



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale in

RISCHIO AMBIENTALE E PROTEZIONE CIVILE

**INTERVENTO DI RESTAURO DI UNA
POPOLAZIONE DI *GONGOLARIA BARBATA* LUNGO
LE COSTE DELLA RIVIERA DEL CONERO
(ADRIATICO CENTRALE)**

Tesi di Laurea Magistrale di:

Roberto Bibbò

Relatore:

Prof.ssa Silvia Bianchelli

Correlatori:

Prof. Fabio Rindi

Sessione Autunnale

Anno accademico 2020/21

Indice

1. Introduzione.....	3
1.1 <i>Restauro ecologico.....</i>	3
1.2 <i>Interventi di restauro ecologico.....</i>	7
1.3 <i>Cystoseira sensu lato: ecologia e necessità di restauro</i>	9
1.4 <i>Gongolaria barbata lungo le coste della Riviera del Conero</i>	12
2. Obiettivi.....	14
3. Materiali e metodi	15
3.1 <i>Progetto “AFRIMED”.....</i>	15
3.2 <i>Reclutamento degli individui di G. barbata per il trapianto</i>	16
3.3 <i>Intervento di restauro</i>	21
3.4 <i>Variabili di risposta</i>	25
3.5 <i>Trattamento dati.....</i>	26
4. Risultati.....	27
4.1 <i>Crescita degli individui di Gongolaria barbata trapiantati nel sito di restauro</i>	27
4.2 <i>Copertura della canopy di Gongolaria barbata trapiantata nel sito di restauro.....</i>	31
4.3 <i>Valutazione dei costi dell'intervento di restauro</i>	32
5. Discussione	35
5.1 <i>Crescita degli individui di Gongolaria barbata trapiantati nel sito di restauro</i>	35
5.2 <i>Copertura della canopy di Gongolaria barbata ottenuta da trapianti nel sito di restauro</i>	38
5.3 <i>Valutazione dei costi dell'intervento di restauro.....</i>	39
5.4 <i>Confronto tra approcci basati su reclutamento in situ ed ex situ.....</i>	43
Bibliografia	45
Allegati.....	50

1. Introduzione

1.1 *Restauro ecologico*

Negli ultimi anni si parla sempre di più di restauro ecologico a livello internazionale. Il restauro ecologico, infatti, sta diventando centrale nelle politiche ambientali, anche a livello europeo, dato che molti ecosistemi ed habitat sono stati degradati o distrutti negli ultimi decenni a causa dell'impatto antropico, dovuto a sovrasfruttamento delle risorse, forte urbanizzazione, inquinamento, cambiamenti climatici, introduzione di specie invasive. L'impatto antropico ha raggiunto livelli talmente elevati che non basta solo la conservazione, attraverso le aree protette e politiche ambientali stringenti, ma si rende necessario anche il ripristino degli ecosistemi persi, sia terrestri che marini, che porterebbe molti benefici.

Il restauro ecologico o "*ecosystem restoration*" è un processo di recupero degli ecosistemi degradati o distrutti. Tale processo può essere condotto in modalità diverse: si parla di "restauro passivo" o recupero non assistito quando si eliminano le fonti di degrado, permettendo un recupero naturale anche con forme di protezione (ad esempio, istituendo aree protette), mentre si tratta di "restauro attivo" o recupero attivo quando attivamente si ripristina l'ecosistema attraverso trapianti, semine ecc. di specie target. Tale approccio serve per accelerare un processo naturale che richiede spesso molto tempo, quindi si aiuta

ad aumentare la resilienza dell'ecosistema con un intervento attivo. Nel restauro attivo si ripristinano le specie presenti precedentemente al degrado dell'ecosistema (Kim et al., 2021).

Si possono restaurare tanti tipi di ecosistemi, sia terrestri che marini, ma in tutti i casi ci sono principi in comune, in particolare 8 indicati dalla SER (Society for Ecological Restoration): coinvolgimento di *stakeholder* (portatori di interesse), integrazione di conoscenze interdisciplinari, raccolta di informazioni e dati storici su ecosistemi nativi di riferimento, supporto di processi di recupero ecosistemico, obiettivi chiari usando indicatori misurabili, mirare al più alto livello di recupero, valore cumulativo quando il restauro viene attuato su scale spaziali ampie, un'attività di monitoraggio continua (Gann et al., 2019).

Un intervento di restauro ecologico è un processo che necessita della riduzione dell'impatto antropico sull'ecosistema, altrimenti sarebbe inutile l'intervento di restauro perché si degraderebbe nuovamente in poco tempo. Un restauro efficace è un processo lungo che richiede diversi anni, normalmente una decina, e il suo successo va monitorato continuamente, utilizzando indicatori e variabili diverse a seconda dell'ecosistema come misura del successo (Kim et al., 2021).

La stima del successo di un intervento di restauro non è semplice, soprattutto in ambiente marino, anche a causa delle scarse conoscenze di base di alcuni

ecosistemi, di come erano in precedenza, delle relazioni tra organismi. Inoltre, l'analisi del successo del restauro deve necessariamente integrare stime di successo della sopravvivenza e/o crescita della specie target del restauro, ma anche variazione di biodiversità, funzionamento e servizi ecosistemici associati, in risposta all'intervento del restauro.

È fondamentale considerare il restauro ecologico come un processo per raggiungere un livello sostenibile di sfruttamento delle risorse, uno sviluppo (anche economico) sostenibile, insieme alla conservazione del paesaggio e della biodiversità, etica ambientale, leggi e governance, economia ecologica (Aronson & Alexander, 2013).

Il restauro è un processo, non un singolo evento. Il processo può comprendere più attività, un programma di restauro deve rientrare in un quadro più ampio: conservazione della biodiversità, pianificazione su scala paesaggistica, gestione degli ecosistemi e ripristino degli ecosistemi degradati, attraverso un continuo monitoraggio (Kim et al., 2021).

Nel 2021 siamo entrati nelle decadi dedicate dalle Nazioni Unite alla *Ocean Science for sustainable development* e alla *Ecological restoration*, che mira a “*preventing, halting and reversing the degradation of ecosystems worldwide*”. Questo può aiutare a porre fine alla povertà, combattere il cambiamento climatico e prevenire un'estinzione di massa.

Il decennio della Ecological Restoration delle Nazioni Unite va dal 2021 al 2030, che è anche la scadenza per gli obiettivi di sviluppo sostenibile e la cronologia che gli scienziati hanno identificato come l'ultima possibilità per prevenire il cambiamento climatico catastrofico. L'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha proclamato il Decennio dell'ONU a seguito di una proposta d'azione di oltre 70 Paesi di tutte le latitudini. Guidato dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente e dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, The UN Decade sta costruendo un movimento globale forte e ampio per accelerare il restauro e mettere il mondo sulla buona strada per un futuro sostenibile. Ciò includerà la creazione di uno slancio politico per il restauro e migliaia di iniziative sul campo. Attraverso comunicazioni, eventi e una piattaforma web dedicata, il Decennio delle Nazioni Unite fornirà un hub per tutti coloro che sono interessati al restauro per trovare progetti, partner, finanziamenti e le conoscenze di cui hanno bisogno per rendere i loro sforzi di restauro un successo (UN Resolution 73/284.).

Recentemente, alla fine del 2019, la Commissione Europea ha promulgato il Green New Deal, un insieme di iniziative politiche con l'obiettivo generale di raggiungere la neutralità climatica in Europa entro il 2050. Tale politica europea prevede anche un'azione dedicata ad “ambiente e oceani” che mira

all'incremento della conservazione e al restauro degli ambienti dei territori dell'Unione (EU, 2019).

1.2 Interventi di restauro ecologico

Ci sono diversi esempi di restauro ecologico. In ecosistemi terrestri quello più significativo e più antico è la riforestazione, abbastanza diffusa da decenni in molti paesi del mondo, dove si piantano nuove piantine o più raramente semi in un'area dove c'era un bosco/foresta andato distrutto per qualche motivo. Ci sono tanti altri esempi per ecosistemi terrestri, invece meno per quelli marini dove il restauro è iniziato più recentemente, a causa delle difficoltà operative e delle minori conoscenze degli ecosistemi marini rispetto a quelli terrestri (Danovaro et al., 2021).

Lo studio del restauro ecologico negli ecosistemi marini è iniziato recentemente, ma si sta sempre più diffondendo, vista l'importanza di questi ecosistemi nel fornire servizi ecosistemici per il benessere umano. Lo studio del restauro negli ecosistemi marini è stato affrontato in varie zone del mondo e in vari tipi di ecosistemi, dai fondali costieri rocciosi e sabbiosi agli ambienti profondi (Acunto et al., 2017; Danovaro et al., 2021). A seconda dell'ecosistema oggetto di restauro, molte specie diverse sono state utilizzate come target degli interventi, dalle angiosperme come la *Posidonia oceanica*, a

macroalghe come *Cystoseira* e *Laminaria*, coralli, spugne ecc., nell'ambito di vari progetti scientifici. La maggior parte degli interventi sono iniziati come studi pilota, per verificarne la fattibilità ed analizzarne le misure di successo la fattibilità a più ampia scala e (Castejón-Silvo, 2021; Smith et al., 2021; Bekkby et al., 2020). A questo proposito, le difficoltà maggiori sono risultate essere: la mancanza di siti pristini di riferimento, la conoscenza pregressa approfondita di strutture e funzionamento degli ecosistemi prima del loro degrado, indicatori del successo degli interventi e loro livelli soglia di riferimento (Danovaro et al., 2021).

Alcuni dei più importanti progetti condotti nei mari Europei, ed in particolare nel Mar Mediterraneo, sono stati finanziati dall'Unione Europea, come MERCES e AFRIMED, entrambi coordinati dall'UNIVPM.

Nell'ambito di questi progetti, particolare attenzione è stata dedicata al restauro delle macroalghe appartenenti al gruppo di *Cystoseira sensu lato* (Verdura et al., 2018; Piazzini & Ceccherelli 2019; Bekkby, 2020; Gianni et al., 2020; Medrano et al., 2020; Orlando-Bonaca, 2021), che fanno parte degli ecosistemi più produttivi lungo le coste del Mar Mediterraneo.

1.3 Cystoseira sensu lato: ecologia e necessità di restauro

Il genere *Cystoseira* (Fucales), nel senso tradizionale della sua circoscrizione, è ampiamente diffuso nel Mediterraneo (Ribera et al., 1992). Il genere è stato recentemente oggetto di una profonda revisione tassonomica che ha portato al suo smembramento in tre generi separati (Orellana et al., 2019). I nomi attualmente validi per questi tre generi sono *Cystoseira*, *Ericaria* e *Gongolaria* (Molinari & Guiry, 2020). In questa tesi si farà riferimento al genere *Cystoseira sensu lato* (*Cystoseira s.l.*), per indicare specie attualmente appartenenti a *Cystoseira*, *Ericaria* e *Gongolaria* (Molinari & Guiry, 2020).

Le specie appartenenti a questo gruppo, fanno parte di ecosistemi molto produttivi, creano dense foreste in fondali rocciosi prevalentemente lungo le coste, forniscono risorse trofiche, rifugio, hanno funzione di “nursery” per molte specie di pesci anche di interesse commerciale, creano habitat per molti altri organismi. Per tutti questi motivi, sono definite ingegneri ecosistemici, “*ecosystem engineers*”.

