.7338/pls2017541S1/11>

Acunto S., Piazzì L., Leone L. (in stampa). Ripristino delle praterie di *Posidonia oceanica* tramite tecniche di ingegneria naturalistica e l’uso di materiali biodegradabili. *Biologia Marina Mediterranea*.

Cinelli F., Boccalaro F., Burgassi M., Piazzì L., Rende F. S., Zanella M. (2007a). Technique de fixation des boutures de *Posidonia oceanica* (L.) Delile en Méditerranée: adaptation en milieu marin d’un système déjà utilisé sur terre. In: *Atti del «Troisième Symposium Méditerranéen sur la Végétation Marine Marseille*, 257–258 pp.

Cinelli F., Boccalaro F., Burgassi M., Rende F. S., Piazzì L., Zanella M. (2007b). Utilizzo sperimentale in mare di sistemi tecnici già impiegati dall’ingegneria naturalistica terrestre. *Biologia Marina Mediterranea*, 14(2): 342–343.

Cinelli F., Boccalaro F., Rende F. S., Marina B. (2014). Tecnica di reimpianto mediante biostuoie e geostuoie. Manuali e Linee Guida. In: *Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di Posidonia oceanica*, ISPRA. 52–54 pp. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/conservazione-e-gestione-della-naturalita-negli-ecosistemi-marino-costieri.-il-trapianto-delle-praterie-di-posidonia-oceanica>

Frau F., Acunto S., Atzori F., Cinti M. F. (in stampa). Ripristino di una prateria di *Posidonia oceanica* mediante tecniche di ingegneria naturalistica nell’ambito del Progetto Europeo LIFE+ Res Maris. In: *Biologia Marina Mediterranea*.

Piazzì L., Acunto S., Frau F., Atzori F., Cinti M. F., Leone L., Ceccherelli G. (2021). Environmental engineering techniques to restore degraded *Posidonia oceanica* meadows. *Water*, 13(5): 661. <https://doi.org/10.3390/w13050661>

Temminck R. J. M., Christianen M. J. A., Fivash G. S., Angelini C., Boström C., Dideren K., Engel S. M., Esteban N., Gaeckle J. L., Gagnon K., Govers L. L., Infantes E., van Katwijk M. M., Kipson S., Lamers L. P. M., Lengkeek W., Silliman B. R., van Tussenbroek B. I., Unsworth R. K. F., Yaakub S. M., Bouma T. J., van der Heide T. (2020). Mimicry of emergent traits amplifies coastal restoration success. *Nature Communications*, 11(1): 3668. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17438-4>

Valdez S. R., Zhang Y. S., van der Heide T., Vanderklift M. A., Tarquinio F., Orth R. J., Silliman B. R. (2020). Positive Ecological Interactions and the Success of Seagrass Restoration. *Frontiers in Marine Science*, 7: 91. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00091>



1.1.5 | La tecnica dei supporti modulari biodegradabili

Sebastiano Calvo^{1,3}, *Roberta Calvo*², *Vincenzo Raimondi*³, *Mauro Assenzo*³, *Giuseppe Pipitone*³, *Agostino Tomasello*¹

Storia della tecnica

Il sistema modulare di ancoraggio in materiale bioplastico, “Sistema di supporto per la piantumazione di organismi vegetali in ambiente marino”, è stato sperimentato per la prima volta nel 2011-2012 su un fondo sabbioso all’interno dell’AMP Capo Gallo - Isola delle Femmine a 12 metri di profondità e su un fondo a *Cymodocea nodosa* e *matte* morta a Mondello (Palermo) a 6 metri di profondità (Calvo *et al.*, 2014).

L’idea è nata dall’esigenza di sviluppare un prodotto ecocompatibile e sostenibile, di facile impiego, in grado di ridurre i costi della riforestazione e di garantire, soprattutto nelle prime fasi dell’impianto, un appropriato sistema di ancoraggio a talee/rizomi di *P. oceanica* e di altri organismi vegetali

Il prototipo del supporto di ancoraggio proponeva già una struttura modulare a raggiera (Calvo *et al.*, 2014) ancorabile sul fondo tramite un picchetto a fissaggio rapido (*fig. 1*).

La struttura presentava un nodo centrale, bloccato al picchetto da un dado, e sei braccetti su cui erano presenti un numero variabile di supporti (pinzette) per l’ottimale fissaggio delle talee. Le pinzette erano disposte con un’inclinazione di ~45° allo scopo di mimare l’angolo di espansione clonale con cui la pianta in natura colonizza il fondale (Marbà e Duarte, 1998).

1 Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM), Università di Palermo, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).

2 Assessorato dell’Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, Dipartimento dell’Acqua e dei Rifiuti -Regione Siciliana, Viale Campania 36, 90144 Palermo (Italia).

3 Biosurvey Srl (www.biosurvey.it), spin-off dell’Università di Palermo, c/o Incubatore d’Impresa ARCA, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).



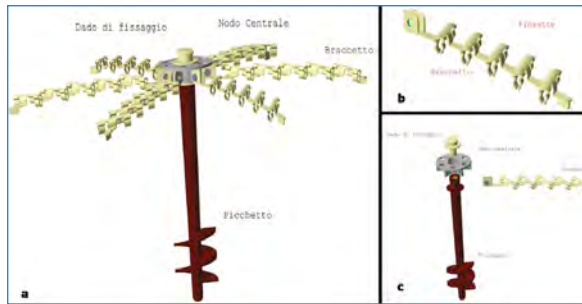


Figura 1 | Supporto biodegradabile in Mater-Bi (Brevetto italiano n. 0001400800/2013) assemblato a raggiera (a) e particolari dei singoli moduli: braccetto (b) e picchetto con modalità di montaggio (c).

Descrizione sintetica della tecnica

Le successive modifiche del prototipo hanno condotto alla realizzazione di un sistema modulare di ancoraggio di organismi vegetali al fondale marino formato da una struttura a raggiera in bioplastica, in grado di ospitare su ciascuno dei cinque raggi (braccetti) organismi vegetali fissati con fascette a strappo, ancorabile sul fondo tramite un elemento centrale accoppiato ad un picchetto di fissaggio (fig. 2).

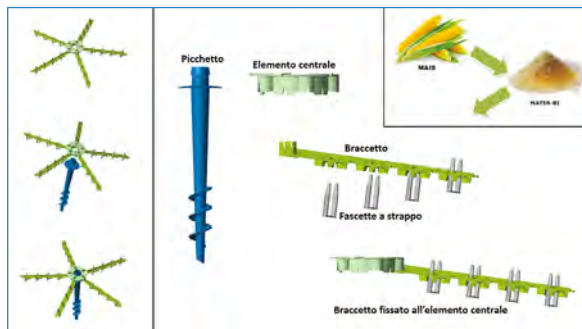


Figura 2 | Sistema modulare di ancoraggio di organismi vegetali (Brevetto italiano n. 102015000081824/2018).

Il sistema di ancoraggio ha un diametro di 75 cm, può ospitare su ogni braccetto da uno a quattro talee portanti ciascuna almeno tre fasci e risulta applicabile, grazie all'approccio modulare, anche ad altri organismi vegetali mediante l'adattamento di alcune parti.

I principi su cui si basa il brevetto sono:

- l'impiego estensivo di materiale plastico biodegradabile (Mater-Bi®) per garantire, alla fine del processo di radicazione, la dissoluzione dell'apparato che sostiene e ancora le talee;
- l'utilizzo su differenti substrati penetrabili con il picchetto quali *matte* morta, sabbia e prateria di *C. nodosa*. Inoltre, accoppiato ad un elemento di ancoraggio in calcestruzzo armato (cfr. "La tecnica delle strutture a raggiera in calcestruzzo armato") può essere adattato a substrati rocciosi, *reef* artificiali (Tomasello *et al.*, 2019) e pietrame a copertura di trincee scavate per la posa di condotte, cavidotti, gasdotti, etc.;
- la semplificazione delle tecniche di ancoraggio e l'ingegnerizzazione del processo per aumentare l'efficienza della posa e ridurre i costi di impianto;
- la riduzione dell'attività degli operatori subacquei, poiché la maggior parte delle attività vengono svolte a terra;
- la modularità del sistema, che permette un'alta flessibilità nelle strategie di copertura del fondale e l'idoneità a diverse specie di piante;
- l'utilizzo di geometrie bio-ispirate che emulano la colonizzazione naturale del fondo marino da parte della pianta (Marbà e Duarte, 1998);
- la possibilità di attuare diverse geometrie nel posizionamento delle unità sul fondo; attualmente le unità possono essere posizionate a filare o a patch.

Il sistema modulare di ancoraggio è coperto dai seguenti brevetti:

- brevetto italiano n. 0001400800/2013;
- design europeo n. 003000686-0001/2016;
- brevetto italiano n. 102015000081824/2018.

Substrato di ancoraggio

Il sistema modulare di ancoraggio in materiale bioplastico trova prevalente impiego in interventi di trapianto su *matte* morta, mentre su substrati mobili (fondi sabbiosi a differente composizione granu-



lometrica) la sperimentazione è ancora carente. Opportunamente abbinato ad un elemento in materiale cementizio, in fase di brevetazione, può essere impiegato in interventi di riforestazione anche su substrati duri quali *reef* artificiali (Tomasello *et al.*, 2019), pietrame e sottile strato di sabbia grossolana su pietrame (<http://bluegrowth-place.eu>) o *matte* morta. Per ulteriori dettagli relativi al suo utilizzo su substrati duri si rimanda alla scheda successiva (“La tecnica delle strutture a raggiera in calcestruzzo armato”).

Modalità di esecuzione del trapianto

La prateria donatrice dovrà essere preferibilmente individuata in prossimità del sito ricevente. Il prelievo di talee sarà limitato alle piante che colonizzano i margini della prateria e sarà eseguito secondo criteri di sostenibilità, con una pressione non superiore all’1% di fasci/m² (Díaz-Almela e Duarte, 2008). In alternativa, al fine di ridurre e/o annullare l’impatto del prelievo sulla prateria donatrice rizomi e talee, distaccati e trasportati sul fondale a seguito di azione idrodinamica, si possono raccogliere facilmente in gran numero in aree marine costiere dove preferenzialmente si accumulano durante il periodo autunno/inverno (Balestri *et al.*, 2011). Il recupero di rizomi o talee distaccati naturalmente, presuppone, tuttavia, una programmazione del trapianto che preveda il loro utilizzo entro pochi giorni dal recupero per evitare ulteriori stress alla pianta già distaccata e aumentare le possibilità di successo del trapianto.

Operatori scientifici subacquei, titolati e con esperienza specifica nella manipolazione delle talee di *Posidonia*, preleveranno il materiale vegetale, costituito prevalentemente da talee di almeno 15 cm portanti almeno 3 fasci. Il prelievo sarà effettuato in prossimità del sito ricevente avendo cura, nel caso di interventi di compensazione di opere marittime, di prelevare il materiale vegetale nelle aree che saranno direttamente interferite dalle opere o da interventi di escavo, riducendo al minimo l’impatto del prelievo. Il materiale vegetale raccolto nel sito donatore sarà conservato in sacchi di juta e trasportato immediatamente a terra immerso in acqua per le successive operazioni.



Figura 3 | Rappresentazione sintetica delle fasi realizzative di un intervento di riforestazione, dalla preparazione delle talee (a,b), alla preparazione dell'impianto (c,d), al fissaggio delle talee (e,f).

Il materiale vegetativo sarà opportunamente selezionato e successivamente fissato mediante fascette a strappo ai braccetti, avendo cura che i fasci rivolti verso l'alto rispetto al supporto. La posizione delle talee simula quella adottata dalla maggior parte delle piante quando, staccatesi dalla prateria di origine, si adagiano sul fondale per poi ancorarsi ad esso (Meinesz *et al.*, 1992). I braccetti portanti le talee verranno subito dopo agganciati all'elemento centrale e posti momentaneamente in contenitori con acqua di mare (*fig. 3*).

Ciascun braccetto potrà ospitare da due a quattro talee per un totale di 10-20 elementi vegetali per ogni sistema di ancoraggio e

almeno 30-60 fasci. Per tutta la durata delle attività di fissaggio ai braccetti della stella, il materiale vegetale sarà tenuto costantemente sommerso per evitarne la disidratazione.

Allo stesso tempo Operatori Tecnici Subacquei (OTS) in immersione prepareranno il campo da riforestare predisponendo nel substrato di impianto i paletti sui quali, successivamente, sarà agganciato il sistema di ancoraggio con le talee attraverso l'elemento centrale (*fig. 3*).

Al fine di emulare il meccanismo di colonizzazione di *Posidonia* e il mantenimento a regime delle praterie a fanerogame marine in condizioni naturali (Olesen *et al.*, 2004; Sintes *et al.*, 2006), i supporti di ancoraggio possono essere organizzati casualmente, singolarmente a filari o in moduli formati da 6 sistemi di ancoraggio, in modo da emulare una *patch* contenente qualche centinaio fasci. La disposizione spaziale dei moduli, in relazione alle morfologie dei fondali presenti nel sito ricevente e all'eventuale stato di frammentazione della prateria naturale, si può anche prefigurare come un intervento di "rammendando", *sensu* Renzo Piano (2014; 2019) attraverso il trapianto di *patch* di *P. oceanica* ("piccole gocce" *sensu* Renzo Piano) all'interno di un mosaico composto da prato naturale e *matte* morta. In tal caso sarà anche possibile riconoscere le dinamiche delle *patch* come fenomeni naturali ed emulare il potenziale naturale di ripristino delle praterie (Cunha *et al.*, 2012; Calvo *et al.*, 2021). Di seguito si riportano alcune immagini di un recente trapianto realizzato a Capo Feto (*fig. 4*).

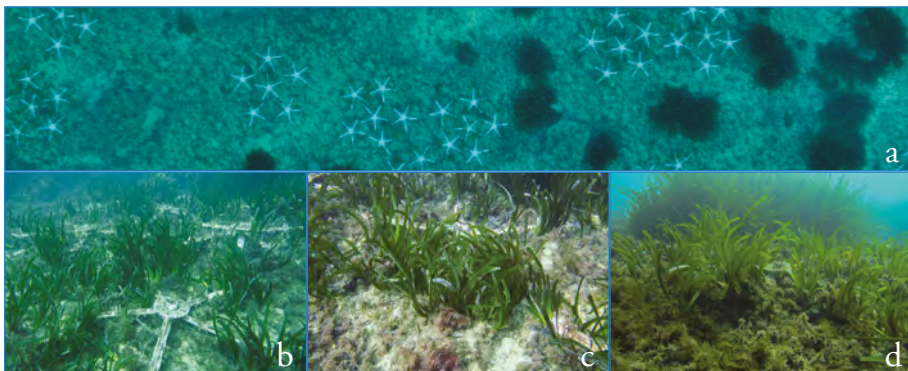


Figura 4 | Fotomosaico (a) e dettagli del trapianto (b, c, d) realizzato su matte morta a Capo Feto.

Accorgimenti esecutivi

- Prima di effettuare il trapianto su ampia scala verificare con impianti pilota l'idoneità del sito a ricevere il trapianto (Pirrotta *et al.*, 2015).
- L'area di prelievo di talee/rizomi di *P. oceanica* nella prateria donatrice si deve trovare ad una profondità \geq a quella del sito ricevente (Molenaar e Meinesz, 1992).
- Il materiale vegetale (talee e rizomi) prelevato dalla prateria donatrice deve essere trapiantato entro poche ore dall'espianto.
- L'intera procedura di fissaggio di talee/rizomi alla struttura deve essere condotta all'interno di vasche di opportune dimensioni per mantenere costantemente sommerso il materiale per il trapianto.
- Evitare sbalzi eccessivi di temperatura delle talee durante le fasi di trasporto e fissaggio del materiale vegetale al supporto.
- La scelta del sito donatore deve tenere conto della distanza dal sito ricevente e della qualità della prateria donatrice.
- Interdire la pesca e gli ancoraggi nella zona interessata dalla riforestazione.

