



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA**  
**Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali**  
**Corso di Laurea specialistica in Biologia Marina**

**Struttura di età e tasso di crescita della  
popolazione di *Corallium rubrum* dell'Area  
Marina Protetta di Cap de Creus (Spagna)**



**Relatori:**

Prof. Giovanni Santangelo  
Dott. Lorenzo Bramanti

**Candidato:**

Andrea Gori

# *Indice*

Abstract

Riassunto

1. Introduzione pag. 9 - 34

1.1 *Corallium Rubrum*

1.2 Sistematica

1.3 Morfologia e Alimentazione

1.4 Riproduzione e Ciclo Vitale

1.5 Distribuzione

1.6 Studi Precedenti

1.6.1 Reclutamento e crescita

1.6.2 Determinazione dell'età

1.6.3 Studi demografici

1.7 Scopo della Tesi

2. Materiali e Metodi pag. 35 - 46

2.1 Area di Studio

2.2 Campionamento

2.3 Sezioni sottili

2.4 Area della corona circolare

2.5 Stima dell'età e tasso di crescita in diametro

2.6 Descrittori Morfologici



3. Risultati pag. 47 - 59

3.1 Caratteristiche della popolazione

3.2 Determinazione dell'età della popolazione

3.2.1 Aree delle corone circolari

3.2.2 Età e stima del tasso di crescita in diametro

3.2.3 Struttura di popolazione

3.3 Descrittori delle colonie

3.3.1 Diametro misurato e stimato

3.3.2 Altezza delle colonie

3.3.3 Peso delle colonie

3.3.4 Numero di polipi

3.3.5 Numero di ramificazioni

4. Discussioni e Conclusioni pag. 60 - 68

4.1 Popolazione di Cap de Creus

4.2 Età e descrittori morfologici

4.2.1 Aree delle corone circolari annuali

4.2.2 Età e tasso di crescita in diametro

4.2.3 Descrittori delle colonie

4.3 Conclusioni finali

5. Bibliografia pag. 69 - 82

6. Ringraziamenti

## ***Abstract***

*Corallium rubrum* (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia, Gorgonacea Linnaeus, 1758), or “red coral”, is an endemic Mediterranean species that is modular, has a tree-like shape and a calcium carbonate skeleton. This species has been harvested for over 2000 years because of its aesthetic and mineral characteristics, and commerce involving this coral dates back to 15-20000 a.C.. It is considered one of the most valuable marine animals due to its carbonatic skeleton. Several shallow-populations have decreased during the last decades due to over-fishing, although the coral is not considered as an endangered species due to a wide bathymetric range. Studies are needed to improve resource management of this species, and studies on population dynamics potentially are most useful to plan effective conservation interventions. For red coral it is hard to obtain age data and thus to understand demographic structure, due to its long life cycle and a slow growth rate.

The aim of this research was to develop a previously-validated age determination method for *Corallium rubrum*, to assess the age structure of a sample population of the same species. For this purpose we collected a sample of 143 colonies from Cap de Creus population (Costa Brava, Spain). In this area, national and regional coral harvesting regulation was established in 2001. For each colony we measured diameter, weight, height, total number of polyps, ramification numbers and gender. We also determined fertility and fecundity for female colonies, which are essential parameters for life-history tables, that are demographic table describing population characteristics.

Using an accurate age-determination method (presented in the bibliography and enlarged during this study) we determined the age of a sub-

sample. This age-determination technique required to dissect the calcium carbonate skeleton 0.5 cm from the basis to obtain a thin section 50  $\mu\text{m}$  thick. It was then possible to examine these sections to view the circular, organic matrix rings that were laid every year along the axial skeleton. After decalcification of the carbonate matrix, the organic matrix associated was coloured, such that the growing rings could be photographed using an optical microscope. We used these pictures to count the growth rings and so to estimate age, yearly circular crown area, perimeter, yearly growth rate and diameter of the skeleton. Each growth ring coincides with one year of the colony life, except for the first 4 years when the calcium carbonate laid in the center is in progress and its form is irregular. Thus, colony age corresponds to growth ring numbers plus 4 years. Colony age was correlated with average base diameter for the same colony. The obtained function was applied to all the 143 sampled colonies to determine the age structure of the investigated population.

This study indicates that diameter is not the best descriptor for colony age, especially for older colonies. This is because the relationship between measured diameter and age, determined by counting growth rings, was best represented by a power curve. This means there was a bigger increase in diameter during the first years and a smaller increase in diameter when the colony became older. Until now, laws that regulate coral harvesting have determined minimum allowed size based on diameter of the coral (Cap de Creus MPA, diameter > 7mm).

Our data are summarized in a life table based on population age classes. These data will allow us to use transition matrixes, that will provide mathematical models projecting the Cap de Creus population structure in the future, in relation with actual population structure; this could provide a more sustainable and effective population management.

## Riassunto

*Corallium rubrum* (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia, Gorgonacea Linnaeus, 1758) è una specie endemica del Mediterraneo, modulare e dalla forma arborescente con scheletro composto da carbonato di calcio. Per le sue caratteristiche estetiche e mineralogiche questa specie è pescata da oltre 2000 anni e notizie del suo commercio risalgono all'incirca al 15-20000 a.C.. Grazie al suo scheletro carbonatico il corallo è considerato uno degli animali marini più pregiati. Per quanto il *Corallium rubrum* non possa essere considerato una specie a rischio di estinzione, grazie alla sua ampia distribuzione, le sue popolazioni superficiali mostrano una regressione causata dalla pesca intensa avvenuta principalmente negli ultimi decenni. Si sono resi intanto necessari studi di carattere demografico per migliorare la gestione di questa risorsa. Nel caso specifico del corallo rosso è difficile ottenere dati relativi all'età e quindi alla struttura demografica a causa del suo lungo ciclo vitale associato ad un lento tasso di crescita.

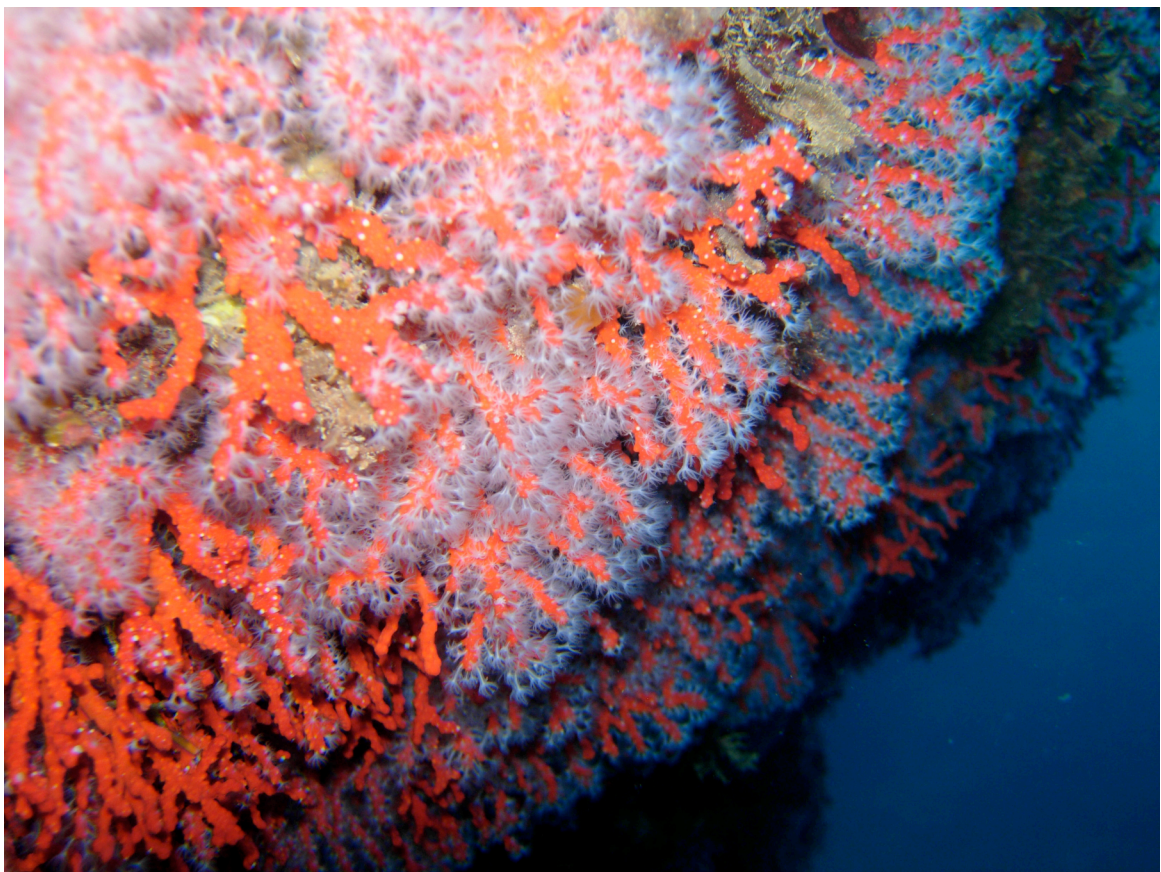
L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato lo sviluppo di un metodo di analisi, già validato, per la determinazione dell'età di *Corallium rubrum* con lo scopo di ottenere la struttura di età di una popolazione soggetta a prelievo. A tal fine sono state prelevate 143 colonie dalla popolazione di Cap de Creus (Costa Brava, Spagna). In questa zona il prelievo del Corallo è regolato da leggi nazionali e regionali dal 2001. Per ciascuna colonia sono stati misurati diametro, peso, altezza, è stato contato il numero totale di polipi, il numero ramificazioni ed è stato determinato il sesso, la fertilità e la fecondità per le colonie femminili. Questi ultimi parametri sono indispensabili per la costruzione di "life-history table", che sono delle tabelle demografiche in cui sono riportate alcune caratteristiche della popolazione oggetto di studio.

Attraverso l'utilizzo di un metodo descritto in bibliografia ed ampliato durante il presente lavoro di tesi è stato possibile stabilire l'età di un subcampione delle colonie prelevate. La tecnica utilizzata consente di visualizzare gli anelli circolari di matrice organica, depositi ogni anno lungo lo scheletro assiale, attraverso il sezionamento dello scheletro di carbonato di calcio a 0.5 cm dalla base, per poi ottenere una singola sezione sottile spessa 50  $\mu\text{m}$ . Dopo decalcificazione della matrice carbonatica la componente organica associata viene evidenziata mediante colorazione e gli anelli di accrescimento sono così fotografabili al microscopio ottico. Attraverso le foto è stato possibile contare il numero dei cerchi di accrescimento annuali e quindi ottenere l'età, il perimetro, la superficie della corona circolare annuale e il tasso di crescita annuale in diametro. Ogni anello di accrescimento corrisponde ad un anno di vita della colonia, ad eccezione dei primi 4 anni quando il carbonato di calcio depositato al centro è in formazione e risulta irregolare. Quindi l'età di ogni colonia corrisponde al numero di anelli di accrescimento più 4 anni. L'età delle colonie è stata messa in relazione con il rispettivo diametro medio basale. La relazione ottenuta è stata poi applicata a tutte le 143 colonie campionate così da ottenere la struttura di età della popolazione investigata.

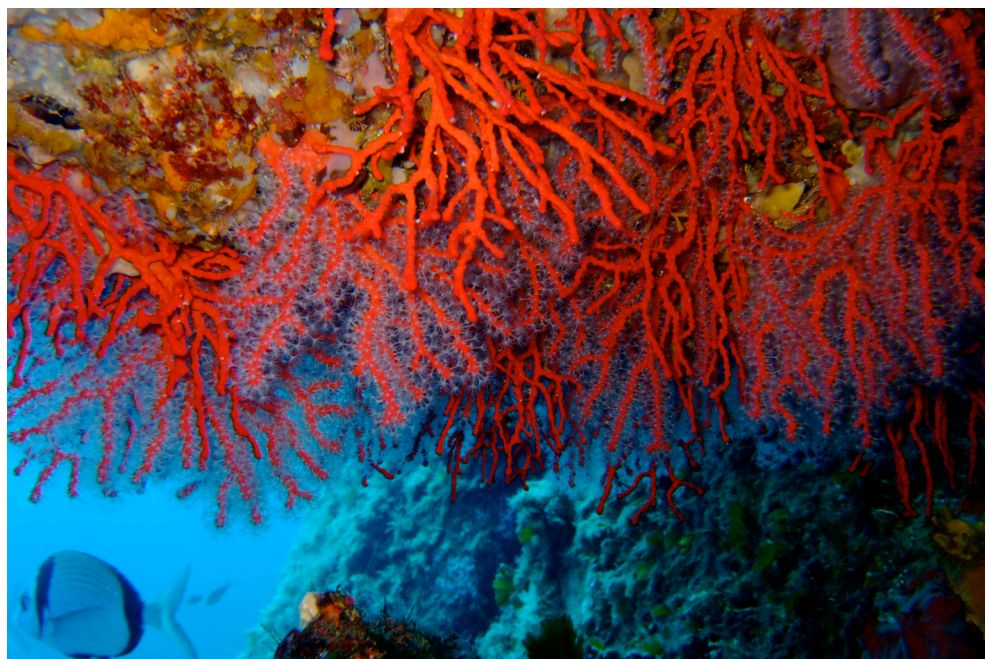
Il presente studio ha dimostrato inoltre, che il diametro può non essere il miglior descrittore dell'età della colonia, specialmente per le colonie più vecchie. Questo perché la relazione fra diametro ed età è ben rappresentata da una curva di potenza che descrive un accrescimento maggiore nei primi anni ed una diminuzione con l'aumentare dell'età della colonia. Fino ad oggi le leggi che regolano la pesca del Corallo, si sono basate proprio sul diametro come descrittore della taglia minima consentita (MPA di Cap de Creus, diametro >7mm).



Questa serie di dati sono stati riassunti in una “life table” per classi di età della popolazione. Dalla “life table”, attraverso matrici di transizione, sarà possibile dare origine a modelli matematici che permettono di effettuare proiezioni nel tempo della struttura di popolazione di Cap de Creus e quindi in grado di fornire suggerimenti per una gestione sostenibile della popolazione.



# *1. Introduzione*



Gli ultimi secoli sono stati caratterizzati da un crescente aumento dell'impatto umano sull'ambiente naturale causato anche da uno sfruttamento delle risorse e dalla continua immissione di sostanze inquinanti con conseguente depauperamento degli ecosistemi. Solo negli ultimi decenni l'uomo si è reso conto della necessità di salvaguardare gli ecosistemi e le specie ancora presenti. Da queste esigenze nasce la biologia della conservazione, la branca dell'ecologia che si occupa della conservazione della natura e delle sue risorse. Dal punto di vista della conservazione, l'unità a cui si fa riferimento è la popolazione.

Una popolazione naturale è un gruppo di individui conspecifici, che si riproducono autonomamente e che occupano un'area definita per un periodo di tempo abbastanza lungo da poter formare un'unità genetica distinta ed una propria nicchia ecologica (Yablokov, 1986). Quindi ogni popolazione ha una storia diversa e possiede caratteristiche diverse rispetto alle altre; ognuna è caratterizzata da una propria abbondanza e densità, e presenta una struttura spaziale, sessuale, di età e riproduttiva che differisce da quella delle altre popolazioni. Questo perché le popolazioni hanno avuto una storia evolutiva diversa l'una dall'altra e quindi devono essere considerate come "unità di gestione" distinte.

La demografia studia la struttura di una popolazione e le sue variazioni temporali. Per poter effettuare lo studio demografico di una determinata popolazione è essenziale conoscerne alcuni parametri fondamentali quali reclutamento, mortalità, struttura di taglia/età, struttura sessuale, genetica ecc. (Ricklefs, 1997). I dati riguardanti questi parametri vengono riassunti in "*life tables*", che sono delle tabelle demografiche in cui sono riportate le caratteristiche della popolazione oggetto di studio. Sulla base delle "*life tables*" sarà possibile applicare modelli demografici che permettono di

comprendere l'andamento della popolazione nel tempo e quindi di prendere provvedimenti mirati e specifici per la conservazione.

La maggior parte delle specie appartenenti al genere *Corallium* è caratterizzata da un lungo ciclo vitale e da una lenta crescita; queste peculiarità sono facilmente riscontrabili anche in molte altre specie di gorgonacei e di anthozoi coloniali in generale. A causa di queste caratteristiche i tempi di recupero per una popolazione sovrasfruttata si allungano. Quattordici anni di “protezione” sembrano essere un tempo insufficiente per una specie longeva come *C. rubrum* (Tsounis et al, 2006). Le popolazioni superficiali (< 50m) hanno mostrato una discreta longevità, ma sono soggette a maggiori disturbi antropici e naturali; mentre alcune colonie profonde ( $\approx$  400m) di anthozoi coloniali hanno evidenziato un'estrema longevità (fino a  $\approx$  2000 anni per *Gerardia sp*) associata ad un bassissimo tasso di crescita in diametro (< 0,010 mm/anno per *Leipathes glaberrima*) (Roark et al, 2006).

Una specie come il corallo rosso altamente sovrasfruttata negli ultimi decenni ha rischiato l'estinzione di alcune popolazioni superficiali, proprio per l'assenza in passato di una corretta gestione; tuttora, nonostante la presenza di leggi che regolano il prelievo, alcune popolazioni mostrano basse densità. Inoltre alcune popolazioni costiere, di questa specie, recentemente hanno subito una mortalità di massa, probabilmente legata all'anomalo aumento di temperatura della colonna d'acqua (Cerrano et al, 2000; Garrabou et al, 2001; Bramanti et al, 2005).

Nonostante il forte impatto antropico ed i problemi legati ad alcuni cambiamenti climatici, le popolazioni di corallo rosso studiate negli ultimi anni hanno mostrato (sulla base di simulazioni) un'alta stabilità e una forte capacità di resilienza, sopravvivendo a una riduzione del 61% di densità, del

27% di tasso riproduttivo e a una raccolta non selettiva riguardante il 95% delle colonie riproduttive (Santangelo, 2007).

## ***1.1 Corallium rubrum***

Il corallo rosso è una specie endemica del Mar Mediterraneo e sicuramente una delle più preziose presenti in questo bacino. La sua importanza economica è data dalla consistenza del suo scheletro calcareo, il quale è facilmente lavorabile da abili artigiani che lo modellano e lo trasformano in splendidi oggetti ornamentali. I primi dati riguardanti la sua lavorazione risalgono al periodo Neolitico. I Fenici utilizzavano il corallo come merce di scambio, mentre gli Egiziani lo lavoravano per uso domestico ed i Romani per scopo ornamentale (Liverino, 1988); lo sviluppo manifatturiero su ampia scala risale al XVI secolo.

L'Italia è sempre stata protagonista nella lavorazione e nel commercio del corallo. Ad oggi il 90% del corallo pescato viene lavorato nella penisola italiana; l'economia della città di Torre del Greco, situata vicino a Napoli, si basa essenzialmente sulla lavorazione e la commercializzazione di questo prodotto (Cattaneo-Vietti & Cicogna, 1999). La loro produzione è stimata intorno ai 230 milioni di dollari ogni anno (Tsounis, et al, 2009).