Oltre ad essere altamente biodiversificati, questi ecosistemi sono molto vulnerabili, tant'è vero che hanno subito forte regressione lungo tutte le coste del Mar Mediterraneo negli ultimi decenni, con anche estinzioni locali (Fabbrizzi et al., 2020). I motivi di tale regressione sono molteplici, come l'inquinamento provocato dalla forte urbanizzazione delle zone costiere del

Mediterraneo, cambiamenti climatici, distruzione di habitat (Bekkby et al., 2020; Orfanidis et al., 2021), sovrapascolo in alcune aree da parte dei ricci di mare o di alcune specie di pesci, erbivori marini che in assenza di predatori (ad esempio l'uomo con la pesca) si moltiplicano velocemente e possono distruggere una foresta di macroalghe in poco tempo desertificando l'area (e formando *barren*), eutrofizzazione che favorisce la crescita di altre alghe (Piazzi & Ceccherelli 2019). Secondo uno studio recente (de Caralt et al., 2020), contaminanti chimici (come metalli pesanti, azoto, composti organici persistenti come gli erbicidi) hanno effetti negativi importanti sulle nuove reclute, anche a livelli che non sono dannosi per gli individui adulti. Questo porta alla riduzione dell'efficienza della riproduzione con conseguente estinzione della popolazione in pochi anni. Un altro fattore importante che limita la persistenza e la crescita delle popolazioni sono le mareggiate, che provocano danni fisici agli individui, anche adulti (Fabbrizzi et al., 2020).

Si può dire più in generale che l'impatto antropico diretto ed indiretto (associato ai cambiamenti climatici in atto) è responsabile del degrado di questi ecosistemi, e della riduzione della biodiversità e dei servizi ecosistemici ad essi associati.

Il motivo principale della necessità di protezione e conservazione della *Cystoseira s.l.* è per le funzioni che svolge negli ecosistemi costieri. Dal

momento che queste alghe sono ingegneri ecosistemici, favoriscono elevati livelli di biodiversità e di funzionamento ecosistemico (Bianchelli & Danovaro, 2020) e, di conseguenza, garantiscono molti servizi ecosistemici.

In termini di contributo alle funzioni ecosistemiche, gli habitat costieri dominati dalle alghe marine sono stati classificati tra i sistemi di assorbimento del carbonio più rilevanti (ca 173 TgC anno⁻¹), e potrebbero contribuire alle cosiddette "strategie blue carbon", che hanno l'obiettivo di esplorare il potenziale degli habitat vegetati marini nel mitigare i cambiamenti climatici.

Negli ultimi decenni nel Mediterraneo c'è stata una forte riduzione della superficie occupata dalle foreste di queste macroalghe, con il declino o la scomparsa di molte specie di diversi generi. Tra questi, le specie appartenenti al gruppo di *Cystoseira s.l.* sono le più rappresentate. Per questo motivo, le specie di *Cystoseira s.l.* sono considerate come "di interesse comunitario" ai sensi della Direttiva Habitat (Habitat Directive 92/43/CEE) e sono indicatori di qualità ambientale nelle acque costiere del Mar Mediterraneo ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque (Water Framework Directive 2000/60/CE). Diverse specie di questo genere sono protette dalla "Convenzione sulla conservazione della fauna selvatica e degli habitat naturali europei" (Convenzione di Berna), riconosciute come prioritarie dalla Convenzione di

Barcellona, e considerate vulnerabili da molte organizzazioni internazionali, come la IUCN (International Union for Conservation of Nature).

A causa della loro rilevanza nella fornitura di servizi ecosistemici, l'entità del declino delle praterie di macroalghe dovrebbe guidare la comunità scientifica a studiare le migliori strategie per la loro protezione, oltre ad esplorare strumenti più efficaci per il loro restauro. Gli effetti del degrado e/o della frammentazione degli habitat di macrofite sono stati finora valutati solo marginalmente e le informazioni sugli impatti della perdita di biodiversità sul funzionamento e sull'efficienza degli ecosistemi sono per lo più confinati ad effetti sulla produzione primaria, ricci di mare e pesci (Bianchelli & Danovaro, 2020).

1.4 Gongolaria barbata lungo le coste della Riviera del Conero

Un recente studio condotto lungo la Riviera del Conero, area di studio della presente tesi, ha dimostrato una forte riduzione di biodiversità macroalgale, con una perdita di decine di specie, a partire dagli anni '40 del secolo scorso (Rindi et al., 2020). Confrontando i dati attuali con quelli storici, la causa principale sembra essere stata l'urbanizzazione e lo sviluppo del porto della città di Ancona degli ultimi decenni, oltre all'introduzione di specie non autoctone, nella vegetazione probabilmente provenienti dalla laguna di Venezia (come *Melanothamnus japonicus*) (Rindi et al., 2020).

Un altro studio risalente agli anni 2000 ha verificato e quantificato la perdita di *Cystoseira s.l.* nella stessa zona (Perkon-Finkel & Airoidi, 2010), tramite un'indagine basata su interviste a persone del luogo (comprese autorità portuali locali, operatori di *diving* e personale della protezione civile). I risultati hanno indicato che c'è stata una forte frammentazione dell'habitat, con una risultante copertura di circa il 15% del fondale e con trend di declino, simile ad altre zone del Mar Mediterraneo (Perkol-Finkel & Airoidi, 2010).

Oggetto di questa tesi di laurea è analizzare la fattibilità di un intervento di restauro di *Gongolaria barbata* (ex *Cystoseira barbata*) lungo le coste della Riviera del Conero, utilizzando approcci diversi per il reclutamento degli individui da trapiantare.

2. Obiettivi

La presente tesi ha come obiettivo l'analisi di fattibilità ed il successo di un intervento di restauro di *Gongolaria barbata* su scala spaziale di metri quadri in termini di:

- 1- crescita degli individui di *G. barbata* trapiantati;
- 2- copertura della *canopy* della *G. barbata*;
- 3- stima dei costi dell'intervento;
- 4- confronto tra approcci di restauro basati sul reclutamento *in situ* ed *ex situ*;
- 5- confronto dei costi associati ai diversi approcci testati.

3. Materiali e metodi

3.1 Progetto “AFRIMED”

La presente tesi di laurea è stata condotta nell’ambito del progetto europeo AFRIMED (Algal Forest Restoration In MEDiterranean sea, <http://afrimed-project.eu/>), coordinato dall’Università Politecnica delle Marche e condotto insieme ad altri 11 enti appartenenti ad 8 paesi, finanziato dalla Executive Agency for Small and Medium Enterprise (EASME) e dalla European Maritime and Fisheries fund (EMFF), della EU. Lo scopo è quello di analizzare forzanti di impatto e regressione e possibilità di restauro ecologico di macroalghe bentoniche del genere *Cystoseira s.l.*, a scala di bacino del Mediterraneo.

AFRIMED cerca di apportare un cambiamento radicale al degrado delle foreste di macroalghe, sviluppando, attuando e promuovendo protocolli per ripristinare efficacemente le foreste di macroalghe (*Cystoseira spp.*) nel Mar Mediterraneo al fine di massimizzare l'erogazione di benefici per la conservazione, la società e l'economia. Per raggiungere questo obiettivo, il progetto sfrutta conoscenze e competenze di un team multidisciplinare per sviluppare, perfezionare e attuare nuove azioni di restauro e formulare linee guida che possono essere utilizzate per apportare cambiamenti misurabili nella salute delle foreste di macroalghe nel bacino (Figura 1). Un'ambizione fondamentale è quella di fornire metodi

chiari e solidi in grado di sostenere il successo dell'*upscaling* degli interventi di restauro su ampia scala spaziale.

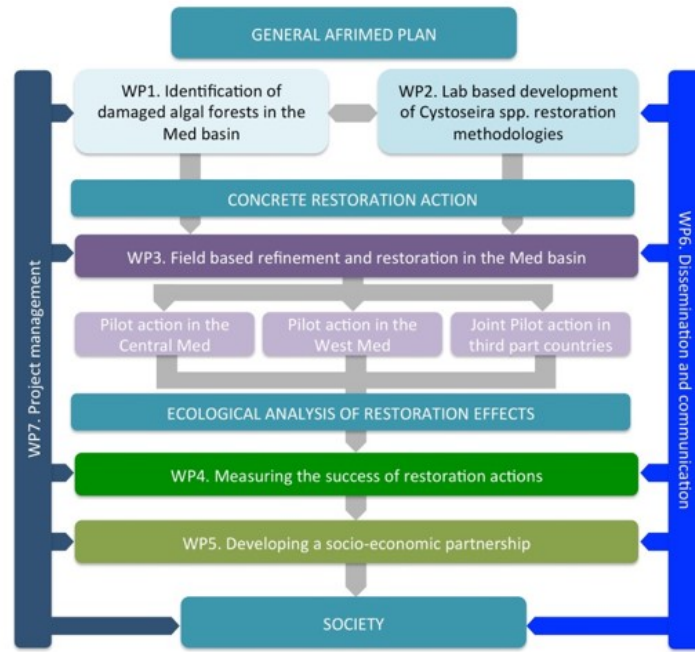


Figura 1. Schema dell'organizzazione del progetto AFRIMED.

3.2 Reclutamento degli individui di *G. barbata* per il trapianto

Reclutamento in situ: per testare questo approccio sono state utilizzati due metodi. Nel primo caso sono stati cercati ed utilizzati sassi naturali su cui avevano già attecchito nuove reclute di *G. barbata*. Tali sassi avevano un diametro di circa 10-20 cm (Figura 2) e sono stati prelevati nel sito in cui vive la popolazione donatrice (che vive nella parte riparata della zona della Scalaccia di Ancona).



Figura 2. Foto di un sasso naturale con reclute preso dalla popolazione donatrice.

Si è scelto di utilizzare le reclute che sono cresciute su questi sassi naturali poiché, date le loro ridotte dimensioni, sono annualmente soggetti ad essere trasportati via e ribaltati dalle mareggiate autunno-invernali, con conseguente tritramento e morte delle, reclute.

Nel secondo caso, sono state fissate nei siti in cui vivono le popolazioni donatrici (Piscinetta del Passetto e Scalaccia) delle strutture artificiali, costruite

con dei supporti di metallo su cui sono state montate piastre di terracotta di diametro di 7 cm ed 1 cm di spessore.



Figura 3. Foto delle piastre in terracotta, montate sui supporti di metallo.



Figura 4. Strutture fissate nel sito in cui vive la popolazione donatrice.

Le strutture sono state fissate vicino a individui adulti fertili, in modo da massimizzare la probabilità di ottenere nuove reclute direttamente sulle piastre di terracotta (Figura 4).

Con questo approccio, sono state ottenute nuove reclute alte circa 4 cm in 5 mesi.

Reclutamento ex situ: in questo caso le stesse strutture composte da un substrato metallico su cui sono state montate le piastre in terracotta sono state posizionate sul fondo degli acquari della “*facility Acquari*” del Dipartimento di

Scienze della Vita e dell’Ambiente. Il sistema è costituito da una vasca di 200 l (90 x 60 x 40 cm), da un refrigeratore (Teco TK2000), da un filtro meccanico con rete di maglia 500 μm , da un filtro biologico, da una lampada UV e da una pompa Fluval Sea SP2 che fa circolare l’acqua sintetica 1800 l/h. Appena sotto la superficie dell’acqua sono state sistemate delle reti di plastica con maglia di 2 mm in cui sono state inserite fronde fertili di *G. barbata* con ricettacoli maturi (Figura 5).

