

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

Laboratorio di Ecologia Marina di Castellammare del Golfo

IPOTESI TEORICHE PER LA SPERIMENTAZIONE DI METODOLOGIE DI FACILITAZIONE DEL RECLUTAMENTO DI GERMOGLI *POSIDONIA OCEANICA* FINALIZZATE AL RIPRISTINO DELLE PRATERIE

Maggio 2010

IAMC-CNR

Sede distaccata di Castellammare del Golfo – via G. Da Verrazzano, 17 – 91014 Castellammare del Golfo (TP), Sicilia

Sede principale U.O.S. di Mazara del Vallo - Via Vaccara, 61 - 91026 Mazara del Vallo (TP) Sicilia

Consulenza scientifica nel campo del ripristino delle praterie di *Posidonia oceanica* per SAIPEM S.p.A.

DOC. N 109433-IAMC-SOW-001

CONTRATTO N. 506019 del 19/04/2010

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

Istituto per l'Ambiente Marino Costiero

Laboratorio di Ecologia Marina di Castellammare del Golfo

IPOSTESI TEORICHE PER LA SPERIMENTAZIONE DI METODOLOGIE DI FACILITAZIONE DEL RECLUTAMENTO DI GERMOGLI POSIDONIA OCEANICA FINALIZZATE AL RIPRISTINO DELLE PRATERIE

Maggio 2010

Autori:

Responsabile scientifico: Dott. Fabio Badalamenti

Hanno collaborato alla ricerca: Dott.ssa Adriana Alagna, Assegnista di Ricerca
Dott. Giovanni D'Anna, ricercatore
Sig. Giuseppe Di Stefano, CTER
Dott. Tomás Vega Fernández, ricercatore

IAMC-CNR

Sede distaccata di Castellammare del Golfo – via G. Da Verrazzano, 17 – 91014 Castellammare del Golfo (TP), Sicilia

Sede principale U.O.S. di Mazara del Vallo - Via Vaccara, 61 - 91026 Mazara del Vallo (TP) Sicilia

Consulenza scientifica nel campo del ripristino delle praterie di *Posidonia oceanica* per SAIPEM S.p.A.

DOC. N 109433-IAMC-SOW-001

CONTRATTO N. 506019 del 19/04/2010

INDICE DEI CONTENUTI

Lista delle figure.....	3
Premessa.....	4
 Capitolo V: Ipotesi di possibili tecniche di mitigazione dell'impatto lungo lo scavo, sulla base delle esperienze di Capo Feto: preparazione del substrato, modalità di asportazione, stoccaggio e redistribuzione del materiale vegetale sullo scavo	
5.1 Mitigazione dell'impatto lungo lo scavo.....	6
5.2 Possibilità di riutilizzo del materiale vegetale asportato.....	7
5.3 Facilitazione del re-impianto.....	8
5.4 L'esperienza di Capo Feto.....	8
5.5 Suggesti relativi a preparazione del substrato, modalità di asportazione, stoccaggio e redistribuzione del materiale vegetale sullo scavo.....	9
 Capitolo VI: Ipotesi teoriche di facilitazione del reclutamento naturale di germogli, da verificare e validare in sede di sperimentazione.	
6.1 Influenza della tipologia e complessità del substrato sull'impianto e le performance di crescita di germogli di P. oceanica per scopi di ripristino.....	14

6.2 Fase di campo: raccolta dei frutti/semi.....14

6.3 In laboratorio.....15

6.4 In campo: rilascio dei germogli.....19

Capitolo VII: Ipotesi sulle caratteristiche ottimali delle aree di prelievo e di ricevimento dei propaguli (germogli e rizomi).

7.1 Linee guida.....22

7.2 Sito ricevente22

7.3 Siti donatori.....25

Capitolo VIII: Bibliografia citata.....26

LISTA DELLE FIGURE

Fig.1: Calcare poroso utilizzato come materiale edile (questi sono prodotti da una industria di Kiev).....	17
Fig.2: Rocce calcaree.....	17
Fig.3: Rocce per acquari (spesso aragonite).....	18
Fig.4 : Frangisole in cotto, utilizzati nell'edilizia.....	18
Fig.5: rete e stuoia di canapa.....	18

Premessa

Dopo un attento studio sull'esperienza di trapianto di zolle di *Posidonia oceanica* effettuato in Spagna e visti i deludenti risultati ottenuti (Sanchez Lizaso et al. 2009), per i fini di questa relazione si è preferito sostituire il titolo di due dei capitoli (VI e VII) della fase due. Pertanto il titolo del capitolo VI "Ipotesi teoriche di modalità operative ottimali per il trasferimento di zolle, da verificare e validare in sede di sperimentazione" verrà sostituito con : **Ipotesi teoriche di facilitazione del reclutamento naturale di germogli da verificare e validare in sede di sperimentazione** mentre il titolo del capitolo VII "Ipotesi teoriche delle caratteristiche ottimali delle aree di prelievo e di ricevimento delle zolle, da verificare e validare in sede di sperimentazione" verrà sostituito con: **Ipotesi sulle caratteristiche ottimali delle aree di prelievo e di ricevimento dei propaguli (germogli e rizomi).**

Capitolo V

Ipotesi di possibili tecniche di mitigazione dell'impatto lungo lo scavo, sulla base delle esperienze di Capo

Feto: preparazione del substrato, modalità di asportazione, stoccaggio e redistribuzione del materiale

vegetale sullo scavo

5.1 Mitigazione dell'impatto lungo lo scavo

Il consiglio di precauzione generale è quello di evitare di effettuare qualunque operazione di scavo su praterie a fanerogame marine ed in particolare su *Posidonia oceanica* che come abbiamo visto in precedenza ha caratteristiche del ciclo vitale e dinamica di crescita distinti da altre fanerogame anche appartenenti allo stesso genere, che rendono questa specie particolarmente sensibile alle alterazioni delle condizioni ambientali e fanno sì che il recupero, se avviene, sia molto lento e difficoltoso.