Sostenibilità ambientale della tecnica

Il materiale bioplastico con il quale è stato realizzato il supporto (Mater-Bi®) è costituito da amido e poliesteri biodegradabili derivati da oli vegetali, con biodegradabilità intrinseca e assenza di effetti tossici quando esposto a microrganismi marini, presentando tempi di bio-degradazione compatibili con quelli necessari alle talee per la radicazione e il loro fissaggio in maniera stabile al substrato del sito di impianto (Campani *et al.*, 2020). I risultati della biodegradazione marina sono stati verificati da *Certiquality* nell'ambito del programma pilota *Environmental Technology Verification* (ETV), che accerta le prestazioni di tecnologie ambientali innovative.

Periodo di intervento

La stagione favorevole per effettuare i trapianti è l'autunno avanzato e i primi mesi dell'inverno. È infatti stato riscontrato che la



mortalità era massima per i trapianti effettuati all'inizio dell'estate, quando le temperature superavano i 20°C, e minima per quelli effettuati in autunno con tassi di sopravvivenza dal 92 al 97% (Meinesz *et al.*, 1992). Pertanto, le operazioni di raccolta delle talee, allestimento dei supporti e il loro impianto nel sito ricevente devono avvenire preferibilmente durante il periodo di riposo vegetativo della pianta, coincidente peraltro con una minore lunghezza dell'apparato fogliare, che agevola le attività di trapianto in tutte le sue fasi, dal prelievo all'impianto.

Casistica

Tabella di sintesi dei casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica e le procedure operative di trapianto descritta.

Tabella 1.1.5 | Trapianti realizzati in Italia con i supporti modulari biodegradabili

Sito del trapianto	Substrato impianto/ profondità	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~ N.)	Arco tempo- rale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Capo Gallo Isola delle Femmine (Sicilia)	sabbia/12 m	2011	5 m ²	300	20 mesi (2012 - 2013)	Attività sperimentale (Calvo et al., 2014)
Mondello Palermo (Sicilia)	c. nodosa e matte morta/ 6 m	2012	10 m ²	600	2 anni (2012- 2014)	Attività sperimentale
Priolo Gargallo (Sicilia)	matte mor- ta/13 m	2013	15 m ²	900	1 anno (2013- 2014)	Progetto PON ReC TETIDE
Priolo Gargallo (Sicilia)	matte mor- ta/13 m	2014	2.000 m ²	60.000	7anni (2014- 2021)	Progetto PON ReC TETIDE; Progetto LIFE SEPOSSO (Bacci et al. 2019, AA.VV., 2020)
Priolo Gargallo (Sicilia) ⁴	reef artificiali/ 11 m	2016	12 m ²	360	4 anni (2016- 2020)	Progetto PON ReC TETIDE; (Tomasello et al., 2019)
Mondello Palermo (Sicilia)	matte morta/ 6 m	2015	50 m ²	1.500	6 anni (2015- 2021)	Valutazione di Impat- to Ambientale; Pro- getto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2021)
Mondello Palermo (Sicilia) ⁴	Sottile strato di matre mor- ta/6 m	2016	12 m ²	360	5 anni (2016- 2021)	Valutazione di Impat- to Ambientale; Pro- getto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2021)
Porto Grande Siracusa (Sicilia)	matte morta/ 6 m	2016	300 m ²	9.000	5 anni (2016- 2021)	Valutazione di Impat- to Ambientale; Pro- getto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2021)
Isole Incoronate (Croazia)	matte morta/ 11 m	2019	100 m ²	2.200	-	Progetto Interreg Italia - Croazia - SA- SPAS
Capo Feto Trapani (Sicilia)	matte morta/ 7 m	2019-21	100 m ²	3.000	20 mesi (2019 - 2021)	Progetto PON - PLaCE
Capo Feto Trapani (Sicilia) ⁴	Pietrame/9 m	2020-21	100 m ²	3.000	18 mesi (2020 - 2021)	Progetto PON PLaCE
Capo Feto Trapani (Sicilia) ⁴	sabbia su pie- trame/10 m	2020-21	100 m ²	3.000	18 mesi (2020 - 2021)	Progetto PON PLaCE
Ostuni (Puglia)	matte morta/ 8 m	2021	200 m ²	2.500	-	Progetto Interreg Italia - Croazia - SA- SPAS
Baia degli Infreschi Camerota (Campania)	matte morta/ 2 m	2021	50 m ²	1.260	-	Progetto LIFE SEA- FOREST
Golfo di Santa Manza Bonifacio (Corsica)	matte morta	2021	100 m ²	3.000	-	Progetto RENFORC- G.I.S. Posidonie
Bandita Palermo (Sicilia) ⁵	matte morta/ 13 m	2021	1000 m ²	24.000	-	Progetto PON Marine Hazard

4 Impianti con supporto di ancoraggio addizionale in calcestruzzo.

5 Impianti di riforestazione in fase di realizzazione.



Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2020). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B2. <https://www.lifeseposso.eu>

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021). Reporting di ulteriori casi studio relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseposso.eu>

Bacci T., Scardi M., Calvo S., Tomasello A., Valiante L. M., Di Nuzzo F., Raimondi V., Assenzo M., Piazzi L., Cecchi E., Penna M., Gennaro P., Tomassetti P., Pampalone V., Bulleri C., Sozzi F., Zenone A., Bertasi F., Targusi M., Piazzi A., La Porta B. (2019). Il LIFE S.E.POS.S.O. monitora i trapianti di *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Italia. *Biologia Marina Mediterranea*, 26(1): 132–135.

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

Calvo S., Scannavino A., Luzzu F., Di Maida G., Pirrotta M., Orestano C., Tomasello A. (2014). Tecnica di reimpianto mediante supporto biodegradabile. Manuali e Linee Guida. In: *Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di Posidonia oceanica*, ISPRA. 47–51 pp. <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/manuali-e-linee-guida/conservazione-e-gestione-della-naturalita-negli-ecosistemi-marino-costieri.-il-trapianto-delle-praterie-di-posidonia-oceanica>

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

Campani T., Casini S., Caliani I., Pretti C., Fossi M. C. (2020). Ecotoxicological Investigation in Three Model Species Exposed to Elutriates of Marine Sediments Inoculated With Bioplastics. *Frontiers in Marine Science*, 7: 229. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00229>

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

Díaz-Almela E., Duarte C. M. (2008). Management of Natura 2000 habitats * *Posidonia beds (Posidonia oceanica)* 1120. Management of Natura 2000 habitats. European Commission https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/habitats/pdf/1120_Posidonia_beds.pdf

Marbà N., Duarte C. M. (1998). Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Marine Ecology Progress Series*, 174: 269–280. <https://doi.org/10.3354/meps174269>

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

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

Olesen B., Marbà N., Duarte C. M., Savelle R. S., Fortes M. D. (2004). Recolonization dynamics in a mixed seagrass meadow: The role of clonal versus sexual processes. *Estuaries*, 27(5): 770–780. <https://doi.org/10.1007/BF02912039>

Piano R. (2014). Il rammendo delle periferie. *Il Sole 24 ORE* <http://www.ilsole24ore.com/art/cultura/2014-06-18/>

Piano R. (2019). Building Workshop. Ricuciture urbane e periferie. Ed. Solferino. 143 pp., ISBN: 9788828202004.

Pirrotta M., Tomasello A., Scannavino A., Maida G. D., Luzzu F., Bellissimo G., Bellavia C., Costantini C., Orestano C., Sclafani G., Calvo S. (2015). Transplantation assessment of degraded *Posidonia oceanica* habitats: site selection and long-term monitoring. *Mediterranean Marine Science*, 16(3): 591–604. <https://doi.org/10.12681/mms.1045>

Sintes T., Marbà N., Duarte C. M. (2006). Modeling nonlinear seagrass clonal growth: Assessing the efficiency of space occupation across the seagrass flora. *Estuaries and Coasts*, 29(1): 72–80. <https://doi.org/10.1007/BF02784700>

Tomasello A., Pirrotta M., Calvo S. (2019). Construction underwater landscape by using *Posidonia oceanica* transplanting combined with innovative artificial reefs. In: *Proceedings of the 6th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation*, Antalya, Turkey. 92–96 pp.



1.1.6 | La tecnica delle strutture a raggiera in calcestruzzo armato

Sebastiano Calvo^{1,3}, *Roberta Calvo*², *Vincenzo Raimondi*³, *Mauro Assenzo*³, *Giuseppe Pipitone*³, *Agostino Tomasello*¹

Storia della tecnica

È noto che in condizioni naturali *Posidonia oceanica* è in grado di insediarsi sia su fondi mobili che duri, dato che la specie è dotata di un apparato radicale in grado di adattarsi a diverse tipologie di substrato, come sabbia, matte, roccia e pietrame (Calvo *et al.*, 1995; Boudouresque *et al.*, 2009; Hemminga e Duarte, 2000; Procaccini *et al.*, 2003; Di Carlo *et al.*, 2007; Torta *et al.*, 2015; Badalamenti *et al.*, 2015; Balestri *et al.*, 2015; Zenone *et al.*, 2020a,b). Tuttavia, il trapianto di talee di *P. oceanica* su fondali rocciosi coesi ha avuto scarsa attenzione. I reef artificiali sono stati concepiti per scopi multipli (Baine, 2001; Bulleri e Chapman, 2010), inclusi l'aumento della produttività naturale fornendo nuovi habitat agli organismi aggregati (Thierry, 1988; Paxton *et al.*, 2018), la creazione di habitat per specie bersaglio desiderate (Sheehy, 1986) e la protezione di organismi piccoli/giovanili e aree di *nursery* (Seaman, 2000). Tuttavia, in questo campo di ricerca, poco interesse è stato rivolto al potenziale valore estetico-percettivo all'interno del paesaggio subacqueo (Ingليس *et al.*, 1999; Dinsdale e Fenton, 2006; Needham *et al.*, 2011). Recentemente, un supporto di ancoraggio in materiale cementizio in fase di brevettazione è stato utilizzato per il trapianto di *P. oceanica* su blocchi di roccia artificiale costituiti da reef innovativi (Tomasello *et al.*, 2019), opportunamente progettati per ospitare talee

¹ Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM), Università di Palermo, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).

² Assessorato dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità, Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti - Regione Siciliana, Viale Campania 36, 90144 Palermo (Italia).

³ Biosurvey Srl (www.biosurvey.it), spin-off dell'Università di Palermo, c/o Incubatore d'Impresa ARCA, Viale delle Scienze, Edificio 16, 90128 Palermo (Italia).



della fanerogama marina (www.progettotetide.com), e su pietrame a copertura di una trincea a seguito della realizzazione di un gasdotto (<http://bluegrowth-place.eu>).

Descrizione sintetica della tecnica

L'elemento di ancoraggio si compone di una struttura a raggiera, formata da cinque bracci e realizzata in calcestruzzo armato, in grado di ancorare e supportare la crescita di talee/rizomi di *P. oceanica* e di organismi vegetali, favorendo allo stesso tempo la resistenza alle azioni idrodinamiche del moto ondoso e delle correnti.

In particolare, la presente tecnica:

- permette il fissaggio di organismi vegetali alla struttura di ancoraggio mediante fascette a strappo in materiale bioplastico e favorisce la raccolta dei sedimenti per facilitare la crescita delle piante;
- fornisce al *sistema di supporto per la piantumazione di organismi vegetali in ambiente marino* (cfr. "La tecnica dei supporti modulari biodegradabili") un ancoraggio stabile su fondali duri, naturali e artificiali.

Il sistema è caratterizzato da un basso rapporto tra la superficie esposta al moto ondoso e il peso e da una superficie di contatto rugosa. La rugosità della finitura superficiale consente di avere sia un favorevole substrato di crescita per le radici sia, scegliendo inerti con colori simili a quelli del sito, di minimizzare l'impatto estetico.

L'elemento in cemento armato è stato ottimizzato nel peso e nella forma in modo che possa essere movimentato sia in autonomia, con l'ausilio di palloni di sollevamento, sia con assistenza dalla superficie. Inoltre, in condizioni meteomarine favorevoli, è possibile la messa in opera direttamente dalla superficie per caduta verticale (<http://bluegrowth-place.eu>) con angoli di ingresso in acqua inferiori a 30°.

Substrato di ancoraggio

La tecnica nasce per effettuare interventi di riforestazione su sub-

strati duri, sia naturali (roccia compatta, massi, pietrame sciolto a differente granulometria) che artificiali (blocchi in calcestruzzo, reef artificiali, detriti di cava a protezione di strutture interrato). Alle medesime condizioni è utilizzabile anche su *matte* morta e substrati mobili (sabbia, prato a *Cymodocea nodosa*, etc.). Il sistema può essere combinato secondo un reticolo a geometria esagonale allo scopo di realizzare un fitto ricoprimento del fondo, o essere installato in forma indipendente accompagnando il naturale andamento del fondale roccioso. Da prove sperimentali è possibile ottenere, mediante l'uso congiunto di materiale bioplastico e del calcestruzzo armato (*fig. 1*), strutture di durata compatibile con il tempo di attecchimento stabile delle talee, sia su substrati mobili che duri.

La facilità di produzione, alaggio e movimentazione permette che la tecnica possa essere utilizzata in interventi di ripristino con fanerogame marine su substrati duri naturali e artificiali. In particolare, consente di potere allestire un erbario temporaneo anche di mesi, da movimentare successivamente nel sito definitivo, come nel caso di opere marittime che, a seguito di prescrizioni, prevedono la compensazione dell'impatto mediante interventi di riforestazione, preventivamente alla realizzazione dell'opera.

Modalità di esecuzione del trapianto

La prateria donatrice dovrà essere preferibilmente individuata in prossimità del sito ricevente. Il prelievo di talee/rizomi sarà limitato alle piante che colonizzano i margini della prateria e sarà eseguito secondo criteri di sostenibilità, con una pressione non superiore all'1% di fasci/m² (Díaz-Almela e Duarte, 2008). In alternativa, al fine di ridurre e/o annullare l'impatto del prelievo sulla prateria donatrice, rizomi e talee, distaccati e trasportati sul fondale a seguito di azione idrodinamica, si possono raccogliere facilmente in gran numero in aree marine costiere dove preferenzialmente si accumulano durante il periodo autunno/inverno (Balestri *et al.*, 2011). Il recupero di rizomi o talee distaccati naturalmente, presuppone, tuttavia, una programmazione del trapianto che preveda il loro utilizzo entro pochi giorni



dal recupero per evitare ulteriori stress alla pianta già distaccata e aumentare le possibilità di successo del trapianto.

Operatori scientifici subacquei, titolati e con esperienza specifica nella manipolazione delle talee di *Posidonia*, preleveranno il materiale vegetale, costituito prevalentemente da talee di almeno 15 cm portanti almeno 3 fasci. Il prelievo sarà effettuato in prossimità del sito ricevente avendo cura, nel caso di interventi di compensazione di opere marittime, di prelevare il materiale vegetale nelle aree che saranno direttamente interferite dalle opere o da interventi di escavo, riducendo al minimo l'impatto del prelievo. Il materiale vegetale raccolto nel sito donatore sarà conservato in sacchi di juta.

La struttura in cemento armato sarà posizionata sul fondale da Operatori Tecnici Subacquei (OTS) con l'ausilio di palloni di sollevamento o direttamente dalla superficie (*fig. 1*), secondo una distribuzione spaziale preventivamente decisa in relazione alla morfologia del substrato.

Il materiale vegetale verrà fissato alla struttura in cemento armato secondo le seguenti modalità:

- direttamente in immersione attraverso fascette a strappo in materiale biodegradabile che bloccheranno solidamente i singoli organismi vegetali a contatto con la finitura superficiale, passando attraverso cavità o fori passanti;
- con un bullone di blocco in materiale biodegradabile che avviterà alla struttura di ancoraggio il “*Sistema di supporto per la piantumazione di organismi vegetali in ambiente marino*” predisposto con organismi vegetali fissati con fascette a strappo (cfr. Scheda “La tecnica dei supporti modulari biodegradabili”).