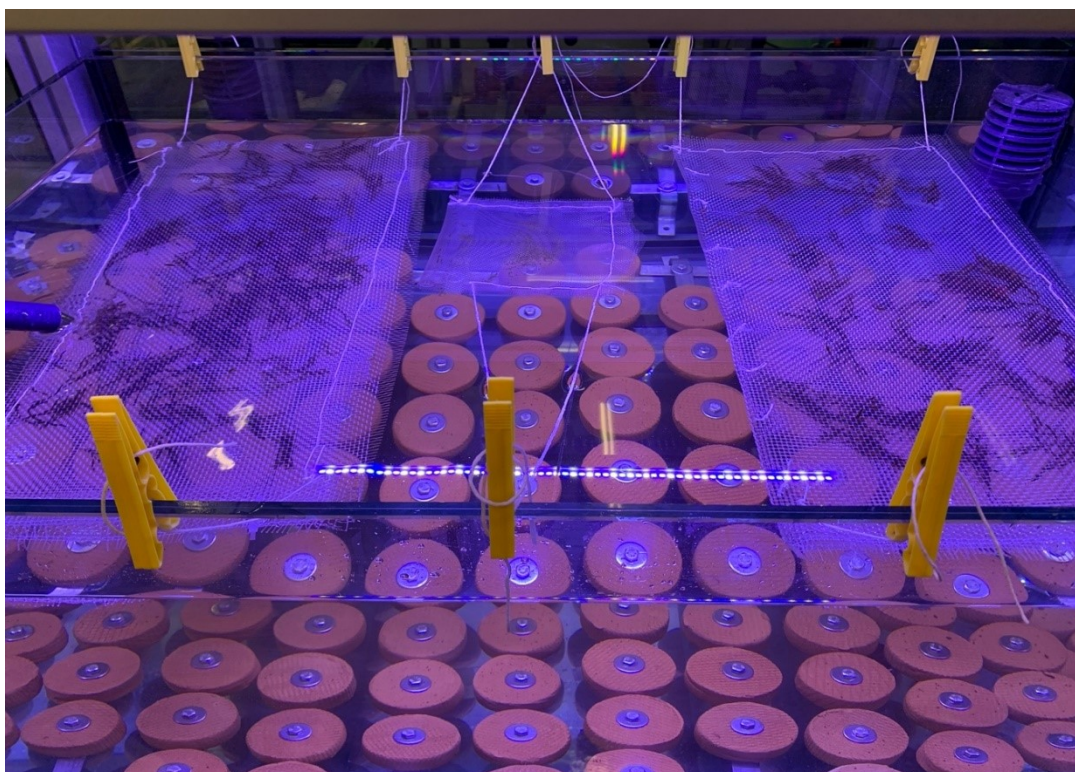


Figura 5. Strutture in acquario per il reclutamento *ex situ*. Sulla superficie dell’acqua sono visibili le reti con le fronde fertili di *G. barbata*.

In questo modo il reclutamento è avvenuto in vasca, in condizioni controllate. Le lampade (led GNC SilverMoon ReefBlu) sono state settate per simulare un ciclo giorno-notte di 14/10 h, invece, per quanto riguarda la temperatura, il primo mese le reclute sono state coltivate alla temperatura di 16°C e nel mese successivo a 18°C. Con questo approccio sono state ottenute nuove reclute alte circa 700 µm in due mesi.

I sassi naturali trovati e le strutture (sia nel reclutamento *in situ* sia *ex situ*) con le nuove reclute sono state utilizzate per il trapianto, come descritto di seguito.

3.3 Intervento di restauro

Il sito selezionato per l'intervento di restauro è quello della Scalaccia (43°36'17''N 13°52'57''E) (n°5 Figura 6), poche decine di metri a sud rispetto alla area riparata naturale. In questo sito non era più presente una popolazione in buona salute di *G. barbata*; il sito è stato scelto perché considerato adatto in base ai risultati di precedenti esperimenti pilota. Durante gli esperimenti precedenti, infatti, sono stati effettuati dei trapianti pilota in siti diversi dalla Grotta Azzurra a La Vela, e quello della Scalaccia è risultato essere il sito più promettente in termini di successo per un intervento di restauro vero e proprio (Figura 6).



Figura 6. Mappa dei siti in cui sono stati effettuati i trapianti pilota negli anni precedenti, per selezionare il sito dell'intervento di restauro.

L'intervento è stato iniziato l'1 Giugno 2021 con il trapianto delle nuove reclute ottenute con il reclutamento *in situ* utilizzando 19 sassi naturali. Successivamente è stato concluso il 22 Giugno trapiantando tutte le strutture (2 con 5 piastrine l'una e 4 con 19 piastrine l'una) con le reclute ottenute sia con il reclutamento *in situ* che *ex situ*. Tutte le reclute utilizzate per il trapianto sono state trasportate con un contenitore nel sito del trapianto, lasciando i sassi sempre immersi nell'acqua per non lasciar seccare le alghe. Il sito del restauro è stato raggiunto o via terra dallo stradello che parte dalla zona di Pietralacroce

di Ancona o via mare, con l'imbarcazione Actea del DiSVA. Hanno partecipato all'intervento circa 10 persone, tra personale del DiSVA e studenti di laurea magistrale.

I sassi sono stati fissati al fondale con uno stucco ipossilico per evitare il loro ribaltamento, e di conseguenza la morte degli individui giovanili, mentre le strutture sono state fissate con due viti trapanate nel substrato roccioso in fori ottenuti con un trapano subacqueo (Figure 7 e 8).



Figura 7. Foto sassi naturali con reclute trapiantati nel sito di restauro.



Figura 8. Struttura fissata nel sito di restauro.

I sassi sono stati divisi in 3 plot, i primi 2 sono una decina di sassi l'uno, posizionati ai lati delle strutture artificiali, il terzo è un singolo sasso posizionato al centro. Le 2 strutture per testare l'approccio del reclutamento *in situ* sono state posizionate vicino ai 2 plot laterali (una per plot), e le 4 per testare l'approccio del reclutamento *ex situ* in posizione più centrale (Figura 9).

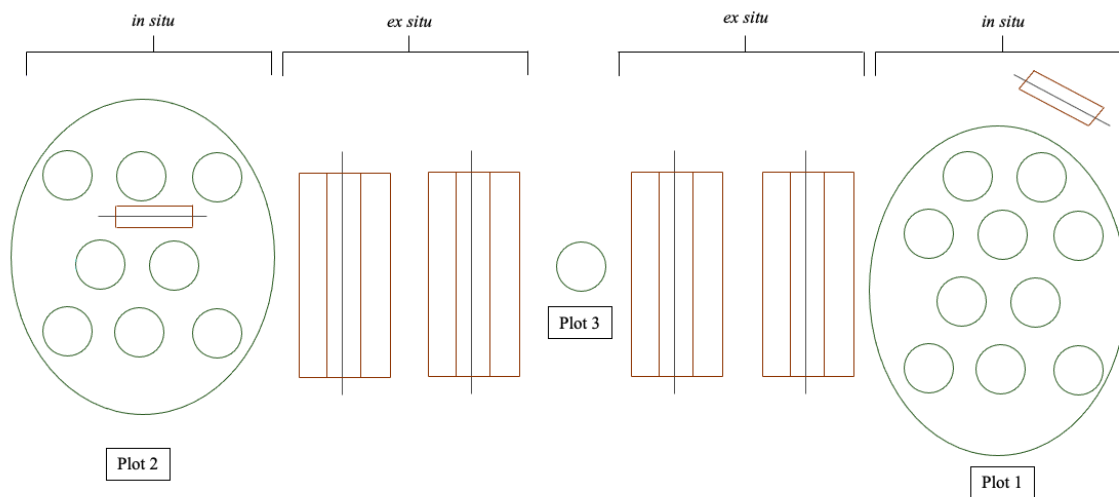


Figura 9. Schema che rappresenta la disposizione di sassi e strutture nel sito di restauro. Nel plot 1 i sassi naturali distano 30 cm l'uno dall'altro, nel plot 2 invece a 50 cm, invece le 4 strutture centrali distano 40 cm dai plot 1, 2 e 3, 30 cm tra di loro.

3.4 Variabili di risposta

La superficie del sito di restauro è 14,06 m² (140600 cm²). Come variabili di risposta sono state considerate accrescimento degli individui trapiantati, sia in termini di altezza del tallo, sia di copertura superficiale della *canopy*, misurati rispettivamente con un righello e con analisi di foto subacquee con riferimento di un quadrato di plastica di 2500 cm². Ogni variabile è stata misurata in replica 5 volte nelle seguenti date: 07/06/21, 24/06/21, 16/07/21, 07/08/21, 10/09/21.

La copertura della *canopy* è stata misurata con un software (ImageJ), che permette di calcolare l'area di una superficie da una foto, perimetrando la *canopy* nella foto e riferendola ad un frame di superficie nota, posizionato sul fondale.

3.5 Trattamento dati

L'analisi dei dati è stata effettuata con il programma Excel del pacchetto Office 365. La variabile relativa all'altezza degli individui è stata espressa come media \pm errore standard. La copertura della *canopy* è stata espressa come % di ricoprimento.

Per verificare le eventuali differenze nella crescita degli individui nei vari plot e nel tempo, è stata effettuata l'analisi statistica PERMANOVA (pacchetto PRIMER con l'add on PERMANOVA+). Il disegno sperimentale ha previsto due fattori di variabilità: Plot (fattore fisso, con numero di livelli corrispondenti al numero di plot e di strutture, in base all'approccio) e Tempo (fattore fisso con diversi livelli, corrispondenti alle date di monitoraggio di sassi e strutture).

4. Risultati

4.1 Crescita degli individui di *Gongolaria barbata* trapiantati nel sito di restauro

I valori relativi all'altezza degli individui di *G. barbata* reclutati su sassi naturali e trapiantanti variavano da un minimo di $2,0 \pm 0,6$ ad un massimo $19,6 \pm 1,4$ cm, il 7 giugno e il 10 settembre, rispettivamente (Tabella 1). L'andamento dei dati indica un accrescimento significativo e continuo nel periodo di monitoraggio (Figura 10; PERMANOVA, $p < 0.05$). In particolare, i valori sono raddoppiati tra la prima e la seconda (in 2 settimane) e tra la seconda e la terza (in 3 settimane) data di monitoraggio. Mediamente, la crescita settimanale è stata di 0,8 a 1,8 cm.

Tabella 1. Altezza media degli individui di *G. barbata* su sassi naturali (reclutamento *in situ*) trapiantati, nei plot 1, 2 e 3.

		Data monitoraggio				
		07/06/2021	24/06/2021	16/07/2021	07/08/2021	10/09/2021
Media (cm)		2,0	3,8	7,3	11,3	19,6
Err.st		0,6	0,9	1,3	0,9	1,4

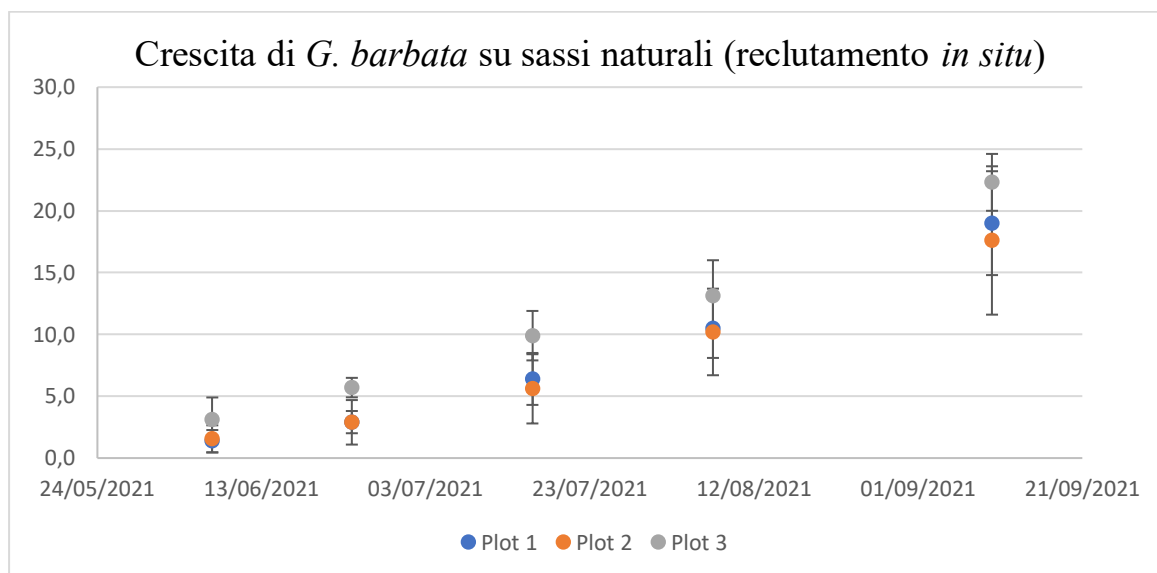


Figura 10. Crescita degli individui di *G. barbata* su sassi naturali (reclutamento *in situ*) trapiantati, nei plot 1, 2 e 3.