I metodi di pesca si sono modificati nel tempo con l'utilizzo di nuovi strumenti, anche in conseguenza della diminuzione del corallo stesso. Anticamente venivano semplicemente raccolte le colonie morte spiaggiate; in seguito è stata sfruttata la rete che i pescatori usavano abitualmente nell'esercizio della loro professione raccogliendo anche corallo. L'attrezzo che è stato sviluppato esclusivamente per questa pesca ed è stato ampiamente sfruttato è la croce di S.Andrea (Fig. 1.1.1). Questo strumento



era costituito da due travi incrociate, dotate di pesi all'incrocio, con all'estremità uncini e pezzi di rete. L'ingegno era uno strumento simile alla croce di S.Andrea, ma costituito da un'unica lenza di ferro molto pesante a cui venivano applicati i pezzi di rete. L'attrezzo scelto



veniva trainato da un'imbarcazione e fatto

Fig. 1.1.1: Croce di S.Andrea

strusciare lungo le pareti sottomarine; i rami di corallo si spezzavano e restavano impigliati nelle reti. E' evidente che nel suo percorso l'ingegno raschiava indifferentemente il substrato, con conseguente distruzione dell'intero ecosistema. L'ingegno e la croce di S.Andrea sono stati dichiarati illegali dalla Comunità Europea nel 1994, ma erano già stati vietati in molti paesi Mediterranei (AA.VV. 1988).

A seguito del bando dei sistemi di pesca con draghe altamente distruttive come l'ingegno, e la croce di S.Andrea, ed allo sviluppo della tecnologia per l'immersione subacquea, l'impiego di sommozzatori per la pesca del corallo rosso è stato sempre più comune. Nonostante l'immersione con autorespiratore permettesse una raccolta più selettiva, la mancanza di una regolamentazione portò all'esaurimento di interi banchi. I dati della FAO mostrano un calo costante del pescato, dal 1986 al 2001; nonostante la presenza di alcuni picchi positivi dovuti alla scoperta di nuovi banchi, la tendenza generale risulta essere negativa (Fig. 1.1.2).

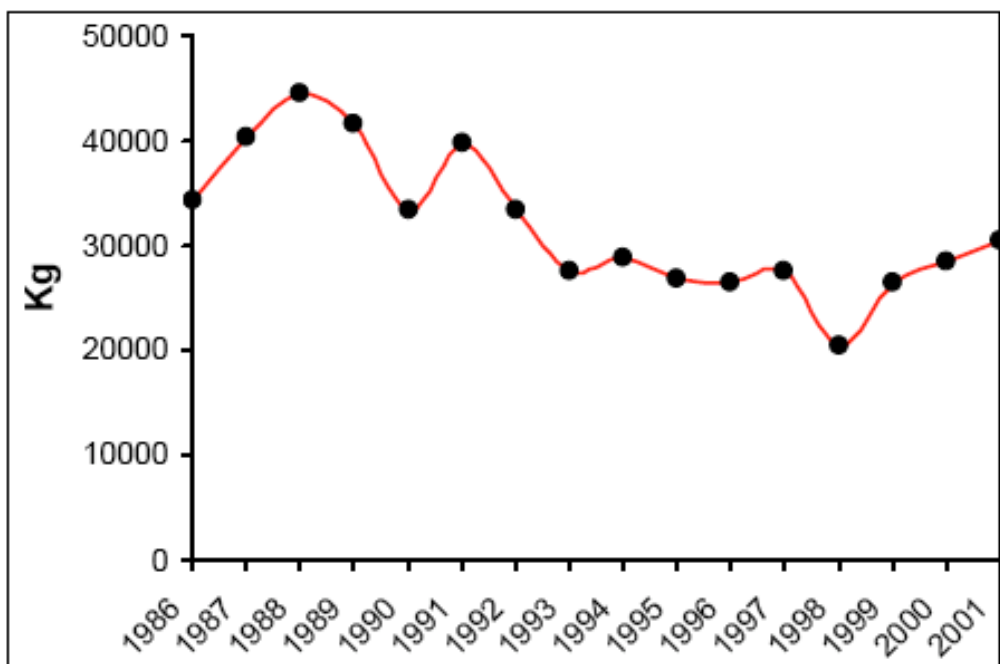


Fig. 1.1.2: Andamento della pesca del corallo rosso nel Mediterraneo dal 1986 al 2001 (dati Fao)

Ad oggi i Corallari sono solo sommozzatori professionisti forniti di autorizzazioni, che si immergono con miscele di gas a profondità elevate (110-130m). A causa del grande impegno richiesto da ogni immersioni viene utilizzato un ROV (Remotely Operated Vehicle) per una ricerca preliminare (Fig. 1.1.3). Secondo alcuni corallari non si ottiene nessun vantaggio da una raccolta indiscriminata, dal momento che la pesca e il commercio sono regolamentati, e che non è conveniente dal punto di vista economico prelevare colonie di piccole dimensioni (Scarpati, comunicazione personale).



Fig.1.1.3: A sinistra un corallaro durante la risalita; a destra un modello di ROV

## ***1.2 Sistematica***

*Corallium rubrum* (L., 1758) appartiene al phylum Cnidaria, classe Anthozoa, sottoclasse Ottocorallia o Alcyonaria, ordine Scleractinia.

Quasi tutte le circa 11000 specie viventi di cnidari sono marine. Sono presenti in tutti gli oceani e in tutti i mari, ma abbondano nelle zone temperate e tropicali poco profonde (Mitchell et al. 1988). Il nome deriva dagli cnidociti, le cellule che contengono i filamenti urticanti, le nematocisti, caratteristiche del phylum. Sono animali diblastici con simmetria raggiata o biradiale. Il loro corpo può essere schematizzato come un sacco con una sola apertura circondata da tentacoli, che funge da bocca, ma serve anche per espellere il materiale non digerito. I tentacoli servono per afferrare le prede. La parete del corpo è formata da due strati di cellule: endoderma, interno, ed ectoderma, esterno; fra i due si forma, per migrazione di cellule e per

secrezione di una matrice gelatinosa, uno strato intermedio, mesoglea; non esiste quindi un mesoderma. L'unica cavità presente (cavità gastrovascolare o celenteron) è rivestita dall'endoderma e comunica con l'esterno attraverso la bocca.

Gli cnidari presentano due forme strutturali principali: una sessile, polipoide ed una medusoide che conduce vita libera. Queste due forme possono essere entrambi presenti nel ciclo vitale dell'animale.

Gli anthozoi non manifestano la fase medusoide, ma i loro polipi sono i più complessi nel phylum. Variano molto in dimensioni e possono essere sia solitari che coloniali, spesso sono dotati di scheletro. La simmetria radiale si distribuisce intorno a un asse longitudinale con un'estremità orale, che porta la bocca e i tentacoli che la circondano, rivolta verso l'alto; l'estremità aborale invece è aderente al substrato. Sono caratterizzati da un mesenchima cellulare spesso, una gastrodermide provvista di cnidociti, e gonadi che si sviluppano nella gastrodermide. L'apparato digerente degli anthozoi è esclusivo; la cavità gastrovascolare è concamerata da setti muscolari detti setti mesenterici. Alcuni setti si estendono dalla parete del corpo alla faringe, e compartimenti parziali formati da questi setti costituiscono uno scheletro idrostatico che può essere manipolato in modo piuttosto preciso dai muscoli. In base al numero dei setti è possibile distinguere due sottoclassi: la sottoclasse Octocorallia presenta otto mesenterici completi; negli Exacorallia invece i mesenterici sono presenti in multipli di dodici. Un'altra caratteristica distintiva delle sottoclassi è data dalla struttura dei tentacoli, gli ottocoralli ne presentano otto e pinnati, mentre gli esacoralli ne hanno sei o più e sono lisci, raramente ramificati.

Gli ottocoralli comprendono i coralli molli (Alcyonacei), i pennatulacei e i gorgoniacei; come descritto in precedenza, presentano una simmetria strettamente ottamera. Sono tutti coloniali e le cavità

gastrodermali dei polipi comunicano mediante una massa di tessuto detta “cenenchima” o “cenosarco”. Il cenenchima consiste in una spessa massa di mesoglea che forma una rete complessa, più o meno anastomizzata e perforata da tubi gastrodermici. Attraverso questo meccanismo si sviluppa un sistema gastrovascolare collettivo, che permette di distribuire il nutrimento a tutta la colonia. Gli amebociti del cenenchima secernono materiale scheletrico che ha la funzione di sostenere la colonia. L’intera superficie della colonia è rivestita da uno strato di ectoderma che si congiunge con l’ectoderma dei polipi; solo la porzione orale può fuoriuscire e in molte specie è possibile il completo reinserimento del polipo, consentendo una protezione completa. Lo scheletro degli ottocoralli può essere composto da spicole calcaree o da materiale corneo, si trova nella parte interna ed è parte del tessuto. Questa struttura è molto diversa da quella delle madrepori, nelle quali lo scheletro è completamente esterno.

Nell’ordine dei Gorgoniacea lo scheletro è formato dalla combinazione di spicole fuse con una proteina irrigidita, ma ancora flessibile, la gorgonina; questa proteina è chimicamente simile alla cheratina e al collagene e conferisce alla colonia una discreta elasticità. La gorgonina non è presente in *Corallium rubrum*, infatti presenta uno scheletro più rigido costituito prevalentemente da una massa di spicole calcaree fuse con sali metallici, che gli conferiscono il classico colore rosso.



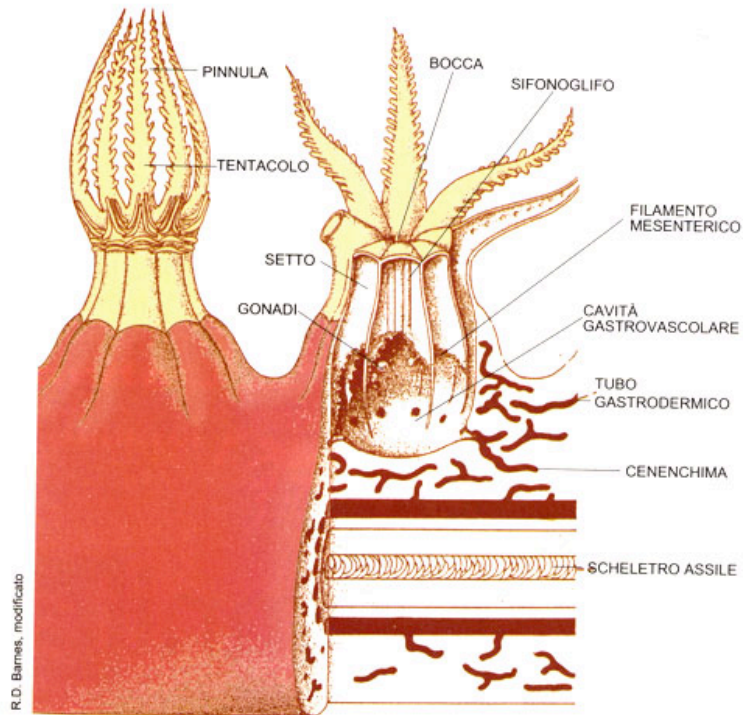


Fig. 1.2.1: Sezione di un ramo di *Corallium rubrum*

### ***1.3 Morfologia e Alimentazione***

*Corallium rubrum* è una specie modulare con colonie generalmente ramificate su un solo piano o arborescenti. La sua morfologia può variare per sfruttare al meglio le caratteristiche (soprattutto idrodinamiche) dell'ambiente in cui cresce. A bassa profondità è più facile trovare colonie sotto forma incrostante, mentre sulle pareti verticali o nelle zone più esposte delle grotte le colonie sono arborescenti su un solo piano. All'interno di cavità le ramificazioni possono essere anche su più piani.

L'altezza delle colonie può superare i 50 cm (Garrabou & Harmelin 2002), sono state segnalate colonie alte più di un metro e pesanti alcuni chilogrammi (Pax & Muller 1962). Nelle popolazioni superficiali recentemente studiate nel Mediterraneo, le colonie hanno un'altezza di 4-6

cm (Garrabou et al., 2001; Santangelo et al. 2003; Tsounis, 2005) ed è raro trovare colonie più alte di 20 cm (Garrabou & Harmelin 2002).

I polipi sono bianchi e, se completamente espansi, possono raggiungere l'altezza di 1-1,5 cm. Il cenosarco contiene numerose spicole di colore rosso e di lunghezza variabile da circa 24 a più di 60  $\mu\text{m}$  (Bavestrello et al., 1997). Il colore rosso della colonia può variare a seconda della zona di provenienza, ma colonie albine sono rarissime (Weinberg, 1992) e l'intensità del colore non sembra dipendere dal contenuto in ferro (Matè, 1986).

Il corallo rosso è un organismo sessile e appartiene alla categoria dei "suspension feeders", animali la cui alimentazione è basata sulla cattura per filtrazione di piccole particelle e organismi planctonici; nello specifico si nutre principalmente di POM (sostanza organica particellata), nanoplancton e picoplancton (organismi planctonici di piccole dimensioni) ed è in grado di assorbire anche la DOM (materia organica disciolta) (Picciano M. & Ferrier-Pagès C., 2006; Tsounis et al., 2006). Tutti gli ottocoralli sono filtratori passivi, la diversa morfologia delle colonie è quindi vincolata anche dall'intensità e dalla direzione delle correnti portatrici di alimento (Russo e Cicogna, 1996). La cattura dell'alimento avviene per mezzo dei tentacoli, che paralizzano i piccoli organismi tramite gli cnidociti. In seguito si ritraggono e sottopongono ad un'analisi tattile le particelle, selezionando ciò che sarà ingerito o espulso. La digestione è suddivisa in due fasi, inizia prima nella cavità gastrovascolare (extracellulare) per poi terminare all'interno delle cellule (intracellulare).

La respirazione avviene attraverso l'epiderma con scambio diretto di ossigeno e anidride carbonica con l'acqua, mentre il sistema nervoso, costituito da una rete di cellule nervose, è semplice e privo di cellule di senso specializzate.

## ***1.4 Riproduzione e ciclo vitale***

La riproduzione degli ottocoralli è stata oggetto di numerosi studi (e.g. Grigg 1977, Sebens 1983, Brazeau & Laser 1989, 1990, Babcock 1990, West et al. 1993, Coma et al. 1995a,b, Beiring & Laser 2000), ma pochi sono quelli riguardanti la biologia e l'ecologia riproduttiva di *C. rubrum*; nonostante i primi dati storici furono forniti nel 1864 da Lacaze-Duthier. Le conoscenze attuali indicano che il corallo rosso è una specie gonocorica e iteropara con fecondazione e sviluppo larvale interni; questi dati sono derivati dai lavori di Vighi (1972), Weinberg (1979), Santangelo et al. (2003) e di Torrens et al. (2005), Tsounis et al. (2006).

La riproduzione asessuale è comune tra gli invertebrati marini modulari (Jackson 1986, Karlson 1986), ma ad oggi, in natura, non è mai stato osservato alcun caso di riproduzione asessuale del corallo rosso (Santangelo & Abbiati 2001), perciò il reclutamento deve essere considerato derivante solo dalla riproduzione sessuale.

Il corallo rosso è una specie gonocorica, sia a livello di colonia che a livello dei singoli polipi (Barletta et al. 1968, Vighi 1972, Santangelo et al. 2003). Dal momento che, come gli altri cnidari, non presenta dimorfismo sessuale, l'unico modo per determinare il sesso della colonia è l'osservazione delle gonadi allo stereomicroscopio. E' necessario sezionare il polipo per individuare le gonadi, che sono immerse nei tessuti del setto mesenterico e si separano da questi non appena raggiungono la maturità. Gli oociti sono tondeggianti e di colore giallo chiaro, mentre le gonadi maschili sono bianco latte, allungate e hanno forma irregolare (Lacaze-Duyhiers 1864, Vighi 1972). Le colonie devono essere prelevate prima del periodo riproduttivo che va da Luglio a Settembre.

Lo sviluppo delle gonadi, il cui numero medio per polipo è di circa 0,87 nella popolazione di Calafuria (Santangelo et al., 2003), è influenzato dalla temperatura; la maturazione avviene in maniera diversa nei due sessi. Il ciclo degli oociti si compie nell'arco di due anni ed in ogni stagione riproduttiva coesistono due popolazioni di oociti, una matura, più grande, e una in fase di maturazione; le gonadi maschili, invece, seguono un ciclo annuale, lo sviluppo comincia in autunno-inverno e termina in estate (Vighi 1972). Secondo uno studio portato avanti da Santangelo et al. (2003) sulla popolazione di Calafuria, il diametro degli oociti aumenta con l'avvicinarsi del periodo riproduttivo fino ad un massimo di  $633 \pm 60 \mu\text{m}$  misurato in giugno. Le gonadi maschili possono raggiungere una taglia massima di 900  $\mu\text{m}$ , e nelle colonie più grandi aumenta la grandezza delle sacche spermatiche e la percentuale di polipi fertili (Tsounis et al. 2006). Durante il periodo riproduttivo i gameti maschili vengono rilasciati in mare per poi andare a penetrare nella cavità gastrovascolare dei polipi femminili, dove sorge l'oocita maturo. Il periodo embrionale dura circa 20-30 giorni, a questo punto la larva completa (planula) migra nello stomodeo del polipo, vi rimane alcune ore, e poi fuoriesce dall'apertura boccale.

Le larve liberamente natanti sono di colore bianco, hanno una forma simile ad una clava e sono fornite di cilia; la planula del corallo rosso è lecitotrofica. Contrariamente alle larve planctotrofiche, non sono dotate di apparato boccale e digerente per cui si nutrono esclusivamente delle risorse embrionali costituite dal vitello presente nelle uova. Per queste sue caratteristiche la durata del periodo di vita della larva è abbastanza breve; in laboratorio varia da 4 a circa 12 giorni, mentre in natura il numero di giorni della sua sopravvivenza non è ancora stato documentato. Appena emessa, la larva, mostra un certa indifferenza alla luce ed un comportamento geotattico negativo, che diviene positivo prima dell'insediamento (Weinberg, 1979).

La planula, se trova le condizioni giuste, dopo essersi fissata al substrato compie la metamorfosi. La trasformazione si svolge in un mese: le prime spicole appaiono dopo 15 giorni e, nell'arco di 30 giorni, è possibile osservare la prima scissione agamica. In seguito la colonia si accresce tramite riproduzione asessuata.

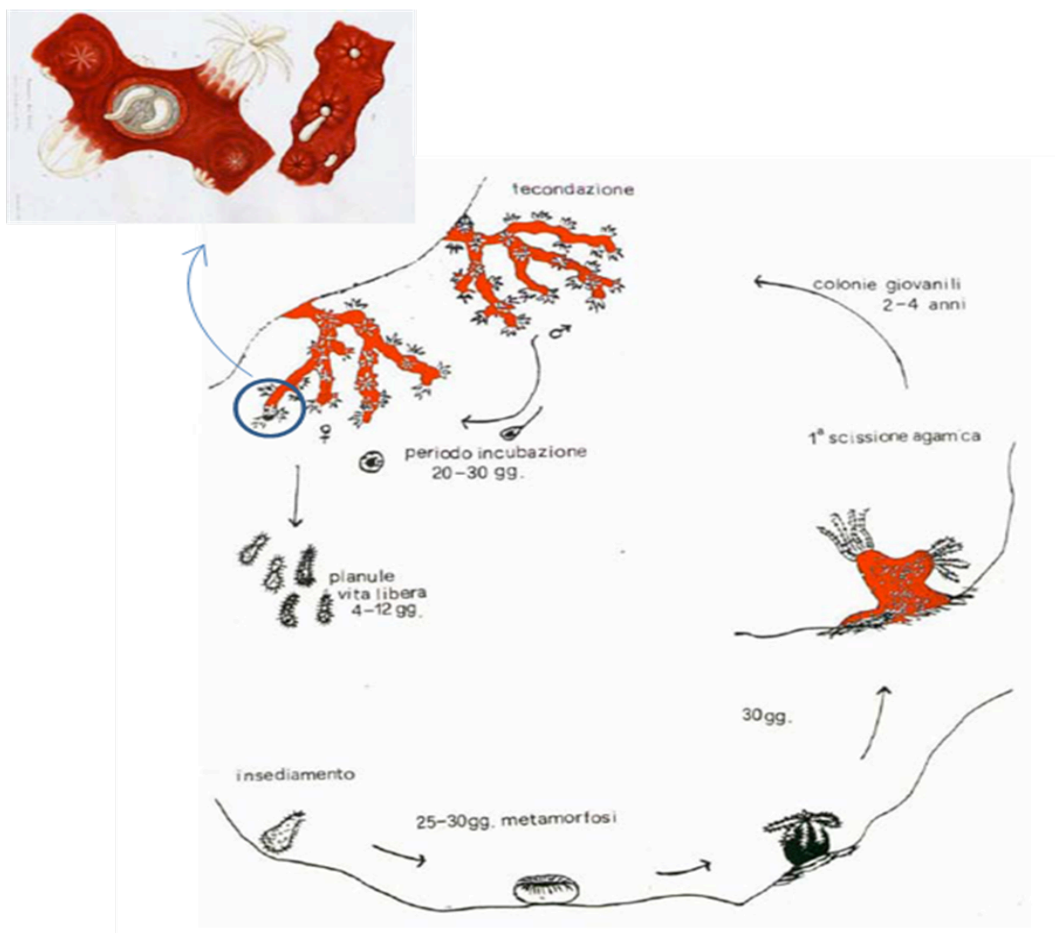


Fig. 1.4.1: Riproduzione e ciclo vitale di *Corallium rubrum*. Nel riquadro sono rappresentati alcuni polipi da cui stanno fuoriuscendo le planule.