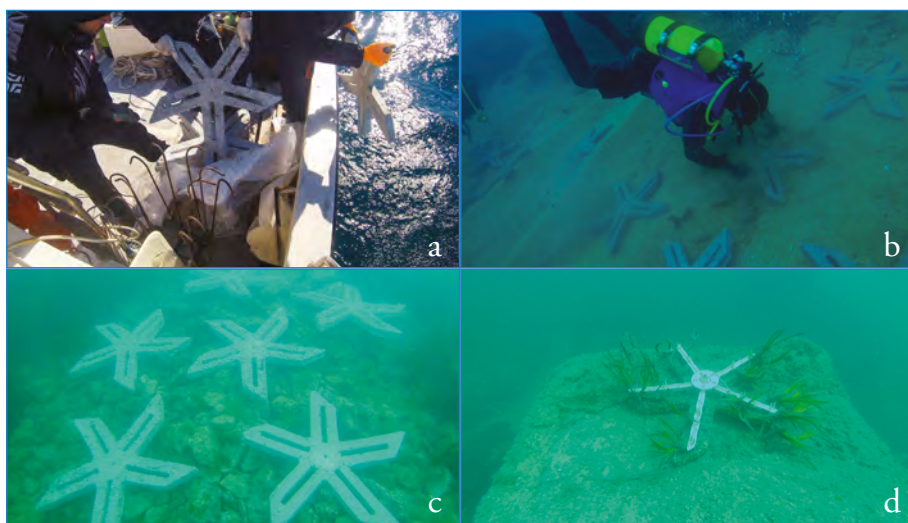


Figura 1 | Posizionamento delle strutture in cemento armato sul fondale (a,b); strutture in cemento armato collocate su pietrame (c) e con talee fissate ai supporti biodegradabili collocate su reef artificiale (d).

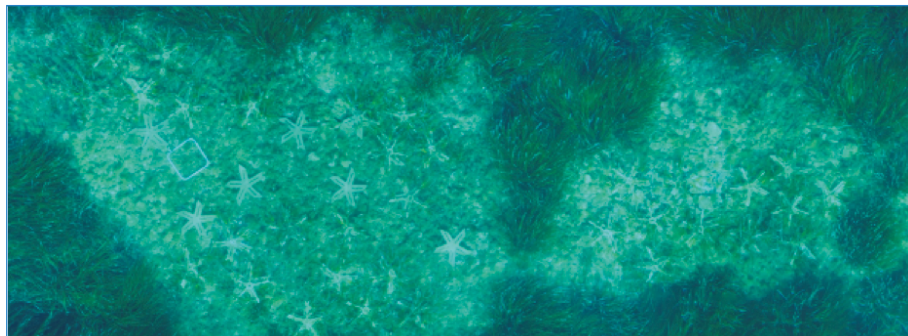


Figura 2 | Trapianto su pietrame realizzato a Capo Feto.

Accorgimenti esecutivi

- Prima di effettuare il trapianto su ampia scala verificare con impianti pilota l'idoneità del sito a ricevere il trapianto (Pirrotta *et al.*, 2015);
- L'area di prelievo di talee/rizomi di *P. oceanica* nella prateria donatrice si deve trovare ad una profondità \geq a quella del sito ricevente (Molenaar e Meinesz, 1992);

- Il materiale vegetale (talee e rizomi) prelevato dalla prateria donatrice deve essere trapiantato entro poche ore dall'espianto;
- Evitare sbalzi eccessivi di temperatura delle talee durante le fasi di trasporto e fissaggio del materiale vegetale al supporto;
- La scelta del sito donatore deve tenere conto della distanza dal sito ricevente e della qualità della prateria donatrice;
- Interdire la pesca e gli ancoraggi nella zona interessata dalla riforestazione.

Sostenibilità ambientale della tecnica

L'elemento in cemento armato è costituito da sabbia, cemento e ghiaia con un'armatura in ferro tondo nervato da 6 mm di diametro. Con un ridotto ingombro e con un peso di 13-15 kg, il modulo risulta di facile trasporto e manovrabilità, oltre che adattabile anche a substrati con morfologie articolate e rappresenta un substrato di colonizzazione per numerosi organismi svolgendo comunque il compito di ancorare talee e rizomi a substrati non facilmente penetrabili. L'impiego combinato con il supporto modulare biodegradabile e, in alternativa, con fascette a strappo in bioplastica favorisce ulteriormente la sostenibilità ambientale della tecnica.

Periodo di intervento

La stagione favorevole per effettuare i trapianti è l'autunno avanzato e i primi mesi dell'inverno. È infatti stato riscontrato che la mortalità è massima per i trapianti effettuati all'inizio dell'estate, quando le temperature superano i 20°C, e minima per quelli effettuati in autunno con tassi di sopravvivenza dal 92 al 97% (Meinesz *et al.*, 1992). Pertanto, le operazioni di raccolta delle talee, allestimento dei supporti e il loro impianto nel sito ricevente devono avvenire preferibilmente durante il periodo di riposo vegetativo della pianta, coincidente peraltro con una minore lunghezza dell'apparato fogliare, che agevola le attività di trapianto in tutte le sue fasi, dal prelievo all'impianto.

Casistica

Tabella di sintesi dei casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica di trapianto descritta.

Tabella 1.1.6 | Trapianti realizzati in Italia con le strutture a raggiera in calcestruzzo armato

Sito del trapianto	Substrato impianto/ profondità'	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~ N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Priolo Gargallo (Sicilia)	reef artificia- li/11 m	2016	12 m ²	360	4 anni (2016-2020)	Progetto PON ReC TETIDE; Progetto LIFE SEPOSSO (Tommasello et al., 2019)
Mondello Palermo (Sicilia)	sottile strato di sabbia su mattoni/ 6 m	2016	12 m ²	360	4 anni (2016-2020)	Valutazione di Impatto Ambientale; Progetto LIFE SEPOSSO (AA. VV., 2021)
Capo Feto Trapani (Sicilia)	pietrame/9 m	2020-21	100 m ²	3.000	18 mesi (2020-2021)	Progetto PON PLaCE
Capo Feto Trapani (Sicilia)	Sottile strato di sabbia su pietrame/10 m	2020-21	100 m ²	3.000	18 mesi (2020-2021)	Progetto PON PLaCE

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2021). Reporting di ulteriori casi studio relativamente all'attività di trapianto di *Posidonia oceanica*. Report Action A3-B2. <https://www.lifeseosso.eu>

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

Baine M. (2001). Artificial reefs: a review of their design, application, management and performance. *Ocean, Coastal Management*, 44(3): 241–259. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00048-5)

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

Balestri E., de Battisti D., Vallerini F., Lardicci C. (2015). First evidence



of root morphological and architectural variations in young *Posidonia oceanica* plants colonizing different substrate typologies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 154: 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.01.002>

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

Bulleri F., Chapman M. G. (2010). The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. *Journal of Applied Ecology*, 47(1): 26–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01751.x>

Calvo S., Fradà Orestano C., Tomasello A. (1995). Distribution, structure and phenology of *Posidonia oceanica* meadows along sicilian coasts. *Giornale botanico italiano*, 129(1): 351–356. <https://doi.org/10.1080/11263509509436150>

Díaz-Almela E., Duarte C. M. (2008). Management of Natura 2000 habitats * *Posidonia* beds (*Posidonia oceanica*) 1120. Management of Natura 2000 habitats. European Commission https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/habitats/pdf/1120_Posidonia_beds.pdf

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. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.02.003>

Dinsdale E. A., Mark Fenton D. (2006). Assessing Coral Reef Condition: Eliciting Community Meanings. *Society, Natural Resources*, 19(3): 239–258. <https://doi.org/10.1080/08941920500460815>

Hemminga M. A., Duarte C. M. (2000). *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press

Inglis G. J., Johnson V. I., Ponte F. (1999). Crowding norms in marine settings: A case study of snorkeling on the Great Barrier Reef. *Environmental Management*, 24(3): 369–381. <https://doi.org/10.1007/s002679900240>

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

Molenaar H., Meinesz A. (1992). Vegetative reproduction in *Posidonia oce-*

anica. II. Effects of depth changes on transplanted orthotropic shoots. *Marine Ecology*, 13(2): 175–185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1992.tb00348.x>

Needham M. D., Szuster B. W., Bell C. M. (2011). Encounter norms, social carrying capacity indicators, and standards of quality at a marine protected area. *Ocean, Coastal Management*, 54(8): 633–641. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.06.004>

Paxton A. B., Revels L. W., Rosemond R. C., Van Hoeck R. V., Lemoine H. R., Taylor J. C., Peterson C. H. (2018). Convergence of fish community structure between a newly deployed and an established artificial reef along a five-month trajectory. *Ecological Engineering*, 123: 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2018.09.012>

Pirrotta M., Tomasello A., Scannavino A., Maida G. D., Luzzu F., Bellissimo G., Bellavia C., Costantini C., Orestano C., Sclafani G., Calvo S. (2015). Transplantation assessment of degraded *Posidonia oceanica* habitats: site selection and long-term monitoring. *Mediterranean Marine Science*, 16(3): 591–604. <https://doi.org/10.12681/mms.1045>

Procaccini G., Buia M. C., Gambi M. C., Perez M., Pergent G., Pergent-Martini C., Romero J. (2003). The seagrasses of the Western Mediterranean. Eds. G. E.P., S. F.T Berkeley, USA: World Atlas of Seagrasses, University of California Press

Seaman W. ed. (2000). Artificial Reef Evaluation: With Application to Natural Marine Habitats. Boca Raton: CRC Press <https://doi.org/10.1201/9781420036633>

Sheehy D. (1986). New approaches in artificial reef design and applications. In: *Artificial Reefs: Marine and Freshwater Applications*, Ed. F. M. D'Itri Michigan, USA: Lewis Publishers, Inc. 253–263 pp.

Thierry J.-M. (1988). Artificial reefs in Japan — A general outline. *Aquacultural Engineering*, 7(5): 321–348. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(88\)90014-3](https://doi.org/10.1016/0144-8609(88)90014-3)

Tomasello A., Pirrotta M., Calvo S. (2019). Construction underwater landscape by using *Posidonia oceanica* transplanting combined with innovative artificial reefs. In: *Proceedings of the 6th Mediterranean Symposium on Marine vegetation*, Antalya, Turkey. 92–96 pp.

Torta L., Lo Piccolo S., Piazza G., Burruano S., Colombo P., Ottonello D., Perrone R., Di Maida G., Pirrotta M., Tomasello A., Calvo S. (2015). *Lulwoana*



sp., a dark septate endophyte in roots of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seagrass. *Plant Biology*, 17(2): 505–511. <https://doi.org/10.1111/plb.12246>

Zenone A., Alagna, Adriana A., D'Anna G., Kovalev A., Kreitschitz A., Badalamenti F., Gorb S. N. (2020a). Biological adhesion in seagrasses: The role of substrate roughness in *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedling anchorage via adhesive root hairs. *Marine Environmental Research*, 160: 105012. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105012>

Zenone A., Filippov A. E., Kovalev A., Badalamenti F., Gorb S. N. (2020b). Root Hair Adhesion in *Posidonia oceanica* (L.) Delile Seedlings: A Numerical Modelling Approach. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 6: 88. <https://doi.org/10.3389/fmech.2020.590894>

1.1.7 | La tecnica dei gabbioni riempiti di pietrame

Fabio Badalamenti¹, Adriana Alagna¹, Giovanni D'Anna², Carlo Pipitone¹, Arturo Zenone^{3,1}, Carlo Magliola⁴, Mauro Mottini⁴, Natalia Pierozzi⁴, Paolo Ferrarì⁴

Origini della tecnica

La tecnica dei gabbioni riempiti di pietrame si ispira alle osservazioni effettuate a partire dal 1993 a Capo Feto (Mazara del Vallo, Sicilia) (Di Carlo *et al.*, 2005; 2007), dove propaguli vegetativi di *Posidonia oceanica* hanno colonizzato senza intervento dell'uomo gran parte dei cumuli di pietre di calcare utilizzati per ricoprire uno scavo realizzato in precedenza (Badalamenti *et al.*, 2006; 2011) (si veda capitolo 2 per ulteriori dettagli).

La tecnica è stata messa a punto per verificare, validare e possibilmente estendere e migliorare i risultati ottenuti in Sicilia nella zona di Capo Feto con la ricolonizzazione naturale anche ad altri siti che potrebbero subire l'impatto dello scavo di trincee per l'installazione di condotte e cavi sottomarini sulle praterie di *Posidonia oceanica*. La tecnica è da utilizzare principalmente per trapianti pilota finalizzati a verificare la fattibilità di utilizzare il pietrame per ricoprire aree interessate da impatto meccanico con rimozione della pianta e del substrato su cui poggia. Inoltre, si presta a poter sperimentare i migliori supporti sui quali fissare i rizomi per facilitarne permanenza e crescita.

Descrizione sintetica della tecnica

Il metodo consiste nell'utilizzo di gabbioni di rete metallica (a volte chiamati anche materassi), riempiti di pietrame di pezzatura

1 CNR-IAS, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

2 CNR-IAS, Via G. Da Verrazzano, 17, 91014, Castellammare del Golfo (Italia).

3 Stazione Zoologica Anton Dohrn, Dipartimento di Ecologia Marina Integrata, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

4 SAIPEM SPA, Via Martiri di Cefalonia 67, 20097, San Donato Milanese (Italia).



idonea a permettere la penetrazione delle radici, e il conseguente ancoraggio e attecchimento dei rizomi di *P. oceanica*. I gabbioni hanno misura variabile, con lunghezza fino a 2 m e altezza fino a 50 cm (fig. 1). Sono dotati di un coperchio apribile al fine di permettere il posizionamento dei rizomi all'interno della struttura.



Figura 1 | Gabbione riempito di pietrame

La rete metallica è in acciaio inox, con sezione di 4 mm circa. Le maglie della rete hanno dimensioni 5 x 20 cm, tranne nel coperchio del gabbione dove la maglia è di 15 x 10 cm. Per il riempimento dei gabbioni è stato utilizzato pietrame calcareo di pezzatura selezionata: 40% rocce di pezzatura media 19 x 12 x 10 cm e 60% rocce di pezzatura media 15 x 10 x 7 cm (Alagna *et al.*, 2019).

Alagna *et al.* (2019) hanno verificato la possibilità di far accrescere rizomi di *P. oceanica* in gabbioni riempiti di pietre utilizzando 5 modalità di ancoraggio dei rizomi (fig. 2): A) liberi inseriti sotto le rocce; B) inseriti sotto le rocce e fissati con fascetta alla sommità del gabbione; C) fissati ad un ciottolo con l'ausilio di una rete elastica e di una fascetta; D) inseriti all'interno di tasche di rete rigida; E) inseriti all'interno di scatole di rete rigida riempite con piccoli ciottoli. I metodi D ed E, entrambi costruiti con rete di maglia 1 x 1 cm ed entrambi collocati tra le pietre che riempiono i gabbioni, sono risultati i migliori in termini di sopravvivenza (rispettivamente 93% e 67% di rizomi sopravvissuti dopo 30 mesi).