I valori relativi all'altezza degli individui di *G. barbata* reclutati su strutture artificiali *in situ* e successivamente trapiantati variavano da un minimo di $4,6 \pm 0,1$ ad un massimo $15,8 \pm 1,0$ cm, il 16 luglio e il 10 settembre, rispettivamente (Tabella 2). L'andamento dei dati indica un accrescimento significativo e continuo al passare del tempo (Figura 11; PERMANOVA, $p < 0.05$). In particolare, i valori sono raddoppiati tra la prima e la seconda (in 3 settimane) e tra la seconda e la terza (in 4 settimane) data di monitoraggio. Mediamente, la crescita settimanale è stata di 1,2-1,5 cm.

Tabella 2. Altezza media degli individui di *G. barbata* su strutture artificiali trapiantate (ottenuti tramite reclutamento *in situ*).

	Data monitoraggio		
	16/07/2021	07/08/2021	10/09/2021
Media (cm)	4,6	8,3	15,8
Err st	0,1	0,2	1,0

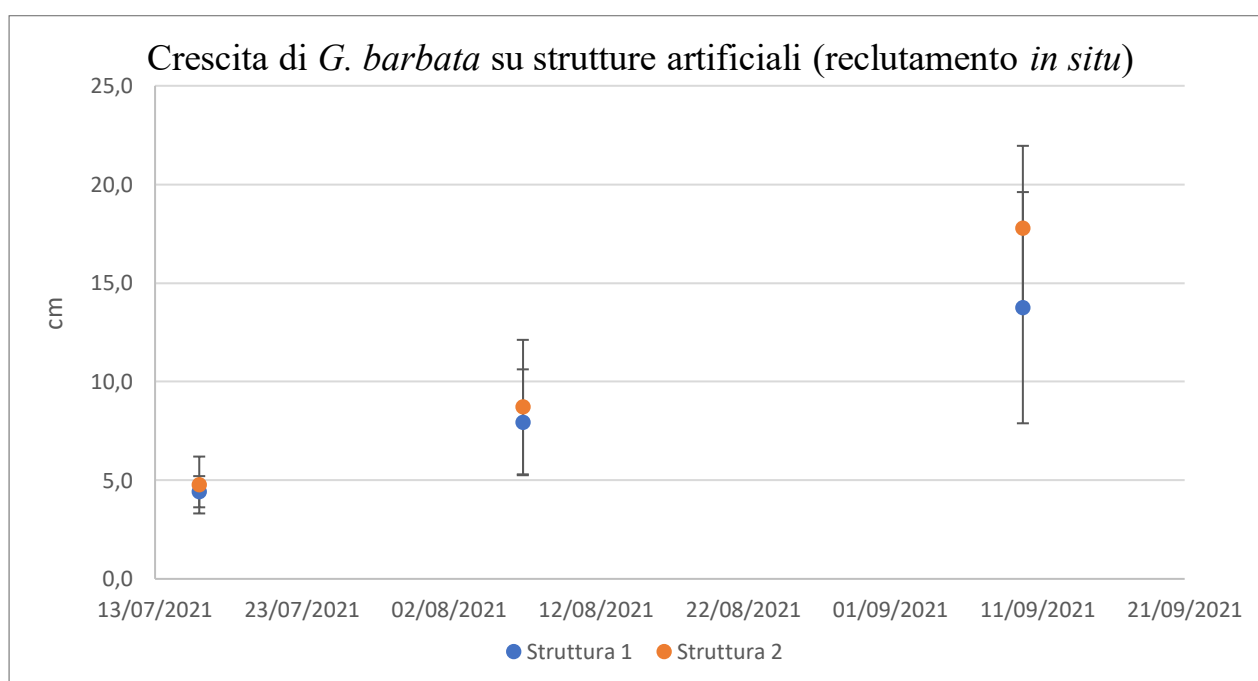


Figura 11. Crescita degli individui di *G. barbata* su strutture artificiali trapiantate (ottenuti tramite reclutamento *in situ*).

I valori relativi all'altezza di individui di *G. barbata* reclutati su strutture artificiali *ex situ* e successivamente trapiantati variavano da $0,25 \pm 0,08$ cm fino ad un massimo di $0,76 \pm 0,42$ cm, il 16 luglio e il 7 agosto, rispettivamente,

(Tabella 3) ma con un valore pari a 0 ± 0 cm il 10 settembre, (Tabella 3). L'andamento dei dati mostra un accrescimento tra la prima data e la seconda data di monitoraggio (in 3 settimane), dove l'altezza è triplicata (Figura 3), ma nella terza data di monitoraggio tutti gli individui erano scomparsi (Figura 12).

Tabella 3. Altezza media degli individui di *G. barbata* su strutture artificiali trapiantate (ottenuti tramite reclutamento *ex situ*).

	Data monitoraggio		
	16/07/2021	07/08/2021	10/09/2021
Media	0.25	0.76	0
Dev.st	0.08	0.42	0

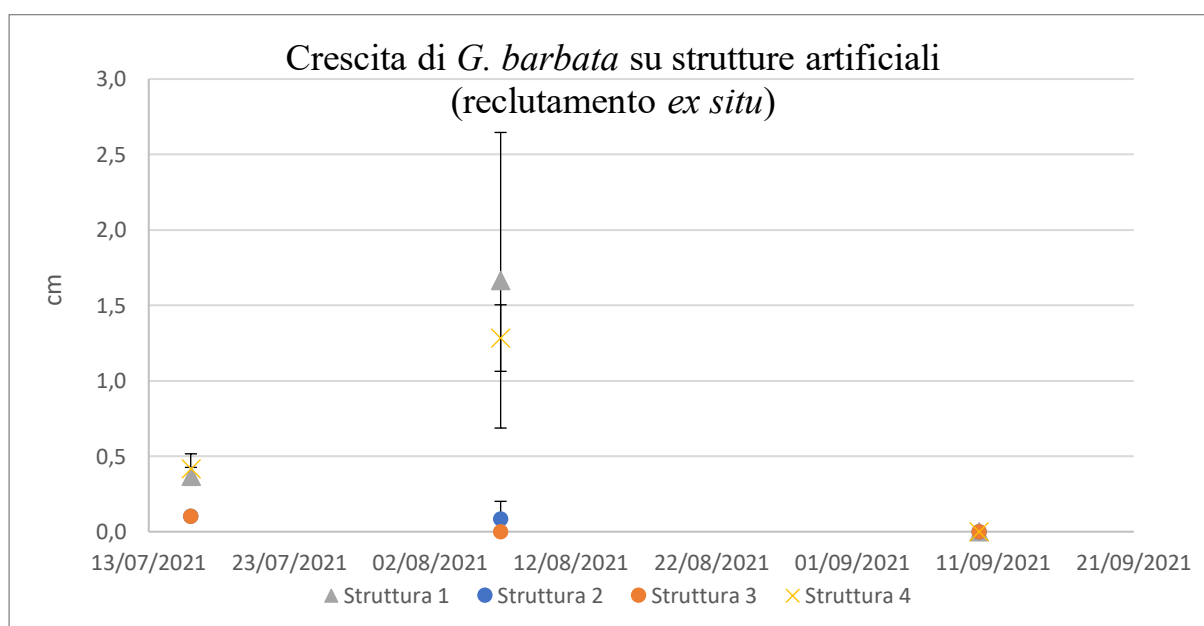


Figura 12. Crescita degli individui di *G. barbata* su strutture artificiali (reclutamento *ex situ*) trapiantati.

4.2 Copertura della canopy di *Gongolaria barbata* trapiantata nel sito di restauro

I valori relativi alla copertura superficiale di individui di *G. barbata* reclutati su sassi naturali e strutture artificiali *in situ*, successivamente trapiantati variavano da un minimo di $4 \pm 1\%$ ad un massimo di $60 \pm 25\%$, il 7 giugno e il 14 settembre, rispettivamente (Tabella 4). L'andamento dei dati mostra un accrescimento continuo al passare del tempo (Figura 13). In particolare, i valori sono quintuplicati tra la prima e la seconda (in 6 settimane) e raddoppiati tra la seconda e la terza (in 3 settimane) data di monitoraggio.

Tabella 4. Percentuale di ricoprimento della *canopy* di *G. barbata* dopo il restauro.

	Data di monitoraggio			
	07/06/2021	16/07/2021	07/08/2021	14/09/2021
%	4	19	37	60
dev.st	1	8	13	25

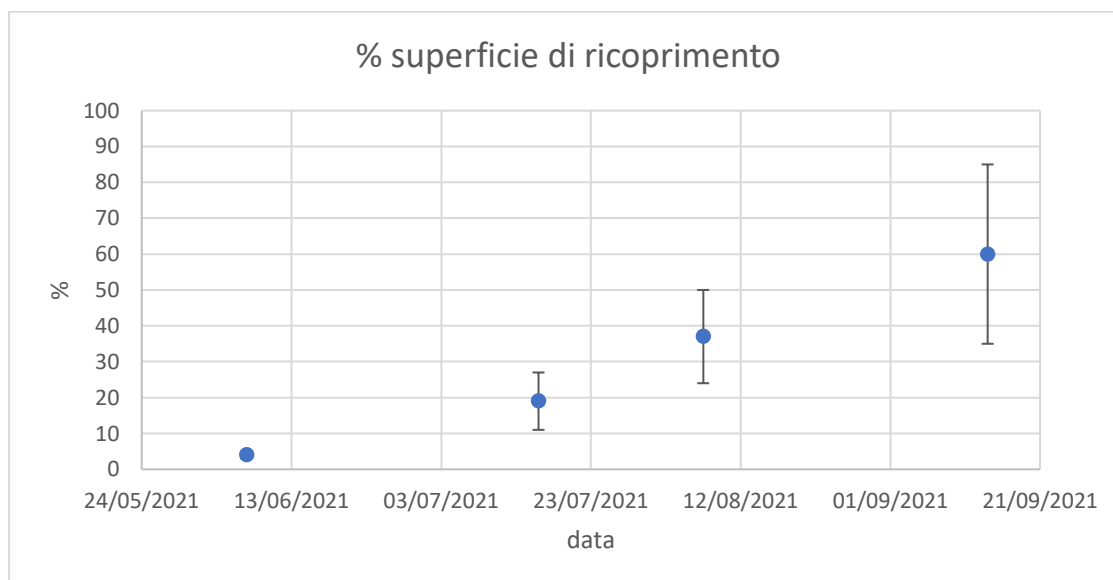


Figura 13. Percentuale di ricoprimento della *canopy* di *G. barbata* dopo il restauro.

4.3 Valutazione dei costi dell'intervento di restauro

I dati relativi ai costi complessivi dell'intervento di restauro, basato su reclutamento *in situ*, sono 1866,36 € (Tabella 5); i dati relativi ai costi complessivi dell'intervento di restauro, basato su reclutamento *ex situ*, sono 4795,95 € (Tabella 6). I dati sono relativi ai costi della coltivazione in laboratorio (*ex situ*), preparazione e trapianto delle strutture artificiali, trapianto dei sassi naturali, ed escluso il monitoraggio.

Tabella 5. Costi complessivi dell'intervento di restauro, basato su reclutamento *in situ*.

tipologia mezzo/prodotto	costo unitario €	unità	costo totale €
barca	1,498	69	103,36
manodopera	68,50	14	959,00
attrezzatura subacquea	250 *	0,50	125,00
strutture artificiali con dischi in terracotta	7	2	14
materiale per fissare i sassi sul fondale	10	1	10
trapano per fissare le strutture artificiali sul fondale	1270	0,5	635
contenitore trasporto sassi	10	2	20
Totale			1866,36

Tabella 6. Costi complessivi dell'intervento di restauro, basato su reclutamento *ex situ*.