## 1.5 Distribuzione

Il corallo rosso è una specie endemica del Mediterraneo, presente nei popolamenti sciafili di substrato duro ed è caratteristico delle biocenosi coralligene di grotte semioscure (Pérès e Picard 1964, Sarà 1973) caratterizzate da un'alta diversità specifica e funzionale (Gili & Coma 1998).

*C. rubrum* è distribuito principalmente nelle zone centrali e occidentali del Mar Mediterraneo, nell'Adriatico invece è presente solo lungo le coste dei Balcani. Nella parte orientale la presenza di questa specie è stata documentata a sud del Gargano (Puglia), nell'Egeo (Grecia, Turchia e Cipro) e sui fondali rocciosi del Nord Africa (Tunisia, Algeria e Marocco). La sua distribuzione è stata accertata anche lungo le adiacenti coste atlantiche: Portogallo meridionale, Isole Canarie, arcipelago di Capo Verde, Mauritania e Senegal.



Fig. 1.5.1: Areale di distribuzione di *C. rubrum*.

L'intervallo batimetrico entro il quale è diffuso varia da un minimo di 20m (5 m in grotta) a un massimo di 800m (Taviani et al. 2009). In base alla profondità alla quale si trovano, i popolamenti di corallo possono essere distinti in popolamenti costieri o superficiali e popolamenti profondi. I primi si trovano entro i 50 metri di profondità; i secondi si estendono fino ai limiti batimetrici della distribuzione di questa specie. Le popolazioni superficiali sono state depauperate a causa della pesca, per questo attualmente sono caratterizzate da un'elevata densità e piccola taglia; mentre quelle profonde presentano densità più basse e colonie di grande taglia, con un alto valore economico.

I più importanti fattori che influenzano la presenza di popolazioni di *Corallium rubrum* sono:

1) Luminosità: *Corallium rubrum* è una specie sciafila, la sua distribuzione è limitata dalla luce (Weinberg, 1979 a).

2) Pendenza ed esposizione della parete: influenzano luce e idrodinamismo (Laborel e Vacelet, 1961; Marchetti, 1965; Stiller e Rivoire, 1984).

3) Temperatura: *Corallium rubrum* colonizza principalmente ambienti che rimangono al di sotto del termoclinio estivo (Weinberg, 1979 B; Stiller e Rivoire, 1984).

4) Idrodinamismo: (Laborel e Vacelet, 1961; Stiller e Rivoire, 1984).

Con l'aumento della profondità, intorno ai 100 metri, può insediarsi anche su superfici orizzontali come le rocce di fondo (Laborel e Vacelet 1961).

## ***1.6 Studi precedenti***

### ***1.6.1 Reclutamento e crescita***

Il termine reclutamento indica l'apporto di nuovi individui, originati mediante riproduzione, ad una popolazione naturale (Caley et al. 1996). Si tratta di una fase molto importante del ciclo vitale di un organismo tanto che, recentemente, si è sviluppata una branca dell'ecologia, la "supply side ecology". Con questo termine si definisce lo studio del processo di reclutamento e la sua influenza nel determinare la struttura e le dinamiche delle popolazioni naturali marine (Lewin, 1986; Roughgarden et al., 1989). Sulla base dei fattori che determinano il reclutamento, si possono distinguere due tipi diversi di popolazione: popolazioni reclutamento dipendente, nelle quali la densità è legata al successo riproduttivo e quindi all'apporto di larve, e popolazioni densità-dipendenti il cui reclutamento è regolato dalla densità degli adulti. Secondo lo studio effettuato da Santangelo et al. (2004) la popolazione di *Corallium rubrum* situata a Calafuria (Livorno, Toscana) presenta caratteristiche densità-dipendenti. La relazione reclutamento-adulti suggerisce che per alti valori delle densità delle colonie adulte, i valori di reclutamento raggiungono un plateau rimanendo costanti.

Un maggior numero di studi si è incentrato nella determinazione del tasso di crescita in diametro di *C. rubrum*. I primi risultati ottenuti sono stati spesso discordanti tra loro a causa di erronee stime dell'età (come meglio descritto nel paragrafo seguente), che hanno portato ad una sottostima dell'età delle colonie.

<b>Popolazione esaminata</b>	<b>Accrescimento medio in diametro (mm/anno)</b>
Garcia-Rodriguez & Massò (1986) Spagna (Girona). Popolamento profondo	1,32 (stimato con cerchi di accrescimento, metodo petrografico) Metodo non attendibile
Abbiati et al. (1992) Italia (Livorno) Popolamento costiero	0,91 (stimato con cerchi di accrescimento, metodo petrografico) Metodo non attendibile
Cerrano et al. (1999) Italia (Portofino) Popolamento costiero	0,62 (misurato sulle colonie di 4 anni di età)
Garrabou & Harmelin. (2002) Francia (Marsiglia) Popolamento di grotta	0,24 (misurato nell'arco di 22 anni)
Bramanti (2002) Italia (Livorno) Popolamento costiero	0,62 (misurato sulle colonie di 4 anni di età)
Marschal et al. (2004) Francia (Marsiglia) Popolamento costiero	0,35 (stimato con cerchi di accrescimento) (nuovo metodo)
<u>Vielmini et al. (2010) Spagna (Cap de Creus) Popolamento costiero</u>	<u>0,24 (stimato con cerchi di accrescimento) (nuovo metodo)</u>
Vielmini et al. (2010) Italia (Portofino) Popolamento costiero	0,22 (stimato con cerchi di accrescimento) (nuovo metodo)

Tab. 1.6.1.1: Confronto tra i valori di accrescimento misurati o stimati in diverse popolazioni di *Corallium rubrum*. La cella sottolineata riguarda il presente lavoro di tesi. Le prime due celle riportano dati che in seguito sono stati ritenuti sovrastimati.

## ***1.6.2 Determinazione dell'età***

Diversi studi hanno ampiamente dimostrato che il corallo rosso ha un ciclo vitale molto lungo ed un lento tasso di crescita (Garrabou & Harmelin, 2002). I tassi di crescita possono variare tra popolazioni ed è perciò importante considerare ogni popolazione come una singola unità.

Gli studi fino ad ora effettuati per conoscere l'età di una colonia possono essere suddivisi in due categorie, a seconda dell'approccio con cui sono stati svolti: approccio diretto e approccio indiretto.

Il metodo diretto viene effettuato seguendo *in situ* la crescita delle colonie su substrati naturali (Garrabou & Harmelin, 2002), o su pannelli seminaturali (Cerrano et al. 1999; Bramanti et al. 2005), ottenendo così anche dati relativi a reclutamento e mortalità. Seguendo questo metodo si ha il notevole vantaggio di non danneggiare le colonie presenti. Lo svantaggio di questi metodi consiste nel fatto che devono passare diversi anni prima di ottenere i dati. L'approccio indiretto è stato oggetto di precedenti studi (Grigg et al. 1974; Garcia -Rodriguez & Massò 1986) per la determinazione dell'età. Questi studi si concentravano sulle proprietà della densità scheletrica degli ottocoralli per identificare i cerchi di accrescimento annuale. Le analisi petrografiche furono eseguite su sezioni sottili dell'asse scheletrico effettuate alla base delle colonie adulte. I cerchi erano visibili esponendo la sezione ad una luce polarizzata permettendone il conteggio. Assumendo che ognuno corrispondeva ad un anno di vita era possibile determinare l'età dell'intera colonia (Fig. 1.6.2.1). Questo approccio indiretto è risultato essere molto utile e ha permesso di studiare la dinamica di popolazione di una specie a crescita lenta come il corallo rosso (Santangelo et al. 1999; 2004).

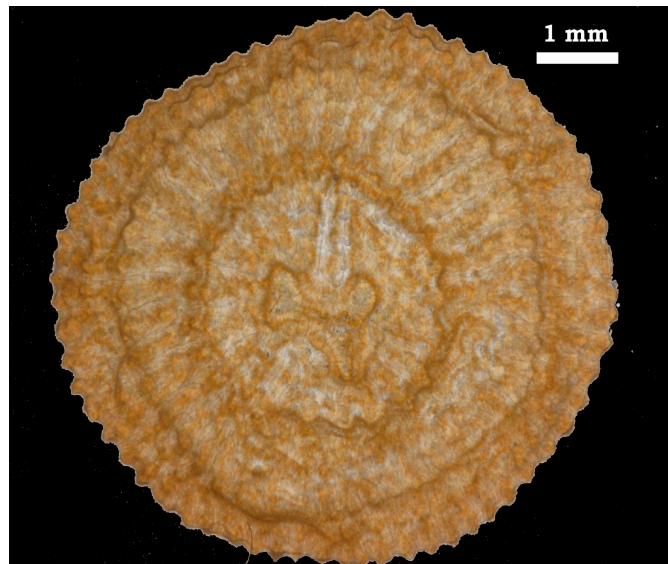


Fig. 1.6.2.1: Sezione sottile dello scheletro di una colonia *C. rubrum* ottenuta tramite approccio petrografico, basato sulla densità scheletrica. (Metodo non attendibile).

Successivi studi, eseguiti da Marschal et al. (2004), sono stati effettuati marcando le colonie con calceina fluorescente e seguendo *in situ* la loro crescita. Questi autori hanno sperimentato una nuova tecnica per evidenziare la crescita annua. Il nuovo metodo consiste nel colorare con blu di toluidina le sezioni sottili delle colonie, che in precedenza avevano marcato, per rilevare gli effettivi cerchi annuali dati dalla deposizione di matrice organica. I risultati ottenuti hanno confermato il modello di crescita annuale delle colonie adulte dimostrando però che il metodo petrografico tende a sottostimare l'età della colonia e di conseguenza sovrastimare il rispettivo tasso di crescita (Marschal et al. 2004). Ogni anello evidenziato appare concentrico e leggermente increspato in corrispondenza dei canali gastrodermici longitudinali sulla superficie dell'asse scheletrico (Fig. 1.6.2.2).

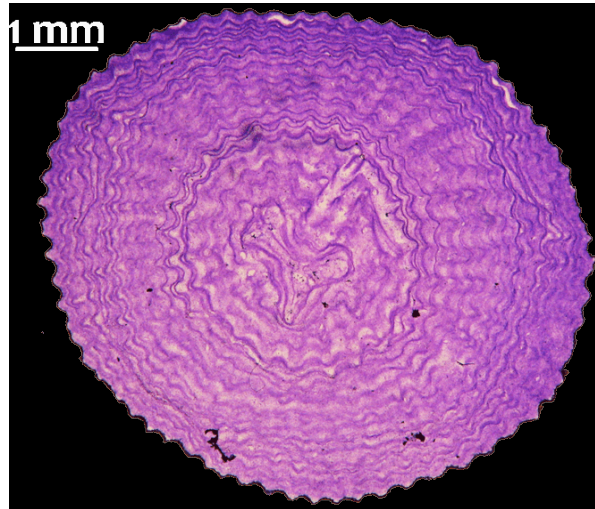


Fig. 1.6.2.2: Sezione sottile, ottenuta secondo l'approccio sclerocronologico proposto da Marschal et. al. nel 2004, basato sulla matrice organica deposta annualmente

Ogni anello annuale è composto da una banda scura e fine, composta da materiale organico molto concentrato (HDB, high density band), ed una banda più spessa caratterizzata da una bassa concentrazione di matrice organica (LDB, low density band) (Marschal et al. 2004). Processi di crescita stagionali portano a differenti deposizioni nell'arco dell'anno, similmente a ciò che accade negli alberi, determinando differenze nella spessore e nella colorazione delle bande. Per quanto riguarda il corallo rosso, il tardo autunno e l'inverno sono i periodi in cui viene deposta l'HDB, ottenendo una banda nera e sottile. Questo periodo quindi corrisponde ad una diminuzione del tasso di crescita della colonia. Durante la primavera e l'estate, invece, i processi di crescita della colonia iniziano nuovamente e sono deposte le bande chiare, composte principalmente da carbonato di calcio (Marschal et al. 2004). A differenza di altri gorgonacei (e.g. Grigg 1974; Mistri and Ceccherelli 1994; Andrew et al. 2002), i cerchi di accrescimento non sono presenti nella regione centrale dello scheletro assiale. Il primo anello visibile normalmente si trova ad una certa distanza dal centro (Marschal et al. 2004).

### ***1.6.3 Studi demografici***

L'ecologia può dare un contributo per la conservazione della biodiversità (es: conservazione di popolazioni, specie ed habitat) utilizzando modelli e metodi adatti a questo obiettivo (Dobson, 1998). In particolare modo la demografia può fornire utili mezzi per la conservazione e la gestione di specie sovrasfruttate o a rischio di estinzione (Dobson, 1998). I primi studi demografici furono applicati alla popolazione umana; fu in Inghilterra che, verso la metà del XVII secolo, si svilupparono le prime teorie derivanti da osservazioni sulle popolazioni; in questi anni si iniziarono ad utilizzare i registri delle nascite e delle morti per descrivere le popolazioni umane (Graunt, 1662; Halley, 1693a,b; dati riportati da Fenchel, 1987) e per cercare di studiare e prevedere le variazioni del numero di individui (Bertuglia & Vaio, 2003). In seguito la demografia ha sviluppato strumenti e metodi successivamente applicati alle popolazioni animali; l'esempio classico è dato dagli studi demografici applicati al bighorn (*Ovis dalli*; Bergher, 1990).

I modelli principali da cui si è evoluta la demografia odierna sono quelli della crescita esponenziale e logistica. Nel 1798 Malthus introdusse il modello esponenziale di crescita basato su un'equazione differenziale:  $dN/dt = rN$  (Malthus, 1798). Quando una popolazione cresce in un ambiente con risorse illimitate (cibo e spazio illimitato e mancanza di competizione con altri organismi), la crescita della popolazione è limitata solo dalla sua capacità intrinseca di riprodursi. In queste condizioni ideali la crescita è espressa dal simbolo  $r$ , che viene definito come tasso intrinseco di crescita della popolazione pro-capite. L'indice  $r$  è in realtà la differenza fra tasso di nascita e di morte individuale nella popolazione in un determinato istante; si tratta quindi di una crescita "continua". In natura però, una condizione ideale è molto rara in quanto la densità è regolata da fattori limitanti e altri fattori



quali il disturbo abiotico e biotico. Di conseguenza il tasso di crescita di una popolazione tende a rallentare, ed eventualmente ad arrestarsi, quando  $N$  ha raggiunto la sua massima capacità portante.

Nel 1838 Verhulst ha sviluppato il modello demografico logistico, non lineare, che permise di descrivere la crescita non esponenziale dell'abbondanza numerica verso un livello limite, inserendo una capacità portante  $K$  (Verhulst, 1838). L'equazione logistica  $dN/dt = rN(1-N/K)$ , descrive sempre il tasso di crescita per unità di tempo, ma in più considera un limite superiore che conferisce alla curva una forma sigmoide. Quando la popolazione si avvicina alla sua capacità portante, cioè quando  $K-N$  tende a zero, allora anche  $dN/dt$  tenderà a zero e la curva si appiattirà. La popolazione occasionalmente potrà superare la capacità portante dell'ambiente, così che  $N$  sarà superiore a  $K$ , ma esaurirà le risorse e il tasso di crescita diverrà negativo e la popolazione andrà in contro ad una diminuzione. L'indice  $r$  precedentemente descritto riguarda solo popolazioni con un accrescimento continuo, ovvero in grado di riprodursi durante tutto l'anno; in natura però è molto più facile trovare popolazioni che manifestano una crescita discreta, con stagioni riproduttive distinte. A seguito del periodo riproduttivo la popolazione andrà in contro ad un declino dovuto alla mortalità. Una crescita di questo tipo (crescita "discreta") sarà rappresentata da un tasso geometrico di accrescimento  $\lambda$ , che descrive di quanto si accresce la popolazione nell'unità di tempo ed è dato dal rapporto tra la nuova popolazione e quella originaria:  $\lambda = N(t) / N(0)$ ; riassumendo:  $\lambda = e^r$  mentre  $r = \log_e \lambda$ .

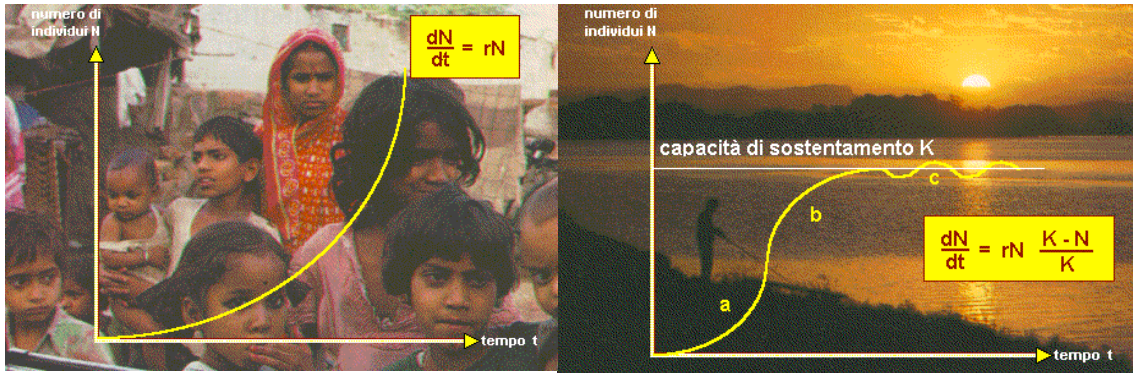


Fig. 1.6.3.1: A sinistra è rappresentata una curva esponenziale. A destra una curva sigmoide con alcune oscillazioni dovute al raggiungimento della capacità portante.