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

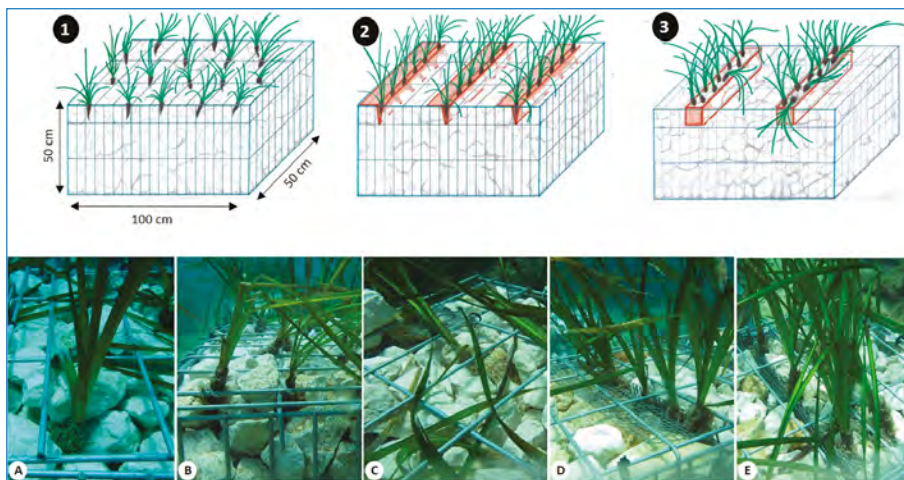


Figura 2 | Sintesi delle tecniche di trapianto e dispositivi di ancoraggio testati nello studio. Nella parte superiore della figura sono riportati, in schizzo, i gabbioni utilizzati. (1) semplici senza strutture portanti, per il trapianto di rizomi liberi, tenuti da fascette e legati a ciottoli; 2) con tasche in rete metallica inserite nello strato superiore del gabbione utilizzato nella tecnica “tasche”; 3) gabbioni con scatole di rete inserite nello strato superiore, utilizzate nella tecnica “scatola”. Nella parte inferiore della figura le immagini mostrano i dettagli delle tecniche di trapianto. A) rizomi liberi inseriti sotto le rocce; B) rizomi inseriti sotto le rocce e fissati con fascetta alla sommità del gabbione; C) rizomi fissati ad un ciottolo con l’ausilio di una rete elastica e di una fascetta; D) rizomi inseriti all’interno della tasca della rete metallica; E) rizomi inseriti all’interno della scatola di rete metallica riempita con piccoli ciottoli (da Alagna et al., 2019).

Substrato di ancoraggio

L’utilizzo di un substrato consolidato (pietre bloccate all’interno di un gabbione in questo caso) per il trapianto nasce con lo specifico obiettivo di recuperare praterie di *P. oceanica* danneggiate da attività di dragaggio che hanno estirpato la pianta, la *matte* e il substrato sul quale la pianta si era insediata. La tecnica potrebbe essere estesa ad aree dove la prateria è stata completamente sommersa da substrati

incoerenti (sabbia fine e grossolana). Si sconsiglia, senza prima avere effettuato idonee sperimentazioni, il suo utilizzo su *matte* morta in quanto il peso dei gabbioni e l'alterazione dell'idrodinamismo a piccola scala, conseguente al loro posizionamento, potrebbero compromettere la stabilità della *matte* stessa.

La tecnica descritta è stata utilizzata a profondità maggiori di 10 metri. Il suo utilizzo a quote inferiori andrebbe prima sperimentato.

La tecnica proposta ha lo scopo di verificare che pietre di varia dimensione e natura possano rappresentare un habitat idoneo al trapianto di rizomi di *P. oceanica*. Il trapianto vero e proprio andrebbe invece realizzato su letti di pietrame, dopo aver effettuato un test con i gabbioni. I letti di pietrame potranno avere dimensioni e disposizione che varieranno in dipendenza delle aree trattate.

Modalità di esecuzione del trapianto

Le modalità di esecuzione del trapianto sono le seguenti:

- Selezione della prateria donatrice e del sito idoneo per il trapianto;
- Reperimento di rizomi ortotropi staccatisi naturalmente dalla prateria donatrice o provenienti eventualmente da espianto manuale dal sito donatore. I rizomi avranno dimensioni comprese tra 10 e 15 cm;
- Stoccaggio dei rizomi in mare all'interno di contenitori ancorati al fondo per periodi di tempo limitati (< 3 giorni) in attesa del trapianto. Lo stoccaggio può essere effettuato anche in acquari per periodi più lunghi (1-2 mesi) sia all'aperto sia al chiuso (per maggiori informazioni consultare rispettivamente Balestri *et al.*, 2011 e Marín-Guirao *et al.*, 2011);
- Trapianto dei rizomi nei gabbioni e assemblaggio finale di questi ultimi. È preferibile eseguire questa operazione a bordo di una adeguata imbarcazione (pontone con gru), utilizzando vasche capaci di contenere i gabbioni e di garantire la continua immersione del materiale biologico durante il fissaggio ai supporti (*fig. 3*);
- Il posizionamento dei gabbioni sul fondo avviene tramite la gru del pontone e con l'ausilio di Operatori Tecnici Subacquei (OTS);

- Si consiglia di posizionare i gabbioni gli uni accanto agli altri. Il posizionamento dipenderà dall'area di studio;
- Il metodo sperimentato nell'area di Capo Feto si è mostrato molto efficace e caratterizzato da una elevata sopravvivenza dei rizomi trapiantati dopo 30 mesi. Inoltre, la ramificazione dei rizomi trapiantati ha comportato il superamento della densità di impianto iniziale, con una sopravvivenza complessiva dei germogli variabile tra 274,72% e 422,22% dopo 30 mesi (Alagna *et al.*, 2019).

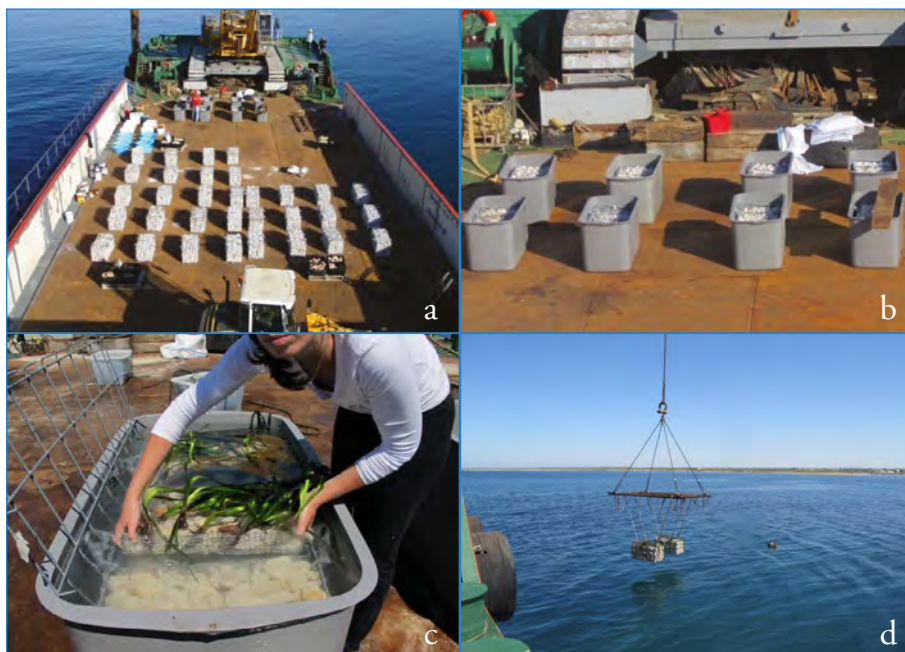


Figura 3 | Disposizione dei gabbioni sul pontone (a); vasconi utilizzabili per le fasi di allestimento dei gabbioni (b); preparazione di un gabbione (c); utilizzo della gru e degli OTS per posizionare in mare i gabbioni già piantumati (d).

Accorgimenti esecutivi

Particolare attenzione va dedicata alla pezzatura della roccia utilizzata per il riempimento dei gabbioni che dovrà essere mista e variare tra un massimo di 13 x 9 x 6 cm (larghezza altezza e profondità) e un minimo di 6 x 4 x 3 cm, e una prevalenza di pietrame di pezzatura

maggiore circa il 70% (per ulteriori informazioni si veda Alagna *et al.*, 2019). Eventuali letti di pietrame posto a ricoprire trincee scavate per ospitare tubature potranno avere pietrame di dimensioni massime superiori (per ulteriori informazioni si veda Di Carlo *et al.*, 2005).

Sostenibilità ambientale della tecnica

Questa tecnica parte dall'idea di ricostituire l'habitat naturale e ideale per l'impianto e la crescita di *P. oceanica*. Questa pianta spesso si insedia su substrati consolidati per poi propagarsi verso altre tipologie di substrato con i rizomi plagiotropi e accrescersi verticalmente tramite i rizomi ortotropi formando, se le condizioni sono idonee, la *matte*. Come accennato nei precedenti paragrafi, questo metodo ha lo scopo di verificare, anche in siti diversi da quello dove è stato già sperimentato, la fattibilità di riabilitare porzioni di prateria distrutte dai dragaggi ricreando condizioni del substrato simili a quelle in cui originariamente la pianta si era insediata stabilmente accrescendosi fino a formare una prateria. Una volta insediatasi e iniziata la ramificazione e la crescita dei rizomi, se i gabbioni, o qualunque altra soluzione utilizzata per contenere le pietre, non sono troppo alti, la struttura si inserirà nell'ambiente circostante offrendo in parte anche un nuovo habitat per la colonizzazione di altre specie. Infatti, l'acciaio, o altro materiale utilizzato per realizzare i gabbioni dopo alcuni anni si ossiderà fino a scomparire e le pietre se scelte da cave presenti in loco potrebbero integrarsi con i substrati naturali rocciosi dell'area, rendendo questa tecnica altamente sostenibile. La possibilità di ripristinare i servizi ecosistemici della prateria preesistente, invece, dipenderà dal successo del trapianto e dallo sviluppo della *matte*, un processo che richiederà decine di anni.

Periodo d'intervento

Il prelievo e la messa a dimora delle talee è preferibile che avvenga durante il periodo di riposo vegetativo della pianta. Tuttavia la sperimentazione effettuata a Capo Feto ha avuto inizio nel mese di maggio ed ha portato a risultati soddisfacenti (Alagna *et al.*, 2019).

Casistica

Tabella di sintesi dei casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica di trapianto descritta.

Tabella 1.1.7 | Trapianti realizzati in Italia con i gabbioni riempiti di pietrame

Sito del trapianto	Substrato impianto/ profondità'	Inizio trapianto (anno)	Superfici trapianto (m ²)	Fasci trapiantati (~N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Capo Feto (Mazara del Vallo)	pietrame/12 m	2012	15 m ²	480	2,5 anni (2012- 2015)	Attività sperimentale (Alagna et al., 2019)
Bagnoli (Napoli)	pietrame/ 11-12 m	2018	12 m ²	288	3 anni (2018-2021)	Attività sperimentale

Bibliografia

Alagna A., D’Anna G., Musco L., Vega Fernández T., Gresta M., Pierozzi N., Badalamenti F. (2019). Taking advantage of seagrass recovery potential to develop novel and effective meadow rehabilitation methods. *Marine Pollution Bulletin*, 149: 110578. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110578>

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(3): 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.011>

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). Developments in Hydrobiology. In: *Marine Biodiversity: Patterns and Processes, Assessment, Threats, Management and Conservation*, Eds. K. Martens, H. Queiroga, M. R. Cunha, A. Cunha, M. H. Moreira, V. Quintino, A. M. Rodrigues, J. Seroôdio,, R. M. Warwick Dordrecht: Springer Netherlands. 253–261 pp. https://doi.org/10.1007/1-4020-4697-9_21

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

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. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-0035-0>

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. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.02.003>

Marín-Guirao L., Sandoval-Gil J. M., Ruíz J. M., Sánchez-Lizaso J. L. (2011). Photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in response to simulated salinity increases in a laboratory mesocosm system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92(2): 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.01.003>

1.2 | IL TRAPIANTO MEDIANTE TRASFERIMENTO DI ZOLLE DI POSIDONIA OCEANICA

Il trapianto di zolle di fanerogame marine, intese come porzioni di prateria comprendenti anche il sedimento, è stato utilizzato nell'ambito della riforestazione dei fondi marini.

L'utilizzo delle zolle rispetto al trasferimento di singole talee permette in molti casi l'impiego di mezzi meccanici con la conseguente possibilità di limitare i tempi di lavoro e l'impiego di personale. Inoltre, il substrato di insediamento in cui la pianta vive, essendo parte integrante della zolla prelevata, potrebbe facilitarne la sopravvivenza nella fase di trapianto.

Il trapianto mediante zolle è stato impiegato specialmente in ambiente oceanico (e.g. Paling *et al.*, 2003; Fishman *et al.*, 2004; Uhrin *et al.*, 2009; Matheson *et al.*, 2017). In tali ambienti, i trapianti di fanerogame interessano generalmente specie caratterizzate da un rapido accrescimento che vivono su fondi mobili generalmente a bassa profondità. In queste condizioni tali metodologie di trapianto possono avvenire il modo meccanizzato con alta velocità di esecuzione.

In Mediterraneo, al contrario, il trapianto mediante zolle è stato finora poco impiegato (Deschamp *et al.*, 2017; Sánchez-Lizaso *et al.*, 2009; AA.VV., 2020), probabilmente a causa dei problemi tecnici connessi al lavoro effettuato alle profondità dove si distribuiscono le praterie di fanerogame. Ad eccezione di specie lagunari, con le quali simili metodi possono essere utilizzati più facilmente, il trapianto di specie marine, quali ad esempio *Posidonia oceanica*, prevede di lavorare a maggiori profondità. Inoltre, ulteriori difficoltà sono da imputare anche alla caratteristica della *matte* di *P. oceanica*, generalmente più alta e solida di quella di altre specie, nonché alla natura del fondo su cui si opera in Mediterraneo che è spesso accidentata.

In Mediterraneo, il trasferimento di zolle di *P. oceanica* con mezzi meccanici è stato realizzato come misura compensativa nell'ambito delle Valutazioni di Impatto Ambientale (VIA). La prima esperienza è avvenuta nel 2005 in Spagna nell'ambito di un progetto di espan-



sione del porto di Luis Campomanes (Altea, Alicante), dove sono stati trasferiti, in buche appositamente scavate mediante una sorbona, 200 m² di prateria mediante zolle di circa 1 m² di superficie e 40 cm di spessore (Sánchez-Lizaso *et al.*, 2009). Il trasferimento più recente di zolle risale al 2017 nell'ambito del progetto di estensione a mare del Principato di Monaco, dove è stato previsto un trapianto compensativo di *P. oceanica* di circa 500 m² mediante zolle di 0,8 m² di superficie e 60 cm di spessore, utilizzando tecnologie avanzate (Deschamp *et al.*, 2017). In Italia l'unico trapianto realizzato mediante zolle di *P. oceanica* risale al 2014 nell'area del Golfo di Follonica ed è oggetto di approfondimento del presente Manuale.

