



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA**

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Corso di laurea specialistica in Biologia Marina

TESI DI LAUREA

*Studio della distribuzione spaziale della comunità bentonica  
e caratterizzazione bionomica di una scogliera corallina  
finalizzati alla realizzazione di un Osservatorio sottomarino  
nella baia di Marsa Ghoslani, Sud Sinai (Egitto)*

**Relatore:**

Chiar.mo Prof. Francesco Cinelli

**Candidata:**

Jessika Giraldi

**ANNO ACCADEMICO 2005-2006**

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>                                   | <b>3</b>  |
| 1.1. BACKGROUND DEL PROGETTO E SCOPO DELLA TESI.....           | 3         |
| 1.2. IL MAR ROSSO.....   | 6         |
| 1.3. CORAL REEF DEL MAR ROSSO .....                            | 9         |
| 1.4. METODI UTILIZZATI PER LO STUDIO DELLE SCOGLIERE CORALLINE | 18        |
| 1.5. STUDIO DELLA VARIABILITA' SPAZIALE.....                   | 22        |
| <b>2. MATERIALI E METODI.....</b>                              | <b>25</b> |
| 2.1. DESCRIZIONE DELL' AREA DI STUDIO .....                    | 25        |
| 2.2. STUDIO METODOLOGICO.....                                  | 27        |
| 2.3. STUDIO DELLA VARIABILITÀ SPAZIALE .....                   | 31        |
| 2.3.1. Disegno di campionamento.....                           | 31        |
| 2.3.2. Analisi dei dati .....                                  | 32        |
| 2.4. MAPPA BIONOMICA E TOPOGRAFICA DEL SITO 1 .....            | 34        |
| <b>3. RISULTATI .....</b>                                      | <b>36</b> |
| 3.1. STUDIO METODOLOGICO.....                                  | 36        |
| 3.2. LA COMUNITA' BENTONICA .....                              | 41        |
| 3.3. STUDIO DELLA VARIABILITA' SPAZIALE.....                   | 43        |
| 3.4. MAPPA BIONOMICA E TOPOGRAFICA DEL SITO 1 .....            | 51        |
| <b>4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....</b>                      | <b>55</b> |
| 4.1. STUDIO METODOLOGICO.....                                  | 55        |
| 4.2. LA COMUNITA' BENTONICA .....                              | 58        |
| 4.3. STUDIO DELLA VARIABILITA' SPAZIALE.....                   | 60        |
| 4.4. MAPPA BIONOMICA E TOPOGRAFICA DEL SITO 1 .....            | 72        |
| <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>                                      | <b>74</b> |

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1. BACKGROUND DEL PROGETTO E SCOPO DELLA TESI

Il lavoro svolto nella presente tesi si inserisce nell'ambito della convenzione stipulata tra l'Università di Pisa e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (Direzione per la Ricerca ambientale e lo Sviluppo) che prevedeva un'attività di cooperazione finalizzata allo 'Studio pilota e master plan per lo sviluppo sostenibile, per la gestione ambientale del Mar Rosso e della fascia costiera (Sharm El Sheikh)'.

Lo studio pilota mira ad evidenziare i legami diretti tra i vantaggi economici del turismo ecologico e la protezione degli ecosistemi marini da Sharm El Sheikh al Sudan. Il master plan promuove il turismo ecologico al fine di raccogliere fondi da reinvestire per supportare gli sforzi di conservazione della biodiversità marina. Lo sviluppo del turismo ecologico è una delle rare forme di sviluppo turistico che può sostenere la protezione delle zone naturali attraverso programmi di conservazione.

La punta meridionale della Penisola del Sinai è una delle maggiori destinazioni per il turismo internazionale in Egitto. La sua vicinanza al mercato del turismo europeo e la sua notevole tradizione naturale e culturale hanno provocato una espansione turistica sulle sue linee di costa. Riceve circa 2 milioni di visitatori all'anno di cui il 60% sono europei e per buona parte italiani (700.000 all' anno) che arrivano per immergersi nelle affascinanti scogliere coralline e per stare a contatto diretto con la natura.

Sharm El Sheikh è la città più importante nel Sud-Sinai, la sua linea di costa è compresa all'interno del Parco Nazionale di Ras Mohammed che è stato istituito

dal decreto N. 1068 nel 1983 e occupa la parte più meridionale della penisola del Sinai (27°44'N; 34°15'E). Il Parco ha un'estensione totale di circa 750 km<sup>2</sup> e va da Senafir all'isola di Tiran, ospita una biodiversità molto alta di flora e fauna sia terrestre che marina, incluse scogliere coralline, praterie di fanerogame, ambienti salmastri e mangrovie. All'interno del parco l'attività turistica è regolamentata dall'Autorità del Parco.