Il dragaggio del fondale marino per la posa di condotte sottomarine può determinare impatti diretti ed indiretti sulle praterie di fanerogame marine in genere e di *P. oceanica* in particolare. Gli impatti diretti sono rappresentati dalla distruzione meccanica del prato in corrispondenza dello scavo della trincea (Badalamenti et al., in prep.) e nei punti in cui avvengono gli ancoraggi delle imbarcazioni adibite alla posa o al collegamento dei tubi. Altro impatto diretto è costituito dal seppellimento delle piante dovuto alla deposizione del materiale estratto direttamente sulla prateria o nelle vicinanze. Questo materiale può essere re-distribuito da correnti e moto ondoso producendo il seppellimento della prateria o l'alterazione del regime sedimentario, mentre la frazione più sottile può essere portata in sospensione determinando una diminuzione della trasparenza delle acque, provocando un ulteriore disturbo indiretto per la prateria stessa (Badalamenti et al., 2006).

Gli impatti indiretti sono costituiti principalmente dall'aumento di torbidità associata alle attività di dragaggio, che può anche persistere nel tempo, e dall'instabilità dei materiali eventualmente deposti sul fondo, sia di quelli dragati sia di quelli utilizzati come materiali di riempimento (Badalamenti et al., 2006; Kaldy et al., 2004; Sheridan, 2004; Brown-Peterson et al., 1993).

Nel caso in cui non sia possibile in alcun modo evitare lo scavo della trincea sulla prateria o nelle vicinanze della stessa, e si dispone delle necessarie autorizzazioni, le principali misure di mitigazione comprendono:

- l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili per ridurre le dimensioni della trincea e per

scavare trincee con limiti netti

- l'utilizzo di tunnel sotterranei tutte le volte che questo è possibile
- evitare ogni forma di ancoraggio sulle praterie e l'azione erosiva di cavi e catene legati alle ancore
- l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili per minimizzare la quantità di sedimento portato in sospensione durante lo scavo per ridurre la torbidità sia nello spazio che nel tempo
- evitare la deposizione dei materiali di scavo sulla prateria o nelle vicinanze della stessa
- preferire l'utilizzo di materiali consolidati, difficilmente erodibili o trasportabili con le correnti, per il riempimento della zona scavata.

5.2 Possibilità di riutilizzo del materiale vegetale asportato

Per quanto riguarda la possibilità di utilizzare parte del materiale vegetale asportato dalla trincea per rivegetare l'area danneggiata, occorre una cauta valutazione alla luce dei tentativi pregressi di ripristino effettuati su praterie di *P. oceanica* e dell'insieme delle condizioni ambientali in cui si troverà il sito subito dopo l'intervento di dragaggio e posa delle condotte. Ad esempio, nel trapianto di zolle effettuato in Spagna la mortalità di fascicoli foliari è stata elevata tanto all'interno delle zolle quanto ai margini delle aree di prelievo delle zolle stesse (prateria donatrice) (Sanchez-Lisazo et al., 2009).

Finora i trapianti di *P. oceanica* sono stati realizzati utilizzando rizomi senza sedimento associato e, più di recente, utilizzando zolle di 1m² di superficie e 40 cm di profondità, trapiantati per lo più su sabbia e mattoni morti utilizzando supporti artificiali come reti, griglie e persino materiale utilizzato in ambiente terrestre per l'ingegneria naturalistica per assicurare i propaguli al substrato. Gli esiti di queste sperimentazioni sono risultati altamente variabili (Molenaar e Meinesz, 1995: da 0% ad 84% di sopravvivenza dei propaguli dopo tre anni; Piazzi et al., 1998 da 76% a 59.5 % di sopravvivenza in tre anni) o nettamente negativi (Vangeluwe, 2007;

Sanchez-Lisazo, 2009). A fronte di questi risultati e della mancanza di dati di monitoraggio di lungo termine (il monitoraggio dei trapianti realizzati su *P. oceanica* non supera i 3 anni, mentre sarebbero necessari tempi più lunghi), i tempi e costi di implementazione sono elevati e rendono queste metodologie finanziariamente e logisticamente inapplicabili a media (10^2m^2) e larga scala ($10^3\text{-}10^4\text{ m}^2$ o più), tanto che alcuni autori concludono che il trapianto di *P. oceanica* non è fattibile e che da un punto di vista gestionale è preferibile puntare alla protezione delle praterie esistenti (Sanchez-Lisazo et al., 2009; Vangeluwe 2007).

5.3 Facilitazione del re-impianto

Spesso il fallimento dei tentativi di trapianto realizzati su fanerogame marine è stato imputato ad errori nella pianificazione degli interventi e nella selezione di siti idonei ma anche alla scarsa conoscenza dei fattori ambientali che controllano lo sviluppo e la distribuzione delle specie (Balestri et al., 1998), cioè dei requisiti dell'habitat delle specie. Recentemente l'ecologia del ripristino delle fanerogame marine ha puntato a sviluppare metodologie più efficienti e con un miglior rapporto costi-benefici, basate principalmente sulla capacità delle specie di recuperare naturalmente e sulla presenza di popolazioni ben sviluppate nell'area interessata dal ripristino che possono agire come fonte di propaguli, accelerando il recupero complessivo del sistema (Harwell e Orth 1999; Orth *et al.*, 2006 AqBot; Wear et al., 2006; Orth *et al.*, 1994;).