La dinamica di popolazione è regolata da mortalità, natalità e migrazione e fortemente influenzata dalla struttura sessuale della popolazione stessa. Lo strumento migliore per descrivere queste dinamiche sono le “*life tables*” :

- **Life tables per coorte:** una singola classe di età di una popolazione viene seguita dalla nascita alla morte dell'ultimo individuo. Questo metodo permette di ottenere una stima precisa della mortalità, ma richiede lunghi periodi di tempo in funzione della durata del ciclo vitale della specie a cui si riferisce, per cui viene generalmente utilizzato per quelle specie a vita relativamente breve e poco mobili (Ricklefs, 1997).
- **Life tables statiche:** si riferiscono alla struttura di età di una popolazione in uno specifico momento. In questo caso, la mortalità è stimata dalla differenza tra il numero di individui di una classe di età e quelli presenti nella classe successiva. Anche questo metodo ci permette di ricavare stime accurate sulla mortalità, ma solo per specie la cui età sia ben identificabile.

Nel caso di specie iteropare (specie con più eventi riproduttivi nel corso della vita), con generazioni parzialmente sovrapposte, la costruzione di

“life tables” risulta più complessa a causa della presenza simultanea di individui appartenenti a classi di età differenti. Queste difficoltà sono attenuate nel caso in cui vengano studiati organismi sessili che possono essere mappati, fotografati o marcati (Beagon, 1986).

Sfruttando i dati presenti nelle “*life tables*” è possibile elaborare modelli matematici che consentano di valutare lo stato attuale di una popolazione e ipotizzarne l’andamento futuro anche in seguito ad eventuali variazioni (Ebert 1999, Beissinger and McCullough 2002). Un esempio di tali modelli è rappresentato dalle matrici di Leslie-Lewis. Queste sono state utilizzate per descrivere le popolazioni che presentano generazioni parzialmente sovrapposte ed un periodo di riproduzione discreto, queste matrici permettono di proiettare la struttura di età di una popolazione da un tempo a quello successivo (Ebert, 1999; Ricklefs, 1997). Per costruire le life tables è necessario conoscere la struttura di età di una popolazione la quale può essere determinata, nel caso del corallo rosso, conoscendo il tasso di crescita.

Modelli basati su “*life tables*” e matrici di transizione di Leslie-Lewis sono stati molto utilizzati dai biologi per studiare le dinamiche di popolazione in diverse specie, alcune delle quali marine (Caswell, 2001). Ad esempio per la tartaruga marina *Caretta caretta* (Crouse e al. 1987) e la balena franca *Eubalaena Glacialis* (Fujiwara e Caswell, 2001).

Modelli di questo tipo sono stati utilizzati negli ultimi anni per studiare le dinamiche di popolazioni superficiali di corallo rosso (Santangelo et al. 2007; Bramanti et al. 2009).

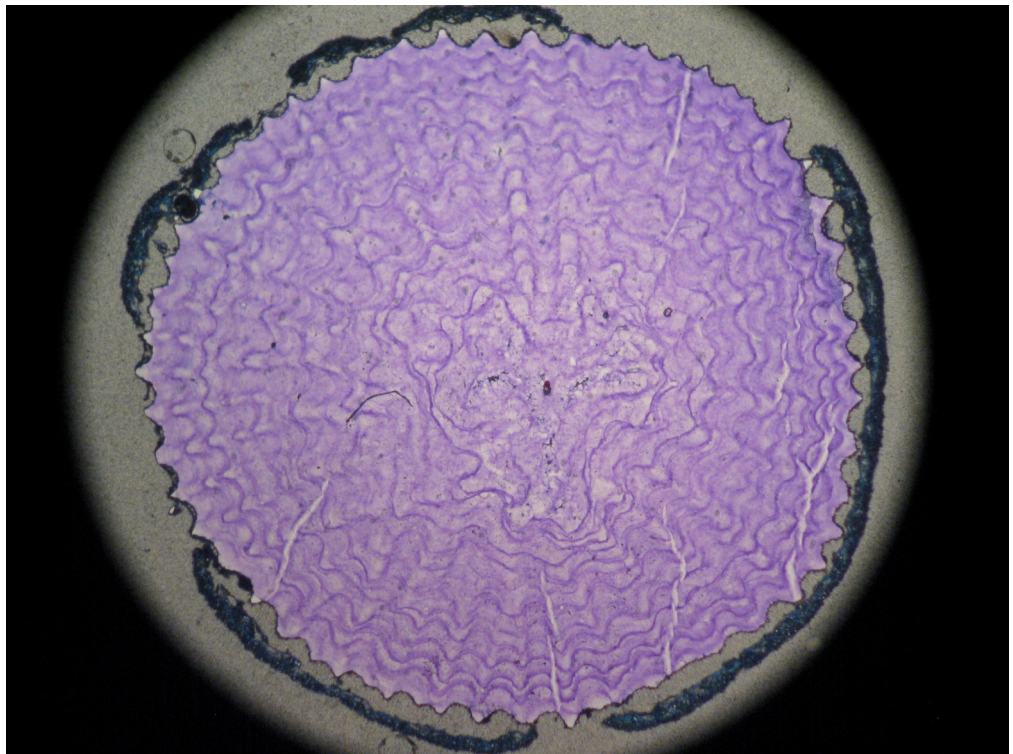
## ***1.7 Scopo della tesi***

Lo scopo del presente lavoro è quello di determinare la struttura di età ed il tasso di crescita della popolazione superficiale di corallo rosso presente nell'Area Marina Protetta di Cap de Creus (Costa Brava, Spagna). I risultati permetteranno di dividere la popolazione in classi di età e di ottenere così la struttura della popolazione sulla base della quale sarà possibile costruire una life table ed in seguito applicare modelli demografici.

Il presente studio si inserisce in un più ampio progetto di ricerca volto allo studio della dinamica delle popolazioni di *C. rubrum* ai fini della conservazione. Il progetto prevede lo studio di altre due popolazioni: Portofino (Liguria, Italia) e Calafuria (Livorno, Italia).

La raccolta a fini commerciali del corallo rosso è regolata secondo criteri di taglia minima che prendono in considerazione il diametro basale. Un ulteriore obiettivo di questo studio è quello di valutare se questo descrittore morfologico rispecchia al meglio gli anni della colonia. Lo scopo è quello di individuare un parametro morfologico che sia preciso e allo stesso tempo semplice da valutare, per consentire ai corallari di selezionare le colonie più vecchie e preservare quelle più giovani.

## *2. Materiali e metodi*



## ***2.1 Area di studio***

Cap de Creus è una piccola penisola che si trova nel nord est della Costa Brava, a circa 25 km dal confine con la Francia (42°20'1" N, 03°16'30" E). Nel 1984 in questa zona è stato istituito il parco naturale di Cap de Creus che si estende per 10787 ettari sulla terraferma e per 3073 ettari in mare. La pesca e la raccolta sono regolate da leggi nazionali e regionali. Cap de Creus è la zona più produttiva di corallo rosso della Costa Brava, per questo è stata ed è tutt'ora esposta ad un pesante sfruttamento. Nel parco non è stata proibita la pesca del corallo rosso, ma solo regolamentata, concedendo un numero limitato di permessi di pesca. Le licenze concesse, in un'area compresa fra il confine con la Francia e Cabo de Begur, ammontano a 12 e il periodo di pesca inizia il 1° Maggio e termina il 31 di Ottobre (Ordinanza 389/2004). Secondo il regolamento un corallaro non può prelevare più di 400 kg di corallo grezzo a stagione. Il diametro minimo consentito è stato fissato a 7 mm e il prelievo può avvenire solo una volta al giorno. Dal 2005 la raccolta di *C. rubrum* è stata completamente proibita in tre zone (RNP) dell'Area Marina Protetta del Parco Naturale di Cap de Creus (Ordinanza 293/2005).

Le popolazioni più sfruttate sono quelle superficiali (30-50m) e durante ogni immersione un pescatore raccoglie 0,5-2kg di corallo rosso (Tsounis et al. 2007). Nonostante queste regolamentazioni spesso *C. rubrum* viene pescato lungo tutta l'area e senza criterio per la mancanza di un'efficace sorveglianza.

L'area considerata in questo studio è caratterizzata da una comunità coralligena a cui è associato *Corallium rubrum* (Ballestreros 2006). Precedenti studi svoltisi in quest'area hanno ottenuto valori di densità di  $127 \pm 118.6$  colonie/m<sup>2</sup> (Tsounis et al. 2006).



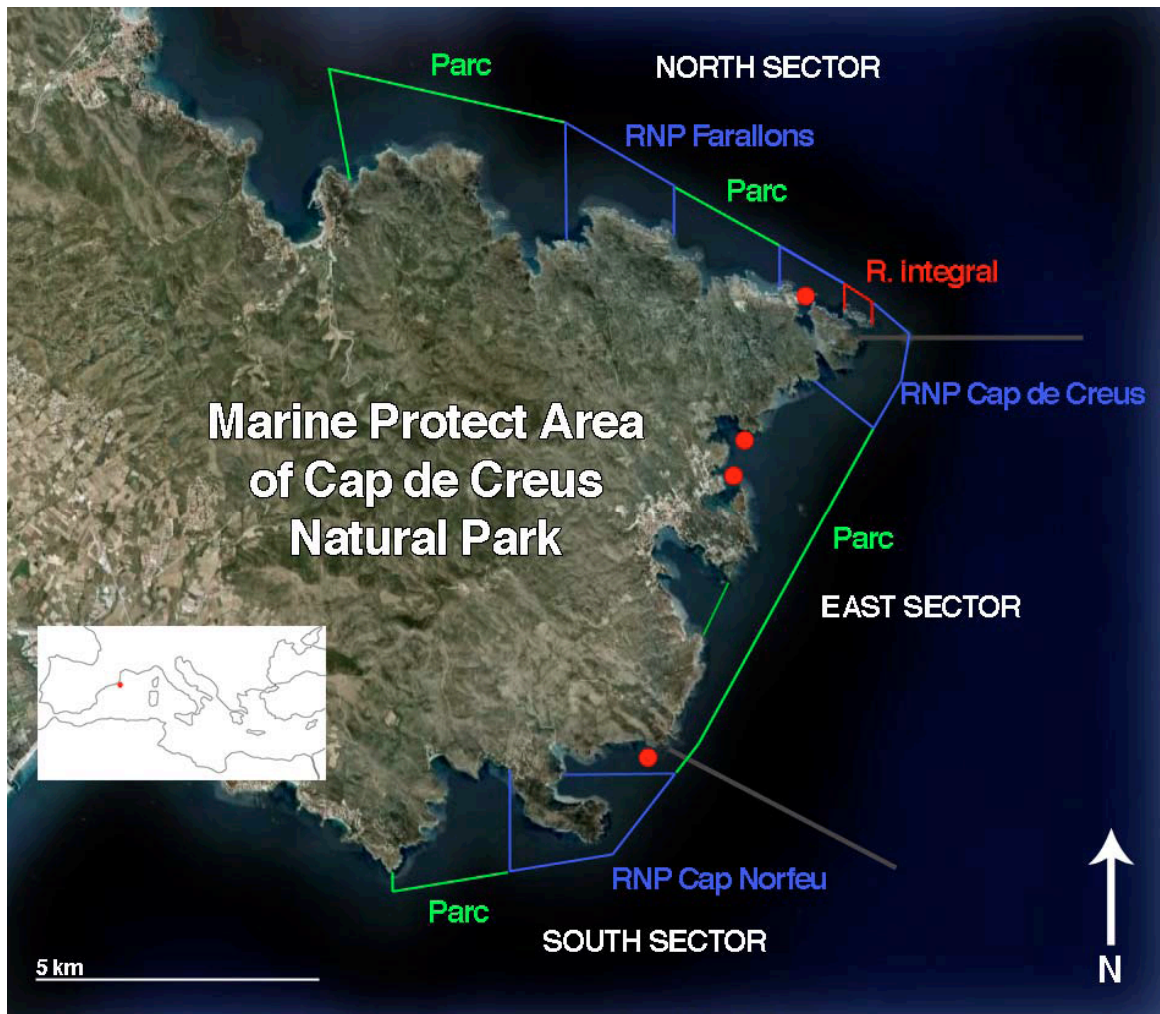


Fig. 2.1.1: Area marina protetta di Cap de Creus.

## 2.2 Campionamento

All'interno dell'area di campionamento sono stati selezionati casualmente 4 siti (Caials, Furallon, Ielles, Forcats). In ogni sito sono state scelti casualmente 3 quadrati (repliche) di 20x20cm, situati ad una profondità compresa fra i 30 e i 35m. Dopo un campionamento fotografico, all'interno dei 12 quadrati di 400 cm<sup>2</sup>, sono state raccolte le colonie adulte tramite l'utilizzo di uno scalpello, in modo da evitare la distruzione non selettiva dei popolamenti bentonici associati a *C. rubrum* e per preservare l'integrità delle colonie. Purtroppo questo metodo di campionamento non

consente la raccolta di tutte le colonie più piccole presenti nella popolazione, portando ad una sottostima delle classi di età più giovane.

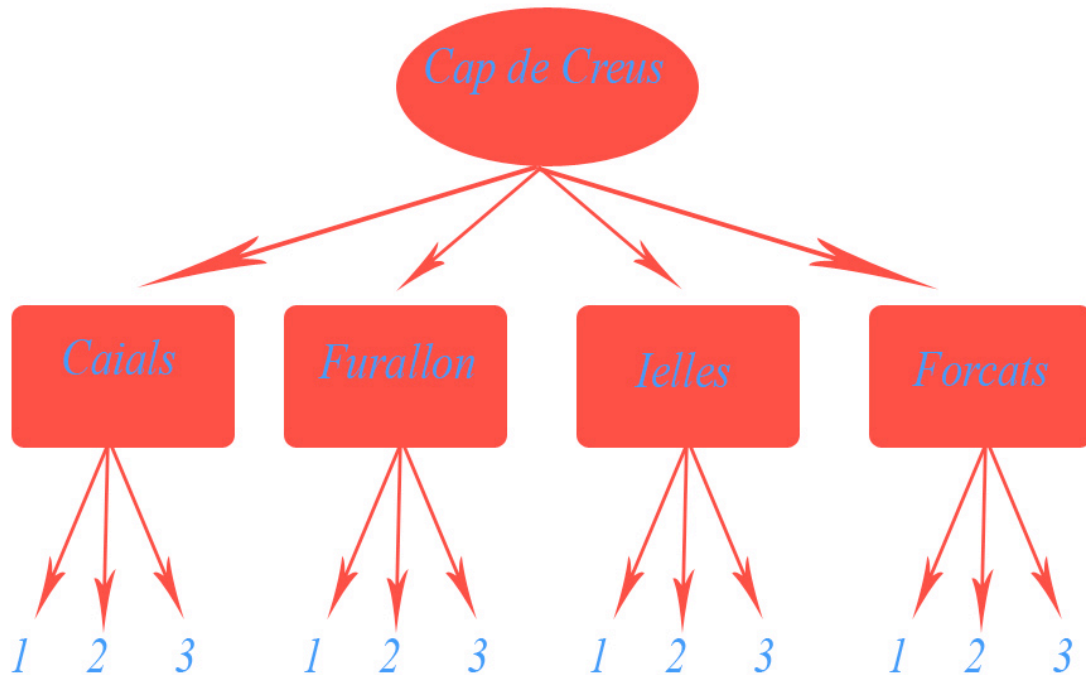


Fig. 2.2.1: Disegno di campionamento: area Cap de Creus con quattro siti, (Caials, Furallon, Ielles, Forcats), tre quadrati per ogni sito all'interno dei quali sono state campionate le colonie di *Corallium rubrum*.

Dopo la rimozione delle colonie sono state scattate 4 foto (10x10 cm) per ogni quadrato. Per le fotografie è stata utilizzata una macchina fotografica digitale Canon G10 dotata di scafandro e flash TTL ikelite. Tramite un telaio d'acciaio 10x10cm fissato all'obiettivo ed una cornice 20x20cm, suddivisa in 4 quadrati 10x10cm, appoggiata al substrato è stato possibile ottenere un'inquadratura fissa.

Sulla base delle fotografie è stato identificato e conteggiato il reclutamento.



Le colonie, subito dopo il campionamento, sono state fissate in una soluzione di formalina al 4% ed acqua di mare, al fine di conservarle per le analisi successive. In laboratorio ogni colonia è stata analizzata per determinare: altezza, peso, numero ramificazioni, numero polipi, sesso, fertilità e fecondità.



Fig. 2.2.2: Colonie di *Corallium rubrum* all'interno del quadrato 20 x 20 cm prima del prelievo

### ***2.3 Sezioni sottili***

Per determinare la struttura di età della popolazione di Cap de Creus sono state analizzate alcune delle colonie prelevate seguendo un apposito metodo. Per determinare l'età delle colonie prelevate, è stata seguita la procedura,

validata da Marschal et al. (2004), che evidenzia la deposizione annuale di materia organica, la quale va a costituire gli anelli di crescita della colonia.

Dopo aver effettuato la misurazione dei descrittori morfofunzionali è stata fatta una selezione delle colonie prelevate; sono state scartate le colonie che presentavano evidenti segni di camolature, ovvero perforazioni operate da altri organismi (come serpulidi e spugne perforanti), e che mostravano un accentuata curvatura o ramificazioni in prossimità della base, tutti fattori che avrebbero falsato le analisi successive.

Le colonie sono state lasciate ad asciugare a temperatura ambiente; in seguito è stato eseguito un taglio con una sega diamantata in corrispondenza del punto in cui era stato misurato il diametro (0.5-1 cm dalla base). La porzione basale è stata inserita all'interno di uno stampino (di forma circolare e non troppo rigido) dentro il quale è stata versata della resina ipossidica; dopo 12 ore la resina si è solidificata andando ad inglobare completamente il segmento di corallo. Il blocco così ottenuto, è stato incollato su un vetrino con una colla che polimerizza sotto raggi UV. Successivamente le sezioni sono state portate allo spessore di 150  $\mu\text{m}$  con l'utilizzo di una mola apposita e assottigliate ulteriormente con polveri abrasive per raggiungere lo spessore richiesto di 50  $\mu\text{m}$ . Le sezioni così preparate sono state decalcificate tramite immersione, per 4-5 ore, in una soluzione al 2% di acido acetico. Dopo un delicato risciacquo con acqua deionizzata, le sezioni sono state colorate con blu di toluidina allo 0.05% per circa 30 secondi. Talvolta è stato necessario colorare più volte le sezioni per rendere meglio evidenti gli anelli di matrice organica al microscopio. Dopo decalcificazione e colorazione le sezioni sono state fotografate al microscopio ed ogni immagine è stata calibrata (mm) secondo il proprio ingrandimento.

## ***2.4 Area della corona circolare***

Una singola sezione può fornire diverse informazioni riguardanti i processi di crescita della colonia da cui è stata effettuata. I dati raccolti sono stati utilizzati per conoscere l'età della colonia, la superficie della materia organica deposta ogni anno e la crescita annuale media in diametro.

La corona circolare corrisponde alla superficie deposta durante il processo di crescita della colonia in un singolo anno: per ogni anello di crescita è stata selezionata la sua superficie totale, evidenziata e salvata come singola immagine con il programma grafico Photoshop CS3. Attraverso un programma di analisi grafica (Visilog) è stata calcolata l'area in  $\text{mm}^2$  della superficie precedentemente evidenziata, calibrando ogni volta il sistema in base all'ingrandimento utilizzato per ottenere l'immagine. Dato che non è possibile stimare direttamente l'area della corona circolare deposta ogni anno, il valore della superficie è stato ricavato dalla differenza tra la superficie totale esaminata e quella dell'anno precedente.

