



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto per l'Ambiente Marino Costiero  
*Laboratorio di Ecologia Marina di Castellammare del Golfo*

## Convenzione ARPA-CNR

ESECUZIONE DI RICERCHE E STUDI DEGLI EFFETTI DELL'INVASIONE  
DI CAULERPE ALIENE SULLE BIOCENOSI COSTIERE

30 OTTOBRE 2013

Autori

Luigi Musco, Barbara Mikac, Simone Mirto, Tomás Vega Fernández, Davide Agnetta, Carlo Pipitone, Giuseppe Di Stefano, Fabio Badalamenti,

Prot. CNR-IAMC n. 0008561 del 30/10/2013

INTRODUZIONE.....	4
SCOPO GENERALE.....	10
AZIONE 1: STUDIO DELL'IMPATTO DI CAULERPA TAXIFOLIA VAR DISTICHOPHYLLA SU POPOLAMENTI BENTONICI ASSOCIATI A POSIDONIA OCEANICA .....	12
1.1 INTRODUZIONE.....	12
<i>L'importanza di Posidonia oceanica</i> .....	12
<i>Gli organismi del bentos come indicatori di qualità dell'ambiente</i> .....	13
1.2 OBIETTIVO .....	15
1.3 MATERIALI E METODI .....	16
<i>Area di studio</i> .....	16
<i>Prelievo e trattamento dei campioni di macrofauna</i> .....	17
<i>Prelievo e trattamento dei campioni di meiofauna</i> .....	17
<i>Misurazione di Eh, pH e RPD</i> .....	18
<i>Analisi statistiche</i> .....	19
1.4 RISULTATI .....	20
<i>Variabili ambientali</i> .....	20
<i>Macrofauna (analisi degli indici univariati)</i> .....	21
<i>Macrofauna (analisi multivariate)</i> .....	25
<i>Comunità meiobentoniche (analisi degli indici univariati)</i> .....	28
<i>Meiofauna (analisi multivariate)</i> .....	33
1.5 DISCUSSIONE.....	35
AZIONE 2: STUDIO DEGLI EFFETTI DELL'INVASIONE DI CAULERPA SPP SULLA RETE TROFICA DELLA SICILIA MERIDIONALE .....	39
2.1 INTRODUZIONE.....	39
2.2 OBIETTIVO .....	40
2.3 MATERIALI E METODI .....	40
<i>Area di studio e disegno di campionamento</i> .....	40
<i>Raccolta dei campioni</i> .....	41
<i>Trattamento dei campioni</i> .....	42
<i>Analisi statistica dei dati</i> .....	43
2.4 RISULTATI .....	43
<i>Elenco degli elementi analizzati</i> .....	43
<i>Analisi statistiche multivariate</i> .....	43
<i>Analisi dei biplot trofo-chimici</i> .....	45
2.5 DISCUSSIONE.....	47
AZIONE 3: STUDIO DEGLI EFFETTI DELL'INVASIONE DI CAULERPA RACEMOSA VAR CYLINDRACEA SU STRUTTURA E FUNZIONE DI POPOLAMENTI MACROBENTONICI SESSILI DI FONDO DURO DELL'INFRA LITORALE.....	48
3.1 INTRODUZIONE.....	48
3.2 OBIETTIVO .....	49
3.3 MATERIALI E METODI .....	49
<i>Area di studio</i> .....	49
<i>Approccio sperimentale</i> .....	50
<i>Manipolazione in situ</i> .....	51
<i>Analisi dei popolamenti bentonici</i> .....	52
<i>Analisi statistiche</i> .....	53
3.4 RISULTATI .....	55
<i>Analisi degli indici univariati</i> .....	55
<i>Analisi multivariate</i> .....	56
3.5 DISCUSSIONE.....	58
CONCLUSIONI GENERALI .....	59

BIBLIOGRAFIA .....	61
APPENDICE 1.....	75
APPENDICE 2.....	83
ANNESSO A.....	91
ANNESSO B.....	168
ANNESSO C.....	220
RINGRAZIAMENTI.....	221

## INTRODUZIONE

Tra le forme di impatto che possono compromettere la salute degli ecosistemi marini le invasioni biologiche sono annoverate tra quelle di interesse prioritario e dalle conseguenze più negative (EEA, 2006). Le specie aliene possono interferire con il funzionamento del sistema invaso a vari livelli, modificando la biodiversità delle aree interessate, con gravi conseguenze per le attività produttive legate al mare, come pesca e turismo e, in alcuni casi, possono rappresentare un rischio per la salute umana (Bax et al., 2003).