Le metodologie di facilitazione del reclutamento naturale prevedono l'introduzione nell'ambiente marino di strutture specifiche in relazione alle caratteristiche morfologiche ed ecologiche delle specie, che favoriscano il processo naturale di insediamento e reclutamento di germogli o propaguli vegetativi aumentando la probabilità di sopravvivenza dei propaguli stessi nel tempo e la loro espansione in nuove patches.

Queste metodiche devono necessariamente basarsi sulla conoscenza e sulla comprensione dei processi naturali specie-specifici di colonizzazione e reclutamento, e di come i fattori ambientali incidano su questi processi.

5.4 L'esperienza di Capo Feto

I risultati ottenuti a Capo Feto indicano un recupero persistente e continuo della prateria osservato con varie metodologie nell'arco di 10 anni (Badalamenti et al., in prep.; Di Carlo (Di Carlo, Badalamenti et al. 2005)et al. 2005). Il recupero della prateria è avvenuto prevalentemente tramite il reclutamento di propaguli vegetativi. Si tratta di frammenti di rizoma provenienti dalla prateria circostante che, divelti dalle mareggiate, restano sul fondo e sono trasportati dal moto ondoso e dalle correnti fino ad incastrarsi tra le fessure presenti nel substrato. Una volta incastrati, se trovano condizioni idonee per la sopravvivenza, possono persistere ed espandersi. In alcune zone della trincea (*valley*) di Capo Feto la densità dei fascicoli foliari raggiunta nel 2003 è stata in media di 342 ± 17 fasci m^2 , valore che non differisce in modo significativo dalle densità presenti nei siti di controllo situati nella prateria originaria a 5 e 15 metri di profondità. I dati raccolti dimostrano che i principali fattori ambientali che influenzano il processo di reclutamento dei propaguli vegetativi sono: la tipologia e complessità del substrato, l'idrodinamismo e il tasso di sedimentazione. Il recupero della prateria avviene solo sui cumuli di pietrame calcareo (*rubble mounds*) utilizzato per colmare la trincea, che costituisce un substrato consolidato, stabile anche in condizioni di elevato idrodinamismo e con una complessità alla scala dei centimetri che consente ai propaguli di rimanere bloccati tra le fessure (Badalamenti et al., in prep.). La morfologia dei *rubble mounds* determina una maggiore incidenza dell'idrodinamismo ed un minore tasso di sedimentazione sulle sommità e sui lati dei cumuli rispetto alle valli tra i cumuli, che rappresentano aree più riparate dove in tasso di sedimentazione è maggiore (Di Carlo et al., 2005). Per questo sulle sommità e sui lati dei cumuli i propaguli si insediano ma non persistono, mentre nelle valli si realizzano le condizioni ottimali per la persistenza e l'espansione dei propaguli e la coalescenza delle *patches* (Di Carlo et al., 2005). Tuttavia nel tempo è probabile una espansione delle *patches* dalle valli verso la sommità dei cumuli.

5.5 Suggerimenti relativi a preparazione del substrato, modalità di asportazione, stoccaggio e ridistribuzione del materiale vegetale sullo scavo

Preparazione del substrato

Sulla base delle esperienze riportate in precedenza si suggerisce di colmare la trincea con materiale costituito da pietrame di dimensioni e natura geologica comparabili a quelle utilizzate per Capo Feto. Nel colmare la trincea bisogna avere cura di non superare l'altezza della matre (o del livello del fondo marino). Questa precauzione è importante per due motivi: a) le pietre che vanno a ricoprire la trincea restano bloccate nell'alveo e si sposteranno con difficoltà fuori dalla trincea, limitando i danni di erosione alla prateria circostante; b) la trincea, essendo ribassata rispetto all'area circostante, si comporta come una trappola tanto per i sedimenti circostanti quanto per i propaguli, facilitandone l'insediamento ed il successivo sviluppo. La pezzatura utilizzata si è rivelata idonea per l'ancoraggio dei rizomi e la compattezza del calcare ha evitato che i massi si sgretolassero nel tempo in seguito all'azione di correnti e moto ondoso. Il pietrame utilizzato era costituito da materiale calcareo di cava di pezzatura media di 19x15x10 cm ma erano presenti anche pietre di pezzature più piccole. L'altezza della massiciata costituita da questo materiale dovrebbe essere di circa 50 cm. L'associazione di blocchi di maggiori dimensioni e di pietre più piccole ha determinato un vasto assortimento di nicchie e fessure e a questo si deve in gran parte il successo registrato a Capo Feto. Per futuri interventi potrebbe essere utilizzato un materiale di cava locale, il più possibile simile a quello presente nel sito dell'intervento e comunque resistente all'erosione. Vanno dunque esclusi materiali come le calcareniti eccessivamente "tenere", poco cementate e facilmente erodibili come quelle generalmente note come "tufo", diffuse nella zona di Mazzara del Vallo (Tp). Se nell'area circostante al sito è presente una prateria questa potrà agire come fonte di propaguli vegetativi e/o semi e dare inizio ad un processo naturale di rivegetazione.