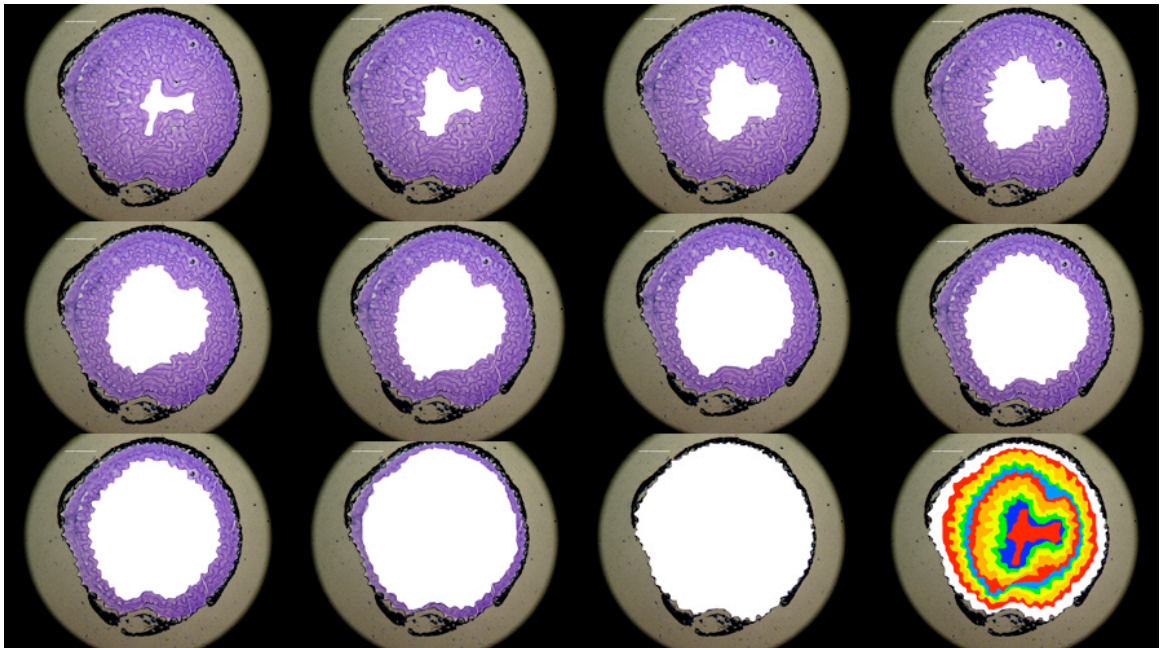


Fig. 2.4.1: Immagini in cui è evidenziata la superficie della corona circolare

Le corone circolari non possono essere misurate in quelle colonie che presentano camolature lungo lo scheletro assiale. Le perforazioni non permettono di seguire precisamente i cerchi, ostacolando la misurazione dell'area circolare. Lo stesso problema è stato riscontrato nelle rare sezioni che si sono danneggiate durante il procedimento.

Nella zona centrale gli anelli di crescita non sono presenti ed il primo appare sempre ad una certa distanza dal centro. Secondo il lavoro di Marschal et al. (2004) vi è una discrepanza di quattro anni tra l'età stimata contando i cerchi di accrescimento e l'età effettiva valutata con metodi diretti. Questo, probabilmente, corrisponde al tempo richiesto dalla giovane colonia per formare il primo anello di crescita. In base a queste osservazioni la superficie occupata dalla porzione eterogenea centrale è stata attribuita ai primi 4 anni di crescita, assumendo la crescita in questi primi anni costante (Bramanti et al. 2003; 2005).

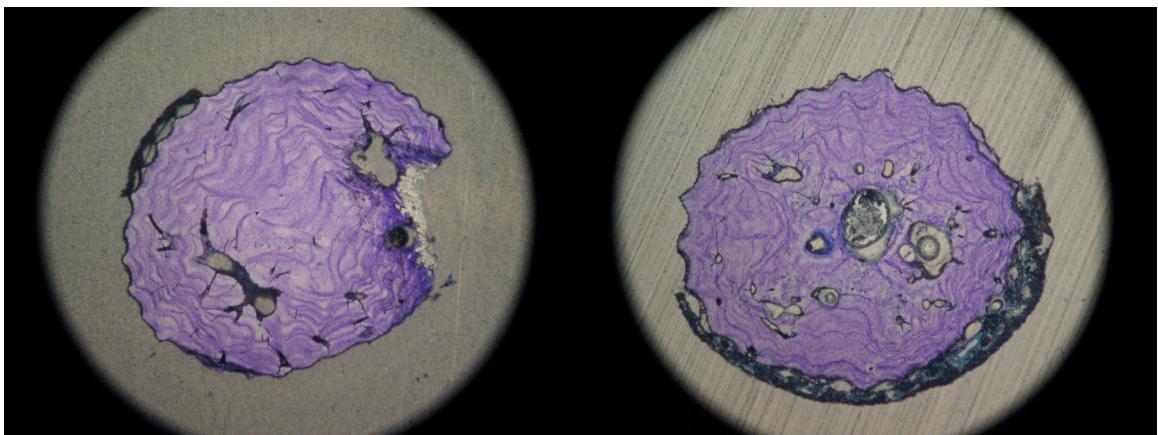


Fig. 2.4.2: A sinistra una sezione danneggiata durante il procedimento. A destra una colonia particolarmente perforata.

## ***2.5 Stima dell'età e tasso di crescita in diametro***

L'età delle colonie analizzate è stata stimata sommando il numero totale delle singole corone circolari. Al numero di anelli annuali contati ne sono stati aggiunti altri quattro, corrispondenti alla prima fase di vita della colonia durante la quale non vengono ancora depositati gli anelli di accrescimento.

Le colonie che riportavano buchi nello scheletro sono state scartate per la determinazione della corona circolare in quanto non era possibile selezionare l'area a causa delle zone non leggibili. Tali sezioni sono comunque state utilizzate per la determinazione dell'età della colonia. Per queste sezioni sottili l'età è stata calcolata dividendo la sezione in sei spicchi in ciascuno dei quali veniva contato il numero di anelli. L'età è risultata come il valore medio dei sei valori a cui sono poi stati aggiunti i quattro anni.

Nonostante la selezione iniziale, non è stato possibile determinare l'età di alcune colonie a causa di distribuzioni particolarmente ambigue degli anelli di crescita annuali. In particolar modo sono state identificate due condizioni problematiche: nelle colonie la cui base era caratterizzata da una curva, gli anelli di crescita si chiudono su un lato rendendo difficile contarne l'effettivo numero. Gli stessi anelli di crescita sembrano molto più distanti uno dall'altro nelle colonie che presentano il primo processo di biforcazione immediatamente adiacente alla base. Di conseguenza le colonie che presentavano queste caratteristiche sono state scartate.

Uno degli obiettivi preposti era quello di misurare il tasso annuo di crescita lineare in diametro, ma per l'assenza di un transetto lineare preciso e per l'impossibilità di identificare un punto centrale non è stato possibile ottenere questo dato. Probabilmente a causa di un processo di deposizione

irregolare spesso si verifica la sovrapposizione degli anelli. E' stato possibile però ottenere il diametro medio annuale di ogni colonia dividendo il diametro (mediato) misurato con il calibro per il numero totale di anni stimati.

## ***2.6 Descrittori Morfologici***

Tutte le colonie campionate sono state sottoposte a numerose misurazioni con lo scopo di analizzare vari descrittori morfofunzionali: diametro basale (mm), altezza (mm), peso (g), numero di ramificazioni e numero di polipi. Ogni descrittore è stato messo in relazione con l'età della colonia, stimata utilizzando le sezioni sottili. L'obbiettivo è quello di trovare un parametro che permetta di attribuire, con buona approssimazione, un'età alle colonie sulla base della loro morfologia. Il fine è quello di migliorare la gestione di *C. rubrum* e garantire un metodo di prelievo razionale di questa risorsa basato sulla struttura di età della popolazione.

- **Diametro basale:** il diametro medio (mm) di ogni colonia è stato ricavato dalla media di tre misurazioni per ogni asse (maggiore e minore). Le misure sono state effettuate tramite calibro (livello di precisione  $\pm 0.05$  mm) ad una distanza compresa tra gli 0.5 ed 1 cm dalla base a seconda della morfologia basale della colonia. Il punto in cui è stata effettuata la misurazione è stato evidenziato, per farlo coincidere con la zona del taglio in modo da garantire una corretta relazione.
- **Diametro stimato:** maggiori informazioni sul diametro sono state ottenute calcolandolo dalla superficie delle corone circolari. L'area totale (dal quarto anno in poi), misurata dalle sezioni sottili, è stata

paragonata a quella di un cerchio così da ottenere il diametro attraverso una semplice formula matematica;  $d=2\sqrt{s/\pi}$ , dove  $s$ = superficie corona circolare.

- **Altezza:** l'altezza della colonia è stata calcolata come valore medio di tre misurazioni effettuate dal centro della base fino all'apice del ramo più lontano da essa. La base è stata considerata come il punto in cui la colonia era in contatto con il substrato, con un livello di precisione di  $\pm 0.05$  mm.
- **Peso:** le colonie completamente asciutte sono state pesate con una bilancia di precisione (livello di precisione  $\pm 0.01$  g). Ogni volta che la colonia presentava dei rami mancanti è stato registrato il numero; in seguito è stato sottratto il numero dei rami assenti da quello totale.



Fig. 2.6.1: Strumenti usati per le misurazioni.



- Numero di polipi: per ogni colonia è stato contato il numero di polipi presenti in ogni ramificazione ed in seguito sono stati sommati per ottenere il numero totale. Il conteggio è avvenuto mediante l'utilizzo di uno stereomicroscopio.
- Numero di ramificazione e internodi: Per ogni colonia la specifica espressione del suo modello di forma è stata chiamata “unità di architettura” organizzata in base, internodo e ramo. Per descrivere il modello di ramificazione e per indicare i vari assi sono stati usati numeri ordinali e numeri cardinali. L'asse emergente dalla base è quella di primo ordine, mentre gli assi che dipartono da esso sono gli assi di secondo ordine e così via. Inoltre, dato che più ramificazioni possono appartenere al solito ordine, queste sono state numerate, con numeri cardinali seguendo un senso orario. La zona di inserzione dei rami sull'asse centrale è chiamata nodo mentre la porzione dell'asse che separa due nodi successivi è chiamata internodo (Barthélémy & Caraglio, 2007).

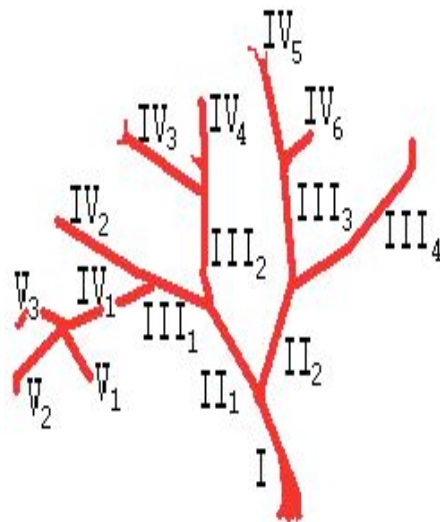


Fig. 2.6.2: Rappresentazione del modello di ramificazione di una colonia.

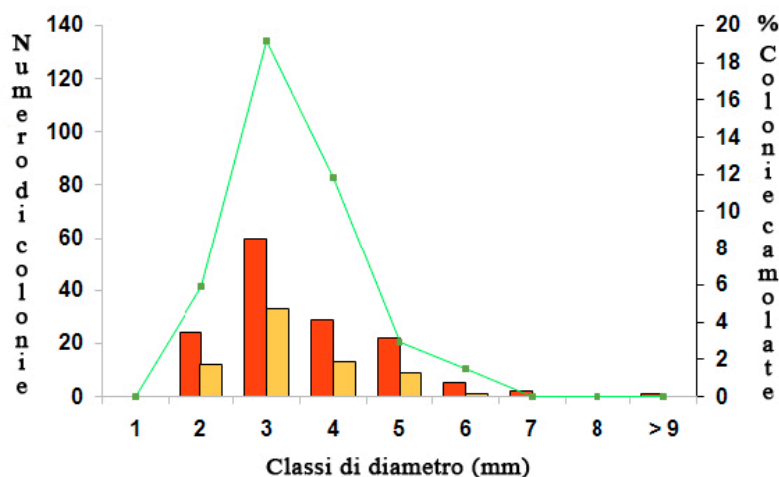


### ***3. Risultati***



### 3.1 Caratteristiche della popolazione

Il numero totale di colonie adulte prelevate a Cap de Creus corrisponde a 143, con un valore di densità media di  $11.92 \pm 1.44$  S.E. ind/400cm<sup>2</sup>; mentre la densità media dei recruits è  $5.65 \pm 1.21$  S.E. ind/400cm<sup>2</sup>. Tra le 143 colonie campionate ne sono state selezionate inizialmente 68 per la determinazione dell'età. Le colonie utilizzate per ottenere le sezioni sottili sono state scelte in modo da rappresentare tutte le classi di diametro (ognuna larga 1 mm in più della classe precedente), sono state scartate quelle che non presentavano criteri morfologici adatti, come detto in dettaglio nei materiali e metodi.



**Fig. 3.1.1 1:** Distribuzione delle colonie campionate nella popolazione di Cap de Creus, suddivise in classi di diametro: in rosso è rappresentata la popolazione totale campionata, in arancione la distribuzione dei campioni sezionati per la determinazione dell'età. La linea verde indica la percentuale delle colonie, sezionate per la determinazione dell'età, che sono risultate camolate.

Lo scheletro assiale di *C. rubrum* spesso può essere danneggiato da spugne perforanti; le perforazioni in alcuni casi sono visibili solo dopo l'analisi della sezione dello scheletro. Delle 68 colonie analizzate per la

determinazione dell'età il 58.52 % (n=40) è stato trovato senza segni di danneggiamento. Le colonie con un diametro compreso tra 3 e 3.99 mm sono state quelle che hanno maggiormente subito l'azione delle spugne ( 19.12 %).

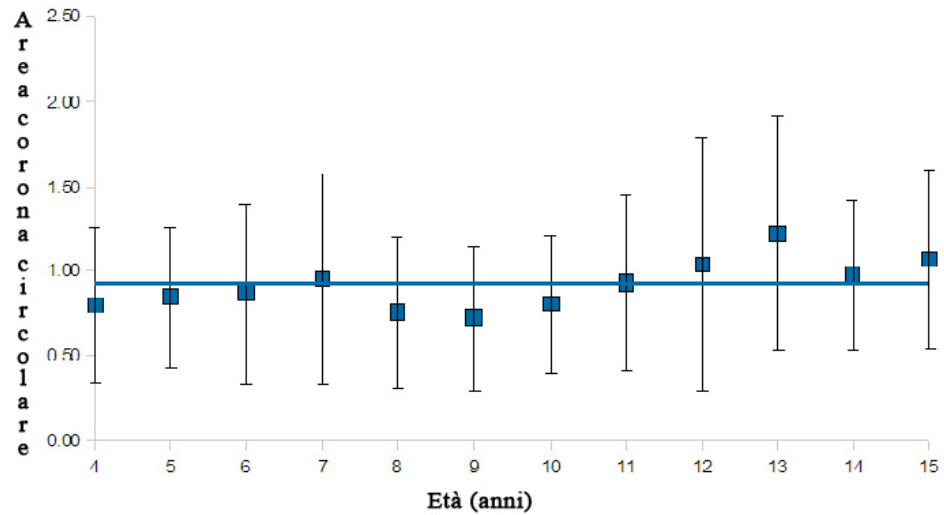
Le 40 colonie sane, che sono state utilizzate per la determinazione dell'età, costituiscono un campione rappresentativo delle diverse classi di taglia/età presenti nella popolazione.

### ***3.2 Determinazione dell'età della popolazione***

#### ***3.2.1 Aree delle corone circolari***

L'area delle corone circolari è stata determinata solo per 10 differenti colonie rispetto alle 40 analizzate per il numero di cerchi di accrescimento. Nelle 30 colonie scartate non è stato possibile seguire esattamente il perimetro di ogni singolo anello, una analisi forzata avrebbe portato sicuramente ad una alterazione dei dati (vedi materiali e metodi).

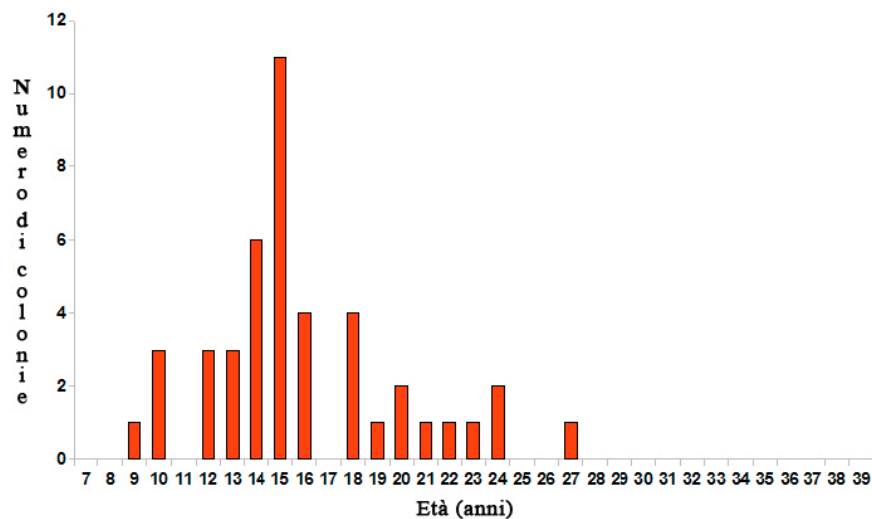
La superficie media deposta ogni anno è  $0.93 \pm 0.16 \text{ mm}^2$  (S.E.); questo risultato è stato ottenuto mediando la crescita in area di ogni anno e di ogni colonia ( $\text{Superficie anno}_n - \text{Superficie anno}_{n-1}$ ).



**Fig. 3.2.1.1:** Valori medi delle aree delle corone circolari annuali ( $\pm$  SD) delle colonie campionate ( $\text{mm}^2$ ). La linea blu indica il valore medio.

### 3.2.2 Età e stima del tasso di crescita in diametro

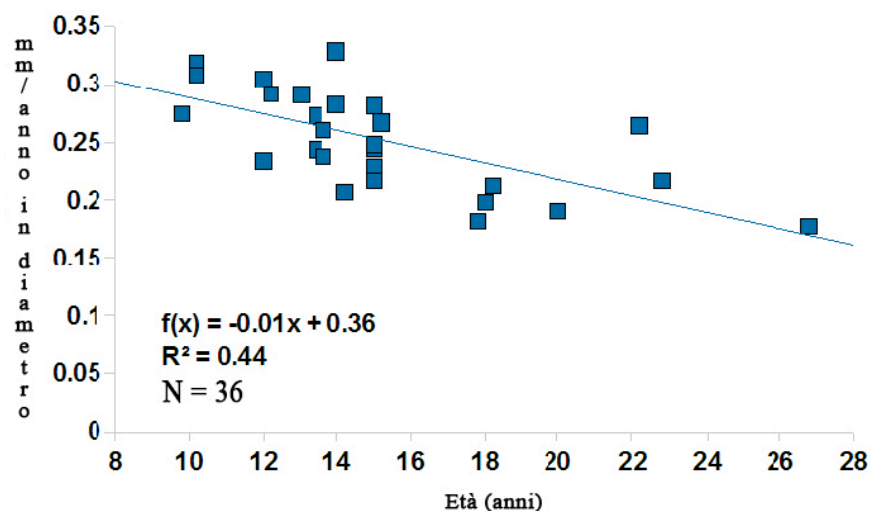
Complessivamente sono state analizzate 44 colonie, l'età varia tra 9 e 27 anni con una moda corrispondente a 15 anni e la mediana che corrisponde a 18 anni.