Il mar Mediterraneo è uno dei mari più colpiti dall'invasione di forme biologiche non autoctone in termini di durata del fenomeno (Steftaris et al., 2005), di numero di specie aliene segnalate (Costello et al., 2010) e per la straordinaria velocità di introduzione (Zenetos, 2009; 2010). In Mediterraneo al momento sono state censite quasi 1000 specie aliene appartenenti ai più svariati gruppi tassonomici, e tra queste 125 specie di macrofite (Zenetos, 2010). In particolare, alcune macroalghe hanno destato particolare allarme a causa della loro capacità di interferire con le condizioni fisico-chimiche dell'ambiente (movimento dell'acqua, tasso di deposizione dei sedimenti, caratteristiche del substrato) fino a modificarle, portando come conseguenza al cambiamento del paesaggio marino e delle caratteristiche strutturali e funzionali delle comunità bentoniche autoctone (Williams e Smith, 2007).

Tra le macroalghe invasive in area mediterranea, *Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh e *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonders) Verlaque, Huisman e Boudouresque sono quelle che hanno destato il maggiore interesse, anche mediatico, per l'ampiezza del fenomeno (Figura 1).

Nella fase iniziale dell'invasione di *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh in Mediterraneo si è supposta una sua origine lessepsiana ipotizzando una sua entrata dal Mar Rosso attraverso il Canale di Suez (Alongi et al., 1993; Giaccone e Di Martino, 1995). Tuttavia le analisi morfologiche e genetiche hanno provato che l'alga recentemente introdotta nel Mediterraneo è *Caulerpa cylindracea* Sonders, 1845, endemica per la parte sud-ovest dell'Australia (la regione tra Perth e Hopetown) (Verlaque et al., 2003) che è stata successivamente considerata sinonimo di *C. racemosa* var. *cylindracea* (Sonders) Verlaque, Huisman e Boudouresque.

L'alga è caratterizzata da fronde erette lunghe fino a 11 cm che portano ramuli di forma vescicolare con disposizione radiale o distica (Figura 1A).



**Figura 1.** Morfologia di *Caulerpa racemosa* (A) e *Caulerpa taxifolia* (B)

*Caulerpa racemosa* è stata osservata per la prima volta nel Mediterraneo in Libia nel 1990 (Nizamuddin, 1991). Ancora non si può dire con certezza se la prima introduzione dell'alga nel Mediterraneo è avvenuta tramite traffico navale (acque di sentina) o a causa del commercio legato all'acquariofilia. Appena 17 anni dopo la prima segnalazione, *C. racemosa* aveva colonizzato 12 paesi nel Mediterraneo (Libia, Italia, Grecia, Albania, Cipro, Francia, Turchia, Malta, Spagna, Tunisia, Croazia, Algeria) (Klein e Verlaque, 2008), oltre che le isole Canarie in Atlantico (Verlaque et al., 2004). Le coste italiane sono quelle maggiormente interessate dal fenomeno (Piazzi et al., 2005) osservato per la prima volta nel 1993 nelle zone sud orientali della Sicilia e nell'isola di Pantelleria (Alongi et al., 1993). Tuttavia, in un recente lavoro Papini et al (2013), utilizzando un elegante approccio modellistico, suggeriscono che il primo inoculo in Mediterraneo di *C. racemosa* possa essere avvenuto lungo le coste siciliane dello Stretto di Sicilia e che l'invasione dell'intero bacino e delle coste prossime dell'Atlantico potrebbe essere partito da quelle aree piuttosto che dalle coste libiche come precedentemente ipotizzato (Nizamuddin, 1991).

Nel suo habitat naturale, nel sud-ovest dell'Australia, *C. racemosa* cresce su substrati rocciosi pianeggianti e in pozze nella zona intertidale a profondità comprese tra il mediolitorale e 6 metri (Womersley, 1984; Carruthers et al., 1993). Nel Mediterraneo, invece, è stata trovata sia in aree esposte che in aree protette su tutti i tipi di substrato molle e duro (ciottoli, roccia, matite morta di *Posidonia oceanica*, sabbia, fondi fangosi e detritici, coralligeno) da 0 a 70 metri di profondità, con abbondanza maggiore tra 0 e 30 m. Viene osservata sia in aree sottoposte a stress di origine antropica, sia in aree relativamente integre (Klein e Verlaque, 2008). In Australia *C. racemosa* si associa ad altre alghe in popolamenti diversificati senza monopolizzare l'ambiente formando praterie monospecifiche. Al contrario, in Mediterraneo l'alga può creare dense e continue praterie monospecifiche in vari habitat bentonici fotofili e sciafili.