Il progetto pilota proposto in cooperazione tra il Ministero dell'Ambiente Italiano e quello Egiziano ha lo scopo di promuovere il turismo sostenibile a Sharm El Sheik, contribuire allo sviluppo sostenibile nelle aree protette del Sud Sinai, conservare l'eredità naturale, culturale ed incrementare l'educazione ambientale della zona.

Il progetto prevede la realizzazione di un Osservatorio sottomarino nella baia di Marsa Ghoslani per permettere la visione della vita marina senza esercitare pressione sul fragile ecosistema marino, l'allestimento di un Museo culturale e naturale presso il Visitor Center del Parco Nazionale di Ras Mohammed, al fine di creare un centro effettivo di informazione ed educazione ambientale, e la valorizzazione di un'area di campeggio già presente all'interno del parco (Figura 1.1).

La realizzazione dell'Osservatorio sottomarino prevede la necessità di uno studio di fattibilità e di una Valutazione di Impatto Ambientale effettuati grazie alle attività di ricerca condotte dall'Università di Pisa in collaborazione con l'EEAA (Egyptian Environmental Affairs Agency).

Sebbene esistano diversi studi e programmi di monitoraggio effettuati nell'ambiente marino del Parco Nazionale di Ras Mohammed (Pilcher e Zaid,

2000; Smith e McMellor, 2005), i dati prodotti su riviste scientifiche internazionali sono scarsi nonostante le scogliere madreporiche presenti nel Sud-Sinai rappresentino un sistema di grande interesse naturalistico.

In questo contesto, lo scopo della tesi è quello di studiare la distribuzione degli organismi bentonici nel tratto di costa prospiciente il Visitor Center al fine di scegliere il sito più adatto per la collocazione dell'Osservatorio sottomarino. Nel sito scelto è stata quindi realizzata una mappa topografica e bionomica per individuare le aree di maggior interesse naturalistico ed indirizzare le scelte progettuali.

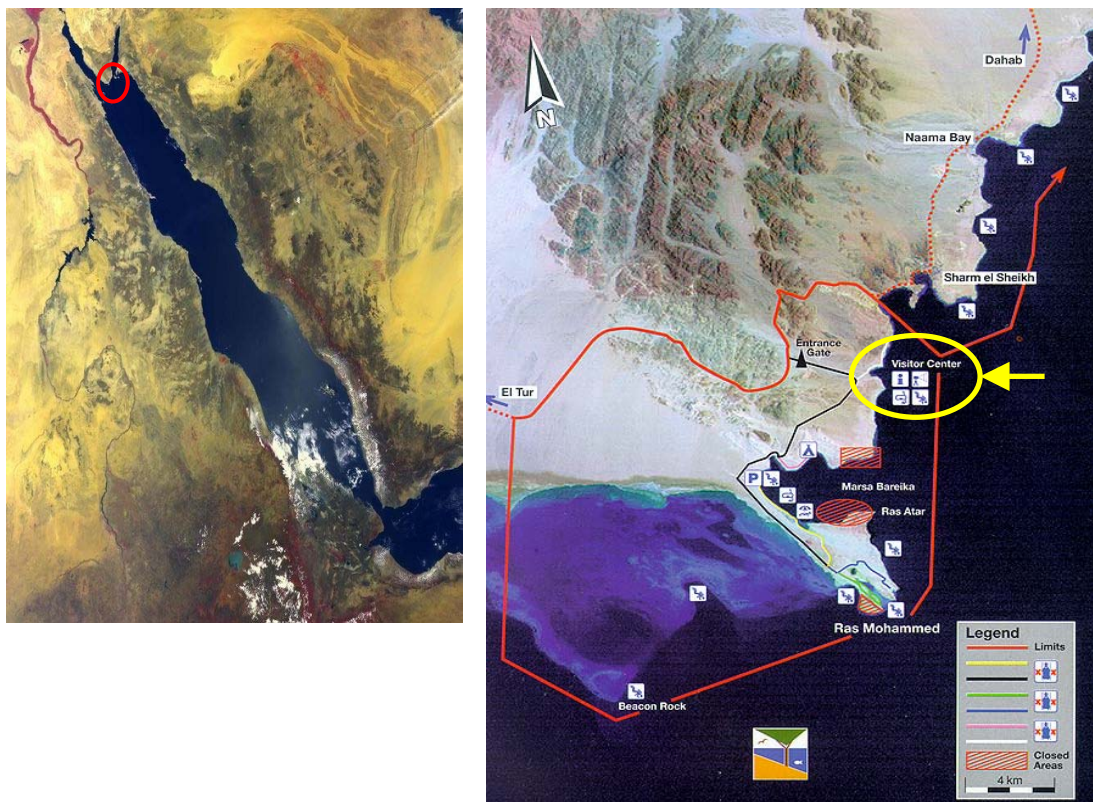


Figura 1.1. A sinistra: immagine satellitare del Mar Rosso, il cerchio rosso indica la punta meridionale della Penisola del Sinai. A destra: tratto di costa del Sud-Sinai, evidenziata in giallo la posizione del Visitor Center all'interno dei confini del Parco Nazionale di Ras Mohammed, segnati dalla linea rossa (fonte: EEAA).