Modalità di asportazione

Sulle modalità di asportazione si è detto in precedenza. E' possibile raccogliere ampie zolle da dimorare in aree riceventi ma la mortalità attesa è elevata tanto nel sito donatore quanto in quello ricevente (di stoccaggio nel nostro caso). Considerata la grande quantità di prato da asportare nel caso dello scavo di una trincea, può

tuttavia valere la pena di tentare un recupero del materiale vivente estratto. I metodi sono da sperimentare. Come realizzato per altre fanerogame si potrebbe tentare l'utilizzo di una benna costruita specificatamente per questa operazione. Il materiale bennato andrebbe smistato per eliminare i detriti e separare rizomi privi di sedimento. Si consiglia l'utilizzo di ampi setacci ma si sottolinea la necessità di prendersi cura dei sedimenti e dei detriti che risulteranno dalla setacciatura. Questi non possono essere ributtati in mare nell'area interessata dalla prateria. Dallo smistamento dovrebbero essere estratti rizomi integri per il successivo stoccaggio.

Modalità di stoccaggio e redistribuzione

Dal momento dell'estrazione del materiale vegetale (come descritto in precedenza) al momento del riposizionamento sulla trincea i rizomi vanno tenuti in vasche aerate in cui temperatura, salinità, ossigenazione dell'acqua siano simili a quelle dell'ambiente naturale da cui sono stati prelevati (ad esempio in giugno: temperatura di 18 °C, salinità 35‰, radiazione luminosa di 6000Kelvin (400-700nm), con fotoperiodo di 16h). In alternativa il materiale vegetale può essere tenuto in mare per brevi periodi ma assicurando una adeguata circolazione di acqua. I rizomi, soprattutto nelle porzioni danneggiate potrebbero andare in corso a fenomeni di necrosi o infezioni se non esposti ad acque libere ed ossigenate. Lo stoccaggio deve necessariamente essere di breve durata. I rizomi sopravvissuti potranno essere rilasciati sulla massicciata che ricopre la trincea o venire inseriti manualmente nelle fessure presenti tra i massi del substrato roccioso artificiale da subacquei, potenziando il processo di recupero naturale (vedi esperienza di Capo Feto). Prima di riposizionare i rizomi, o comunque prima di realizzare qualsiasi intervento di ripristino, occorre valutare, fin da subito, se le condizioni del sito siano idonee alla sopravvivenza di *P. oceanica*, soprattutto dal punto di vista della trasparenza delle acque e della stabilità del substrato o se sia necessario aspettare alcuni mesi. La distribuzione può avvenire in immersione, come suggerito, ma si tratta di un'operazione costosa. L'alternativa è quella di rilasciare dall'alto i rizomi avendo cura che cadano sulla massicciata. L'attesa è che se i rizomi sono vitali si andranno in poco tempo ad incastrare tra i massi. Il successo di questo processo non è tuttavia valutabile.

A nostro avviso la parte più importante per garantire il successo della ricolonizzazione è la preparazione della massicciata, che ha lo scopo principale di garantire, in tempi lunghi, decenni, il recupero spontaneo del prato. Il tentativo di utilizzare il materiale vegetale (rizomi) asportato con lo scavo si riferisce alla possibilità di accelerare questo processo. Purtroppo nulla di simile è stata mai realizzato e le incertezze sono molte. In particolare non si conosce l'impatto che la benna o altro tipo di estrazione avrà sui rizomi, non si conosce l'effetto della setacciatura e dello stoccaggio (in mare o vasca) e non si conosce per quanto tempo rizomi sottoposti a questo trattamento possano resistere isolati dal substrato.

Capitolo VI

Ipotesi teoriche di facilitazione del reclutamento naturale di germogli, da verificare e validare in sede di sperimentazione.

6.1 Influenza della tipologia e complessità del substrato sull'impianto e le performance di crescita di germogli di *P. oceanica* per scopi di ripristino.

Una possibilità per facilitare il ripristino dei prati impattati è quella di fare ricorso alla riproduzione sessuale della pianta, e dunque all'annuale produzione di frutti/semi/germogli. Anche in questo caso, un ruolo fondamentale è giocato dal substrato sul quale fare attecchire e crescere semi e germogli. Il suggerimento è quello di iniziare una specifica sperimentazione che preveda:

- raccolta dei frutti/semi
- sperimentazioni in vasca
- rilascio in mare di germogli trattati in modo diverso

Occorre una fase sperimentale per valutare la scelta del substrato più idoneo alla semina, che migliori le probabilità di ancoraggio e persistenza del germoglio e che garantisca le migliori performance di crescita. Fondamentale è dunque la sperimentazione in vasca, in cui i semi verranno fatti germogliare su diverse tipologie di substrato. Natura e complessità, sia quella propria del materiale utilizzato ma soprattutto quella determinata dalla pezzatura del materiale scelto (porosità/volume interstiziale), sono le principali variabili dello studio suggerito. Le finalità applicative di questa iniziativa sono due. Da una parte si comprenderà quale possa essere il miglior materiale con il quale ricoprire una trincea per facilitare il reclutamento dei germogli di *Posidonia oceanica* dall'altra, si valuterà la possibilità di creare un vivaio di germogli adesi su substrati idonei e pronti per un successivo trasporto in trincea. Il concetto di base in quest'ultimo caso è quello di sfruttare la capacità dei germogli di aderire saldamente a materiale consolidato attraverso le radici (osservazioni personali).

6.2 Fase di campo: raccolta dei frutti/semi

Riguarda la raccolta di frutti/semi/germogli ed il loro posizionamento in vasche con diverse tipologie di substrato.