Il grande successo di *C. racemosa*, come quello della maggior parte delle specie aliene, si può

spiegare con l'assenza in Mediterraneo dei suoi patogeni e predatori naturali, con la grande efficienza riproduttiva e la capacità dispersione secondaria. I mezzi principali di dispersione di zigote, frammenti e propaguli di *C. racemosa* in Mediterraneo sono il traffico navale (acque di sentina, ancoraggio), alcune attività associate alla pesca (uso di draghe, lo strascico, reti di fondo e trappole) e le correnti che possono concentrare o disperdere i propaguli. Inoltre, in Mediterraneo è stata notata un'alta tolleranza di *C. racemosa* ad un ampio range di temperatura, salinità e illuminazione (Klein e Verlaque, 2008).

*Caulerpa racemosa* mostra una pronunciata variabilità stagionale di lunghezza di stoloni e fronde, di velocità della crescita, di copertura e biomassa, ma tipicamente il picco di crescita si osserva tra l'estate e l'autunno, con minimi osservabili nei mesi invernali (Klein e Verlaque, 2008). La specie si riproduce sia sessualmente, sia asessualmente per via vegetativa con crescita, frammentazione e rilascio di propaguli (ramuli staccati).

L'alga produce metaboliti secondari, come caulerpinina, caulerpina e caulerpicina che possono essere coinvolti nella difesa chimica contro gli erbivori e nella competizione con le altre specie. Ciononostante, in letteratura vengono riportati vari casi di organismi che pascolano su *C. racemosa*; per quanto riguarda le specie ittiche: *Boops boops*, *Pagellus acarne*, *Sarpa salpa*, il migrante lessepsiano *Siganus luridus*, *Spondyllosoma cantharus*, *Diplodus sargus* (Nizamuddin, 1991; Ruitton et al., 2006; G. Cadiou pers. comm. in Klein e Verlaque, 2008; Box et al., 2009; Terlizzi et al., 2011; Tomas et al., 2011). Altri organismi che si alimentano di *C. racemosa* sono i gasteropodi *Aplysia sp.*, *Ascobulla fragilis*, *Bittium latreillei*, *Elysia tomentosa*, *Lobiger viridis*, *Oxynoe viridis*, *Lobiger serradifalci*, *Oxynoe olivacea* e *Ascobulla fragilis* (Gianguzza et al., 2001, 2002; Yokes e Rudman, 2004; Cavas e Yurdakoc, 2005, Djellouli et al., 2006; Box, 2008, Baumgartner et al., 2009), ed i ricci *Paracentrotus lividus* e *Sphaerechinus granularis* (Ruitton et al., 2006; Žuljević et al., 2008; Tomas et al., 2011; Cebrian et al., 2011).

Per l'entità del suo impatto sull'architettura dei sistemi nei quali si diffonde, *C. racemosa* può essere considerata un "modificatore di habitat" (Klein e Verlaque, 2008). In certe condizioni *C. racemosa* può creare tappeti multistratificati alti 15 cm che, catturandolo, contribuiscono all'accumulo di sedimento producendo effetti diretti sulla comunità originaria, modificandola profondamente (Piazzi et al., 1997, Argyrou et al., 1999a, Žuljević et al., 2003). L'effetto più evidente è la formazione di uno strato anossico sottostante con completa esclusione della comunità originaria (Piazzi et al., 1997).

Pochi studi hanno quantificato gli effetti dell'impatto di *C. racemosa* sulla fauna Mediterranea. Una ricerca condotta a Cipro (Argyrou et al., 1999a,b) ha ipotizzato che i cambiamenti della copertura vegetale indotti hanno causato effetti significativi sulla composizione della comunità

macrobentonica, con aumento dell'abbondanza di bivalvi, echinodermi e soprattutto dei policheti, e riduzione dell'abbondanza di crostacei e gasteropodi. Casu et al. (2005) non hanno notato effetti della presenza di *C. racemosa* sulle comunità zoobentoniche di fondo roccioso in Sardegna. Nel golfo di Taranto è stato osservato un incremento di densità, diversità della meiofauna in comunità invase da *C. racemosa*, ed elevato numero di policheti e crostacei (Carriglio et al., 2003).