## 1.2. IL MAR ROSSO

Il Mar Rosso può essere considerato un oceano in via di formazione che separa l'Africa dalla penisola Arabica e si estende da N-NW a S-SE tra la latitudine di 30°N e quella di 12° 30N. Le sue origini risalgono all'Eocene, si è formato per un allargamento di una frattura apertasi circa 40 milioni di anni fa nella crosta continentale dell'Africa nord-orientale, a causa dello spostamento verso est della placca Arabica. Attraverso un processo di espansione dei fondi oceanici, tuttora in corso, la frattura si allarga alla velocità di 1-2cm all'anno. La frattura si divide in due parti proseguendo ad est nell'Oceano Indiano attraverso il Golfo di Aden e a sud attraverso l'Africa orientale prendendo il nome di Great Rift Valley (Lieske, 2004; Pinet, 2000; Douabul e Haddad, 1999).

Il fondo del Mar Rosso è rimasto asciutto fino al Miocene, 20 milioni di anni fa, quando le acque della regione Mediterranea del Mare Tetide si sono riversate nel bacino dal nord. Questa connessione non è avvenuta in modo brusco ma è stata alternata da periodi di inondazione e disseccamento per entrambi i mari. Grandi depositi di sale, anche spessi 7 Km, si sono formati durante i periodi di disseccamento. Un cambiamento drammatico è avvenuto durante il Pliocene, 5 milioni di anni fa, quando l'estremità meridionale del Mar Rosso si è abbassata in concomitanza con il sollevamento dell'area del Sinai. Questo ha provocato la separazione del Mar Rosso dal Mediterraneo e la sua connessione con l'Oceano Indiano, consentendo l'ingresso di una fauna Indo-Pacifica e ponendo le basi per lo sviluppo delle scogliere coralline. Il successivo isolamento dall'Oceano Indiano

avvenuto durante il Pleistocene, in un periodo di glaciazioni alternate a fasi interglaciali, ha permesso l'evoluzione di molte specie endemiche.

Nel Mar Rosso settentrionale (a latitudini superiori ai 20°N) il vento predominante durante tutto l'anno proviene da N-NW (shamal), e può raggiungere i 7m/s durante l'inverno. Occasionalmente durante i mesi invernali soffiano venti da S-SE, che sono invece costanti nel Mar Rosso meridionale da Ottobre ad Aprile. In generale c'è una stretta relazione tra la temperatura dell'aria e quella dell'acqua superficiale, entrambe crescono andando da Suez verso sud, con un massimo nella zona meridionale del Mar Rosso. Durante l'estate, la temperatura dell'aria supera anche i 40°C, riscaldando le acque superficiali a 30°C, mentre in inverno le temperature superficiali raggiungono i valori minimi e scendono fino a poco meno di 20°C nel mese di Febbraio nel Mar Rosso settentrionale.

Il Mar Rosso ha le acque più salate rispetto agli altri oceani del mondo, una forte evaporazione crea un'alta salinità superficiale che decresce da 40-41‰ nella punta meridionale del Sinai, fino a meno di 36.5‰ vicino Bab Al Mandab in cui c'è l'ingresso delle acque superficiali meno salate del Golfo di Aden. Le piogge sono scarse in tutto il bacino, concentrate nel periodo tra Ottobre e Marzo, sono di breve durata, generalmente associate a tempeste e occasionalmente a tempeste di sabbia. Il bilancio idrico del Mar Rosso è negativo nel senso che le precipitazioni raramente superano 50mm all'anno, per cui l'apporto di acqua dai fiumi risulta un evento episodico ed insignificante, mentre l'evaporazione è circa 2m all'anno, inoltre si verifica una piccola perdita netta di acqua nel Mediterraneo in seguito all'apertura del canale di Suez che è dovuta alla diversa altezza di marea tra il Mar Rosso e il Mediterraneo.

Le maree sono essenzialmente di tipo semidiurno con una differenza di 6 ore tra il massimo di marea a nord e quello a sud, l'escursione di marea non è molto marcata in tutto il bacino con intervalli comuni di 25cm e 75cm e un massimo di 1.5m, mentre la parte centrale del bacino non presenta escursioni mareali (punti anfidromici). I flussi mareali che passano attraverso costrizioni causate dai reef, barre di sabbia e isole, di solito superano la velocità di 1-2 m/sec, sono importanti nel supportare un movimento di acqua e nutrienti necessario per sostenere gli organismi del benthos.