6.3 In laboratorio

Trattamenti:

per valutare la capacità di attecchimento dei semi si possono utilizzare substrati (trattamenti) di diversa natura e complessità ed effettuare poi delle comparazioni sulle variabili di risposta dei germogli. Tra i possibili substrati da utilizzare elenchiamo:

- sabbia: substrato non consolidato, granulometria fine

- piccoli blocchi di roccia di dimensione variabile, tra cui selezionare più classi dimensionali .Sarà possibile ottenere substrati caratterizzati da complessità diversa componendo percentuali diverse di ciascuna classe dimensionale del pietrame precedentemente selezionato. Ad una maggiore complessità corrisponderà un maggiore quantità di fessure sul substrato ed un minore volume interstiziale del mezzo così composto. Nel caso si volesse creare un vivaio con germogli da trasportare in mare, un problema potenziale è rappresentato dal fatto che sarebbe utile ottenere germogli ancorati ad un singolo elemento, altrimenti poi il trasporto in situ (a mare) diventa difficile. Inoltre più i ciottoli sono grossi più sarà difficile trasportarli. Una alternativa è rappresentata dalla possibilità di raggruppare i ciottoli dentro piccole strutture (vasi) e poi trasportare più germogli alla volta in ciascun "vaso". Per ciascuna pezzatura dei blocchi è anche possibile utilizzare materiali diversi, cioè con diversa natura della roccia e dunque diversa complessità (rugosità) intrinseca del substrato. Ad esempio un calcare caratterizzato da una struttura complessa, con fessure o buchi di 1-3 cm di larghezza ed alcuni cm di profondità (Fig.1- pezzi più piccoli del blocco in primo piano, fig.2), o una calcarenite vacuolare, come residuo di cava, magari scartato come materiale da costruzione perché troppo poroso. Tuttavia in questo caso bisognerebbe accertarsi che la quantità e qualità del cemento tra i granuli sia tale da conferire una certa resistenza all'erosione una volta che il materiale viene posizionato sottacqua. Una superficie più complessa

potrebbe migliorare l'adesione delle radici al substrato ed il loro sviluppo nelle irregolarità della roccia , aumentando le probabilità di ancoraggio e persistenza del germoglio e dunque il successo di reclutamento. Rocce calcaree "complesse" sono anche vendute come materiale d'arredo per acquari (Fig.3), ma riteniamo che i costi siano eccessivi e la disponibilità limitata. Sugeriamo pertanto il materiale di cava.

- materiali in cotto di produzione industriale: un esempio è riportato in Fig.4: sono più leggeri e disponibili a costi contenuti. Tuttavia l'idea di portare in ambiente marino un materiale artificiale in grande quantità suscita alcune perplessità

- stuoie, reti di canapa (Fig.5). Materiali simili a reti o stuoie in materiale naturale potrebbero funzionare per l'ancoraggio spontaneo dei germogli grazie l'accrescimento delle radici tra le maglie. Resta il problema di ancorare poi questi materiali al fondo, il che è un processo laborioso, e c'è il rischio che prima o poi le strutture vadano perse con le mareggiate.

- germogli semplicemente legati ad un peso.

Variabili di risposta:

- % di semi che germogliano in laboratorio.

- % di germogli che sopravvivono dalla germinazione alla fine della coltura

- % di germogli ancorati. L'attesa è di una ampia variabilità in relazione alla natura e complessità di substrato. In particolare ci aspettiamo una maggiore percentuale di germogli ancorati su substrato consolidato rispetto a substrato non consolidato (sabbia), ed all'aumentare della complessità del substrato.

- Performance di crescita: variabili biometriche, biomassa (peso secco) complessiva del germoglio, allocazione della biomassa tra i comparti (rapporto radici: rizoma-seme: fascio foliare), carboidrati non strutturali (NSCC) di riserva del seme. La previsione è di variazioni importanti in relazione alla tipologia di substrato, con maggiore biomassa e sviluppo radicale (lunghezza, numero di radici) su substrati consolidati. Nel caso in cui sia possibile raggiungere un numero di repliche sufficienti, si potrebbero avere più "Time", ciò consentirebbe di prelevare di volta in volta dei germogli su cui effettuare misurazioni distruttive e valutare nel

tempo le differenze di accrescimento tra i vari substrati. In alternativa si potrebbe provare a fare misure biometriche non distruttive sui germogli fotografandoli.



Fig.1: Calcare poroso utilizzato come materiale edile (questi sono prodotti da una industria di Kiev)
<http://www.ua.allbiz.info/it/buy/goods/?group=1076483>



Cavità d'interstrato suborizzontali. Calcare bioclastico miocenico. Boragni, Valle Sciusa (Liguria).

Fig.2



Fig.3: Rocce per acquari (spesso aragonite)

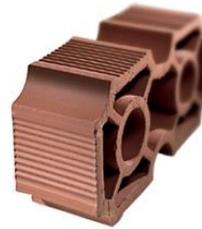


Fig.4 : Frangisole in cotto, utilizzati nell'edilizia. Questi sono prodotti da Pica:

http://www.pica.it/prodotto.asp?pr_id=179



Fig.5: rete e stuoia di canapa.