Ad oggi, le diverse metodiche utilizzate per trasferimento di zolle di *P. oceanica* sono ancora in fase di sperimentazione. Le principali cause di morte delle zolle sono state attribuite al sistema di raccolta e/o di ancoraggio al substrato non adeguato, alla errata scelta del sito di trapianto, nonché alla consistenza della *matte* e alla lontananza delle zolle tra loro e/o dalla prateria naturale (Deschamp *et al.*, 2017; Sánchez-Lizaso *et al.*, 2009; Bedini *et al.*, 2020; AA.VV., 2020). Si sottolinea, inoltre, che le informazioni relative alle *performance* dei trapianti mediante zolle di *P. oceanica* sono scarse e mai di lungo periodo. Pertanto, ulteriori valutazioni relative a eventuali *trend* dei parametri investigati nei casi di studio esistenti dovranno essere rimandate a future campagne di monitoraggio.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2020). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B2. <https://www.lifeseosso.eu>

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

Descamp P., Cornu T., Bougerol M., Boissery P., Ferlat C., Delaruelle G., Deter J., Gobert S., Ozhan E. (2017). Experimental transplantation of *Posidonia*

oceanica. In: *13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017*, Mediterranean Coastal Foundation. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/224188>

Fishman J. R., Orth R. J., Marion S., J B. (2004). A comparative test of mechanized and manual transplanting of eelgrass, *Zostera marina* in Chesapeake Bay. *Restoration Ecology*, 12(2): 214–219. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00314.x>

Matheson F. E., Reed J., Dos Santos V. M., Mackay G., Cummings V. J. (2017). Seagrass rehabilitation: successful transplants and evaluation of methods at different spatial scales. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 51(1): 96–109. <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1265993>

Paling E. I., Van Keulen M., Wheeler K. D., Phillips J., Dyhrberg R. (2003). Influence of Spacing on Mechanically Transplanted Seagrass Survival in a High Wave Energy Regime. *Restoration Ecology*, 11(1): 56–61. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.00072.x>

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

Uhrin A. V., Hall M. O., Merello M. F., Fonseca M. S. (2009). Survival and Expansion of Mechanically Transplanted Seagrass Sods. *Restoration Ecology*, 17(3): 359–368. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00376.x>



1.2.1 | La tecnica delle zolle di *Posidonia oceanica*: il caso di Piombino

Claudia Bulleri¹, Francesco Sozzi¹, Michele Magri², Roberto Bedini³

Storia della tecnica

A seguito della consapevolezza che una maggiore sopravvivenza dei trapianti mediante zolle poteva essere raggiunta aumentando la dimensione delle unità trapiantate (Walker, 1994), grazie all'esperienza pregressa in ambiente oceanico e dopo la prima esperienza di trasferimento di zolle di *Posidonia oceanica* con mezzi meccanici realizzati in Spagna (Sánchez-Lizaso *et al.*, 2009), in Italia nel 2014 è stato effettuato il primo trasferimento di grandi zolle di *Posidonia oceanica* (AA.VV., 2019; Bedini *et al.*, 2020). Il trasferimento è stato realizzato mediante l'utilizzo di mezzi meccanici adeguati alle dimensioni delle zolle e alle peculiarità del sito donatore caratterizzato da una prateria con *matte* alta e solida. Il trapianto è stato realizzato nell'ambito della Valutazione di Impatto Ambientale delle attività previste dal nuovo Piano Regolatore Portuale del Porto di Piombino (LI) nel 2014. La necessità di dover intervenire in un'area a mare caratterizzata da un intenso traffico marittimo in entrata e in uscita dal porto di Piombino e di realizzare celermente le nuove infrastrutture portuali comprensive anche di un dragaggio che interessava circa 3.000.000 di m³ di sedimenti marini hanno portato l'Autorità Portuale di Piombino (oggi Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale) a proporre al MATTM (oggi MiTE) la tecnica di trasferimento a zolle di *P. oceanica*, dall'area a mare interessata dai lavori in aree limitrofe al Porto di Piombino nel golfo di Follonica. Di seguito, viene descritta l'attività di trapianto mediante zolle di *P. oceanica*, facendo specifico riferimento all'esperienza maturata nel caso di studio di Piombino.

¹ Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale, Piazz.le Premula 6/a, 57025, Piombino (Italia).

² Ambienti Magri, Via Falcucci 76, 57128, Livorno (Italia).

³ Istituto di Biologia ed Ecologia Marina (IBEM) di Piombino, Palazzo Appiani, P.zza G. Bovio ¾, 57025, Piombino (Italia)



Descrizione sintetica della tecnica

La tecnica prevede il trasferimento di zolle di *P. oceanica* di 4 m² di superficie (fig. 1). Tali zolle, caratterizzate da *matte* solide e alte circa 1 metro sono state asportate dal fondo marino con benna bivalve idraulica (fig. 2) la quale, rispetto alla benna a grappo, permette l'asportazione delle zolle senza frammentazione e il loro successivo posizionamento. Inoltre, la motonave utilizzata tipo *split barge* ha la possibilità di immettere acqua, favorendo la sopravvivenza degli organismi marini che vivono tra la *matte*, i rizomi, le foglie di *P. oceanica* fino al loro posizionamento sul fondo marino (fig. 3). Le zolle sono state posizionate al centro dello scafo una alla volta e successivamente collocate sul fondo.



Figura 1 | Zolla di *Posidonia oceanica* (a); particolare della zolla di *Posidonia oceanica* (b).

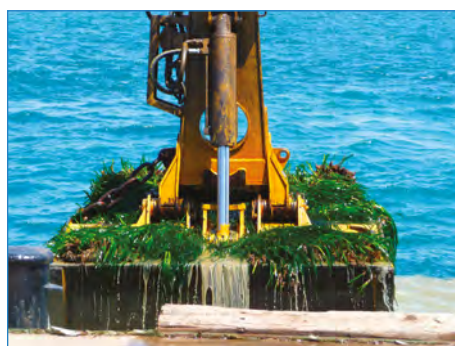


Figura 2 | Benna bivalve idraulica con zolla di *Posidonia oceanica*.



Figura 3 | Zolle di Posidonia oceanica immersa in acqua di mare all'interno dello scafo della motonave.

Substrato di ancoraggio

Le zolle di *Posidonia oceanica* sono state collocate in sei differenti aree in prossimità del limite superiore della prateria ricevente (fig. 4); in tali aree è stato previsto il posizionamento delle zolle senza interro con differenti modalità:

- su fondo sabbioso esterno alla prateria, a ridosso del limite superiore;
- su fondo sabbioso esterno alla prateria, distante dal limite superiore, con l'intento di creare dei nuovi nuclei di prateria;
- in radure sabbiose disponibili all'interno della prateria esistente.

Le aree di posizionamento delle zolle hanno una profondità che varia tra gli 11 e 13 metri. La superficie totale di trapianto è stata di 1362 m².

Modalità di esecuzione del trapianto

Grazie alle ispezioni effettuate, nei mesi precedenti al trasferimento delle zolle, attraverso immagini ROV e transetti eseguiti da operatori scientifici subacquei, le operazioni di espianto sono state eseguite direttamente dalla draga all'interno dell'area autorizzata alle attività di espianto. Le zolle, una volta espantate, sono state posizionate all'interno di un bacino con acqua di mare, immediatamente dopo essere state asportate dal fondo marino. Per il posizionamento a mare, i subacquei segnalavano, con boe galleggianti, il punto esatto

dove affondare la zolla. Su ciascuna zolla è stata impiantata un'etichetta numerata di riconoscimento; successivamente la zolla è stata ancorata sul fondo con 4 picchetti di 1,50 m di lunghezza. Prima del trasferimento delle zolle di *Posidonia oceanica* sono stati trasferiti nell'area ricevente parte degli organismi vagili (crostacei, molluschi, pesci, echinodermi) presenti sia tra le foglie che su di esse, catturati con retini da plancton manovrati a mano da subacquei in immersione dall'area donatrice.

Le attività hanno interessato il trasferimento di 340 zolle per un totale di circa 380.000 fasci in aree individuate come idonee nel golfo di Follonica, in località Perelli.



Figura 4 | Zolle trasferite in prossimità della prateria di Posidonia oceanica.

Accorgimenti esecutivi

Sulla base dell'esperienza maturata si raccomanda di:

- Etichettare le zolle subito dopo la posa delle stesse. Una zolla con un picchetto centrale munita di boa bianca è facilmente distinguibile e quindi etichettabile; senza una opportuna etichettatura e con scarsa visibilità diventa molto difficile rintracciare le zolle trasferite.
- Ripercorrere le aree di indagine e mappare le zolle attraverso le metodologie standard di monitoraggio ambientale; in questo modo l'identificazione delle zolle può avvenire con tre metodiche diverse che si completano:

- coordinate geografiche che identificano l'inizio e la fine delle zone dove sono state posizionate le zolle;
- etichettatura delle zolle per area e mediante numero progressivo;
- mappa subacquea delle zolle rispetto ai limiti della prateria.
- Collocare le zolle in buche appositamente preparate e/o in aree adiacenti alla prateria naturale al fine di minimizzare l'erosione delle stesse dall'attività idrodinamica locale.
- Non utilizzare alcun picchetto di fissaggio in quanto le zolle hanno dimensioni notevoli. I picchetti di 1,5 m inizialmente utilizzati per il fissaggio delle zolle sono risultati troppo corti e sono stati utilizzati successivamente con la sola funzione di etichettatura delle zolle.

Sostenibilità ambientale della tecnica

La scelta di asportare le piante insieme alle *matte* di insediamento delle stesse, aveva l'obiettivo di minimizzare il danno e aumentare la possibilità di sopravvivenza delle piante trapiantate, fornendo alla pianta il substrato di insediamento in cui vive da anni.

Una delle maggiori peculiarità dei rizomi di *Posidonia oceanica* è la capacità di accrescersi sia in senso verticale (ortotropo) che in quello orizzontale (plagiotropo). Con questi sistemi la pianta combatte l'insabbiamento e si può propagare nelle aree vicine. Il trasferimento di zolle prevede che i canali tra zolla e zolla possano essere nel tempo "colonizzati" da nuove piante e che l'eventuale intreccio di rizomi vecchi e nuovi possano aumentare la stabilità del fondo marino.

Periodo di intervento

Il trapianto è stato realizzato nel giugno 2014 e le attività di trasferimento delle zolle hanno avuto una durata di circa 20 giorni. Non essendo disponibili dati sull'incidenza del periodo di trasferimento delle zolle sulla loro conservazione e sulla vitalità delle loro piante non è attualmente possibile indicare il miglior periodo di intervento per questo tipo di tecnica, fermo restando che il periodo di stasi ve-



getativa della pianta (fine autunno - inizio inverno) è quello generalmente utilizzato per il trapianto *P. oceanica* con altre tecniche.

Casistica

Tabella di sintesi dei casi di studio in Italia dove è stata impiegata la tecnica di trapianto descritta.

Tabella 1.2.1 | Trapianti realizzati in Italia con il trasferimento di zolle di *Posidonia oceanica*.

Sito del trapianto	Substrato impianto/ profondità	Inizio trapianto (anno)	Superficie trapianto (m ²)	Zolle trasferite (~N.) Fasci trapiantati (~N.)	Arco temporale monitoraggio (anni)	Contesto monitoraggio/ bibliografia
Località Perelli Piombino (Toscana)	Sabbia/11-13 m	2014	1360 m ²	340 zolle 380.000 fasci	5 anni (2014-2019)	Valutazione di Impatto Ambientale; Progetto LIFE SEPOSSO (AA.VV., 2020)

Bibliografia

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2019). Final report on *Posidonia oceanica* transplanting case studies analysis. Report Action A3. <https://www.lifeseosso.eu>

AA.VV. LIFE SEPOSSO (2020). Activity report about monitoring campaigns and their results. Report Action B2. <https://www.lifeseosso.eu>

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

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

Walker C. (1994). The effect of size and sediment stabilization on the survival of seagrass transplants in Owen Anchorage, Western Australia. *Marine and Freshwater Research Laboratory, Murdoch University, Perth, WA*, 104.

CAPITOLO 2

RICOLONIZZAZIONE SPONTANEA DELLE PRATERIE DI POSIDONIA OCEANICA SU SUBSTRATI CONSOLIDATI



2.1 | LA RICOLONIZZAZIONE SPONTANEA DI POSIDONIA OCEANICA A CAPO FETO (SICILIA)

Fabio Badalamenti¹, Adriana Alagna¹, Giovanni D'Anna², Carlo Pipitone¹, Arturo Zenone^{3,1}

Contesto

La posa del gasdotto TRANSMED tra Capo Bon (Tunisia NE) e Capo Feto (Sicilia SO, Italia) ha comportato il dragaggio di due trincee attraverso una prateria di *Posidonia oceanica* incontaminata che si estende al largo della costa di Capo Feto. Il primo scavo, 1980-1981, ha causato la perdita di oltre 50 ha di prateria tra 0 e 30 m di profondità (Badalamenti *et al.*, 2011). La trincea è stata riempita con materiali residui dello scavo e massi calcarenitici. Il secondo scavo è avvenuto nel 1992-1993 e la trincea in questo caso è stata ricoperta con massi di calcare allo scopo di coprire lo scavo e stabilizzare il fondo marino.

A seguito dei due interventi, la prateria ha subito impatti diretti, con la rimozione e l'interramento della pianta, e impatti indiretti a causa della "plume" formata da sedimenti fini in sospensione, che è durata mesi, e dal movimento di sedimenti grossolani sul fondo marino. I due impatti hanno causato la perdita complessiva di 81,20 ha di prateria (Badalamenti *et al.*, 2011). Nel 1993 l'area interessata dagli scavi si presentava come un mosaico di substrati eterogenei: sabbia, ghiaia, massi calcarenitici, *matte* morte e cumuli di massi di calcare (*fig. 1*), su questi ultimi è stato documentato il recupero spontaneo di *P. oceanica* attraverso frammenti vegetativi (Badalamenti *et al.*, 2011).

Negli anni 1992-1993 è stato realizzato il potenziamento del gasdotto ed è stata scavata una nuova trincea. In questa occasione i

¹ CNR-IAS, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

² CNR-IAS, Via G. Da Verrazzano, 17, 91014, Castellammare del Golfo (Italia).

³ Stazione Zoologica Anton Dohrn, Dipartimento di Ecologia Marina Integrata, Lungomare Cristoforo Colombo, 4521 90149, Palermo (Italia).



materiali dragati sono stati depositati 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 di letti 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 (fig. 2) (Di Carlo *et al.*, 2005). I massi di calcare sono stati deposti sul fondo del mare da una apposita imbarcazione che conteneva i massi e li scaricava in quantità note sulla trincea a formare i cumuli descritti. 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.

Monitoraggio della ricolonizzazione di *Posidonia oceanica* lungo il tracciato

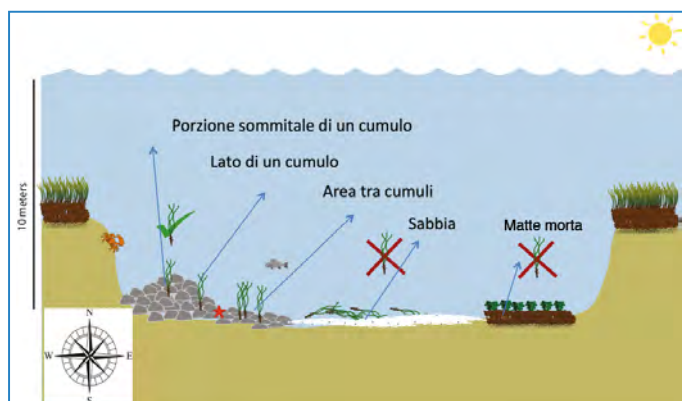
Materiali e Metodi

L'area di studio si trova sulla costa sud-ovest della Sicilia ($41^{\circ} 73'$ N, $18^{\circ} 12'$ E) e si estende verso sud-ovest su una ampia piattaforma calcarea fino a una profondità di circa 30 m. Dal 1981 al 1995 sono state prodotte e confrontate tre mappature dell'area per valutare la perdita di porzioni di prateria e la variazione nella composizione e tipologia dei substrati in seguito ai dragaggi. Le mappature sono state costruite compilando le informazioni ricavate da fotografie aeree, rilievi SSS (*Side Scan Sonar*) e ROV (*Remotely Operated Vehicle*). L'intero set di dati è stato importato in un ambiente GIS per mostrare la distribuzione dei substrati prima (mappa del 1979), dopo il primo evento di dragaggio (mappa del 1993) e dopo il secondo evento di dragaggio (mappa 1995). Per mezzo delle 3 mappature sono state

distinte 7 categorie del substrato all'interno dell'area interessata dagli scavi: 1) *P. oceanica*, 2) *Cymodocea nodosa*, 3) *matte* morta di *P. oceanica*, 4) sabbia fine, 5) sabbia e ghiaia, 6) massi calcarenitici e calcarei 7) e cumuli di massi di calcare. Questi ultimi sono stati suddivisi in tre porzioni: parte sommitale, lati e aree ribassate tra cumuli adiacenti. Le immagini ROV sono state utilizzate per stimare la percentuale di copertura di *P. oceanica* all'interno dell'area dragata dal 1993 al 1999 su cinque dei 7 substrati individuati, rispettivamente: 1, 3-4, 6-7. La densità dei fasci fogliari è stata misurata in immersione esclusivamente sul substrato "cumuli di massi di calcare" nelle tre diverse porzioni precedentemente individuate e in siti di controllo a 5, 10 e 15 metri di profondità per tre anni consecutivi (2001-2003).

Risultati

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 (Alagna, 2010; Badalamenti *et al.*, 2011). Tale recupero 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.