Piazzì e Balata (2008) hanno notato una riduzione della fauna sessile di popolamenti di fondo roccioso invasi da *C. racemosa* con totale scomparsa dei briozoi. Su fondi rocciosi del sud-est della Spagna la diversità degli anfipodi è risultata alta e apparentemente non influenzata dalla presenza di *C. racemosa*, tuttavia la composizione specifica appariva completamente diversa (Vazquez-Luis et al. 2008). Nella stessa area è stato dimostrato che *C. racemosa* rappresenta un nuovo habitat per crostacei caprellidi (Vazquez-Luis et al., 2009).

Una ricerca sulle comunità bentoniche associate al coralligeno della costa pugliese del Mar Ionio ha dimostrato che la diffusione di *C. racemosa* coincide con un decremento significativo della copertura di poriferi ma non sono stati osservati cambiamenti nella composizione in specie portando ad ipotizzare che l'invasione dell'alga aliena non ha influenzato la diversità del popolamento a poriferi della zona (Baldaconi e Corriero, 2009). *Caulerpa racemosa* è in grado di ricoprire completamente la spugna *Sarcotragus spinosulus* Schmidt 1862 causando necrosi e anche morte della spugna (Žuljević et al., 2011). Sull'isola di Mljet (Adriatico) *C. racemosa* ha coperto completamente le colonie del corallo *Cladocora caespitosa* causando effetti nocivi sullo cnidario (Kružić et al., 2008).

L'aumento di  $\alpha$ -diversità (diversità locale) nelle comunità zoobentoniche invase di *C. racemosa* osservata in alcuni casi, è tuttavia associata ad un'elevata riduzione di  $\beta$ -diversità (variabilità tra località) con omogeneizzazione del sistema marino costiero (Piazzì e Balata, 2008; Pacciardi et al., 2011).

*Caulerpa taxifolia* (Vahl) C. Agardh (Figura 1B), è un'alga con distribuzione tropicale introdotta accidentalmente in Mediterraneo nel 1984 tramite le acque di scarico dell'acquario del Museo Oceanografico di Monaco. Nel 1984 è stata notata solo su una superficie di 1m<sup>2</sup>; nel 1990 la superficie è aumentata a 3 ha, nel 1991 a 30 ha, nel 1992 100-430 ha, nel 1993 1000-2000 ha (Meinesz e Hesse, 1991; Boudouresque e Meinesz, 1994). In breve tempo questa alga ha colonizzato sette paesi nel Mediterraneo (Croazia, Francia, Italia, Monaco, Spagna, Tunisia e Turchia) ed una parte dell'Australia (Klein e Verlaque, 2008). *Caulerpa taxifolia* è stata inserita nella lista delle 100 peggiori specie invasive dell'IUCN (International Union for the Conservation of Nature) (Walters, 2009).

L'espansione rapida di *C. taxifolia* in habitat temperati è dovuta alla combinazione di efficienza di riproduzione e facilità di trasporto dei frammenti su grandi distanze con navi, ancore e reti da pesca (Meinesz e Hesse, 1991; Meyer et al., 1998; Relini et al., 2000; Wright, 2005). Questa alga può sopravvivere a lungo a condizioni avverse, nell'alloggiamento delle ancore delle navi o nelle sulle reti salpate a bordo (Sant et al., 1996; West et al., 2007). Esperimenti hanno dimostrato che attività ricreative come nautica e nuoto nelle zone invase di *C. taxifolia* possono aumentare il numero dei propaguli, dunque favorirne la dispersione e la capacità di invasione (West et al., 2007). L'alga è piuttosto resistente alla sedimentazione e può persistere per lunghi periodi sotterrata nel sedimento (Glasby et al., 2005).

*Caulerpa taxifolia* cresce su tutti i tipi di substrato: roccia, sabbia, fanghi e praterie di *Cymodocea nodosa* e *P. oceanica*, a profondità da 0,5 a 100 m (Uchimura, 1999; Meyer et al., 1998). La massima colonizzazione è stata osservata a profondità tra 2 e 6 m. La densità delle fronde può raggiungere il numero di 350 m<sup>2</sup> (Bellan-Santini et al., 1996). *Caulerpa taxifolia* è un forte competitore nei nuovi ambienti marini colonizzati, per la capacità di formare dense praterie con lunghi stoloni e fronde molto sviluppate e per il fatto che contiene tossine dannose per molti organismi (Meyer et al., 1998).