Tipologia mezzo/prodotto	costo unitario €	unità	costo totale €
barca	1,498	23	34,45
manodopera	68,50	7	479,50
attrezzatura subacquea	250 *	0,50	125,00
strutture artificiali con dischi in terracotta	25	4	100
materiale per fissare i sassi sul fondale	0	0	0
trapano per fissare le strutture artificiali sul fondale	1270	0,50	635
laboratorio per crescita reclute <i>ex situ</i>	3402 **	1	3402
contenitore trasporto sassi	10	2	20
Totale			4795,95

Per il costo dell'attrezzatura (*, Tabelle 5 e 6), sono stati considerati: 100€ per la muta, 50€ per la borsa, 25€ per le pinne, 25€ per i guanti, 10€ per il costume e 40€ per la maschera.

Per il costo delle infrastrutture e degli acquari (**, Tabella 6) necessari per il reclutamento *ex situ* sono stati considerati: 180€ per gli acquari, 3222€ per il costo ente di un tecnico per gli acquari (107,40€ al giorno per 30 giorni).

Per il costo dell'imbarcazione, come costo unitario è stato considerato il costo della benzina al litro, moltiplicato per il numero di litri usati. Per la manodopera come costo unitario abbiamo considerato il costo di riferimento di un ricercatore base (25000€ costo ente), moltiplicato per il numero di giorni lavorativi impiegati. Per l'esperimento di reclutamento *in situ*: 1 giorno per la preparazione piastrine, 4 per l'assemblaggio strutture, 4 per il trapianto delle strutture, 5 per il trapianto dei sassi naturali. Per l'esperimento di reclutamento *ex situ*: 1 giorno per la preparazione delle piastrine, 4 per l'assemblaggio strutture, 2 per la preparazione delle retine e il posizionamento delle strutture in acquario.

5. Discussione

*5.1 Crescita degli individui di *Gongolaria barbata* trapiantati nel sito di restauro*

Nell'esperimento del reclutamento di individui di *G. barbata in situ* c'è stata una crescita continua nel tempo, sia per il reclutamento su sassi naturali, sia per il reclutamento sulle strutture artificiali, con un andamento simile, ma con crescita più lenta per gli individui di *G. barbata* reclutati sulle strutture artificiali trapiantate. Infatti, alla prima data di monitoraggio delle strutture artificiali (che corrisponde alla terza data di monitoraggio dei sassi naturali), il valore dell'altezza degli individui di *G. barbata* delle strutture artificiali trapiantate era poco più della metà rispetto agli individui di *G. barbata* dei sassi naturali trapiantati.

Entrambi i tipi di reclute hanno avuto lo stesso andamento di crescita, con un tasso di crescita medio pari a 5 cm al mese, anche se i dati relativi agli individui di *G. barbata* reclutati su strutture artificiali trapiantati hanno mostrato valori assoluti inferiori perché sono stati trapiantati più tardi. In questo caso, partendo quindi da individui di *G. barbata* di minori dimensioni, si osserva un ritardo nella crescita di 2/3 settimane.

Con l'approccio basato sul reclutamento di individui di *G. barbata* con strutture artificiali *ex situ* c'è stata una crescita minima di $0,51 \pm 0,50$ cm tra le prime 2 date di monitoraggio. Durante l'ultimo monitoraggio, avvenuto il 10 settembre, gli individui appartenenti a questo gruppo sperimentale non erano più presenti. Ciò potrebbe significare che gli individui non sono sopravvissuti oppure sono stati ricoperti da altre specie di alghe (filamentose) che sono cresciute sulle stesse strutture. Possiamo escludere come causa dell'insuccesso dell'approccio basato su reclutamento *ex situ* il pascolamento di erbivori; è lecito ritenere che, se fosse stata questa la causa, gli eventuali erbivori avrebbero brucato anche gli individui di *G. barbata* sugli altri substrati. La mancata sopravvivenza di questi individui potrebbe essere imputata al fatto che erano di dimensioni ancora piccole per sopravvivere alle condizioni estive, in cui le elevate temperature non sono favorevoli per la crescita di *Gongolaria barbata*. Però questi risultati contrastano con risultati ottenuti da precedenti esperimenti pilota condotti nel 2020 nello stesso sito della Scalaccia, mirati a testare l'idoneità del sito di restauro. Negli esperimenti precedenti, infatti, si era osservata la sopravvivenza e crescita degli individui trapiantati con approccio basato su reclutamento *ex situ* ottenuti con procedure simili a quelle utilizzate in questo lavoro di tesi. Nel 2020 negli acquari è stata usata luce bianca, invece quest'anno è stata usata luce con forte prevalenza di lunghezza d'onda blu, inoltre nel 2020 negli acquari la

temperatura non era controllata ed ha raggiunto nelle ultime fasi circa 25°C, quest'anno invece la temperatura era controllata e non è stata portata sopra i 18°C. Infine, la discrepanza osservata potrebbe essere associata al diverso periodo in cui sono state trapiantate le nuove reclute ottenute con tecnica *ex situ*, settembre nel 2020 e luglio nel 2021. Per futuri esperimenti ed interventi, quindi, sarà fondamentale anche testare quale è il periodo ottimale per effettuare i trapianti.

Possiamo paragonare i risultati ottenuti con altri esperimenti precedenti, come nello studio di Orlando-Bonaca (Orlando-Bonaca et al., 2021) condotto nel nord Adriatico, lungo le coste slovene. In questo studio è stato tentato un restauro di una popolazione di *G. barbata* con tecniche di reclutamento *ex situ*, dividendo l'area del restauro in 2 parti, una con un controllo degli erbivori e l'altra senza il controllo degli erbivori per un breve periodo di tempo (non voluto, ma a causa di una tempesta), con un monitoraggio durato 4 mesi nel periodo estivo, fino a fine settembre. I risultati evidenziano un'altezza degli individui di *G. barbata* all'ultima data di monitoraggio di $6,2 \pm 0,56$ cm, dato riferito alla parte con il controllo degli erbivori, con una crescita continua e andamento simile al presente studio, ma con una crescita più lenta nel tempo. Il tasso di crescita maggiore osservato nel presente lavoro di tesi potrebbe essere dovuto principalmente alle diverse condizioni ambientali del sito, in

particolare diverse condizioni di temperatura dell'acqua, radiazione solare ed apporto di nutrienti inorganici.

5.2 Copertura della canopy di Gongolaria barbata ottenuta da trapianti nel sito di restauro

Nei plot con individui trapiantati ed ottenuti con tecniche di reclutamento *in situ* (sia sassi naturali, sia strutture artificiali) la copertura superficiale della *canopy* ha avuto una crescita continua nel tempo, partendo da un minimo di 4 ± 1 % alla prima data di monitoraggio, fino ad un massimo di 60 ± 25 % all'ultima data di monitoraggio. Quindi tale copertura è aumentata di un ordine di grandezza in 3 mesi. L'andamento della crescita della copertura superficiale della *canopy* segue un andamento simile alla crescita degli individui di *G. barbata* reclutati *in situ* su sassi naturali e strutture artificiali, con una crescita sempre più veloce nel tempo. La copertura superficiale totale della *canopy* nel sito di restauro alla data dell'ultimo monitoraggio era di $0,89 \text{ m}^2$ su $1,5 \text{ m}^2$, che risulta circa il 60%, ottenuto in circa 3 mesi dall'intervento iniziale di trapianto, laddove le alghe hanno avuto il massimo accrescimento (cioè nei plot di restauro con approccio di reclutamento *in situ*).

Con l'approccio di reclutamento *ex situ* di individui di *G. barbata* su strutture artificiali non è stato possibile misurare la copertura superficiale della *canopy* essendo gli individui di *G. barbata* di dimensioni troppo piccole alla prima data di monitoraggio ed essendo non più visibili all'ultima data.

Possiamo paragonare i risultati ottenuti con altri esperimenti di restauro di popolazioni di *G. barbata* precedenti, come nello studio di Orlando-Bonaca (Orlando-Bonaca et al., 2021), dove è stata misurata la copertura superficiale della *canopy* ottenendo un valore di 89% (per la parte con il controllo degli erbivori) dopo 4 mesi. Se pur maggiore in valore assoluto, va considerato il fatto che lo studio precedente è durato 4 mesi, mentre il presente studio solamente 3 mesi. Inoltre, la differenza osservata tra i due studi potrebbe dipendere dal maggior numero di individui di *G. barbata* per unità di superficie, che ha permesso una maggiore copertura superficiale.

5.3 Valutazione dei costi dell'intervento di restauro

I dati relativi ai costi complessivi dell'intervento di restauro, basato su reclutamento *in situ*, sono 1866,36€; i dati relativi ai costi complessivi dell'intervento di restauro basato su reclutamento *ex situ* sono 4795,95 €. L'intervento di restauro basato su reclutamento *ex situ* ha mostrato costi doppi, rispetto all'approccio con reclutamento *in situ*. Tra i costi che più incidono, i

principali sono il costo del personale e il costo delle *facilities* da utilizzare, in questo caso specifico il laboratorio con gli acquari per far riprodurre la *G. barbata* in vasca (Figura 14).

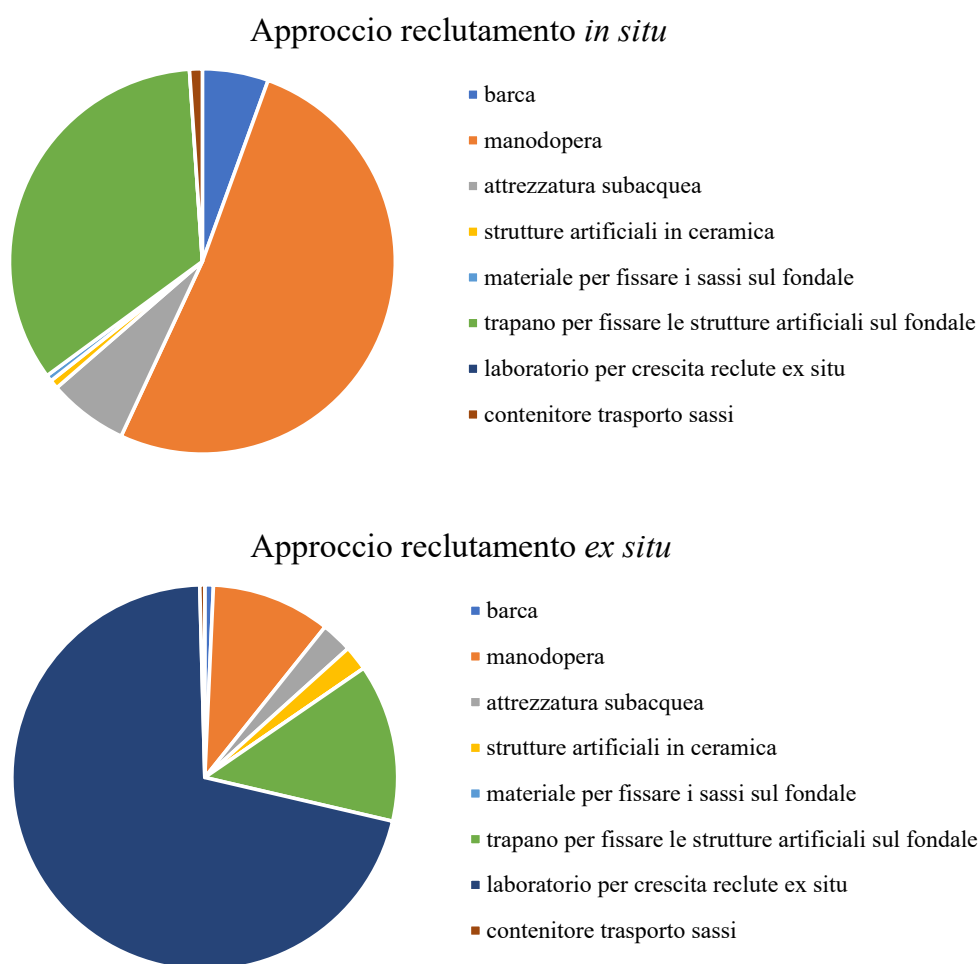


Figura 14. Incidenza delle varie voci di costo, sul costo totale dell'intervento di restauro, utilizzando i due approcci di reclutamento *in situ* ed *ex situ*.