**Fig. 3.2.2.1:** Distribuzione della frequenza di età nel subcampione analizzato per la determinazione dell'età (N=44).

Il tasso medio di crescita annuale in diametro (diametro/età colonia) è di  $0.24 \pm 0.06$  mm/anno (SD) con un tasso minimo di crescita in diametro di 0.18 mm/anno per una colonia di 27 anni ed un valore massimo di 0.33 mm/anno per una colonia di 14 anni.

La regressione lineare tra l'età e la crescita in diametro è mostrata nella fig 3.2.2.2. Le due variabili sono messe in relazione da una correlazione lineare inversa (Pearson's linear correlation coefficient = -0.61;  $P=0.001$ ), i dati indicano che la crescita in diametro diminuisce significativamente con l'età.

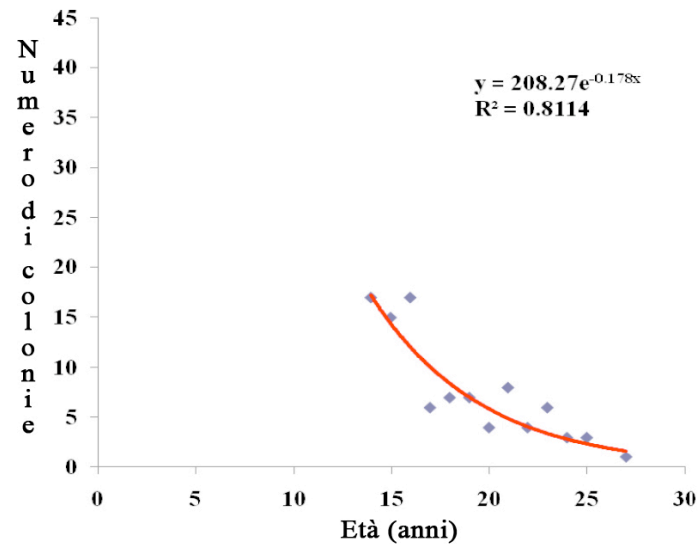


**Fig. 3.2.2.2:** Regressione lineare tra il tasso di crescita in diametro (mm/anno) e l'età delle colonie (N=36;  $P=0.01$ ).

### 3.2.3 *Struttura di popolazione*

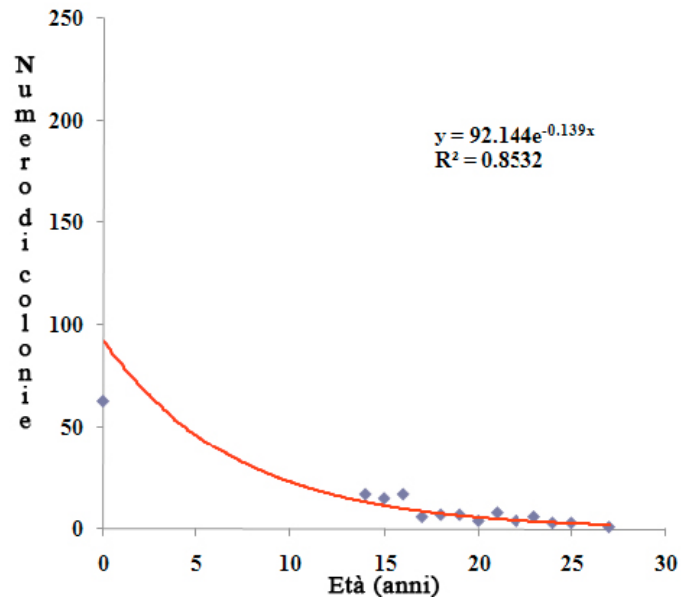
La struttura di età della popolazione di Cap de Creus è riportata nella fig. 3.2.3.1 ed è ben descritta da una curva monotona decrescente (una curva di potenza con esponente negativo). Questa struttura mostra uno stato di

equilibrio e le differenze tra il numero di colonie presente in ogni classe possono essere attribuite alla mortalità.



**Fig. 3.2.3.1:** Struttura di età di *C. rubrum* nella popolazione di Cap de Creus.

Il metodo di campionamento effettuato sottostima le colonie di piccola taglia poiché risulta difficile individuarle; per questo motivo sono presenti delle lacune nei dati riguardanti la parte più giovane della popolazione. Solo la prima classe di età è stata determinata (recruitment) grazie al campionamento fotografico effettuato dopo la rimozione delle colonie adulte. Nella fig. 3.2.3.2 è riportata la struttura di età comprensiva dei dati riguardanti il reclutamento, anche in questo caso è ben rappresentata da una curva monotona decrescente.



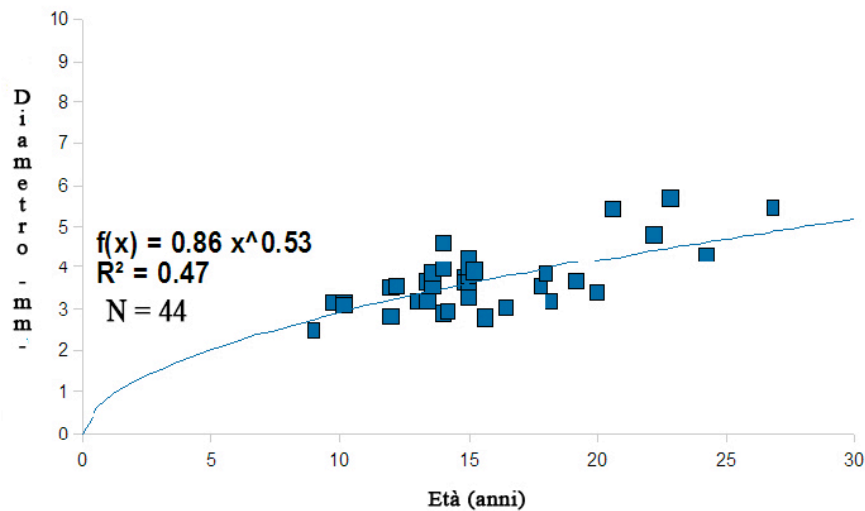
**Fig. 3.2.3.2:** Struttura di età di *C. rubrum* nella popolazione di Cap de Creus con il reclutamento.

### ***3.3 Descrittori delle colonie***

#### ***3.3.1 Diametro misurato e stimato***

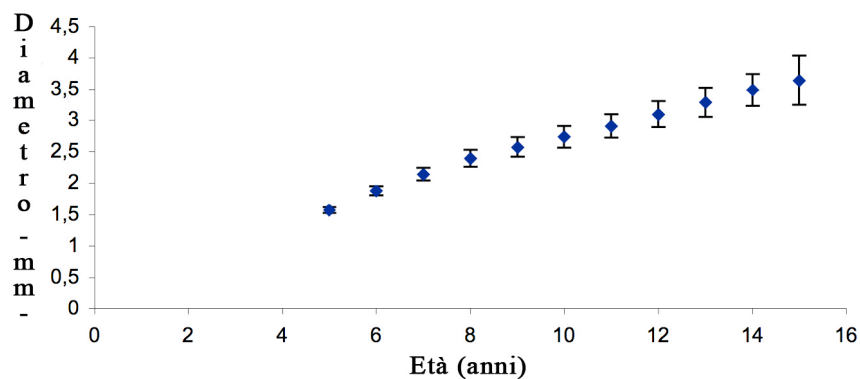
Nella popolazione di Cap de Creus la colonia più giovane ha un diametro misurato di  $2.47 \pm 0.02$  mm (SE) e un età di 9 anni, mentre la colonia più vecchia ha un età di 27 anni e un diametro di  $5.48 \pm 0.04$  mm (SE).

La relazione tra il diametro e l'età è descritta da una curva di potenza, come mostrato nella fig. 3.3.1.1.



**Fig. 3.3.1.1:** Relazione fra il diametro (mm) misurato alla base della colonia e l'età (N=44).

La crescita in diametro ricavata dalla misura della crescita della superficie della corona circolare (vedi pag. 43) è ben rappresentata da una curva di potenza con esponente piccolo ed è simile a quella misurata sperimentalmente (crescita media del diametro stimato 0.22 mm/anno, contro 0.24 mm/anno del diametro misurato). Questo risultato conferma che la crescita della corona circolare è  $\approx$  costante, mentre il diametro decresce regolarmente.

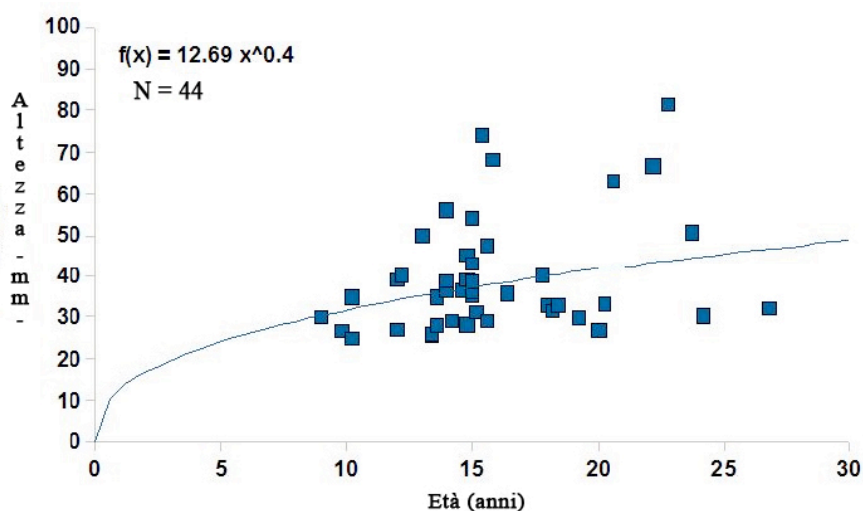


**Fig. 3.3.1.2:** Relazione tra l'età e il diametro (mm) calcolato dalle aree circolari. Come si può notare l'andamento è molto simile a quello della curva ottenuta dal diametro misurato (Fig. 3.3.1.1)



### 3.3.2 Altezza delle colonie

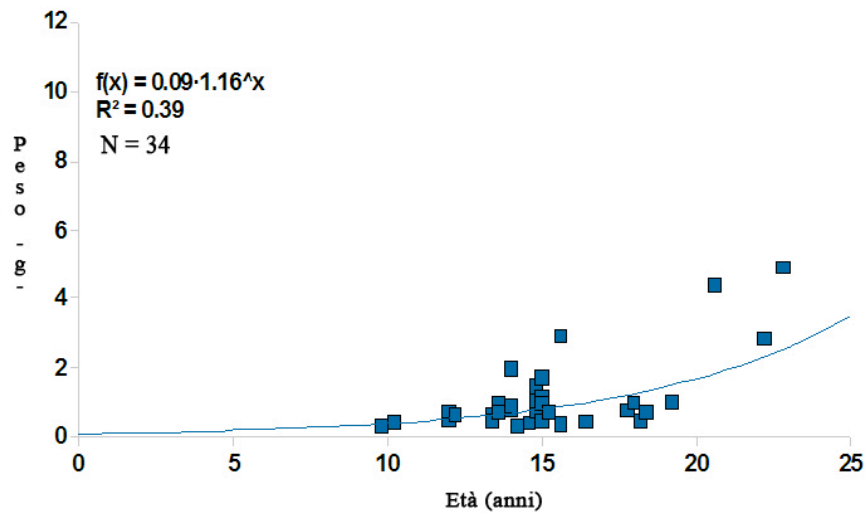
La colonia più bassa misura  $24.70 \pm 0.02$  mm ed è stata stimata un'età di 10 anni, mentre quella più alta misura  $81.25 \pm 0.03$  mm con un'età di 23 anni. Le altezze massime e minime non corrispondono con la colonia più vecchia e quella più giovane. Infatti la colonia più giovane ha 9 anni e misura  $30.03 \text{ mm} \pm 0.01$  (S.E.) e la più vecchia (27 anni) è alta solo  $32.13 \text{ mm} \pm 0.02$  (S.E.). La fig. 3.3.3.2 mostra che la relazione tra l'età delle colonie e l'altezza può essere rappresentata da una curva di potenza (la relazione è molto debole).



**Fig. 3.3.2.1:** Relazione fra l'altezza (mm) delle colonie e l'età ( N=44). (La relazione è molto debole).

### 3.3.3 Peso delle colonie

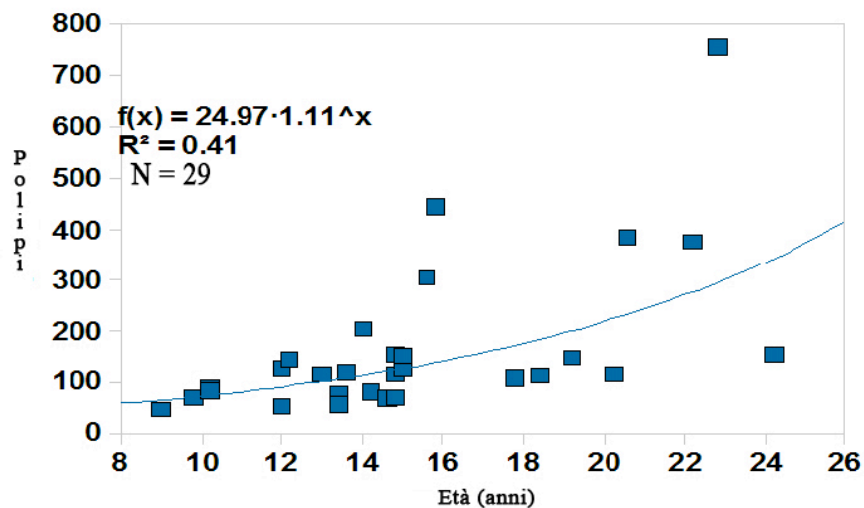
La colonia più leggera pesa 0.10g ed è una colonia non ramificata di 10 anni mentre la colonia più pesante pesa 4.91g con delle ramificazioni di VII ordine e d un'età di 23 anni. La rappresentazione di questi dati con una curva esponenziale non è molto efficace.



**Fig. 3.3.3.1:** Relazione fra il peso (g) e l'età (N=34). (La rappresentazione con una curva esponenziale non è molto efficace).

### 3.3.4 Numero di polipi

La relazione fra il numero di polipi e l'età può essere descritta da una curva esponenziale.



**Fig. 3.3.4.1:** Relazione fra il numero di polipi e l'età (N=29).

### 3.3.5 Numero di ramificazioni

La relazione tra il numero delle ramificazioni e l'età della colonie della popolazione è ben descritta dalla regressione lineare riportata nella fig. 3.3.5.1. La correlazione lineare, sulla base del coefficiente di Pearson, è risultata significativa. (Pearson' correlation coefficient 0.44; N=29; P =0.05).

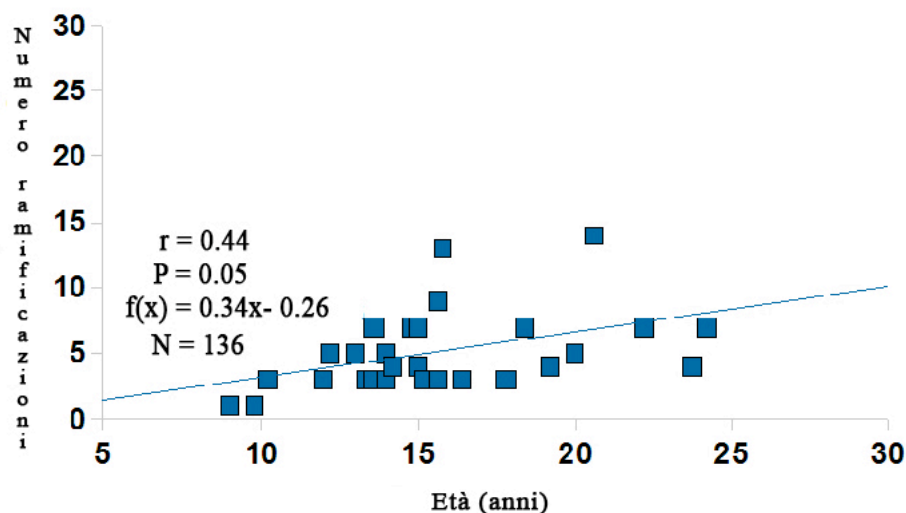
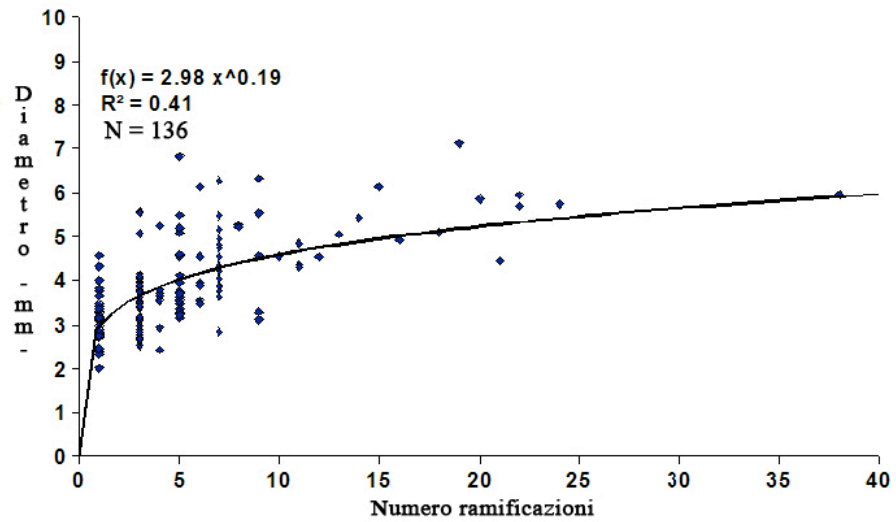


Fig. 3.3.5.1: Relazione fra il numero di ramificazioni e l'età (N=29).

Successivamente sono state analizzate le correlazioni fra il numero di ramificazioni e gli altri descrittori.

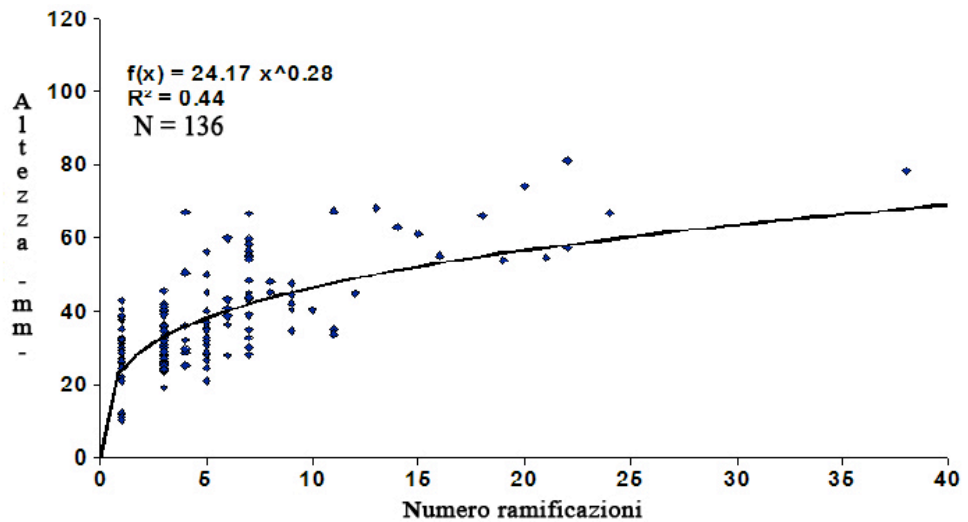
Nella fig. 3.3.5.2 è riportata la relazione fra il numero delle ramificazioni e il diametro basale delle colonie. La relazione è rappresentata da una curva di potenza: nella prima parte della curva ad un incremento di ramificazioni corrisponde un incremento del diametro mentre, nella seconda parte della curva, per valori del numero di ramificazioni superiori a 7, l'incremento del diametro non segue più questo andamento (il diametro non aumenta seguendo il numero di ramificazioni).