La rapidità di diffusione di *C. taxifolia*, l'alta velocità di crescita e la capacità di creare dense praterie sui vari tipi di substrato, specialmente in aree con elevato carico di nutrienti, portano alla formazione di microhabitat omogenei e alla sostituzione della comunità algale autoctona (Verlaque e Fritayre, 1994; Boudouresque et al., 1995; Harmelin-Vivien et al., 1999).

Il principale metabolita secondario di *C. taxifolia*, il caulerpinene, è tossico per alcuni organismi, può diffondersi nella catena trofica marina ed ha un effetto repulsivo verso gli erbivori (Uchimura, 1999), può rappresentare un rischio ecologico per i microorganismi e le uova degli animali pluricellulari che vivono associati all'alga (Lemee et al., 1993). Esperimenti hanno dimostrato che il comportamento alimentare del riccio *Paracentrotus lividus* è influenzato dalla presenza dei metaboliti secondari tossici e repellenti di *C. taxifolia* (Lemee et al., 1996).

E' stato dimostrato che in certe condizioni *C. taxifolia* può occupare il biotopo di *P. oceanica* e *C. nodosa* (DeVillete e Verlaque, 1995; Ceccherelli e Cinelli, 1999). Le praterie di *P. oceanica* più rade sono maggiormente soggette ad invasione rispetto a quelle più dense (Ceccherelli e Cinelli, 1999). *Caulerpa taxifolia* occupa gli spazi nella prateria e riduce la penetrazione della luce, influenzando fortemente il sistema (Meyer et al., 1998). Dopo la invasione di *C. taxifolia* in praterie di *P. oceanica* è stata notata una diminuzione di numero, larghezza e longevità delle foglie, clorosi, necrosi e alla fine la morte del fascio (DeVillete e Verlaque, 1995). È stato anche dimostrato che nell'interazione con *C. taxifolia* la lunghezza delle foglie di *P. oceanica*, l'indice fogliare e l'età



media delle foglie diminuiscono, invece la biomassa degli epifiti ed il numero di foglie per rizoma aumentano. La produzione primaria di *P. oceanica* è sempre più alta quando interagisce con *C. taxifolia* (Dumay et al., 2002; Pergent et al., 2008).

Recenti analisi morfologiche e molecolari hanno dimostrato che il ceppo di *C. taxifolia* presente lungo le coste meridionali della Sicilia (Jongma et al., 2013) è diverso dal ceppo che ha invaso gran parte del Mediterraneo a partire dal 1984. Esso, infatti, appartiene ad una nuova varietà aliena della stessa specie introdotta recentemente dall'Australia e denominata *C. taxifolia* (Vahl) C. Agardh var. *distichophylla* (Sonder) Verlaque, Huisman and Procaccini. La stessa varietà è presente in Mediterraneo anche lungo le coste della Turchia meridionale in zone caratterizzate dalla presenza di importanti porti industriali (Iskenderun ed Antalya) e questo fa supporre che la causa dell'introduzione sia legata al traffico marittimo intercontinentale, senza tuttavia escludere un'introduzione legata all'acquariofilia. È interessante notare che secondo Jongma et al. (2013) l'attuale distribuzione in Mediterraneo di *C. taxifolia* var. *distichophylla* può dipendere dalla temperatura, ed in particolare dall'isoterma di febbraio 15°C che potrebbe rappresentare una barriera all'espansione verso nord.

Come già accennato, entrambe le specie di *Caulerpa* possono invadere anche le praterie di fanerogame marine che rappresentano sistemi chiave dell'ambiente marino costiero per il ruolo ecologico che svolgono. Tra le varie funzioni ecosistemiche sono importanti quelle legate alla fisiologia, come la produzione primaria, il riciclo dei nutrienti, lo stoccaggio del carbonio. Altre funzioni importanti riguardano l'attenuazione del moto ondoso, la stabilizzazione dei sedimenti ma soprattutto l'incremento di complessità di habitat correlato alle caratteristiche morfologiche delle piante che consente lo sviluppo di complesse reti alimentari e sostiene lo sviluppo di un'elevata biodiversità strutturale e funzionale (Duarte, 2002).

Un'approfondita analisi bibliografica relativa alle due specie aliene di *Caulerpa*, alla loro tassonomia, ecologia, distribuzione ed agli effetti ecologici della loro invasione in Mediterraneo è disponibile nell'ANNESSO A.