Si possono paragonare i costi complessivi dell'intervento di restauro ad altri esperimenti di restauro di foreste di macroalghe in altre aree del Mediterraneo, come ad esempio nello studio di Verdura et al. (2018). In questo studio gli autori hanno trapiantato *G. barbata* nell'isola di Menorca, basandosi su tecniche *in situ* ed *ex situ*. Il costo dell'intervento con approccio basato su reclutamento *in situ* è stato di 1092 € su una superficie di 25 m². Paragonando questo dato con quello ottenuto per l'intervento di restauro, basato su reclutamento *in situ* del presente lavoro di tesi, è poco più della metà, nonostante la superficie dell'area restaurata sia quasi il doppio della nostra. Questa discrepanza è dovuta principalmente dal costo del trapano subacqueo che è servito per fissare le strutture al substrato. Togliendo il prezzo del trapano, il costo dei trapianti risulta simile ma il costo standardizzato all'unità di superficie risulta il doppio (87,90 €) rispetto a quello ottenuto nello studio di Verdura et al. (43,70 €) (Verdura et al., 2018) poiché la superficie da loro restaurata è doppia. I valori comunque rientrano nello stesso ordine di grandezza.

Per quanto riguarda il costo dell'intervento con approccio basato su reclutamento *ex situ* è stato 2665 €, quasi la metà rispetto al nostro intervento di restauro. Questa differenza è data principalmente dal costo ente di un tecnico per gli acquari che ha lavorato 5 giorni su 7 per il periodo di un mese.

Un altro esempio è lo studio di Medrano et al. (Medrano et al., 2020), in cui gli autori hanno trapiantato *Treptacantha elegans* (genere *Cystoseira s.l.*) in un'area protetta del nord ovest del mediterraneo (parco naturale MIMBT, the Montgrí, Illes Medes and Baix Ter, (NTZ, no take zone), basandosi su tecniche *in situ* ed *ex situ*. Il costo dell'intervento con approccio basato su reclutamento *in situ* è stato di 2180 € su una superficie di 200 m². Paragonando questo dato con quello ottenuto per l'intervento di restauro, basato su reclutamento *in situ* del presente lavoro di tesi, risulta simile, nonostante la superficie dell'area restaurata sia molto più ampia.

Tale differenza è legata principalmente all'utilizzo delle strutture artificiali e ai costi degli strumenti subacquei (come ad esempio il trapano). L'utilizzo di strutture artificiali è però necessaria in casi e siti specifici, in cui non si hanno sassi incoerenti da poter spostare e fissare ed in situazioni in cui è preferibile limitare l'uso dello stucco (ad esempio in aree protette).

Il costo standardizzato all'unità di superficie è di un ordine di grandezza superiore nel nostro intervento di restauro basato su reclutamento *in situ* (circa 350 € su m²) rispetto al lavoro di Medrano et al. (10,90 € su m²). C'è da considerare che nella loro valutazione non hanno incluso le stesse voci di costo, come ad esempio il costo dell'attrezzatura e strumentazione subacquea. Inoltre,

anche la tecnica del restauro risulta essere diversa, cioè basata sul fissaggio di retine con fronde fertili direttamente sul substrato roccioso da restaurare.

5.4 Confronto tra approcci basati su reclutamento in situ ed ex situ

Dai risultati del presente studio risulta evidente che il successo di restauro basato su reclutamento *in situ* è nettamente maggiore rispetto al restauro basato su reclutamento *ex situ*. Ciò è dovuto alla difficoltà della coltivazione degli individui giovanili in laboratorio, precedente al trapianto, per cui la crescita risulta essere sempre inferiore rispetto alla crescita che gli individui hanno in ambiente naturale.

Infatti, confrontando i valori dell'altezza degli individui di *G. barbata* reclutati *in situ* su sassi naturali e strutture artificiali con quelli degli individui reclutati *ex situ* su strutture artificiali, si può notare come gli individui reclutati *in situ* siano cresciuti di più in tutto il periodo di monitoraggio, con un'altezza massima di un ordine di grandezza superiore rispetto agli individui reclutati *ex situ*.

Confrontando i costi dell'intervento di restauro basato su reclutamento *in situ* con i costi dell'intervento di restauro basato su reclutamento *ex situ* si può

notare come sia più conveniente l'intervento basato su reclutamento *in situ*, costando meno della metà.

È interessante notare che non esistono differenze sostanziali nella crescita degli individui e nei costi dell'intervento basato su approccio *in situ* utilizzando substrati di crescita differenti, cioè sassi naturali o strutture artificiali.

Complessivamente i risultati di questo studio mostrano come è possibile scegliere e modulare l'approccio migliore in base alle condizioni specifiche del sito da restaurare. Dove è possibile, si dovrebbe preferire il reclutamento *in situ*, rispetto a quello *ex situ*, sia per il maggior successo, sia per i costi contenuti. Laddove il reclutamento *in situ* non fosse possibile, ad esempio in zone in cui non sono presenti sassi incoerenti o zone a forte idrodinamismo, è possibile utilizzare l'approccio *ex situ* se si ha una infrastruttura adeguata in prossimità e prestando attenzione al periodo in cui viene effettuato il trapianto.

In conclusione, per corroborare i risultati del presente studio, il monitoraggio andrebbe condotto per almeno 12 mesi complessivi dall'inizio dell'intervento di restauro, in modo da analizzare anche la variabilità stagionale nella crescita e nella copertura della *canopy*, tipica degli individui appartenenti alla specie *G. barbata*.

Bibliografia

- Acunto S., Bacchetta G., Bordigoni A., (...), 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.
- Aronson J., Alexander S. (2013) Steering towards sustainability requires more ecological restoration. *Natureza e Conservacao* 11(2), 127-137.
- Bekkby T., Papadopoulou N., Fiorentino, D., (...), Ramirez-Llodra E., Smith C.J (2020) Habitat Features and Their Influence on the Restoration Potential of Marine Habitats in Europe. *Frontiers in Marine Science* 7, 184.
- Bianchelli S., Danovaro R. (2020) Impairment of microbial and meiofaunal ecosystem functions linked to algal forest loss. *Scientific Reports* 10(1), 19970.
- Castejón-Silvo I., Terrados J. (2021) Poor success of seagrass *Posidonia oceanica* transplanting in a meadow disturbed by power line burial, *Marine Environmental Research* 170, 105406.
- Commissione Europea (2019) Comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale

europeo e al comitato delle regioni - il Green Deal europeo. Bruxelles, 11.12.2019 COM(2019) 640 final.

Danovaro R., Aronson J., Cimino R., (...), Snelgrove P.V.R., Van Dover C. (2021) Marine ecosystem restoration in a changing ocean, *Restoration Ecology* 29(S2), e13432.

de Caralt S., Verdura J., Vergés A., Ballesteros E., Cebrian E. (2020) Differential effects of pollution on adult and recruits of a canopy-forming alga: implications for population viability under low pollutant levels. *Scientific Reports* 10(1), 17825.

Fabbrizzi E., Scardi M., Ballesteros E., (...), Taskin E., Frascchetti S. (2020) Modeling macroalgal forest distribution at mediterranean scale: Present status, drivers of changes and insights for conservation and management, *Frontiers in Marine Science* 7, 20.

Gann (2019) International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition - Gann - 2019 - *Restoration Ecology* - Wiley Online Library).

Gianni F., Mačić V., Bartolini F., (...), Laurent M., Mangialajo L. (2020) Optimizing canopy-forming algae conservation and restoration with a new herbivorous fish deterrent device, *Restoration Ecology* 28(4), 750-756.

- Kim A.R., Lim B.S., Seol J., Lee C.S. (2021) Principle of restoration ecology reflected in the process creating the National Institute of Ecology, *Journal of Ecology and Environment* 45(1),12.
- Medrano A., Hereu B., Cleminson M., (...), Solà J., Linares C. (2020) From marine deserts to algal beds: *Treptacantha elegans* revegetation to reverse stable degraded ecosystems inside and outside a No-Take marine reserve. *Restoration Ecology* 28(3), 632-644.
- Molinari-Novoa E.A., Guiry M.D. (2020) Reinstatement of the genera *Gongolaria* Boehmer and *Ericaria* Stackhouse (Sargassaceae, Phaeophyceae). *Notulae Algarum* 171, 1-10.
- Orellana S. (2019) Diversity of *Cystoseira sensu lato* (Fucales, Phaeophyceae) in the eastern Atlantic and Mediterranean based on morphological and DNA evidence, including *Carpodesmia gen. emend.* and *Treptacantha gen. emend.* 447465.
- Orfanidis S., Rindi F., Cebrian E., Frascchetti S., Nasto I., Taskin E., Bianchelli S., Papathanasiou V., Kosmidou M., Caragnano A., Tsioli S., Ratti S., Fabbriizzi E., Brugarola J.V., Tamburello L., Beqiraj S., Kashta L., Sota D., Papadimitriou A., Mahmoudi E., Kiçaj H., Georgiadis K., Hannachi A., Danovaro R. (2021) Effects of natural and anthropogenic stressors

- on fuclean brown seaweeds across different spatial scales in the Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8, 658417.
- Orlando-Bonaca M., Pitacco V., Slavinec P., Šiško M., Makovec T., Falace A. (2021) First restoration experiment for *Gongolaria barbata* in Slovenian Coastal Waters. What Can Go Wrong?" *Plants* 10, 2, 239.
- Perkon-Finkel S., Airoidi L. (2010) Loss and recovery potential of marine habitats: An experimental study of factors maintaining resilience in subtidal algal forests at the Adriatic Sea. *PLoS ONE* 5(5), e10791.
- Piazzì L., Ceccherelli G. (2019) Effect of sea urchin human harvest in promoting canopy forming algae restoration, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 219, 273-277.
- Ribera M.A., Gomez Garreta A., Gallardo T., Cormaci M., Furnari G., Giaccone G. (1992) Check-list of Mediterranean Seaweeds. I. Fucophyceae (Warming, 1884). *Botanica Marina* 35, 109-130.
- Rindi F., Gavio B., Díaz-Tapia P., Di Camillo C.G., Romagnoli T. (2020) Long-term changes in the benthic macroalgal flora of a coastal area affected by urban impacts (Conero Riviera, Mediterranean Sea). *Biodiversity and Conservation* 29(7), 2275-2295.
- Smith C.J., Papadopoulou K.N., Carballo-Cárdenas E., van Tatenhove J.P.M, (2021) Marine restoration in the Mediterranean: red coral and fan mussel

discourses, uncertainty and reaching restoration targets, *Marine Policy* 128, 104488.

UN General Assembly (2019) Resolution adopted by the General Assembly on 1 March 2019, 73/284. United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030).

Verdura J., Sales M., Ballesteros E., Cefalì M.E., Cebrian E. (2018) Restoration of a canopy-forming alga based on recruitment enhancement: methods and long-term success assessment. *Frontiers in Plant Science* 9, 1832.