*Figura 1 | Visualizzazione schematica della trincea di Capo Feto riempita nella porzione orientale con pietrame nel 1993. Il substrato derivante dal riempimento è caratterizzato da cumuli di massi sul quale si sono spontaneamente insediati rizomi di *Posidonia oceanica*.*



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 (16-25 m) (Badalamenti *et al.*, 2011).

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



Figura 2 | 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 gasdotto confermano la persistenza delle *patch* di *P. oceanica* che risultano in continua espansione a formare lembi di prateria piuttosto estesi al di sotto dei quali si rinviene pietrame calcareo e calcarenitico (2010-2013, osservazione personale A. Alagna, F. Badalamenti) (*fig. 3*).

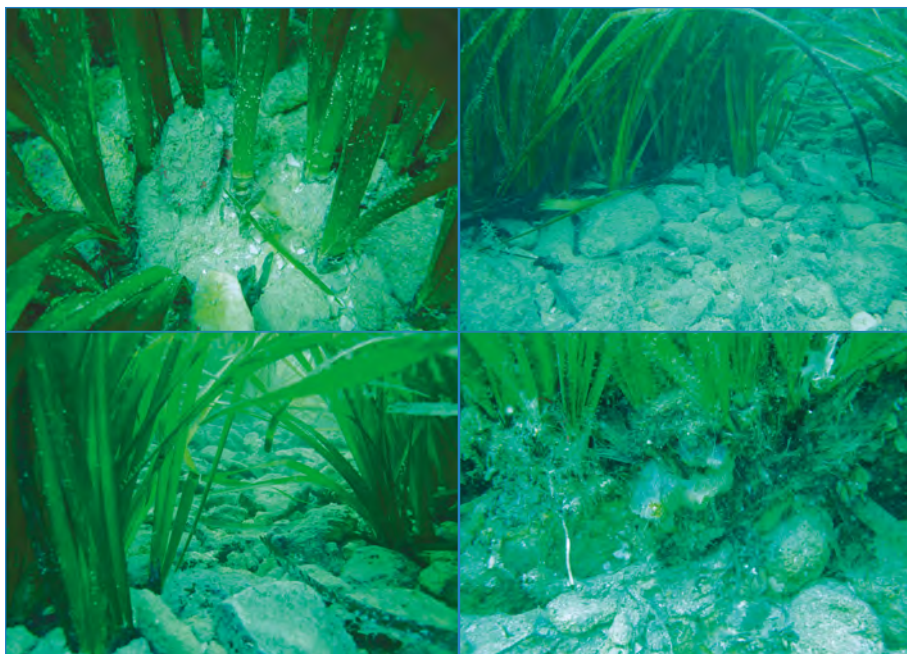


Figura 3 | Persistenza e coalescenza delle patch di P. oceanica lungo il corridoio di posa della trincea. Il substrato su cui le patch sono insediate è costituito da pietrame calcareo e calcarenitico.

Considerazioni conclusive

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 naturalmente dispersi, a differenza degli altri substrati presenti nell'area di studio che mancano della necessaria complessità o stabilità (*Cymodocea nodosa*, matte morta, massi calcarenitici, 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 riportati in 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 ed elevata 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. Nel caso di Capo Feto si era in presenza di una delle più grandi praterie del Mediterraneo, pertanto il “rifornimento laterale” di propaguli è stato garantito e abbondante. Inoltre, è stata scavata una trincea che, una volta riempita da massi, è rimasta di alcune decine di centimetri più profonda rispetto al piano della circostante prateria fungendo dunque da vero e proprio inghiottitoio di propaguli. Di queste particolarità occorrerà tenere ben conto qualora si dovesse pensare di voler riprodurre una ricolonizzazione naturale di *P. oceanica* come quella descritta per Capo Feto usando massi per coprire siti degradati di altre aree del Mediterraneo.

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(3): 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.12.011>

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. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-0035-0>

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. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.02.003>

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. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.12.032>

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. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.012>

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: *International Workshop on Posidonia oceanica beds; GIS Posidonie Marseille*, Eds. C. F. Boudouresque, A. Grissac, J. Olivier France. 39–44 pp.



2.2 | LA RICOLONIZZAZIONE SPONTANEA DI POSIDONIA OCEANICA LUNGO L'ESCAVO DEL GASDOTTO DI ISCHIA (GOLFO DI NAPOLI)

Maria Cristina Buia¹, Marcello Cotugno¹

Contesto

Si riportano i risultati di una ricolonizzazione naturale di *Posidonia oceanica* osservata a distanza di dieci anni lungo la porzione superficiale della prateria di San Pietro, antistante il porto di Ischia (Golfo di Napoli) che, dopo essere stata distrutta per interrare il tratto terminale del gasdotto proveniente dalla terraferma, è stata coperta con pietrisco. La zona ricade nella Zona Speciale di Conservazione (ZSC) “Fondali marini di Ischia, Vivara e Procida” (IT8030010) (Cigliano *et al.*, 2009) ed è parte integrante dell’Area Marina Protetta Regno di Nettuno (www.nettunoamp.org).

Il gasdotto corre sul fondo del mare fino all’imbocco del porto d’Ischia, sul versante settentrionale dell’isola. Questo versante, caratterizzato da coste basse e sabbiose, ha subito nel tempo le maggiori trasformazioni costiere (52%) per permettere la costruzione di porti commerciali e turistici, di sbancamenti per creare collegamenti stradali tra comuni nonché il posizionamento di strutture a difesa del litorale. Queste opere antropiche hanno indotto nel tempo un notevole impatto sulla vegetazione costiera provocandone negli *stands* più superficiali la progressiva frammentazione e regressione. Occorre notare come l’area di arrivo della condotta, essendo nelle immediate vicinanze del porto, è caratterizzata da un intenso traffico marittimo, soprattutto nel periodo estivo: gli aliscafi e i traghetti, in particolare, che transitano all’interno dell’area, producono un elevato idrodinamismo, sempre più intenso con la diminuzione della profondità e la vicinanza alla costa.

¹ Stazione Zoologica Anton Dohrn, Dipartimento di Ecologia Marina Integrata, Centro Ricerche Marine di Ischia, Punta San Pietro, 80077 Ischia (Italia).



L'area di studio ricade nella prateria di San Pietro, la cui primitiva estensione raggiungeva circa 3 km² ed era impiantata su una *matte* che arrivava a superare 1,5 m di altezza (come ha evidenziato l'opera di escavo). Il cavo poggia sulla prateria (senza essere interrato) sino alla profondità di circa 8 m, non evidenziando segni di alterazione nel tempo. Dalla profondità di 7,5 m sino a 4,5 m, il gasdotto è stato interrato; un escavo di circa 300 m di lunghezza e di 6 m di larghezza è stato prodotto per ospitare la condotta e successivamente ricoperto con pietrisco grossolano di natura vulcanica, essenzialmente lave trachitiche e fonolitiche, di circa 10 cm di diametro.

Monitoraggio della ricolonizzazione di *Posidonia oceanica* lungo il tracciato

Materiali e Metodi

Nell'arco temporale 2009-2019, il tracciato è stato ispezionato regolarmente e oggetto di video riprese lungo tutta l'estensione dell'escavo. Nel 2019 si è proceduto alla stima della densità dei fasci di *Posidonia* nelle macchie di nuova ricolonizzazione, alla loro mappatura e alla valutazione della loro estensione lungo il tracciato.

Per la stima di densità dei fasci, si è utilizzato un quadrato 40 x 40 cm. Per la mappatura delle nuove colonie è stata utilizzata una tecnica che combina la fotogrammetria digitale e gli strumenti di calcolo del GIS (*Geographic Information System*).

In particolare:

- in immersione, lungo il tracciato sono state individuate delle sub-aree di circa 10-20 m di lunghezza e di 6 m di larghezza. In ogni sub-area sono state poste sul fondo delle cime guida (in numero variabile da 5 a 10 a seconda dell'estensione della sub-area e della presenza di nuove macchie), posizionandole ortogonali all'asse del tracciato e parallele tra loro, a 2-3 m di distanza tra loro. Ai 4 vertici di ogni sub-area, sono stati posti dei target di bachelite bianco-neri, la cui posizione veniva georeferenziata in superficie mantenendo tesa una cima sulla verticale del target (*fig. 1*);

- ogni sub-area è stata mappata mediante fotogrammetria (Abadie *et al.*, 2018). Mantenendosi a distanza fissa dal fondo e ad una andatura lenta (per permettere la registrazione di un elevato numero di fotogrammi di buona qualità), seguendo le cime guida sono state effettuate delle riprese utilizzando una video camera in modalità 4K a 25 fps. La distanza delle cime, variabile con l'apertura del campo di ripresa e delle condizioni di visibilità, doveva garantire una sovrapposizione laterale delle immagini almeno del 70% per una successiva corretta elaborazione delle immagini;
- in laboratorio, la mappatura in formato *raster* è stata utilizzata per l'analisi del ricoprimento percentuale di *P. oceanica* lungo tutto il tracciato. I video ottenuti sono stati processati con il *software* Free Video to JPG Converter per estrapolare i fotogrammi da analizzare. Sono stati estratti 300-1800 fotogrammi da ogni filmato; la loro successiva elaborazione con il software Agisoft Photoscan ha fornito anche la calibrazione automatica per correggere la lunghezza focale e l'aberrazione dell'obiettivo. Utilizzando la struttura dagli algoritmi di movimento (SfM), sono stati prodotti modelli 3D dei fondi e i mosaici di ortofoto sono stati georeferenziati utilizzando il *software* open source QGIS, permettendo così di ottenere la superficie delle macchie di nuova colonizzazione e quindi calcolare la percentuale di ricoprimento lungo tutto il tracciato.

Risultati

Favorita dalla limitata estensione del tracciato e dalla presenza di *Posidonia oceanica* in aree adiacenti, l'arrivo di talee e/o di zolle espianate ha trovato nel tempo, sul substrato roccioso, un fondo idoneo all'impianto della fanerogama. Non si è mai notato, durante tutto l'arco temporale delle osservazioni, l'attecchimento di talee su substrato sabbioso, presente sia in alcune zone adiacenti sia nella parte più superficiale, in corrispondenza del limite superiore della prateria. È stata mappata un'area di 736,82 m² in cui sono state rilevate 184 macchie di nuova colonizzazione. Esse ricoprono un'area di 67,76 m², pari a circa il 10% dell'area in esame (Cotugno *et al.*, 2020). I nuovi impianti



sono più numerosi nella porzione più profonda del tracciato (7,5-6,3 m²) (fig. 2) dove, su una lunghezza di 128 m, sono state contati 121 nuovi areali di colonizzazione che coprono una superficie di 40,25 m² su un'area totale di 334 m² (circa il 12%). In questa tratta la complessità strutturale delle nuove colonie è risultata elevata (139 ± 4 nr fasci in 1600 cm²), con una densità dei fasci maggiore di quella registrata alla stessa profondità in due praterie di controllo (rispettivamente, 121 ± 4 e 94 ± 6 fasci in 1600 cm²) (Cotugno *et al.*, 2019). L'entità della ricolonizzazione spontanea diminuisce verso terra, col diminuire della profondità. Il secondo tratto esaminato, di circa 403 m², risulta avere una copertura di soli 26 m², distribuiti su 63 nuove macchie.

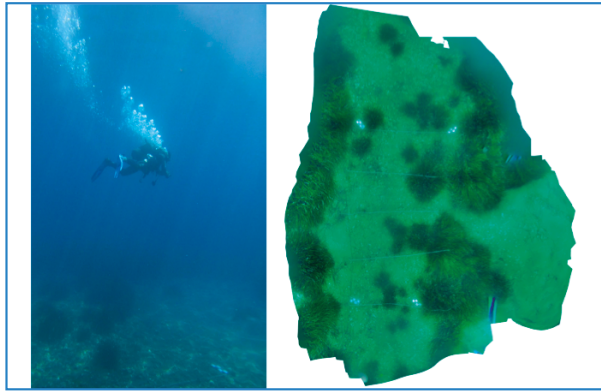


Figura 1 | Operazione di ripresa lungo cime posizionate sul fondo all'interno di una sub-area delimitata da 4 target di bachelite bianco-neri, il cui georeferenzamento veniva fatto in superficie.

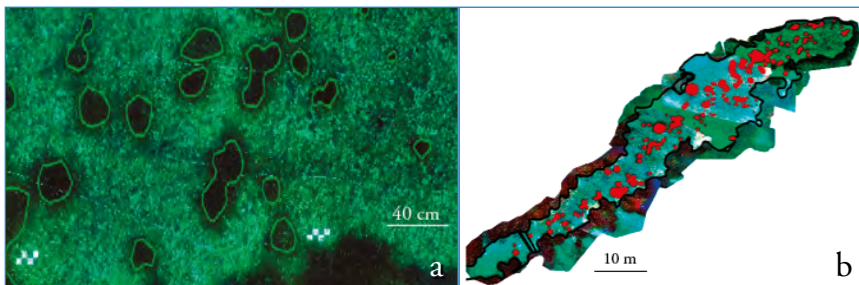


Figura 2 | Dettaglio di una parte del tracciato: layer di poligoni per il calcolo delle superfici delle macchie colonizzate con QGIS (a) e mappa finale delle macchie di nuova colonizzazione, in rosso (b).

Considerazioni conclusive

Il recupero naturale della prateria di *Posidonia oceanica* dopo l'interramento del gasdotto avvenuto dieci anni fa rappresenta un risultato rilevante sia per la scarsità di dati a lungo termine sulla dinamica di questa specie, fatta eccezione per i dati registrati a Capo Feto - Sicilia (Badalamenti *et al.*, 2006), sia per le peculiari condizioni ambientali del sito flegreo, ubicato all'imbocco di un porto con un traffico navale molto intenso.

I risultati confermano il successo del reclutamento naturale di questa fanerogama grazie alle talee portate alla deriva dai popolamenti vicini (Balestri *et al.*, 2011), fenomeno osservato spesso in questi anni lungo la trincea. Il ruolo svolto dalle pietre nel catturare e intrappolare le talee alla deriva testimonia l'importanza del tipo di substrato (natura e dimensioni) e della profondità del sito (maggiore è la profondità, maggiore la probabilità di stazionamento delle talee trasportate) nel garantire il successo di nuovi insediamenti vegetali. Nonostante le raccomandazioni fatte prima dei lavori, anziché pietre calcaree sono state utilizzate pietre di natura vulcanica, probabilmente più economiche e disponibili in quanto caratteristiche dell'area flegrea, che hanno rallentato il processo di insediamento delle nuove plantule. Le rocce vulcaniche, infatti, essendo più coerenti, probabilmente hanno richiesto la crescita di un biofilm algale con specie pioniere, incluse forme calcaree, rallentando la radicazione e l'adesione delle talee.

Bibliografia

- Abadie A., Boissery P., Viala C. (2018). Georeferenced underwater photogrammetry to map marine habitats and submerged artificial structures. *The Photogrammetric Record*, 33(164): 448–469. <https://doi.org/10.1111/phor.12263>
- 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). *Developments in Hydrobiology*. In: *Marine Biodiversity: Patterns and Processes, Assessment, Threats, Management and Conservation*, Eds. K. Martens, H. Quei-



roga, M. R. Cunha, A. Cunha, M. H. Moreira, V. Quintino, A. M. Rodrigues, J. Seroôdio,, R. M. Warwick Dordrecht: Springer Netherlands. 253–261 pp. https://doi.org/10.1007/1-4020-4697-9_21

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

Cigliano M., Di Stefano F., Di Donato R., Russo G. F., Gambi M. C. (2009). I SIC marini in Campania: stato dell'arte e nuove prospettive. *Biologia Marina Mediterranea*, 16(1): 73–74.

Cotugno M., Lorenti M., Scipione M. B., Buia M. C. (2019). Spontaneous *Posidonia oceanica* recovery. In: *Proceedings of XIV International Medcoast Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation*, Ed. E. Ozhan Marmaris (Turkey. 287–296 pp.