Un'analisi ispettiva condotta nel Maggio 2012 e mirata ad individuare siti con praterie di *Posidonia oceanica* prossime alla costa (100-200 m) affetti dalla presenza di specie aliene del genere *Caulerpa* presso l'area del Ragusano (vedi ANNESSO A), aveva evidenziato che *C. taxifolia* [successivamente identificata da Jongma et al (2013) come *C. taxifolia* var. *distichophylla*] era presente, e in alcuni casi abbondante, sui bordi delle praterie di *Posidonia* della zona in questione, spingendosi in alcuni casi all'interno delle praterie soltanto in spazi liberi ove si accumula sabbia,

mentre la presenza di *C. racemosa* era limitata ai fondi duri, a basse profondità (mediolitorale e infralitorale) a volte associata alla congenerica *C. taxifolia* var *distichophylla*. La stessa analisi aveva portato a concludere che il tratto di costa del ragusano ispezionato fosse idoneo ad un campionamento pilota mirato a valutare l'effetto di *C. taxifolia* var *distichophylla* sui popolamenti bentonici associati al margine esterno del posidonieto, ove l'alga aliena è apparsa particolarmente abbondante in quasi tutti i siti ispezionati.

In un successivo studio pilota condotto nel Canale di Sicilia nel Luglio 2012 state confrontate le caratteristiche dei popolamenti bentonici associati al margine esterno di posidonieti invasi da *C. taxifolia* var. *distichophylla* presso Donnalucata con quelle dei popolamenti associati a posidonieti non affetti dal fenomeno presso Maragani (Sciacca). I risultati hanno indicato che la macrofauna associata al posidonieto affetto dalla presenza di *C. taxifolia* mostrava una composizione faunistica e una struttura di popolamento nettamente diversi rispetto a quelle del posidonieto di controllo. Infatti, il popolamento a crostacei si è rivelato la componente dominante nella matte di *Posidonia* presso Maragani, mentre le praterie invase mostravano la dominanza di molluschi e policheti. Il numero di specie di molluschi è risultato maggiore nella matte di *Posidonia* soggetta ad impatto, la diversità dei policheti è, invece, risultata maggiore nelle matte non invase, così come il numero dei taxa di crostacei, che è risultato minore nella matte impattata. Questi risultati sono apparsi tuttavia in contrasto con ciò che è stato osservato per la meiofauna negli stessi siti, in quanto questa componente dello zoobentos non ha mostrato differenze tali da far supporre la presenza di un impatto dell'alga aliena (vedi ANNESSO B).

I risultati dello studio pilota hanno suggerito che l'analisi dell'eventuale impatto di *C. taxifolia* var *distichophylla* sui posidonieti della Sicilia sudorientale andava ulteriormente indagato con uno studio più approfondito.

## **SCOPO GENERALE**

Lo scopo della ricerca è quello di verificare gli effetti dell'invasione di specie aliene del genere *Caulerpa* sui popolamenti bentonici della Sicilia meridionale a vari livelli.

In particolare, ci si propone di verificare se:

- la presenza di *Caulerpa* possa avere un effetto sui pattern di distribuzione degli invertebrati bentonici di ambienti chiave da un punto di vista ecologico,
- l'entità dell'invasione sia tale da influire sulla struttura della rete trofica del sistema analizzato,
- la presenza dell'alga aliena influisca su proprietà ecosistemiche fondamentali come la resilienza e alteri la struttura della comunità.

A tal proposito lo studio è suddiviso nelle 3 azioni di seguito elencate:

**AZIONE 1:** STUDIO DELL'IMPATTO DI *CAULERPA TAXIFOLIA* VAR *DISTICHOPHYLLA* SU POPOLAMENTI BENTONICI ASSOCIATI A *POSIDONIA OCEANICA*

**AZIONE 2:** STUDIO DEGLI EFFETTI DELL'INVASIONE DI *CAULERPA* SPP SULLA RETE TROFICA DELLA SICILIA MERIDIONALE

**AZIONE 3:** STUDIO DEGLI EFFETTI DELL'INVASIONE DI *CAULERPA RACEMOSA* VAR *CYLINDRACEA* SU STRUTTURA E FUNZIONE DI POPOLAMENTI MACROBENTONICI SESSILI DI FONDO DURO DELL'INFRALITORALE

Alle tre Azioni ha fatto anche seguito un corso di formazione dedicato ai dipendenti di ARPA Sicilia (ANNESSO C)