Allegati

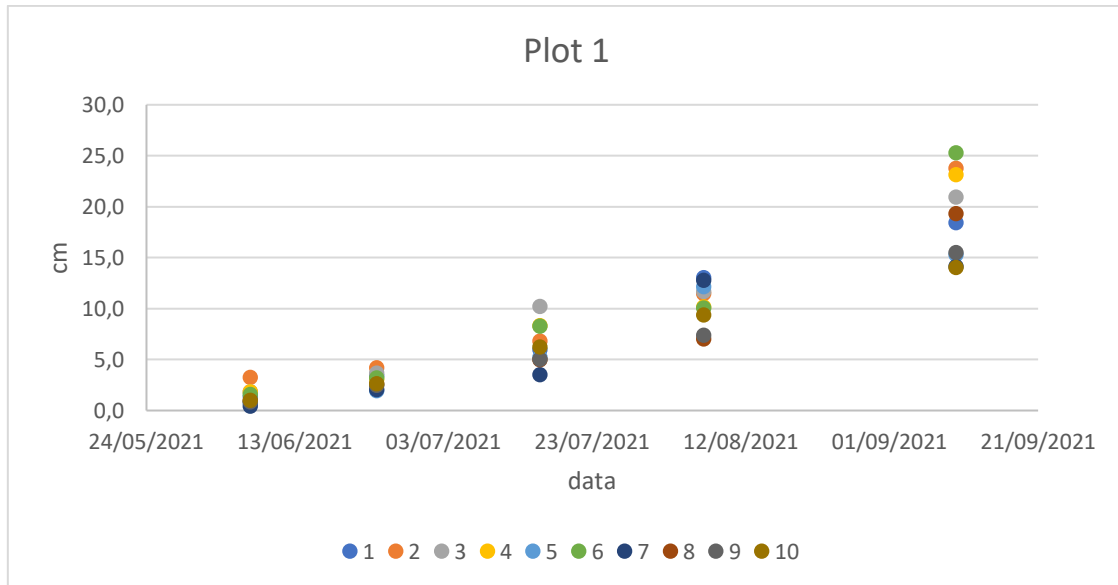
Allegato 1. Altezza degli individui di *G. barbata* sui sassi trapiantati.

Plot	rock	07/06/2021	Media cm 07/06/2021	24/06/2021	Media cm 24/06/2021	16/07/2021	Media cm 16/07/2021	07/08/2021	Media cm 07/08/2021	10/09/2021	Media cm 10/09/2021
1	1	1,5	1,4	3,9	3,4	7,1	6,0	11,5	13,0	14,8	18,4
		1,6		2,1		6,5		11,4			
		0,7		3,5		5,6		15,2			
		1,7		4		4,7		14			
1	2	3,2	3,3	3,8	4,2	7,7	6,8	16	11,5	27	23,8
		2,9		3,8		7,4		13,3			
		3,3		4		6,5		8,5			
		3,6		5,2		5,5		8			
1	3	1,9	1,8	2,6	3,7	12	10,2	11,1	11,7	23	20,9
		3		4,2		10,5		10,5			
		1		3		10,4		12,7			
		1,3		4,8		7,9		12,4			
1	4	2,6	1,8	2,9	3,1	8,4	8,3	10	10,1	26,6	23,2
		2		3,3		8		9,8			
		1,3		3		7,7		10,7			
		1,4		3		9,2		10			
1	5	1	0,7	1,5	2,0	6	5,2	12,5	12,2	13,7	15,3
		0,6		2		5,7		12,6			
		0,7		2,5		4,5		12,1			
		0,5		1,8		4,6		11,4			
1	6	2,6	1,6	3,8	3,2	8,9	8,3	10,4	10,0	26,5	25,3
		1,5		2,5		9,2		9,8			
		1,2		3		7,9		9,9			
		0,9		3,5		7,1		10			
1	7	0,5	0,4	2,3	2,0	4,2	3,5	13,5	12,8	13,5	14,1
		0,4		2,4		3,6		12,4			
		0,5		1,7		2,7		12,6			
		0,3		1,7		3,5		12,5			
1	8	0,3		2,5		6,1		7,1		16	

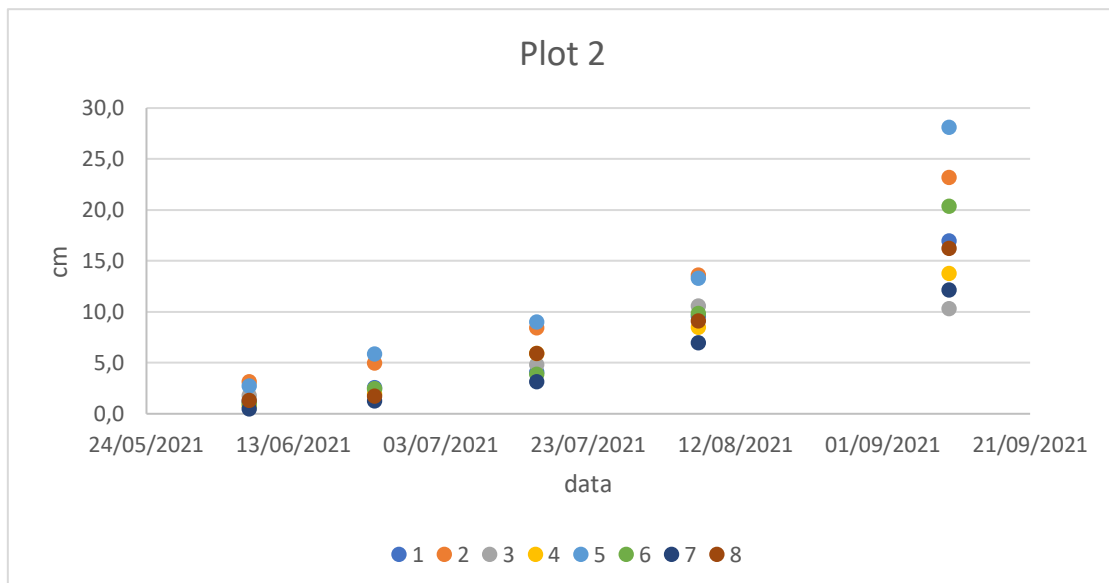
		0,4	0,9	2,9	2,6	4,7	5,0	7	7,0	20,3	19,3
		1,8		2,3		5		6,9		18,4	
		1,2		2,5		4		7		22,5	
1	9	1	0,9	2,1	2,5	4,3	5,0	7,6	7,4	16,5	15,5
		0,8		3,4		4,4		7,6		17	
		0,9		2,3		5,2		7		14	
		0,7		2		6,1		7,3		14,5	
1	10	2,3	1,0	2,7	2,6	5,4	6,2	9,4	9,4	14,3	14,0
		0,6		2,2		6,4		11		19,5	
		0,5		2,3		6,4		10,4		11	
		0,5		3,3		6,7		8,3		11,2	
	Media	1,4	1,4	2,9	2,9	6,4	6,4	10,5	10,5	19,0	19,0
	Dev.st	0,9	0,9	0,9	0,9	2,1	2,1	2,4	2,4	4,8	4,8
2	1	2,1	1,2	3,1	2,6	8	4,1	13,6	9,6	14,5	17,0
		1		1,3		4		12		18,6	
		0,5		4,4		2,5		7		20,6	
		1,2		1,4		1,9		5,6		14,2	
2	2	5	3,1	3,7	5,0	9,9	8,4	16,1	13,6	28	23,2
		3		3,4		11,4		16,4		26,4	
		2		6,2		6,3		12,5		22,7	
		2,5		6,5		6		9,4		15,7	
2	3	2,3	1,8	3	2,4	6,8	4,8	10,1	10,6	10,3	10,3
		1,2		1,8		2,8		11			
		1,8		2,4							
2	4	1	0,8	1,6	2,0	9	5,9	8,1	8,5	12,4	13,8
		0,5		1,2		4,8		7,5		17,5	
		0,7		3		3,8		10,5		13	
		1		2		6		7,9		12,2	
2	5	3	2,7	7	5,9	7	9,0	8,4	13,3	29,5	28,1
		3,5		5,8		6,5		8		25	
		3,3		5,4		12		16,3		32	
		1,1		5,2		10,6		20,4		26	
2	6	0,8	1,0	1,8	2,5	5,6	3,9	10,5	9,8	25	20,4
		0,5		2,7		5,3		10,2		21	
		1,5		3,1		2,5		8,6		21,5	
		1,2		2,2		2		10		14	
2	7	0,5		1		3,1		6,5		18,3	

		0,4	0,5	1,2	1,3	3,6	3,1	7,6	7,0	6	12,2
		0,5		2		2,8		6,8			
		0,5		0,9		3		7			
2	8	1,3	1,3	0,7	1,7	7	5,9	9,2	9,1	18	16,2
		1		1,6		4,2		9		18,6	
		1,7		2		6				14,2	
		1,2		2,5		6,5				14	
	Media	1,5		1,5		2,9		2,9		5,7	
	Dev.st	1,1	1,1	1,8	1,8	2,8	2,8	3,5	3,5	6,4	6,4
3	1	2,8	3,1	6,5	5,7	10,2	9,9	12,2	13,1	21	22,3
		1,2		4,8		9,8		11,2		25,5	
		5,5		6,2		12,1		17,3		22,2	
		3		5,3		7,3		11,5		20,4	
	Media	3,1	3,1	5,7	5,7	9,9	9,9	13,1	13,1	22,3	22,3
	Dev.st	1,8		0,8		2,0		2,9		2,3	
	Media	1,4	1,4	2,9	2,9	6,1	6,1	10,4	10,4	18,9	18,4
	Dev.st	1,0	0,8	1,3	1,2	2,4	2,0	2,9	2,1	5,5	4,9

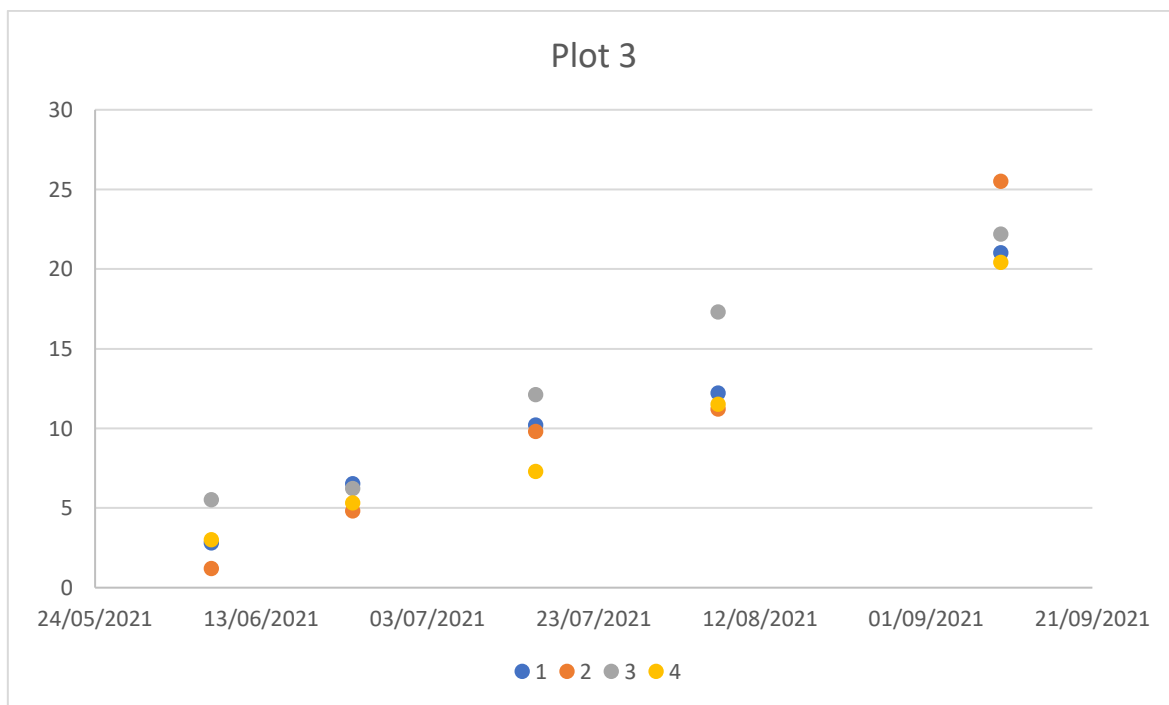
Allegato 2. Grafico che mostra la crescita degli individui su sassi naturali (reclutamento *in situ*) trapiantati nel plot 1.



Allegato 3. Grafico che mostra la crescita degli individui su sassi naturali (reclutamento *in situ*) trapiantati nel plot 2.