Cotugno M., Lorenti M., Scipione M., Patti F., Buia M. (2020). Laying a gas pipeline through a *Posidonia oceanica* meadow: an example of its effects on plant recovery and epifaunal diversity. *Vie et Milieu/Life, Environment*, 70: <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03342421/document>

CAPITOLO 3

SEMI E GERMOGLI DI POSIDONIA OCEANICA NELLE ATTIVITÀ DI TRAPIANTO



3.1 | LE SPERIMENTAZIONI CON SEMI E GERMOGLI DI POSIDONIA OCEANICA NELLE ATTIVITÀ DI TRAPIANTO IN MEDITERRANEO

La maggior parte dei trapianti di *Posidonia oceanica* sono stati progettati considerando l'impiego di materiale vegetativo, principalmente talee e in alcuni casi zolle. Tale scelta scaturisce dal fatto che la principale modalità di riproduzione di questa specie è quella vegetativa, mentre la riproduzione sessuata è rara, molto difficile da prevedere, con fioriture eccezionali spesso in concomitanza di elevate temperature stagionali registrate in primavera ed estate. Inoltre la realizzazione di una riforestazione mediante germogli, partendo dai semi, richiede dei tempi molto più lunghi e di conseguenza dei costi superiori.

Nonostante ciò in più occasioni sono stati utilizzati semi e germogli come materiale di trapianto, soprattutto per piccoli interventi a scopo di ricerca.

Nell'ottica dell'utilizzo di materiale di origine sessuale per una riforestazione, tre sono gli aspetti principali che sono stati investigati: i) la coltivazione dei semi in ambiente controllato; ii) il reclutamento naturale in mare; iii) il trapianto dei germogli in mare.

La coltivazione dei semi in ambiente controllato

La coltivazione dei semi in ambiente controllato ha riguardato la maggior parte degli studi sui germogli. In acquario sono stati testati sia gli effetti di differenti variabili ambientali (irradiazione, nutrienti, temperatura, salinità, idrodinamismo, substrato), sia di fattori biotici (presenza di *Cymodocea nodosa*), nonché l'impiego di stimolatori della crescita, evidenziando i *range* ottimali per la sopravvivenza e la crescita dei germogli (Caye e Meinesz, 1989; Buia e Mazzella, 1991; Bedini, 1997; Balestri *et al.*, 1998; Balestri e Bertini 2003; Badalamenti *et al.*, 2010; Infantes *et al.*, 2011; Fernández-Torquemada *et al.*, 2013; Alagna *et al.*, 2015; Guerrero-Meseguer *et al.*, 2017 a, b; Hernán *et al.*, 2016, 2017; Guerrero-Meseguer *et al.*, 2020; Alagna *et al.*, 2020; Zenone *et al.*, 2020; Balestri *et al.*, 2021).



Il massimo tasso di germinazione e la massima sopravvivenza di semi di *P. oceanica*, analizzato in Fernández-Torquemada *et al.* (2013), sono stati ottenuti con una salinità del 37‰, mentre lo sviluppo è risultato minore con tassi di salinità più elevata.

Risultati analoghi sull'effetto dell'incremento della temperatura sui primi stadi di sviluppo di *P. oceanica* sono scaturiti in Hernán *et al.* (2016, 2017) e in Guerrero-Meseguer *et al.* (2017a). A tal riguardo, temperature superiori a 27°C limitavano la crescita inibendo il sistema fotosintetico, evidenziando un incremento di mortalità e di senescenza delle foglie e una diminuzione della crescita fogliare e delle radici.

Inoltre, il ruolo dell'idrodinamismo sulla stabilizzazione dei germogli di *P. oceanica* è stato studiato in Infantes *et al.* (2011), mostrando una elevata perdita con una velocità della massa d'acqua superiore a 18 cm s⁻¹.

La manipolazione di alcune variabili ha mostrato maggiori tassi di sopravvivenza e di accrescimento con una maggiore irradiazione e con una più bassa concentrazione dei nutrienti (Caye e Meinesz, 1989). Studi sull'effetto dell'incremento dei nutrienti sono stati analizzati anche in Balestri *et al.* (1998), evidenziando analogamente una riduzione della produzione di radici.

Alcuni fattori biotici, quali la presenza della fanerogama *Cymodocea nodosa* sembrano anch'essi influire sull'insediamento e la crescita dei germogli di *P. oceanica*. In Balestri *et al.* (2021) si evidenziano valori più elevati in presenza di questa fanerogama, mostrando l'importanza di tale interazione e suggerendo indicazioni anche in termini di pianificazione per future azioni di *restoring* mediante germogli.

L'effetto dell'applicazione di stimolanti per la crescita delle piante è stato invece testato su semi di *P. oceanica* coltivati in acquario in Balestri e Bertini (2003), evidenziando effetti sull'inizio dello sviluppo e la crescita delle radici. Il tempo di emergenza delle radici era 2-3 volte minore nei semi trattati rispetto ai controlli, mentre non sono stati osservati effetti legati al dosaggio.

Infine, ulteriori esperimenti in Alagna *et al.* (2015) sono stati ef-

fettuati in condizioni controllate al fine di testare l'insediamento e l'accrescimento dei germogli su diverse tipologie di substrato (roccia *vs* sabbia). Le conclusioni dello studio evidenziano che l'utilizzo di un substrato consolidato (roccia) è di primaria importanza perché i germogli possano insediarsi. Tale substrato deve anche presentare una complessità alla scala del germoglio, ossia dei centimetri, affinché questo consenta al germoglio di scivolare e assestarsi negli spazi interstiziali presenti tra rocce adiacenti e di persistere durante le prime fasi del ciclo vitale in cui manca di un apparato radicale ben sviluppato. A tal riguardo, ulteriori studi relativi alla capacità di adesione di *P. oceanica* al substrato e alle possibili implicazioni nel *restoring* ambientale sono esaminate in Zenone *et al.* (2020) e Alagna *et al.* (2020).

Il reclutamento naturale in mare

Il reclutamento naturale in mare è stato investigato in pochi casi evidenziando risultati a volte contrastanti. Una revisione bibliografica di Balestri *et al.* (2017) ha analizzato la frequenza e l'estensione di fenomeni di reclutamento sessuale di *P. oceanica* in un periodo di 11 anni. I risultati hanno mostrato che i germogli si stabiliscono principalmente in aree riparate a bassa profondità, maggiormente su roccia che su sabbia o *matte*. La sopravvivenza su roccia sembra essere due volte maggiore che su sabbia. In Piazzini *et al.* (1999) la sabbia ha evidenziato analogamente i valori più bassi di sopravvivenza dei germogli, mentre la *matte* ha mostrato valori più elevati rispetto alla roccia.

Sembra inoltre dimostrata l'influenza di differenti microhabitat sulla sopravvivenza e accrescimento di germogli di *P. oceanica*. Nel reclutamento valutato in Balestri e Lardicci (2008) i germogli erano similmente distribuiti su roccia e sabbia, ma la distribuzione non appariva casuale ma a chiazze legata a microhabitat dovuti probabilmente all'idrodinamismo e alle caratteristiche del substrato. Nel reclutamento valutato in Alagna *et al.* (2013) la sopravvivenza è risultata minima su sabbia e ciottoli, e maggiore su substrato roccioso colonizzato dalle macroalghe, con massimi valori nei substrati popolati da *Cystoseira* spp; l'accrescimento, al contrario, è stato maggiore



nei substrati popolati da *Halopteris* spp. e *Dilophus* spp. rispetto a *Cystoseira*. I risultati quindi mostrano che le specie formanti *canopy* favoriscono il reclutamento ma interferiscono con la crescita, che è invece maggiore in popolamenti di specie meno complesse e di dimensioni più ridotte, probabilmente per una maggior disponibilità di luce e nutrienti.

Il trapianto dei germogli in mare

Il trapianto dei germogli in mare è stato impiegato anch'esso in un numero limitato di casi e principalmente per scopi sperimentali. Le percentuali di sopravvivenza dei germogli su *matte* in differenti casi di studio, valutata generalmente su poche centinaia di germogli dopo tre anni, è risultata essere molto variabile nei diversi casi di studio (Meinesz *et al.*, 1993; Balestri *et al.*, 1998; Domínguez *et al.*, 2012; Piazzini *et al.*, 2021; Terrados, 2017), con valori incoraggianti superiori al 50% e altri estremamente bassi prossimi allo zero.

Nei trapianti eseguiti, alcuni tutt'oggi ancora in corso di monitoraggio, sono stati utilizzati sia germogli partendo da semi trattati in acquari sia germogli reperiti direttamente in mare, e sono state testate varie tecniche di ancoraggio (griglie di plastica, griglie di metallo, vasetti di plastica, contenitori di canapa riempiti di ghiaia, reti elastiche con ciottoli, gabbie metalliche riempite di sassi, biostuoie, ecc.) nonché l'ancoraggio di germogli senza l'ausilio di supporti (Castejón Silvo *et al.*, 2018; Terrados *et al.*, 2013). Benché alcuni esperimenti non rilevino determinante la tecnica di ancoraggio nella performance di sopravvivenza dei germogli (Terrados *et al.*, 2013), si sottolinea l'assenza di studi mirati alla comparazione delle differenti tecniche di ancoraggio a parità di condizioni (es: substrato, idrodinamismo, profondità).

Così come osservato nel reclutamento naturale anche nelle attività di trapianto realizzate mediante l'utilizzo di supporti di ancoraggio, la natura del substrato sembra essere determinante nell'evoluzione dell'impianto. Al riguardo, in Balestri *et al.* (1998), si evidenzia una elevata sopravvivenza dei germogli trapiantati su *matte*, mentre sui

ciottoli i germogli non sopravvivono dopo i primi mesi. Il movimento dei ciottoli in acqua e lo sfregamento continuo costituisce probabilmente un disturbo fisico per i germogli danneggiandoli, mentre su *matte* la presenza di vegetazione algale può favorirne la ritenzione e l'attecchimento.

Inoltre, la valutazione dell'influenza del substrato sullo sviluppo radicale dei germogli di *P. oceanica* è stata investigata in alcuni esperimenti in ambiente naturale in Balestri *et al.* (2015). A tal riguardo, i germogli, impiantati su due differenti substrati (sabbia e roccia) hanno mostrato che la crescita orizzontale, la biomassa e la lunghezza totale delle radici non erano influenzati dal substrato, mentre cambiava la struttura dell'apparato radicale. Su sabbia le radici crescevano verticalmente fino ad una lunghezza di 13 cm, mentre su roccia l'accrescimento era maggiormente orizzontale e non superavano i 7 cm. La ramificazione era maggiore su sabbia mentre il diametro era maggiore su roccia. Queste evidenze mostrano, quindi, una plasticità di accrescimento delle radici che permette a *P. oceanica* di impiantarsi su entrambi i substrati.

Ulteriori studi hanno valutato l'effetto degli erbivori, così come l'incremento di nutrienti e la presenza dell'alga invasiva *Caulerpa cylindracea* sui germogli di *P. oceanica* trapiantati *in situ*. Mediante un esperimento di esclusione attraverso gabbie in Balestri *et al.* (1998) si evidenzia che l'esclusione degli erbivori non è rilevante nella sopravvivenza dei germogli, mentre i risultati a breve termine di Pereda-Briones *et al.* (2018) indicano che sia i nutrienti sia *C. cylindracea* possono avere un effetto positivo sulla sopravvivenza e l'accrescimento dei germogli.

I semi di *P. oceanica* pur essendo a oggi utilizzati principalmente a scopo di ricerca, considerando gli alti tassi di sopravvivenza ottenuti sia in coltivazione che nella traslocazione in mare, potrebbero in futuro fornire materiale biologico supplementare, quando disponibile, nelle attività di trapianto in mare. Differenti tecniche possono essere utilizzate, l'importante è assicurarsi l'idoneità del sito particolarmente in relazione al tipo di substrato, alla chimica dell'acqua e all'idro-



dinamismo. Dal momento che più tecniche di ancoraggio possono essere idonee, è quindi sempre più auspicabile l'impiego di ancoraggi naturali e/o biodegradabili.

Nel paragrafo successivo viene descritto un trapianto di germogli in mare di *P. oceanica*, facendo specifico riferimento all'esperienza maturata nel caso di studio di Favignana (Isole Egadi).

Bibliografia

Coltivazione dei semi in ambiente controllato

Alagna A., Vega Fernández T., Anna G. D., Magliola C., Mazzola S., Badalamenti F. (2015). Assessing *Posidonia oceanica* Seedling Substrate Preference: An Experimental Determination of Seedling Anchorage Success in Rocky vs. Sandy Substrates. *PLOS ONE*, 10(4): e0125321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125321>

Alagna A., Zenone A., Badalamenti F. (2020). The perfect microsite: How to maximize *Posidonia oceanica* seedling settlement success for restoration purposes using ecological knowledge. *Marine Environmental Research*, 161: 104846. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.104846>

Badalamenti F., Alagna A., D'Anna G., Di Stefano G., Vega Fernández T. (2010). Sperimentazione di metodologie di facilitazione del reclutamento di germogli di *Posidonia oceanica* finalizzate al ripristino delle praterie. Relazione finale, IAMC-CNR

Balestri E., Piazza L., Cinelli F. (1998). In vitro germination and seedling development of *Posidonia oceanica*. *Aquatic Botany*, 60(1): 83–93. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00017-X)

Balestri E., Bertini S. (2003). Growth and development of *Posidonia oceanica* seedlings treated with plant growth regulators: possible implications for meadow restoration. *Aquatic Botany*, 76(4): 291–297. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(03\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(03)00074-3)

Balestri E., Menicagli V., Lardicci C. (2021). Managing biotic interactions during early seagrass life stages to improve seed-based restoration. *Journal of Applied Ecology*, 58(11): 2453–2462. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13980>

Bedini R. (1997). Esperimenti di coltura di semi di *Posidonia oceanica* in acquario. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie B*, 104: 9–15.

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

Caye G., Meinesz A. (1989). Cultures en milieu artificiel *Posidonia oceanica* a partir de graines. In: *The second international workshop on Posidonia beds*, Eds. V. G. C. F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi, V. Gravez G.I.S. Posidonie, Marseille. 293–299 pp.

Fernández-Torquemada Y., Sánchez-Lizaso J. L. (2013). Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119: 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.12.013>

Guerrero-Meseguer L., Marín A., Sanz-Lázaro C. (2017a). Future heat waves due to climate change threaten the survival of *Posidonia oceanica* seedlings. *Environmental Pollution*, 230: 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.039>

Guerrero-Meseguer L., Sanz-Lázaro C., Suk-ueng K., Marín A. (2017b). Influence of substrate and burial on the development of *Posidonia oceanica*: implications for restoration. *Restoration Ecology*, 25(3): 453–458. <https://doi.org/10.1111/rec.12438>

Guerrero-Meseguer L., Marín A., Sanz-Lázaro C. (2020). Heat wave intensity can vary the cumulative effects of multiple environmental stressors on *Posidonia oceanica* seedlings. *Marine Environmental Research*, 159: 105001. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105001>

Hernán G., Ramajo L., Basso L., Delgado A., Terrados J., Duarte C. M., Tomas F. (2016). Seagrass (*Posidonia oceanica*) seedlings in a high-CO₂ world: from physiology to herbivory. *Scientific Reports*, 6(1): 38017. <https://doi.org/10.1038/srep38017>

Hernán G., Ortega M. J., Gándara A. M., Castejón I., Terrados J., Tomas F. (2017). Future warmer seas: increased stress and susceptibility to grazing in seedlings of a marine habitat-forming species. *Global Change Biology*, 23(11): 4530–4543. <https://doi.org/10.1111/gcb.13768>

Infantes E., Orfila A., Bouma T. J., Simarro G., Terrados J. (2011). *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* seedling tolerance to wave exposure. *Limnology and Oceanography*, 56(6): 2223–2232. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2223>



Zenone A., Filippov A. E., Kovalev A., Badalamenti F., Gorb S. N. (2020). Root Hair Adhesion in *Posidonia oceanica* (L.) Delile Seedlings: A Numerical Modelling Approach. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 6: 88. <https://doi.org/10.3389/fmech.2020.590894>

Reclutamento naturale in mare

Alagna A., Vega Fernández T., Terlizzi A., Badalamenti F. (2013). Influence of microhabitat on seedling survival and growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119: 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.01.009>

Balestri E., Lardicci C. (2008). First evidence of a massive recruitment event in *Posidonia oceanica*: Spatial variation in first-year seedling abundance on a heterogeneous substrate. Submarine groundwater discharge studies along the Ubatuba coastal area in south-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(3): 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.07.048>

Balestri E., Vallerini F., Lardicci C. (2017). Recruitment and Patch Establishment by Seed in the Seagrass *Posidonia oceanica*: Importance and Conservation Implications. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1067. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01067>

Piazzì L., Acunto S., Cinelli F. (1999). In situ survival and development of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedlings. *Aquatic Botany*, 63(2): 103–112. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(98\)00115-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(98)00115-6)

Trapianto dei germogli in mare

Balestri E., Piazzì 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. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00027-6)

Balestri E., de Battisti D., Vallerini F., Lardicci C. (2015). First evidence of root morphological and architectural variations in young *Posidonia oceanica* plants colonizing different substrate typologies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 154: 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.01.002>

Castejón-Silvo I., Borja Á. E., Terrados J. (2018). Practical guide. The planting of *Posidonia oceanica*. Technique used in the R&D+i project ‘Use of seeds and

fragments of *Posidonia oceanica* for the recovery of areas affected by Red Eléctrica de España's activity'. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA publ. 64 pp.