6.4 In campo: rilascio dei germogli

In questo caso bisogna capire qual è il substrato di base su cui lavorare, cioè il materiale con cui verrà probabilmente riempito il trench. Sarebbe meglio proporre un substrato di base costituito o sempre da *rubbles* calcarei simili a quelli di Capo Feto, o anche da un substrato più complesso ma che assicuri la stessa stabilità. Ad esempio massi della stessa dimensione dei rubble ma costituiti da una pietra calcarea porosa o calcarenitica della giusta complessità. Chiaramente bisogna valutare disponibilità e costi di un materiale del genere, probabilmente si potrebbe valutare l'utilizzo di materiale proveniente da cave locali. In tutti i casi l'utilizzo di blocchi di pietra troppo piccoli come substrato di base per facilitare il reclutamento dei germogli è pericoloso perché si muoverebbero sottacqua causando la perdita o il danneggiamento dei germogli stessi. I massi (circa 19.2 ± 9.5 SD x 15.9 ± 2.3 SD x 10.6 ± 1.9 SD cm) assicurano la facilitazione del reclutamento dei vegetative fragments tra un masso e l'altro e la giusta stabilità nel tempo, viste le dimensioni. Una maggiore complessità dei massi (buchi di 1-3 cm di larghezza e alcuni cm di profondità sarebbe ideale, o fessure) potrebbe permettere la semina dei semi non ancora germinati direttamente sul substrato, senza fase di coltivazione in laboratorio. La soluzione che intravediamo è quella di provare a sperimentare diverse composizioni di taglia di massi dello stesso materiale. Si potrebbero avere massi grandi come quelli utilizzati a Capo Feto associati a percentuali diverse di pezzatura minore.

Metodologie

Su questo substrato di base utilizzato per colmare la trincea si potrebbe:

- seminare i semi ogni stagione, rilasciandoli direttamente sul substrato creato nella zona della trincea
- posizionare in situ dei germogli coltivati precedentemente in laboratorio e già spontaneamente attaccati a delle "unità", costituite da ciottoli o da pezzi di roccia della giusta complessità (Fig.1-3). Una singola unità potrebbe portare più germogli.

Meglio comunque evitare l'utilizzo ed il trasporto di materiali non naturali, prodotti industrialmente, reti

metalliche o in plastica o materiale per l'edilizia. Il suggerimento è sempre quello di utilizzare pietre di cava, possibilmente di provenienza locale.

Variabili di risposta:

- persistenza: % di germogli ricontati

- accrescimento: biomassa totale, allocazione della biomassa (rapporto radici: rizoma-seme: fascio foliare),

biometria.

Capitolo VII

Ipotesi sulle caratteristiche ottimali delle aree di prelievo e di ricevimento dei propaguli (germogli e rizomi).

7.1 Linee guida

La letteratura sul ripristino dei sistemi di fanerogame marine ha prodotto in diverse occasioni linee guida per incrementare il successo degli interventi (Fonseca, 1998; Short et al., 2002, Campbell, 2002; van Katwijk et al., 2009) riassumibili in alcuni principi fondamentali:

1. L'inversione del processo di degradazione degli habitat che ha condotto alla perdita delle praterie e quindi l'identificazione delle cause che hanno prodotto la regressione e l'eliminazione delle stesse
2. La selezione di siti idonei per il ricevimento
3. La selezione di una popolazione donatrice appropriata
4. La dispersione dei rischi connessi agli interventi di ripristino nello spazio e nel tempo

7.2 Sito ricevente

Nel caso di impatti da dragaggio gli effetti indiretti sono riconducibili all'aumento della torbidità e al deposito di materiale incoerente nell'area che può essere spostato dalle correnti producendo il seppellimento della prateria o generando comunque un disturbo. Questi processi potrebbero rendere il sito non idoneo per interventi di ripristino fino a quando non è avvenuta la deposizione del sedimento in sospensione e non si raggiunge la stabilizzazione del materiale scavato dalla trincea e/o depositato a copertura delle condotte.

La selezione di siti idonei deve basarsi sulla presenza pregressa di fanerogame marine nel sito, sulla conoscenza dei requisiti dell'habitat delle singole specie e dei limiti di tolleranza in relazione all'alterazione delle condizioni fisico-chimiche dell'habitat (disponibilità di luce, regime idrodinamico e sedimentario, tipologia di substrato, potenziale redox e concentrazione di solfuri nei sedimenti). Purtroppo non sempre i requisiti dell'habitat di una specie sono noti nel dettaglio. Inoltre condizioni ambientali tollerabili per una prateria già ben sviluppata potrebbero non esserlo per la sopravvivenza di propaguli vegetativi o sessuali, che rappresentano uno stadio del ciclo biologico della pianta particolarmente sensibile.

I limiti di tolleranza di *P. oceanica* nei confronti di alcune variabili ambientali sono riportati sinteticamente di

seguito:

- Quantità minima di luce richiesta: 7.8% (Duarte, 1991) al 10-16% (Dalla via et al., 1998; Ruiz e Romero, 2001) dell'irradianza superficiale degli oceani.
- Tasso di sedimentazione: a Capo Feto nelle valli tra i *rubble mound* è stato registrato un tasso di deposizione del sedimento di circa 200 g DW m⁻² anno⁻¹, e corrispondentemente uno spessore dello strato sedimentario di 12 cm. Al contrario sulle creste lo strato di sedimento non raggiunge mai i 4cm, in media il valore è di 1.6cm. Viene suggerito che dopo il reclutamento dei propaguli un certo apporto di sedimento è necessario per lo sviluppo della prateria (Di Carlo et al., 2005).
- Tolleranza al seppellimento: 50% mortalità determinata da un seppellimento di 5-7 cm (Manzanera et al., 1998; Boudouresque et al., 1984) o di 10.2 cm (Cabaço et al., 2008), 100% della mortalità determinata da un seppellimento di 15 cm (Manzanera et al., 1998; Cabaço et al., 2008), per un periodo di 45gg.
- Granulometria del sedimento: un contenuto maggiore del 50% di silt+clay nei sedimenti è stato associato negativamente alla presenza delle praterie (De Falco (De Falco, Baroli et al. 2006)et al., 2006)
- Potenziale redox e solfuri nei sedimenti: per le fanerogame marine il potenziale redox in genere è compreso tra -100 e 200mV, e la concentrazione di solfuri non eccede i 100 µM nei primi 10 cm di sedimento (Terrados et al., 1999), *P. oceanica* mostra una elevata mortalità dei fascicoli foliari ed una riduzione della biomassa degli organi ipogei ed epigei in presenza di 27 µM di zolfo cm⁻³ (Perez et al., 2007)
- Idrodinamismo: all'interno delle praterie di *P. oceanica* in buono stato sono state registrate velocità delle correnti di 17 cm s⁻¹ (Granata et al., 2001), mentre il limite superiore di distribuzione delle praterie in relazione all'intensità del moto ondoso sembra essere determinato da un velocità orbitale delle particelle vicino al fondo (*near-bottom orbital velocity*) compresa tra 38 e 42 cm s⁻¹ (Infantes et al. 2009). A Capo Feto una velocità della corrente massima di 7 cm s⁻¹ (in estate) è stata registrata sulle creste ed i lati dei *rubble mound*, ove i frammenti di rizoma non persistono, e se ne è dedotto che nel caso di propaguli non ancora saldamente ancorati questi valori siano sufficienti a dislocarli (Di Carlo et al., 2005). Purtroppo non si hanno