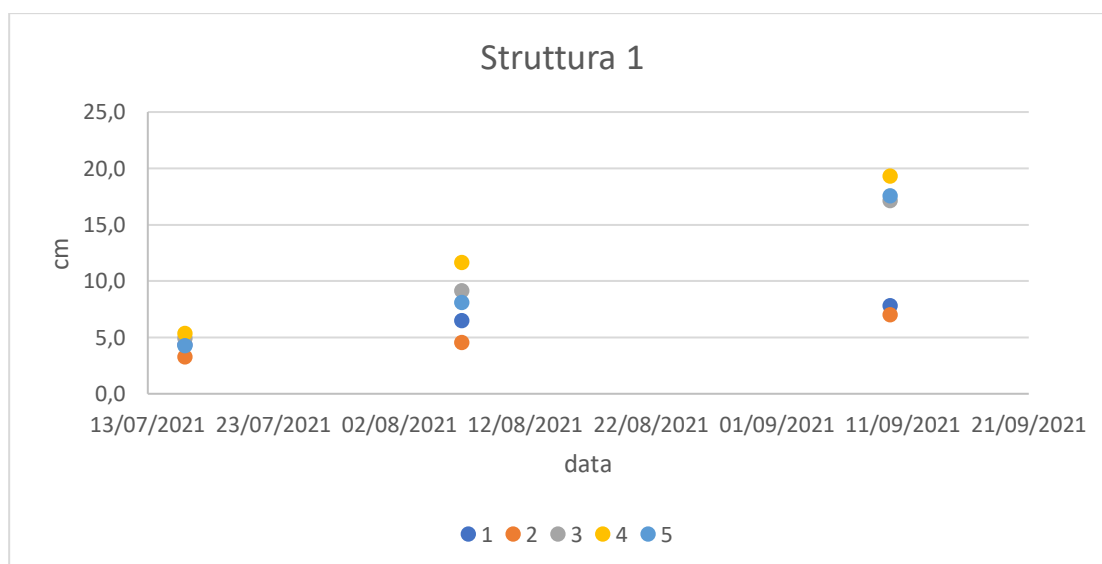
Allegato 4. Grafico che mostra la crescita degli individui su sassi naturali (reclutamento *in situ*) trapiantati nel plot 3.



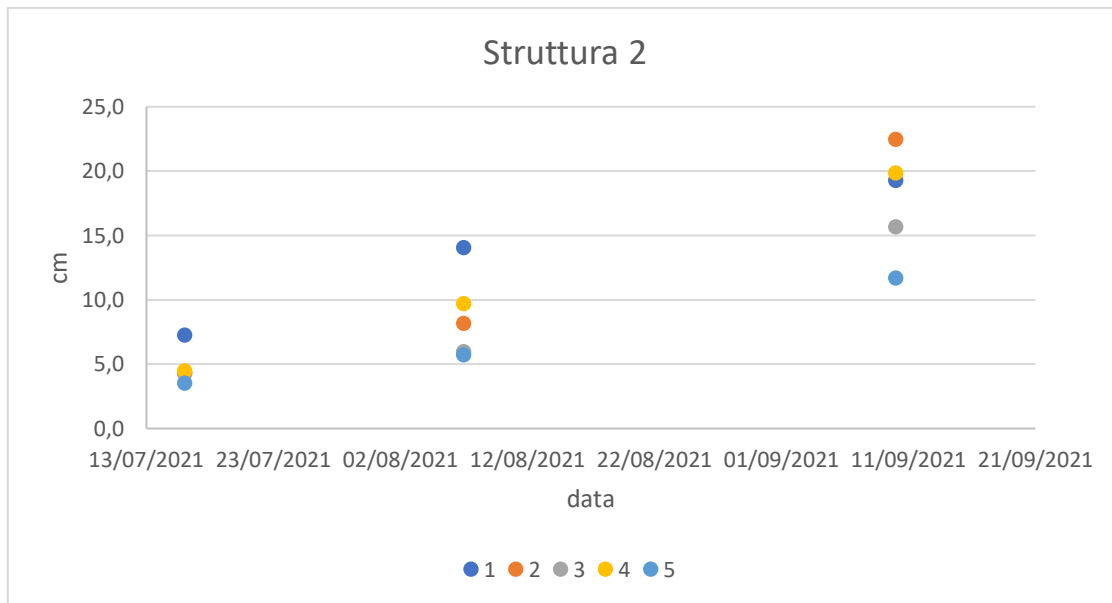
Allegato 5. Altezza degli individui di *G. barbata* sulle due strutture artificiali (reclutamento *in situ*).

Struttura	piastri	16/07/2021 cm	07/08/2021 cm	10/09/2021 cm
1	1	4,4	6,5	7,8
1	2	3,3	4,5	7
1	3	4,9	9,1	17,1
1	4	5,4	11,6	19,3
1	5	4,3	8,1	17,6
	Media	4,4	7,9	13,8
	Dev st	0,8	2,7	5,9
2	1	7,3	14,05	19,3
2	2	4,3	8,2	22,5
2	3	4,4	6,0	15,7
2	4	4,5	9,7	19,9
2	5	3,5	5,7	11,7
	Media	4,8	8,7	17,8
	Dev st	1,4	3,4	4,2

Allegato 6. Altezza degli individui di *G. barbata* sulla struttura artificiale 1 (reclutamento *in situ*), sulle 5 piastre di terracotta.



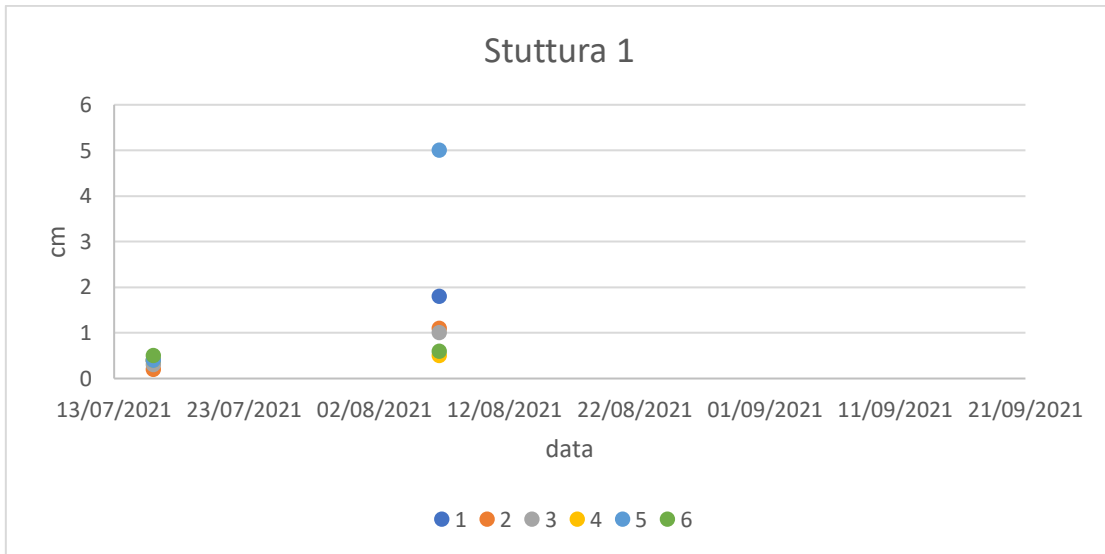
Allegato 7. Altezza degli individui di *G. barbata* sulla struttura artificiale 2 (reclutamento *in situ*), sulle 5 piastre di terracotta.



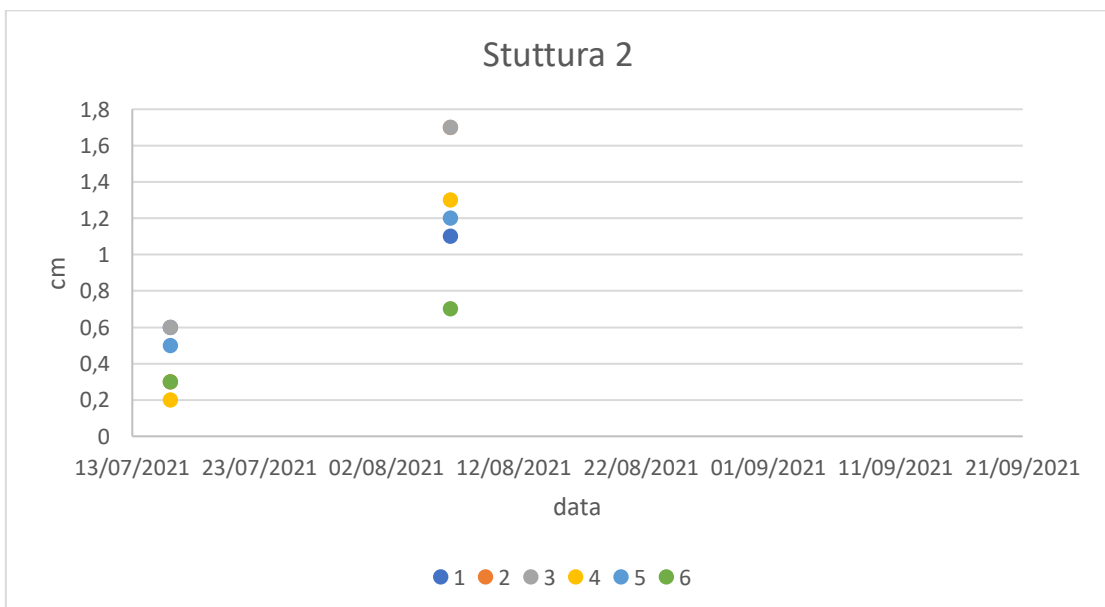
Allegato 8. Altezza degli individui di *G. barbata* sulle strutture artificiali (reclutamento *ex situ*).

Struttura	piastrine	16/07/2021 cm	07/08/2021 cm
1	1	0,4	1,8
1	2	0,2	1,1
1	3	0,3	1,0
1	4	0,4	0,5
1	5	0,4	5,0
1	6	0,5	0,6
	Media	0,4	1,7
	Dev st	0,1	1,7
4	1	0,6	1,1
4	2	0,3	1,7
4	3	0,6	1,7
4	4	0,2	1,3
4	5	0,5	1,2
4	6	0,3	0,7
	Media	0,4	1,3
	Dev st	0,2	0,4
Struttura (19)	piastrine	16/07/2021	07/08/2021
2	1	0,1	0
2	2	0,1	0
2	3	0,1	0
2	4	0,1	0
2	5	0,1	0,5
2	6	0,1	0
	Media	0,1	0,1
	Dev.st	0,0	0,2
3	1	0,1	0
3	2	0,1	0
3	3	0,1	0
3	4	0,1	0
3	5	0,1	0
3	6	0,1	0
	Media	0,1	0,0
	Dev.st	0,0	0,0

Allegato 9. Altezza degli individui di *G. barbata* sulla struttura artificiale 1 (reclutamento *ex situ*), sulle 6 piastre di terracotta.



Allegato 10. Altezza degli individui di *G. barbata* sulla struttura artificiale 2 (reclutamento *ex situ*), sulle 6 piastre di terracotta.



Allegato 11. Superficie di ricoprimento delle *canopy* di *G. barbata* trapiantata (reclutamento *in situ* ed *ex situ*), in termini di superficie e % di ricoprimento.

ricoprimento superficiale	7/6/2021		16/07/2021		07/08/2021		14/09/2021	
	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%	cm ²	%
quadrato 1	110	4,4	483	19,32	1181	47,24	2500	100
quadrato 2	109	4,36	231	9,24	0*	0	1266	50,64
quadrato 3	89	0,356	0*	0	1021	40,84	0*	0
quadrato 4	68	2,72	470	18,8	0*	0	1331	53,24
quadrato 5	130	5,2	0*	0	563	22,52	0*	0
quadrato 6	151	6,04	724	28,96			2450	98
quadrato 7							1004	40,16
media	109,5	3,846	477	12,72	921,7	22,12	1887	50,31
dev. St.	29,28	2,03	201,3	11,66	320,8	22,14	680	44,30

* dati riferiti alle strutture artificiali dell'esperimento *ex situ*