Domínguez M., Celdrán D., Muñoz-Vera A., Infantes E., Martínez-Baños P., Marín A., Terrados J. (2012). Experimental Evaluation of the Restoration Capacity of a Fish-Farm Impacted Area with *Posidonia oceanica* (L.) Delile Seedlings. *Restoration Ecology*, 20(2): 180–187. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00762.x>

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

Pereda-Briones L., Tomas F., Terrados J. (2018). Field transplantation of seagrass (*Posidonia oceanica*) seedlings: Effects of invasive algae and nutrients. Securing a future for seagrass. *Marine Pollution Bulletin*, 134: 160–165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.034>

Piazzì L., Acunto S., Frau F., Atzori F., Cinti M. F., Leone L., Ceccherelli G. (2021). Environmental engineering techniques to restore degraded *Posidonia oceanica* meadows. *Water*, 13(5): 661. <https://doi.org/10.3390/w13050661>

Terrados J. (2017). Transplanting seedlings and rhizome fragments of *Posidonia oceanica* to restore meadows disturbed by the laying of power lines. In: *Expert workshop on innovative approaches to seagrass protection with a focus on the Posidonia oceanica*. 25 - 27 September 2017, Palma de Mallorca, Spain.

Terrados J., Marín A., Celdrán D. (2013). Use of *Posidonia oceanica* seedlings from beach-cast fruits for seagrass planting. *Botanica Marina*, 56(2): 185–195. <https://doi.org/10.1515/bot-2012-0200>



3.1.1 | Ricucitura di impatti meccanici con impianto di germogli di *Posidonia oceanica*

Fabio Badalamenti¹, Adriana Alagna¹, Giovanni D'Anna², Carlo Pipitone¹, Arturo Zenone^{3,1}, Giuseppe Di Stefano², Massimiliano Giacalone⁴

Contesto

Negli ultimi anni è stato osservato che i germogli di *Posidonia oceanica* colonizzano con successo i fondi duri e che il loro insediamento avviene tramite peli radicali adesivi (Badalamenti *et al.*, 2015). Tale strategia rappresenta un meccanismo di primo insediamento e favorisce la persistenza delle piante su substrati rocciosi rispetto a quelli mobili (Alagna *et al.*, 2015; Badalamenti *et al.*, 2015). I peli radicali compaiono subito dopo la germinazione nell'ipocotile e nelle radici principali e avventizie. Il sistema di ancoraggio di *P. oceanica* sembra essere altamente efficiente, specialmente nelle prime fasi di vita della pianta, quando il seme raggiunge il sito di reclutamento e si insedia.

Uno dei principali impatti che determinano danno e regressione dei prati di *Posidonia oceanica* è certamente quello meccanico causato ad esempio dalla pesca a strascico (Telesca *et al.*, 2015). Un danno più lieve, ma comunque capace di determinare nel tempo seri problemi alle praterie è quello causato dalle ancore dei diportisti (Milazzo *et al.*, 2004).

Nelle isole minori del Mediterraneo, divenute meta frequente del turismo nautico, si è assistito spesso a questa tipologia di danno. Gli ancoraggi provocano una sorta di ferita, una vera e propria cicatrice al prato che stenta a riprendersi e, in alcune condizioni può anche ingrandirsi a seguito dell'erosione dei bordi della cicatrice stessa (*fig. 1*).

¹ CNR-IAS, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

² CNR-IAS, Via G. Da Verrazzano, 17, 91014, Castellammare del Golfo (Italia).

³ Stazione Zoologica Anton Dohrn, Dipartimento di Ecologia Marina Integrata, Lungomare Cristoforo Colombo 4521, 90149, Palermo (Italia).

⁴ CNR-IAS via del Mare n. 3, 91021, Torretta Granitola (Italia).



Il CNR-IAS di Palermo e Castellammare del Golfo, nell'ambito del progetto Marine Hazard, PON03PE_00203_1, Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca (MIUR), e in collaborazione con l'Area Marina Protetta Isole Egadi, ha elaborato un esperimento per il trapianto di germogli di *Posidonia oceanica* in un'area dove sono presenti i segni lasciati dall'impatto meccanico di ancore sul posidonieto a Favignana.

Obiettivo di questa attività è di effettuare un trapianto sperimentale nei fondali marini di Favignana (isole Egadi) a partire da semi spiaggiati e fatti germogliare in vasca utilizzando come supporto vasetti riempiti di sole pietre e di pietre insieme a lana di roccia a diverse densità.

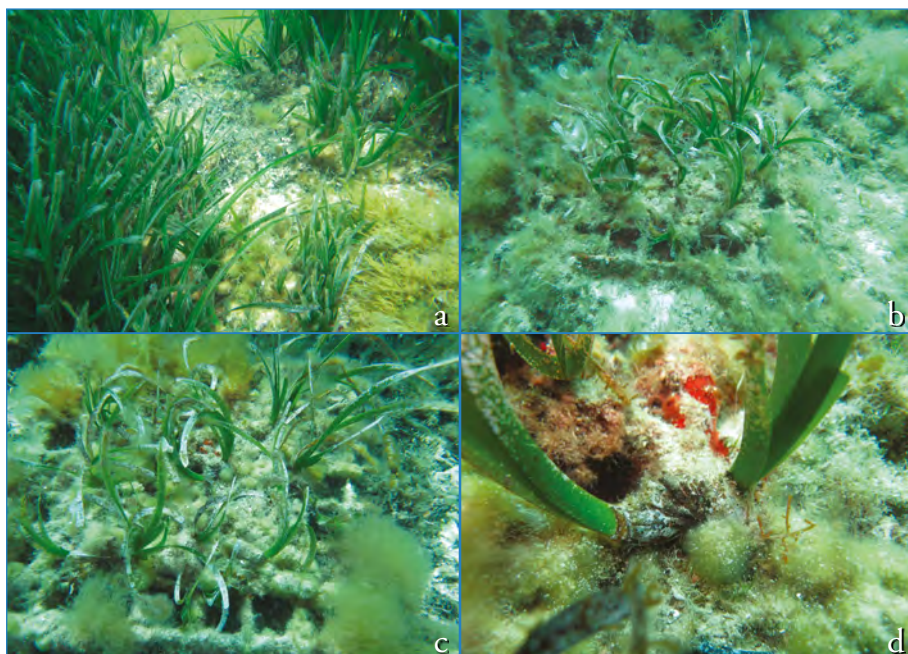


Figura 1 | Fasi del monitoraggio del trapianto di germogli di P. oceanica effettuato utilizzando griglie.

- a) particolare di un'area con una "cicatrice" causata da un ancoraggio; b) e c) particolari di una griglia nel monitoraggio del maggio 2018 e 2019, rispettivamente; d) dettaglio di un germoglio nel monitoraggio del 2019 che sta sviluppando un rizoma plagiotropo.*

Descrizione della tecnica di germinazione

Nel mese di aprile 2016 sono stati raccolti 500 semi spiaggiati lungo le coste del comune di Marsala (TP). Subito dopo la raccolta i semi sono stati trasportati in laboratorio in acquari dedicati e posti a germogliare nelle vasche più piccole della struttura denominata *Wet Lab* a Torretta Granitola; preventivamente sono stati effettuati i controlli necessari per l'eventuale rimozione dei semi contaminati da muffe oppure non più vitali.

Nello specifico il *Wet Lab* è un container coibentato e attrezzato per la stabulazione di piccoli organismi marini (larve e forme giovanili) prodotto dalla ditta francese ECOCEAN. Il container ha dimensioni 6 x 2 m ed è provvisto al suo interno di 24 vasche da 20 l e 5 vasche da 300 l più un sistema di depurazione dell'acqua completo di filtri meccanici e biologici e lampade UV.

L'illuminazione artificiale proviene da lampade a neon (temperatura di colore della luce naturale/calda), mentre la regolazione della temperatura ambiente è affidata ad un condizionatore d'aria (che mantiene costante anche la temperatura dell'acqua) più un refrigeratore di emergenza in caso di necessità. All'interno delle vasche, la filtrazione totale dell'acqua avviene con una frequenza di circa 3 volte/ora.

Ad uno stadio avanzato della crescita (con presenza della radice primaria e delle prime foglie ben sviluppate, a circa tre settimane dalla raccolta), i germogli sono stati collocati all'interno di 400 vasetti forati (con lume e altezza di 5 cm), la metà dei quali conteneva ciottoli di materiale calcareo tra i quali veniva posizionato il seme, mentre all'altra metà è stata aggiunta della lana di roccia che ricopriva l'apertura dei vasetti.

I vasetti sono stati distribuiti in 4 delle vasche del *Wet Lab* incastrandoli nelle cavità di mattoni forati posti precedentemente sul fondo degli stabulari (fig. 2). I germogli sono rimasti in acquario fino al mese di novembre 2016, quando è avvenuto il trasferimento a Favignana e il trapianto in mare.





Figura 2 | Dettaglio delle vasche del Wet Lab con i germogli già collocati all'interno dei vasetti e posti a dimora all'interno dei fori dei mattoni da costruzione.

Descrizione della tecnica di trapianto

Il disegno sperimentale prevedeva di trapiantare i vasetti con i germogli su *matte* morta di *Posidonia* mediante l'utilizzo di griglie in acciaio di 35 x 35 cm e maglia da 5 cm (*fig. 1*). Le griglie sono state riempite con le due tipologie di vasetti (con pietre, CP, e con pietre e lana di roccia, CPLR) con tre diverse densità (5, 13 e 25 vasetti per griglia) per un totale di 18 griglie e 258 germogli. Le griglie sono state distribuite all'interno di un'area della costa meridionale dell'isola di Favignana dove erano stati registrati piccoli impatti sulla pianta causati dall'ancoraggio di barche da diporto, che avevano lasciato cicatrici sul substrato privato dei rizomi della pianta (la cosiddetta *matte* morta).

Nel mese di novembre 2016, i 258 vasetti contenenti i germogli con circa 8 mesi di vita sono stati avvolti con una rete di cotone elastico e trasportati dal *Wet Lab* all'isola di Favignana all'interno di box coibentati per evitare lo stress termico durante il viaggio. Giunti a Favignana i germogli sono stati trasferiti a bordo di una imbarcazione messa a disposizione dall'area marina protetta "Isole Egadi". Il 21 novembre 2016 è stato effettuato il trapianto sperimentale in località Calamone (*fig. 3*). Gli operatori subacquei hanno fissato le griglie all'interno dell'area caratterizzata dalla presenza di "cicatrici con *matte* morta". Le griglie di acciaio sono state fissate al fondo a 10 m di profondità utilizzando dei piccoli paletti in acciaio (*fig. 4*).



*Figura 3 | Riempimento delle griglie con i vasetti contenenti i germogli di *P. oceanica* protetti da rete di cotone elastico a bordo dell'imbarcazione (a) e trasferimento a mare (b).*

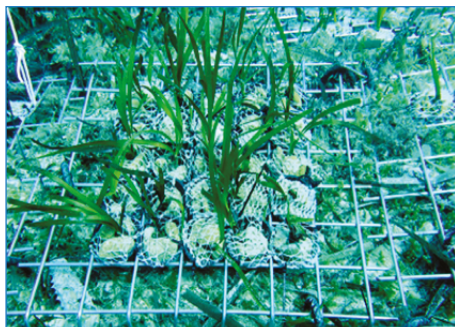


Figura 4 | Dettaglio di una griglia con densità di 25 vasetti collocata sulla matte morta di Posidonia.

Risultati

La sopravvivenza dei germogli in acquario è stata pari all'80% corrispondente a 360 germogli vitali.

Il trapianto è stato controllato periodicamente per verificare la persistenza delle griglie e per stimare il tasso di sopravvivenza dei germogli per tipologia di vasetto e per densità a maggio 2018, 2019 e 2021. Dai monitoraggi tutte le griglie sono risultate in posizione e tutti i vasetti presenti nelle griglie. In termini percentuali si è osservata una diminuzione nel tempo del numero di germogli sopravvissuti che varia da un minimo del 18% nelle griglie ad elevata densità fino ad un massimo del 100% in alcune griglie a bassa densità di germo-

gli. La sopravvivenza è risultata proporzionale alla densità iniziale. In entrambe le tipologie di vasetto la sopravvivenza maggiore si è registrata alla densità di 25 germogli per griglia e la minore alla densità di 5 germogli per griglia. I vasetti con pietre e lana di roccia (CPLR) hanno mostrato valori di sopravvivenza relativamente superiori rispetto ai vasetti con sole pietre (CP).

Sostenibilità ambientale della tecnica

La ricerca brevemente riportata in queste pagine è ancora in corso. I risultati, sebbene incoraggianti, sono del tutto preliminari. Sono necessarie ulteriori sperimentazioni prima di poter giungere a formulare una ipotesi di riforestazione su piccola scala attraverso l'utilizzo di germogli. Tra gli argomenti di frontiera, affrontati nel progetto citato *Marine Hazard*, vi è la scelta di substrati eco-compatibili da usare come supporto per l'impianto dei germogli e il contrasto alle infezioni mediate da patogeni che si sviluppano durante le fasi di germinazione dei semi e crescita delle plantule.

Periodo di intervento

La raccolta dei semi avviene tra aprile e giugno, la semina preferibilmente nel mese di novembre.

Bibliografia

Alagna A., Vega Fernández T., Anna G. D., Magliola C., Mazzola S., Badalamenti F. (2015). Assessing *Posidonia oceanica* Seedling Substrate Preference: An Experimental Determination of Seedling Anchorage Success in Rocky vs. Sandy Substrates. *PLOS ONE*, 10(4): e0125321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125321>

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

Milazzo M., Badalamenti F., Ceccherelli G., Chemello R. (2004). Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western

Mediterranean): Effect of anchor types in different anchoring stages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299. 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2003.09.003>

Telesca L., Belluscio A., Criscoli A., Ardizzone G., Apostolaki E. T., Fraschetti S., Gristina M., Knittweis L., Martin C. S., Pergent G., Alagna A., Badalamenti F., Garofalo G., Gerakaris V., Louise Pace M., Pergent-Martini C. and Salomidi M. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports* 5 12505. <https://doi.org/10.1038/srep12505>





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





S.E.POS.S.O.

Supporting Environmental governance
for the POSidonia oceanica Sustainable
transplanting Operations

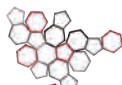
Life project



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



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Settentrionale
Rivoli di Livorno, Piombino,
Capraia Isola, Portoferraio, Rio Marina, Cavo