dati simili relativi alla persistenza dei germogli in relazione all'idrodinamismo, sebbene un effetto della profondità (e dunque dell'intensità del moto ondoso associato alla variazione di profondità) è stato riportato da Piazzì et al. (1999), in cui una sopravvivenza maggiore di germogli si registra ad una profondità di 10m rispetto ad una profondità di 2m. Tuttavia la persistenza dei germogli è stata registrata anche a profondità minori, comprese tra 1 e 3 metri (Badalamenti *et al.* in prep.).

- Tipologia di substrato: le praterie di *P. oceanica* si rinvengono su una varietà di substrati che vanno dalla sabbia grossolana, ai ciottoli, alla roccia, sebbene la presenza della matte possa rendere non immediata l'identificazione del substrato primario su cui una prateria si è insediata al momento dell'impianto. A Capo Feto il recupero naturale della prateria attraverso propaguli vegetativi è stato documentato solo su substrato consolidato, stabile e caratterizzato da una complessità alla scala dei centimetri, che rendeva possibile l'incastro spontaneo dei frammenti di rizoma sradicati dalla prateria adiacente e trasportati dalle correnti. Per quanto riguarda i germogli di *P. oceanica*, questi sono stati ritrovati su diverse tipologie di substrato: matte morta, roccia, ciottoli, ghiaia, sabbia. Ma il reclutamento e la sopravvivenza è stata osservata solo su substrati consolidati come matte morta e roccia (Balestri et al., 1998; Piazzì et al., 1999; Badalamenti et al., in prep.). La mancata persistenza su sabbia, ghiaia o ciottoli è stata imputata all'instabilità del substrato e dunque al mancato ancoraggio o al danneggiamento meccanico dell'azione abrasiva prodotta dallo sfregamento dei ciottoli l'uno contro l'altro.

È consigliabile dunque ricreare un substrato consolidato, stabile e della giusta complessità nel sito dove si vuole realizzare l'intervento, utilizzando blocchi di pezzatura comparabile rispetto a quella del materiale utilizzato a Capo Feto o utilizzando mischiando pezzature differenti per aumentare la complessità finale del substrato ottenuto.

7.3 Siti donatori

I criteri per l'identificazione di popolazioni idonee alla donazione di propaguli o alla produzione dei semi da utilizzare nelle operazioni di ripristino sono basati sulla compatibilità genetica delle popolazioni donatrici rispetto al sito in cui si vuole realizzare l'intervento di ripristino, e dunque sulla presenza di quei tratti genetici che sono il risultato dell'adattamento delle popolazioni alle condizioni ambientali locali. Questi caratteri possono risultare decisivi nella sopravvivenza sul lungo termine dei nuovi individui. Per questo è preferibile utilizzare propaguli che derivano da ambienti simili a quello del sito di intervento, e quindi anche dalla prateria circostante al sito di intervento, se presente. Alcuni autori indicano che anche l'utilizzo di materiale vegetale di diversa provenienza e di maggiore variabilità genetica può influire positivamente sulla sopravvivenza di lungo termine dei propaguli e sul potenziale di recupero (Procaccini e Piazzini, 2001), tuttavia questo implica una alterazione della composizione genetica delle popolazioni e dei flussi genetici naturali di cui non si conoscono le conseguenze.

Infine, poichè il sistema marino costiero è caratterizzato da elevata variabilità, specie alla piccola scala, ed interessato da eventi meteo-marini di forte intensità e non prevedibili, da fluttuazioni della temperatura e dalla variazione nell'intensità delle fioriture e della produzione di semi tra stagioni differenti, la dispersione del rischio di fallimento degli interventi di ripristino dovuto a queste cause è importante. La dispersione dei rischi avviene replicando i trattamenti nello spazio e nel tempo: nello spazio sia alla scala dei chilometri, scegliendo anche aree che differiscono per le condizioni ambientali, sia alla scala delle decine di metri replicando i trattamenti. Nel tempo ripetendo gli interventi in più anni consecutivi ed in date differenti.

Il prelievo di frutti/semi/germogli può avvenire ai margini di grandi praterie tra metà maggio e metà giugno. Una stima della produzione di semi può essere effettuata calcolando il tasso di fioritura del prato per ciascun anno a partire dall'autunno dell'anno precedente. In annate con buone fioriture è possibile raccogliere migliaia di frutti spiaggiati e di semi e germogli a bassa profondità.