**Fig. 3.3.5.2:** Relazione fra diametro misurato alla base della colonia (mm) e il numero di ramificazioni (N=136).

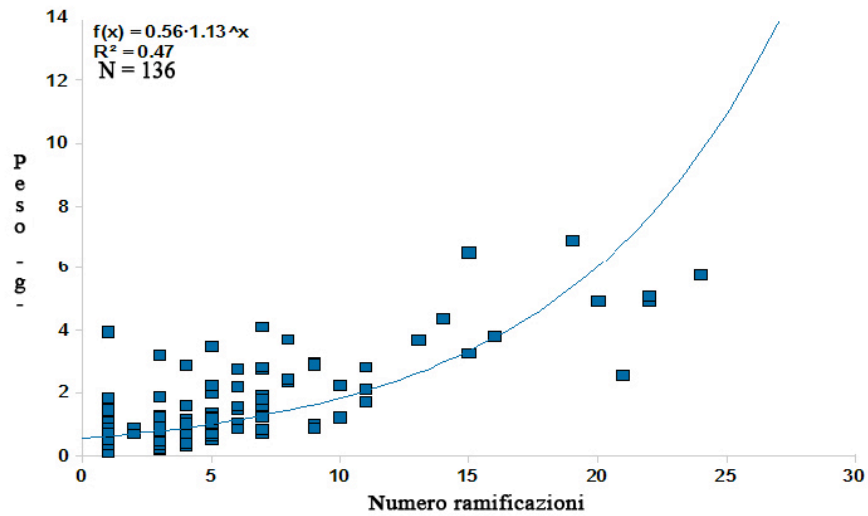
Nella popolazione analizzata il numero medio di ramificazioni è  $5.41 \pm 4.79$  e il massimo valore è 24.

Come per il diametro, anche l'aumento dell'altezza presenta un valore asintotico con l'incremento del numero di ramificazioni.



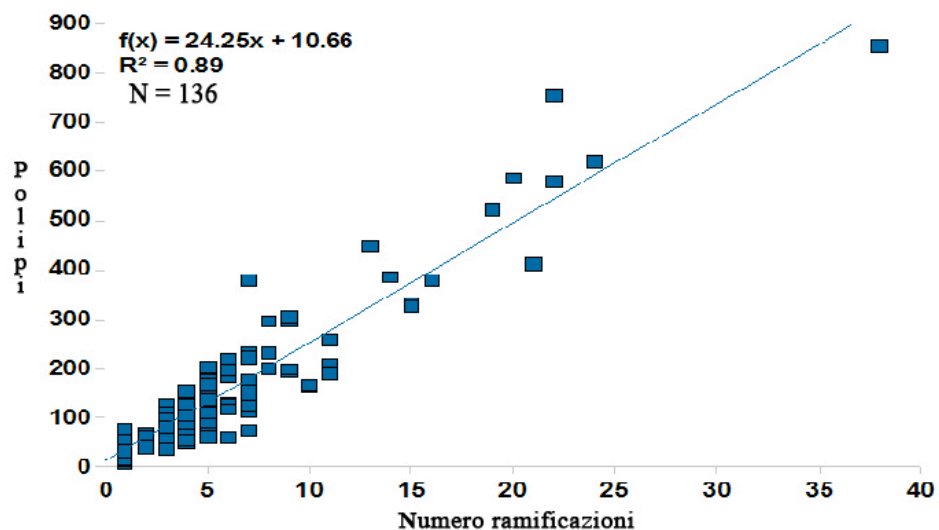
**Fig. 3.3.5.3:** Relazione fra l'altezza (mm) e il numero di ramificazioni (N=136).

La relazione fra il peso e il numero di ramificazioni è rappresentato da una curva esponenziale.



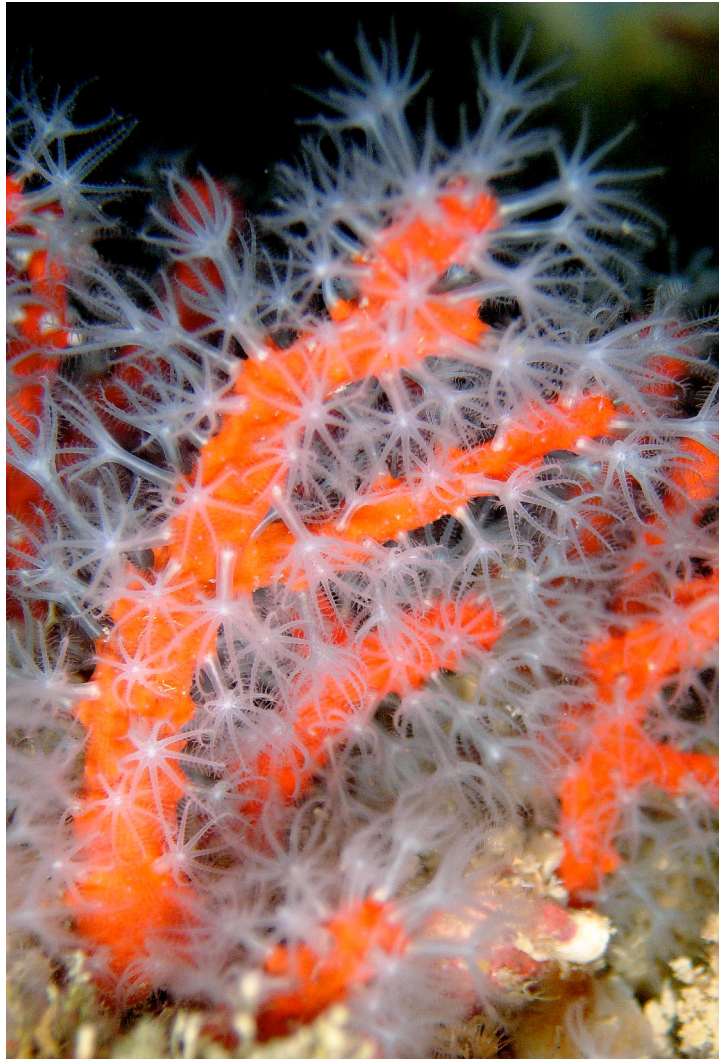
**Fig. 3.3.5.4:** Relazione fra il peso (g) e il numero di ramificazioni (N=136).

Una forte correlazione lineare positiva è stata riportata fra il numero di polipi e il numero di ramificazioni (Pearson' correlation coefficient 0.94; P = 0.01). La regressione lineare è mostrata nella fig. 3.3.5.5.



**Fig. 3.3.5.5:** Relazione fra il numero delle ramificazioni e quello dei polipi(N=136).

## *4. Discussioni e Conclusioni*



## ***4.1 Popolazione di Cap de Creus***

Le colonie esaminate per la determinazione dell'età rappresentano tutte le classi di taglia della popolazione superficiale di *Corallium rubrum* presente nell'area di studio. I dati sull'età sono stati ottenuti solo sul 31% delle colonie raccolte, ma, nonostante questo, mostrano una distribuzione che riflette quella dell'intera popolazione di corallo rosso presente a Cap de Creus. Non è stato possibile ottenere l'età di tutte le colonie prelevate, perchè la tecnica utilizzata richiede colonie senza evidenti malformazioni o perforazioni in prossimità della base.

La percentuale di colonie infestate dalle spugne perforanti (40%) è inferiore a quella trovata nelle popolazioni di Portofino (50%). I dati hanno evidenziato che il maggior numero di colonie parassitate risulta essere appartenente alle classi di diametro più piccole tra quelle esaminate (soprattutto 3-3.99 mm). La maggiore frequenza delle spugne nelle colonie delle classi 3-3.99 mm ne determinerebbe una più alta mortalità e, di conseguenza, una minore presenza di infestazione da spugne perforanti tra le colonie di età maggiore.

I valori di densità registrati sono bassi sia per le colonie adulte che per i recruits (rispettivamente  $11.92 \pm 1.44$  S.E. e  $5.65 \pm 1.21$  S.E. ind/400 cm<sup>2</sup>). La bassa densità ed il fatto che non siano state trovate colonie con un diametro maggiore di 7 mm potrebbero derivare da un effetto della pesca a cui questa popolazione è soggetta.

## ***4.2 Età e descrittori morfologici***

### ***4.2.1 Aree delle corone circolari annuali***

La crescita della superficie delle corone circolari è risultata relativamente costante nei vari anni e nelle differenti colonie ( $0.93 \pm 0.16 \text{ mm}^2$ ). Questo risultato è probabilmente dovuto al fatto che la deposizione di sostanza organica e di  $\text{CaCO}_3$  lungo lo scheletro assiale, dopo i primi 4 anni, è  $\approx$  costante nel tempo. Di conseguenza all'aumentare della circonferenza delle colonie con l'età, la quantità di carbonato depositata si distribuisce su una superficie maggiore, determinando una diminuzione della crescita in diametro con l'età.

Gli stessi risultati sono stati ottenuti in un'altra popolazione esaminata (Portofino:  $0.94 \pm 0.14 \text{ mm}^2$ ). E' perciò probabile che il meccanismo di deposizione della sostanza organica e del  $\text{Ca}^{2+}$  siano regolati da processi molecolari e che gli effetti di fattori ambientali siano limitati.

### ***4.2.2 Età e tasso di crescita in diametro***

La struttura di età della popolazione di Cap de Creus è ben descritta da una curva monotona decrescente e suggerisce che la popolazione si trovi in uno stato stazionario (Steady – state). La durata massima del ciclo vitale della popolazione è di 27 anni, piuttosto breve se confrontata con altre popolazioni superficiali (Portofino, 39 anni). Questi risultati, come anche la bassa densità, le piccole dimensioni ed il basso tasso di reclutamento, possono essere attribuiti a differenti cause ambientali, biologiche, ma probabilmente la principale causa è il prelievo. In particolar modo il basso tasso di reclutamento influisce negativamente sulle probabilità di un



recupero della popolazione, soprattutto nel caso di eventi di mortalità di massa che, uniti all'effetto del sovra sfruttamento, possono portare alcune popolazioni all'estinzione (Santangelo et al. 2007).

L'assenza e il limitato numero di colonie nelle prime classi di età (da 2 a 13 anni) campionate dipende dal metodo di campionamento che sottostima il numero di colonie più piccole (ma non il reclutamento che è determinato per mezzo di macrofotografie). L'età delle colonie inferiori a 3mm di diametro è difficile da determinare a causa della deposizione irregolare dei cerchi di accrescimento nei primi anni di vita. I primi anelli di crescita non sono visibili a causa di differenze nel processo di formazione dello scheletro assiale (Marschall et al. 2004).

Il tasso annuale di crescita in diametro mostra valori comparabili con quelli riscontrati in altri studi, sia basati su metodi diretti che indiretti (Garrabou & Harmelin, 2002; Marschal et al. 2004). Questi risultati confermano il lento tasso di crescita in diametro delle colonie di *Corallium rubrum* ed evidenzia come questo diminuisca con l'età.

La correlazione tra l'età e il tasso di crescita medio in diametro (0,24 mm) è descritta da una regressione lineare negativa, quindi la crescita in diametro diminuisce con l'età, e conferma le informazioni ottenute dalla crescita costante in superficie. Questi risultati concordano anche con le misurazioni prese su colonie di 4 anni, che mostrano un tasso di crescita annuale di 0.62 mm (Cerrano et al. 1999; Bramanti et al 2005).

I dati forniti da Garrabou & Harmelin (2002) comunque evidenziano alcune differenze nella crescita in diametro fra colonie che vivono all'interno e all'esterno delle grotte. L'habitat e la distribuzione spaziale potrebbero influire sull'ecologia e la struttura di popolazione di specie, come *Corallium*

*rubrum*, che hanno una limitata dispersione larvale e sono geneticamente strutturate su piccola scala spaziale (Costantini et al. 2007).

La distribuzione ottenuta calcolando indirettamente il diametro dalla superficie della corona circolare (vedi materiali e metodi) ha mostrato risultati simili a quelli ottenuti con la misurazione diretta con il calibro. Questo metodo garantisce alcune informazioni in più dal momento che permette di raccogliere i dati sul diametro a partire dal quinto anno di età e se effettuato su un maggior numero di campioni consente di valutare meglio la crescita annuale in diametro.

I risultati riscontrati in questo studio sembrano dimostrare l'importanza dell'utilizzo contemporaneo di 2 metodi diversi per conoscere nel dettaglio la struttura di età di una determinata popolazione. L'utilizzo delle sezioni sottili (metodo indiretto) garantisce risultati nello studio di colonie adulte; mentre per lo studio dei recruits e delle colonie più piccole è indispensabile utilizzare il campionamento fotografico e i substrati artificiali (metodo diretto).

### ***4.2.3 Descrittori delle colonie***

La relazione tra il diametro basale e l'età delle colonie è rappresentata da una curva di potenza. Questo risultato indica che, come dimostrato dalla crescita costante della corona circolare, l'aumento del diametro decresce con il passare degli anni.

La relazione tra l'altezza e l'età mostra un incremento rapido dell'altezza nei primi anni di vita delle colonie che tende a diminuire con l'età. Una spiegazione plausibile è che la crescita in altezza nei primi anni risulta essere indispensabile alla colonia per elevarsi rispetto al substrato;

successivamente, dato che il corallo rosso forma degli aggregati monospecifici in cui la densità delle colonie può essere molto alta, la competizione intra-specifica potrebbe favorire l'accrescimento secondo un pattern ramificato. Infatti, un incremento del numero delle ramificazioni, piuttosto che dell'altezza, aumenta la superficie disponibile per la filtrazione e costituisce un vantaggio per la nutrizione. Questa ipotesi potrebbe essere confermata dalla regressione lineare che descrive la relazione fra numero di polipi e numero di ramificazioni (Vielmini, PHD thesis 2009).

La correlazione fra il peso e l'età mostra un incremento esponenziale. Una relazione esponenziale fra il peso e l'età per classi di taglia è stata trovata anche per la popolazione di Calafuria (Santangelo et al. 2004). Dato che, al contrario, il diametro e l'altezza riducono il loro tasso di crescita con l'età, questo risultato sottolinea che il parametro che più influisce nella relazione tra peso e l'età della colonia potrebbe essere il numero di ramificazioni.

Dopo aver osservato i risultati delle relazioni fra l'età e i vari descrittori morfologici è stato confrontato il numero di ramificazioni con gli altri indicatori. Le correlazioni hanno confermato le analisi precedenti dimostrando che all'aumentare del numero di ramificazioni diminuisce la crescita in altezza e in diametro, mentre aumentano il numero di polipi e il peso.

Il corallo rosso sembra modificare il suo piano di crescita durante il suo ciclo vitale. L'impegno dei primi anni è rivolto ad un incremento del diametro basale e dell'altezza, in modo da avere una base solida che possa sostenere l'asse scheletrico della colonia; in seguito sembra che la tendenza sia verso l'incremento del numero di ramificazioni che consentirebbe un aumento delle unità filtranti e riproduttive.

Le implicazioni di questi risultati potrebbero essere utili nel contesto della gestione e della conservazione in quanto, in diverse regioni mediterranee, il prelievo del corallo rosso è regolato in base al diametro. In particolar modo nell'area oggetto di questo studio, Cap de Creus, la taglia minima fissata per la raccolta è di 7 mm e corrisponde alla colonia più vecchia campionata. Questo parametro sembra non essere il miglior descrittore della crescita, specialmente per le colonie più vecchie e più grandi in quanto il suo aumento diminuisce con l'età della colonia. Le correlazioni con l'età e i vari descrittori morfologici hanno indicato il peso come il miglior indicatore, in quanto la sua crescita è risultata essere esponenziale. Dal momento che il peso può essere misurato solo in seguito al prelievo, questo descrittore non può essere utilizzato a fini della gestione. Di conseguenza il numero di ramificazioni potrebbe essere il descrittore più adatto poiché rappresenterebbe la misura più semplice e sufficientemente precisa per descrivere la crescita delle colonie di corallo rosso. Un descrittore morfologico pratico, come il numero di ramificazioni, permetterebbe di raccogliere dati sulla struttura di età senza una raccolta distruttiva e consentirebbe ai corallari professionisti di effettuare una selezione prima del prelievo.

### ***4.3 Conclusioni finali***

Nel corso di questa tesi è stata messa a punto ed applicata una tecnica di studio per stimare l'età delle colonie adulte presenti nella popolazione di Cap de Creus. I dati ottenuti potrebbero ampliarsi esaminando un maggior numero di colonie di taglia grande. Queste ulteriori informazioni permetterebbero di avere una struttura di età completa e di valutare con più

accuratezza come questa specie investe le proprie risorse energetiche nella crescita.

In seguito sarà possibile costruire una life-history table specifica della popolazione in cui saranno riportati i dati di densità, età, mortalità e output riproduttivo che ci consentiranno di mettere a punto modelli per mezzo dei quali sarà possibile effettuare proiezioni nel tempo della struttura di taglia o età della popolazione.

I dati ottenuti sulla popolazione di Cap de Creus sono stati confrontati con quelli di una popolazione italiana (Portofino) rivelando che la popolazione spagnola è stata seriamente danneggiata da una raccolta indiscriminata. Questa conclusione è derivata dal confronto fra le due popolazioni. I risultati hanno mostrato valori di crescita e output riproduttivo simili tra i singoli individui delle due popolazioni; le variazioni presenti sono paragonabili a quelle presenti all'interno di ogni popolazione. Contrariamente i confronti fra le strutture delle due popolazioni hanno mostrato delle differenze più che rilevanti; Cap de Creus ha valori di densità e life span molto più bassi rispetto a Portofino e di conseguenza anche l'output riproduttivo e la densità dei recruits sono risultati significativamente inferiori.

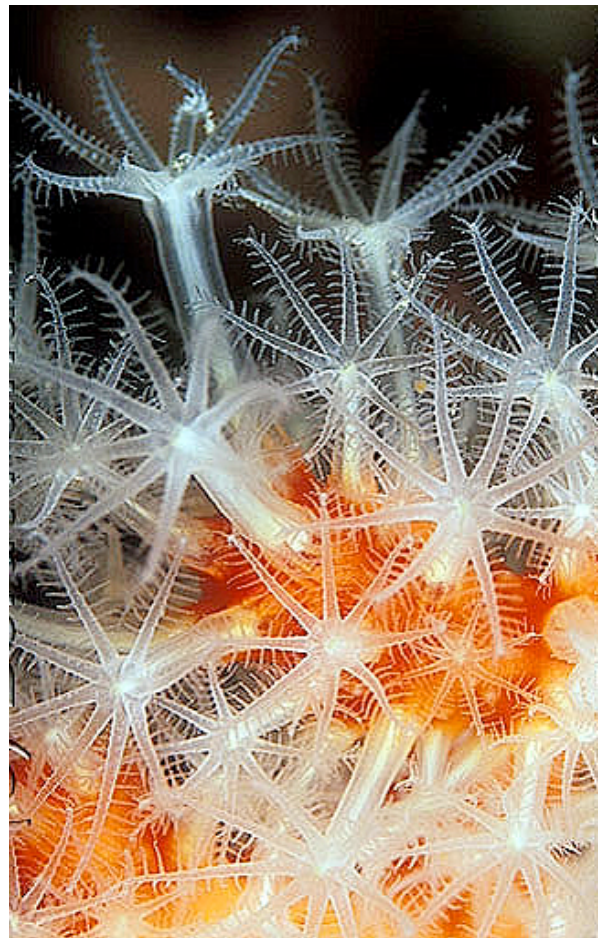
I risultati appena descritti confermano che per lo sviluppo di modelli demografici e quindi per la gestione delle popolazioni di specie sfruttate o a rischio di estinzione, sia di estrema importanza considerare la popolazione, e non la specie, come unità di gestione.