Capitolo VIII

Bibliografia citata

Badalamenti, F., G. Di Carlo, et al. (2006) Effects of Dredging Activities on Population Dynamics of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in the Mediterranean Sea: The Case Study of Capo Feto (SW Sicily, Italy). *Hydrobiologia*, **555**(1), 253-261.

Balestri, E., L. Piazzì, et al. (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.

Boudouresque C.F., J.D.G.A., Meinesz A., (1984) Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). In: J.d.G.A.O.J. Boudouresque C.F (Ed.), International Workshop on *Posidonia oceanica* beds. GIS Posidonie pp: 185-191.

Brown-Peterson, N.J., M.S. Peterson, et al. (1993) Fish Assemblages in Natural versus Well-Established Recolonized Seagrass Meadows. *Estuaries*, **16**(2), 177-189.

Cabaco, S., R. Santos, et al. (2008) The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: A review. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **79**(3), 354-366.

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

Di Carlo, G., F. Badalamenti, et al. (2005) Colonisation process of vegetative fragments of *Posidonia oceanica* (L.) Delile on rubble mounds. *Marine Biology*, **147**(6), 1261-1270.

Duarte, C.M. (1991) Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, **40**(4), 363-377.

Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy, et al. (1998) Guidelines for the Conservation and Restoration of seagrass in the United States and Adjacent Waters. *NOAA'S Coastal Ocean Program*. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Coastal Ocean Office: 230.

Granata, T.C., T. Serra, et al. (2001) Flow and particle distributions in a nearshore seagrass meadow before

and after a storm. *Marine Ecology-Progress Series*, **218**, 95-106.

Harwell, M.C., R.J. Orth (1999) Eelgrass (*Zostera marina* L.) seed protection for field experiments and implications for large-scale restoration. *Aquatic Botany*, **64**(1), 51-61.

Infantes, E., J. Terrados, et al. (2009) Wave energy and the upper depth limit distribution of *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, **52**(5), 419-427.

Dalla Via J., S. Christian, et al. (1998) Light gradients and meadow structure in *Posidonia oceanica*: ecomorphological and functional correlates. *Marine Ecology Progress Series*, **163**, 267-278.

Kaldy, J.E., K.H. Dunton, et al. (2004) Factors Controlling Seagrass Revegetation onto Dredged Material Deposits: A Case Study in Lower Laguna Madre, Texas. *Journal of Coastal research*, **20**(1) 292-300.

Manzanera, M., M. Pérez, et al. (1998) Seagrass mortality due to oversedimentation: an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation*, **4**(1), 67-70.

Molenaar, H., A. Meinesz (1995) Vegetative reproduction in *Posidonia oceanica*: Survival and Development of Transplanted Cuttings According to Different Spacings, Arrangements and Substrates. *Botanica Marina*, **38**, 313-322.

Orth, R.J., M. Luckenbach, et al. (1994) Seed Dispersal in a Marine Macrophyte: Implications for Colonization and Restoration. *Ecology*, **75**(7), 1927-1939.

Orth, R.J., M.L. Luckenbach, et al. (2006) Seagrass recovery in the Delmarva Coastal Bays, USA. *Aquatic Botany*, **84**(1), 26-36.

Piazzi, L., S. Acunto, et al. (1999) In situ survival and development of *Posidonia oceanica* (L.) Delile seedlings. *Aquatic Botany*, **63**(2), 103-112.

Piazzi, L., E. Balestri, et al. (1998) Experimental transplanting of *Posidonia oceanica* (L.) Delile into a Disturbed Habitat in the Mediterranean Sea. *Botanica Marina*, **41**, 593-601.

Procaccini, G., L. Piazzi (2001) Genetic Polymorphism and Transplantation Success in the Mediterranean Seagrass *Posidonia oceanica*. *Restoration Ecology*, **9**(3), 332-338.

Pérez, M., O. Invers, et al. (2007) Physiological responses of the seagrass *Posidonia oceanica* to elevated organic matter content in sediments: An experimental assessment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **344**(2), 149-160.

Ruiz, J.M., R. Javier (2001) Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology-Progres Series*, **215**, 107-120.

Sanchez-Lizaso, J.L., Y. Fernandez-Torquemada, et al. (2009) Evaluation of the viability of *Posidonia oceanica* transplants associated with a marina expansion. *Botanica Marina*, **52**(5), 471-476.

Sheridan, P. (2004) Recovery of floral and faunal communities after placement of dredged material on seagrasses in Laguna Madre, Texas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **59**(3), 441-458.

Short, F.T., R.C. Davis, et al. (2002) Site-selection model for optimal transplantation of eelgrass *Zostera marina* in the northeastern US. *Marine Ecology Progress Series*, **227**, 253-267.

Terrados, J., C.M. Duarte, et al. (1999) Are seagrass growth and survival constrained by the reducing conditions of the sediment? *Aquatic Botany*, **65**(1-4), 175-197.

van Katwijk, M.M., A.R. Bos, et al. (2009) Guidelines for seagrass restoration: Importance of habitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. *Marine Pollution Bulletin*, **58**(2), 179-188.

Vangeluwe, D. (2007) Effets de la transplantation sur la biométrie et sur la dynamique des nutriments, du carbone et de la chlorophylle de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Faculté des Sciences Département des Sciences et Gestion de l'Environnement Océanographie biologique*. Université de Liège.

Wear, R., J.E. Tanner, et al. (2006) Seagrass Rehabilitation in Adelaide Metropolitan Coastal Waters III. Development of Recruitment Facilitation Methodologies. *SARDI Research Report Series*. South Australian Research and Development Institution: 48.