Questo lavoro presenta risultati di un'analisi demografica che per la prima volta è stata effettuata su due popolazioni distinte di corallo rosso. Le informazioni ottenute con questo studio riflettono i differenti piani di gestione delle Aree Marine Protette in cui sono presenti le due popolazioni;

Cap de Creus prevede una pesca del corallo regolamentata (a cui si aggiunge la pesca illegale) mentre a Portofino il prelievo è assolutamente vietato.

Il rischio di un'estinzione globale non esiste per una specie come *Corallium rubrum*, caratterizzata da una maturità sessuale precoce e da una ampia distribuzione batimetrica e geografica, ma può verificarsi (e si è già verificata) l'estinzione locale di popolazioni superficiali particolarmente sovrasfruttate. Un ulteriore rischio riguarda le colonie di taglia maggiore e di importanza commerciale il cui sovra-sfruttamento porterebbe ad un'estinzione economica di popolazione e forse anche della specie (Santangelo et al. 2007).

## *5. Bibliografia*



- AA.VV., 1988.** GFMC Technical consultation on red coral resources of the Mediterranean. FAO Fish. Rep. 413: 1-162.
- Abbiati M., Buffoni G., Caforio G., Di Cola G., Santangelo G., 1992** Harvesting, predation and competition effects on a red coral population. Neth. J. Sea. Res. 30: 219-228.
- Allemand D. and Benazet-Tambutte S. 1996.** Dynamics of Calcification in the Mediterranean Red Coral, *Corallium rubrum* (Linnaeus)(Cnidaria, Octocorallia) THE JOURNAL OF EXPERIMENTAL ZOOLOGY 276270-278 (1996)
- Arntz W.E., Gili G.M., Reise K., 1999.** Unjustifiably ignored: Reflections on the role of benthos in marine ecosystems. In: Gray JS et al. (eds).
- Barletta G., Marchetti R., e Vighi M. 1968** – Ricerche sul corallo rosso: IV) Ulteriori osservazioni sulla distribuzione del corallo rosso nel Tirreno. *Ist. Lomb. (Rend. Sc.) B 102: 119-144.*
- Bavestrello G., Cattaneo-Vietti R., Cerrano C. and Pronzato R., 1997** Studio morfologico degli scleriti di *Corallium rubrum* provenienti da diverse popolazioni mediterranee. Eds Cicogna, Bavestrello, Cattaneo.
- Bertuccelli M., 1999** Dinamica della formazione del popolamento a coralligeno su substrati artificiali. Tesi di Laurea. Università degli studi di Pisa.
- Bertuglia S.B., Vaio F. 2003** – Non linearità, caos, complessità. Le dinamiche dei sistemi naturali e sociali. *Bollati Boringhieri.*



- Bramanti L. 2003.** Dinamica di popolazione ed adattamenti demografici di una popolazione costiera di corallo rosso (*Corallium rubrum* L. 1758) con particolare riferimento al reclutamento. PhD Thesis University of Pisa
- Bramanti L., Magagnini G., Santangelo G. 2003.** Settlement and recruitment: the first stages in the life cycle of two epibenthic suspension feeders (*Corallium rubrum* and *Anomia ephippium*). Italian Journal of Zoology 70: 175–178
- Bramanti L. Magagnini G. De Maio L. Santangelo G. 2005** Recruitment, early survival and growth of the Mediterranean red coral *Corallium rubrum* (L 1758), a 4-year study. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 314 (2005) 69– 78.
- Bramanti L., Rossi S., Tsounis G., Gili J.M., Santangelo G. 2007.** Settlement and early survival of red coral on settlement plates: some clues for demography and restoration. Hydrobiologia 580: 219-224
- Bramanti L. Iannelli M. and Santangelo G. 2009.** Mathematical modelling for conservation and management of gorgonians corals: young and olds, could they coexist? vol 220 (21):2851-2856
- Caley M.J., Carr M.H., Hixon M.A., Huges T.P., Jones G.P. and Menge B.A., 1996.** Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Ann. Rev.Ecol. Syst.* 27:477 500

- Carpine C. & Grasshoff M. 1975.** Les Gorgonaires de la Méditerranée.  
Bull.Inst.Océanogr.Monaco, 71 (1430) : 1-140
- Cattaneo-Vietti R., Bavestrello G., & Senes L.1993** Il popolamento a corallo rosso del promontorio di Portofino (Mar Ligure) *Da Il corallo rosso in Mediterraneo: Arte,Storia e Scienza F.Cicogna & R.Cattaneo-Vietti (Eds) 109-130*
- Barthélémy D, Caraglio Y. 2007.** Plant Architecture: A Dynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant Form, Structure and Ontogeny. Ann. Bot. 99:375-407
- Beagon M., Harper J. & Townsend C. R. 1986.** Ecology. Individuals, Population and Communities.
- Beissinger S.R. and McCullough D.R. 2002.** Population viability analysis: *Population viability analysis.* The University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Cattaneo-Vietti R. & Cicogna F. 1999.** Il corallo rosso: una risorsa mediterranea.In: red coral in the Mediterranean sea, Cicogna and Cattaneo-Vietti eds, Min. Pol. Agr. Roma 3-9
- Caughley G., Sinclair A.R.E. 1994** Wildlife ecology and management, Blackwell science.

- Cerrano C., Bavestrello, G., Bianchi C.N., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Chessa L.A., Grillo M.C., Pais A. and Vitale L., 1992.** Natural and artificial settlement of red coral, *Corallium rubrum*: preliminary observation. *Rapp Comm Int Mar Medit* 33
- Cerrano C, Bavestrello G, Cicogna F, Cattaneo-Vietti R. 1999** New experiences on transplantation and red coral harvesting effects in the Ligurian Sea. In: Red coral and other Mediterranean octocorals, biology and protection. Cicogna and Cattaneo eds. Min Ris Agr Al For Roma.
- Cerrano, C. Bavestrello, G., Bianchi, C.N., Cattaneo-Vietti, R., Bava, S., Morganti, C., Morri, C., Picco, P., Sara, G., Schiaparelli, S., Siccardi, A. & Sponga, F. 2000.** A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (NW Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3, 284–293
- Clutton Brock T.H., T.N. Coulson, E.J. Milner-Gulland, D. Thomson & Armstrong H.M. 2002:** Sex differences in emigration and mortality affect optimal management of deep population. *Nature*, 415
- Coma, R., Polà, E., Ribes, M. & Zabala, M. 2004.** Long-term assessment of temperate octocoral mortality patterns, protected vs. unprotected areas. *Ecological Applications* 14,1466–1478.
- Coma R., Linares C., Ribes M., Diaz D., Garrabou J., Ballesteros E., 2006.** Consequences of a mass mortality in population of *Funicella singularis* (Cnidaria: Octocorallia) in Menorca (NW Mediterranean). *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 217:263-272

- Corriero G., Abbiati M. & Santangelo G., 1997-** Sponge inhabiting a Mediterranean Red Coral Population. *P.S.Z.N.: Marine ecology*, 18 (2): 147-155
- Crouse D.T., Crowder L.B., Caswell H. 1987.** A stage-based population model for loggerhead sea turtles and implications for conservation. *Ecology* 68: 1412–1423
- Costantini F., Fauvelot C., Abbiati M. 2007.** Fine-scale genetic structuring in *Corallium rubrum*: evidence of inbreeding and limited effects of larval dispersal. *Marine Ecology Progress Series*, 340: 100-119
- Costantini F., Taviani M., Remia A., Pintus E., Schembrini P.J., Abbiati M. 2009.** Deep-water *Corallium rubrum* L. (1758) from the Mediterranean Sea: preliminary genetic characterization. *Marine Ecology In press*
- Dobson A.P. 1998.** Conservation and biodiversity. Scientific American Library. New York
- Ebert T.A., 1999.** Plant and animal populations. *Methods in demography*. Academic Press. London.
- Fenchel T. 1987.** – Ecology – Potentials and Limitations. Excellence in Ecology. *Ecology Institute*. 186 pp.
- Fujiwara M. and Caswell H. 2001 -** Demography of the endangered North Atlantic right whale. *Nature* 414: 537-541.

- García-Rodríguez M., Massó C. 1986.** Estudio biométrico de poblaciones de coral rojo (*Corallium rubrum* L.) del litoral de Gerona (NE de España). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 3(4): 61–64
- Garrabou, J., Perez, T., Sartoretto, S. & Harmelin, J.G. 2001.** Mass mortality event in red coral (*Corallium rubrum*, Cnidaria, Anthozoa, Octocorallia) population in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series* 217, 263–272.
- Garrabou J, Harmelin G 2002** A 20-year study on life-history traits of a harvested longlived temperate coral in the NW Mediterranean: insights into conservation and management needs. *J Anim Ecol* 71:966–978
- Gili J.M., Coma R. 1998** - Benthic suspension feeders in marine food webs. *Trends in Ecology and Evolution*. 13(8): 297-307.
- Graunt J. 1662** - Natural and political observations mentioned in a following index, and made upon the bills of mortality. Printed by Tho. Roycroft for John martin, James Allestry
- Goffredo S. , Lasker H.R., 2006.** Modular growth of a gorgonian coral can generate predictable patterns of colony growth. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 336: 221–229
- Grigg R.W., Maragos J.E. 1974.** Recolonization of hermatypic corals on submerged lava flows in Hawaii. *Ecology* 55: 387–395

- Grigg R.W. 1977.** Population dynamics of two gorgonian corals. *Ecology* 58: 278–290
- Halley E. 1693a** An estimate of the degrees of the mortality of mankind, drawn from curious tables of the births and funerals at the city of Breslaw; with an attempt to ascertain the price of annuities upon lives. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 17:596-610, 654-656. (Reprinted in facsimile 1985, *Journal of the Institute of Actuaries* 112: 278-298).
- Jackson J. - 1986** Models of disperesal of clonal benthic invertebrates: consequences for species' distributions and genetic structure of local populations. *Bull. Mar. Sci.* 39: 588-606
- Karlson RH 1986** Disturbance, colonial fragmentation, and sizedependent life history variation in two coral reef cnidarians. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*
- Laborel J. and Vachelet J., 1961** Etude de Peuplement d'une grotte sous-marine du golfe de Marseille. *Bull Ist Ocean Monaco* 1120:1-20.
- Lewin R., 1986.** Supply-side ecology. *Science* 234: 25-27
- Linares C., Coma R., Diaz D., Cabala M., Hereu B., Danart L., 2005.** Immediated and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 305: 127-137.
- Liverino B. 1988 -** An outline of the history of coral fishing. *FAO Fish. Rep.* 413: 101-103

- Marchetti R., 1965** Ricerche sul corallo rosso della costa ligure e Toscana. Distribuzione geografica. *Rend Ist Lomb ci Lett B99*:255-278
- Marschal C., Garrabou J., Harmelin J.G., Pichon M., 2004-** A new method for measuring growth and age in the precious red coral *Corallium rubrum* (L.). *Coral Reefs* 23 :423-432
- Matè P., Revenga S. e Massò C. 1986** - Estudio preliminar de la composicion quimica del coral rojo (*Corallium rubrum* L.) de distintas zonas del Mediterraneo Espanol. *Boll. Inst. Esp.Oceanogr.* 3 (4): 53-60.
- Mitchell L. G., Mutchmor J. A. e Dolphin W. D., 1988.** Zoology
- Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., Siccardi A. & Sponga, F. 2000.** A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (NW Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3, 284–293.
- Newell R.C., 1979** *Biology of Intertidal Animals*. Marine Ecological Surveys, Faversham, UK.
- Pax F. & Müller, 1962.** Die Anthozoenfauna der Adria. *Fauna Flora adriat.*, 3: 1-343
- Peres J. M. e J. Picard 1964** - Nouveau Manuel de bionomie bentique de la Mer Méditeranée. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, 47 : 1-137.

- Perez, T., Garrabou, J., Sartoretto, S., Harmelin, J.G., Stringer P., Francour, P. & Vacelet, J. 2000.** Mortalité massive d'invertébrés marins: un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Série III, Life Sciences* 323, 853–865.
- Parrish F. A. & Roark E.B. 2009.** Growth validation of gold coral *Gerardia* sp. in the Hawaiian Archipelago. *Marine Ecology Progress Series*, 397: 163-172.
- Petersen J. K. and Riisgard H. U. 1992.** Filtration capacity of the ascidian *Ciona intestinalis* (L.) and its grazing impact in a shallow fjord. –*Mar. Ecol. Prog. Ser.* 88: 9–17.
- Picciano M. & Ferrier Pagès C., 2006.** Ingestion of pico- and nanoplankton by the Mediterranean red coral *Corallium rubrum*. *Mar Biol* (2007) 150:773–782
- Pile A.J., Patterson M.R., Witman J.D., 1996.** *In situ* grazing on plankton < 10 µm by the boreal sponge *Mycale lingua*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141 :95 -102.
- Ricklefs R E., 1997.** *Ecologia*, Zanichelli, Bologna.
- Roark E.B., Guilderson T.P., Dumbar R.B., Ingram B.L. 2006.** Radiocarbonbased ages and growth rates of Hawaiian deep-sea corals. *Marine Ecology Progress Series*, 327: 1-14



- Roughgarden J., Gaines S. and Possingham H., 1988.** Recruitment dynamics in complex life cycles. *Science*, 241: 1460-1466.
- Santangelo G., Abbiati M., Carforio G. 1993** Struttura du età e dinamica di popolazione di *Corallium rubrum*. *In il corallo rosso in Mediterraneo Arte, Storia e Scienza.. Cicogna F. e Cattaneo-Vietti R. (eds), Min. Ris Agr. Al. For., Roma 131-157*
- Santangelo G. and Abbiati M. 2001:** Red coral: conservation and management of an over-exploited Mediterranean species. *Aquatic Conservation: Marine and freshwater Ecosystem 11:253-259*
- Santangelo G., Bongiorni L., Giannini F., Abbiati M., Buffoni G., 1997.** Analisi di struttura di due popolamenti di corallo rosso di habitat differenti. *Biologia e tutela del corallo rosso e di altri ottocoralli del Mediterraneo. F. Cicogna, G. Bavestrello & Cattaneo-Vietti.*
- Santangelo G., Carletti E., Maggi E., Bramanti L. 2003.** Reproduction and population sexual structure of the overexploited Mediterranean red coral *Corallium rubrum* *Mar Ecol Prog Ser* Vol. 248: 99–108
- Santangelo G, Maggi E, Bramanti L, Bongiorni L. 2004** Demography of the over-exploited Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L. 1758) *Sci Mar* 68:199–204
- Santangelo G. Bramanti L. Iannelli M. 2007.** Population dynamics and conservation biology of the over-exploited Mediterranean red coral *Journal of Theoretical Biology* 244 416-423

- Sarà M. 1973** - Research on coralligenous formations: problems and perspectives. *Pubbl Stzn Zool Napoli* 37: 174-179.
- Stiller M.A., Rivoire G. 1984** - Biologie et écologie du corail rouge en Méditerranée française. *FAO Fish Rep* 306: 89-93.
- Tsounis G., Rossi S., Aranguren M., Gili J.M., Arntz W. 2006**: Effects of spatial variability and colony size on the reproductive output and gonadal development cycle of the Mediterranean red coral (*Corallium rubrum* L.) *Marine Biology* (2006) 148: 513–527
- Tsounis G., Rossi S., Gili J.M., and Arntz W. 2007** Red Coral Fishery at the Costa Brava (NW Mediterranean): Case Study of an Overharvested Precious *Coral Ecosystems* 10:975–986
- Tsounis G., Rossi S., Grigg, R., Santangelo G., Bramanti L., Gili J.M. 2010** The exploitation and conservation of precious corals. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* (in press)
- Torrens O., Garrabou J., Marschal C., Harmelin J.G., 2005.** Age and size at first reproduction in the commercially exploited red coral *Corallium rubrum* (L.) in the Marseilles area (France, NW Mediterranean). *Biological Conservation* 121: 391-397
- Tortonese E., 1958.** Bionomia marina della regione costiera fra punta della Chiappa e Portofino (Riviera ligure di levante). *Arch. Ocean. e Limn.* 9 (2): 167-210

- Tortonese E., 1961:** Nuovo contributo alla conoscenza del bentos della scogliera ligure Arch.Ocean. e Limn.12 (2): 164-183
- Verhulst P.F. 1845.** Recherches mathematiques sur la loi d'accroissement de la population. Mem Acad. Roy. Belg. 18: 1-38
- Vielmini I. 2009.** Population structure of *Corallium rubrum* (L. 1758) in different geographic areas. PhD Thesis University of Pisa.
- Vighi M. (1970)** Ricerche sul ciclo riproduttivo del corallo rosso (*Corallium rubrum* L.) del promontorio di Portofino. Atti Acc. Naz. Lincei Mem., X sez. 3: 1-22.
- Verhulst P.F. (1845)** - Recherches mathematiques sur la loi d'accroissement de la population. Mem Acad. Roy. Belg. 18: 1-38
- Weinberg S. 1979 a** – The light dependent behaviour of planula larvae of *Eunicella singularis* and *Corallium rubrum* and its implication for Octocorallian ecology. *Bijdr. Dierk.* 49 (1): 145-151.
- Weinberg S. 1979 b** – Autoecology of shallow- water Octocorallia from Mediterranean rocky substrata. I; The Banylus area. *Bijdr. Dierk.* (1):1-15
- Weinberg, S. 1991.** Faut-il protéger les gorgones de Méditerranée? In *Les Espèces Marines à Protéger en Méditerranée*, C.F. Boudouresque et al. (eds), Marseille: GIS Posidonie, 47–52.

**Weinberg S. 1993** Il corallo rosso e la ricerca scientifica nei secoli. *In Il corallo rosso in Mediterraneo: Arte, Storia e Scienza* F.Cicogna & R.Cattaneo-Vietti (eds), *Min. Ris Agr. Al. For.*, Roma 37-60

**Wendt PH, van Dolah R.F., O\_Rourke C.B., 1985.** A comparative study of the invertebrate macrofauna associated with seven sponge and coral species collected from the South Atlantic Bight. *J Elisha Mitchell Sci Soc* 101:187–203

**Yablokov AV. 1986** Population biology. Progress and Problems of Studies on Natural Population.

## ***6. Ringraziamenti***

Desidero ringraziare il Prof. Giovanni Santangelo, il Capo Supremo, perchè è riuscito ad unire lo splendido gruppo di ricerca al quale ho partecipato. Lorenzo Bramanti, il Boss, mio mentore universitario e primo sostenitore. Ilaria Vielmini, il Capo, la superdonna che ha portato avanti questo splendido progetto. Tutti gli amici tesisti con i quali ho condiviso questi mesi di ricerca: Luca, Sara, Luca e Lorenzo. Ovviamente devo ringraziare lo splendido Corallo Rosso e il mio mare, il Mediterraneo, per i quali lotterò sempre.

Grazie anche a tutti gli amici e compagni di studi con i quali ho condiviso questi anni universitari.

Ringrazio la mia Ragazza per essermi sempre stata vicino e per avermi appoggiato e spronato. Un profondo ringraziamento alla mia Famiglia che mi ha sempre incoraggiato a perseguire i miei sogni e mi ha sostenuto nelle mie scelte.

Il ringraziamento più grande però è rivolto a Te.