Generalmente le acque del Mar Rosso sono molto povere di nutrienti, specialmente lontano dalla costa, e la distribuzione dei nutrienti mostra variazioni marcate da nord a sud, con la profondità e con la stagione. La produzione primaria è piuttosto bassa, e quella pelagica in particolare risente della formazione del termocline e dell'alocline che prevengono il riciclo dei nutrienti dalle acque più profonde alla zona eufotica e c'è uno scarso apporto di nutrienti dal ruscellamento terrestre. La visibilità nella maggior parte delle aree è buona e varia da 15 a 50m. Nonostante la scarsità di nutrienti, nelle acque del Mar Rosso avvengono frequentemente delle fioriture di un' alga unicellulare procariote, *Trichodesmium erythraeum*, appartenente alla classe delle *Cyanophyceae* o cianobatteri. Questo cianobatterio contiene un pigmento idrosolubile, la ficoeritrina, che è in grado di colorare le acque di un colore rosso-marrone quando la densità della popolazione raggiunge valori elevati, ed è proprio da questo fenomeno che potrebbe trarre origine la denominazione del Mar Rosso (Douabul e Haddad, 1999; Lieske, 2004).



### 1.3. CORAL REEF DEL MAR ROSSO

Le prime ricerche scientifiche sulle formazioni coralline del Mar Rosso risalgono allo scienziato svedese Peter Forsskål che morì di malaria durante una spedizione nello Yemen nel 1763. Più tardi il biologo tedesco Ehrenberg lavorò nell'area, pubblicando importanti lavori sui reef e sui coralli. Ernest Haeckel visitò i reef del Sinai nel 1873 e dedicò perfino delle poesie alla bellezza della vita marina dove “ogni animale è come un fiore”. Molte specie di coralli sono state anche descritte da Linneo (1767), Ellis e Solander (1786), Edwards and Haime (1860) e Klunzinger (1879). Agli inizi del 1900 gli scienziati si interessarono dei coral reef considerati come habitat distinti e cominciarono le prime ricerche ecologiche di cui alcune condotte da Gravier (1911) e Crossland (1911 e 1938). Dopo le due guerre mondiali gli studi ripresero soprattutto nella parte settentrionale del Mar Rosso (Hurgada ed Eilat) e nel periodo degli anni '60 e '70 si svilupparono molto gli studi nel golfo di Aqaba da parte di Fishelson (1971,1973), Mergner (1971), Loya (1972). Nello stesso periodo si verificò una ripresa di interesse per la tassonomia dei coralli che produsse il primo lavoro di tassonomia moderna delle madrepora del Mar Rosso effettuato da Sheer e Pillai (1983) e negli ultimi decenni molti studi sono stati compiuti sulla costa arabica soprattutto da Sheppard (dal 1985 al 1992) (Turak e Brodie, 1999; Edwards e Head, 1987).

Le scogliere coralline del Mar Rosso sono famose per la loro ricchezza di pesci ed invertebrati, e per l'immensa risorsa economica che rappresentano. I coralli sono solo uno dei tanti elementi della comunità delle scogliere, ma da molti punti di vista sono i più importanti. Il termine corallo è molto impreciso e almeno sette ordini del phylum Cnidaria sono inclusi nel termine nel suo senso generale

(Edwards eHead, 1987). Questi organismi hanno in comune la struttura del corpo chiamata polipo, che è l'unità base dei coralli ed è costituito da un sacco aderente con la base ad un substrato rigido e provvisto di apertura rivolta verso l'alto circondata da un numero variabile di tentacoli (Figura 1.2). Il numero di questi ultimi (8 o 6 o loro multipli) permette di dividere la classe degli Antozoi in Ottocoralli ed Esacoralli. Alla sottoclasse degli Ottocoralli appartengono le gorgonie, ordine Gorgonacea, e i coralli molli, ordine Alcyonacea, che hanno il corpo costituito da una massa comune di tessuto gelatinoso, il cenosarco, in cui sono presente spicole calcaree con funzione di sostegno; le colonie di coralli molli sono in grado di assorbire acqua nei tessuti perciò possono variare di dimensioni durante la giornata. Alla sottoclasse degli Esacoralli appartiene l'ordine Madreporaria o Scleractinia di cui fanno parte i coralli costruttori di scogliere, definiti **ermatipici** (dal greco *erma* = barriera), che ospitano nei loro tessuti alghe unicellulari endosimbionti, dette **zooxantelle**, da cui dipende la deposizione di carbonato di calcio e che spiega l'importanza della luce per la crescita delle madrepora.

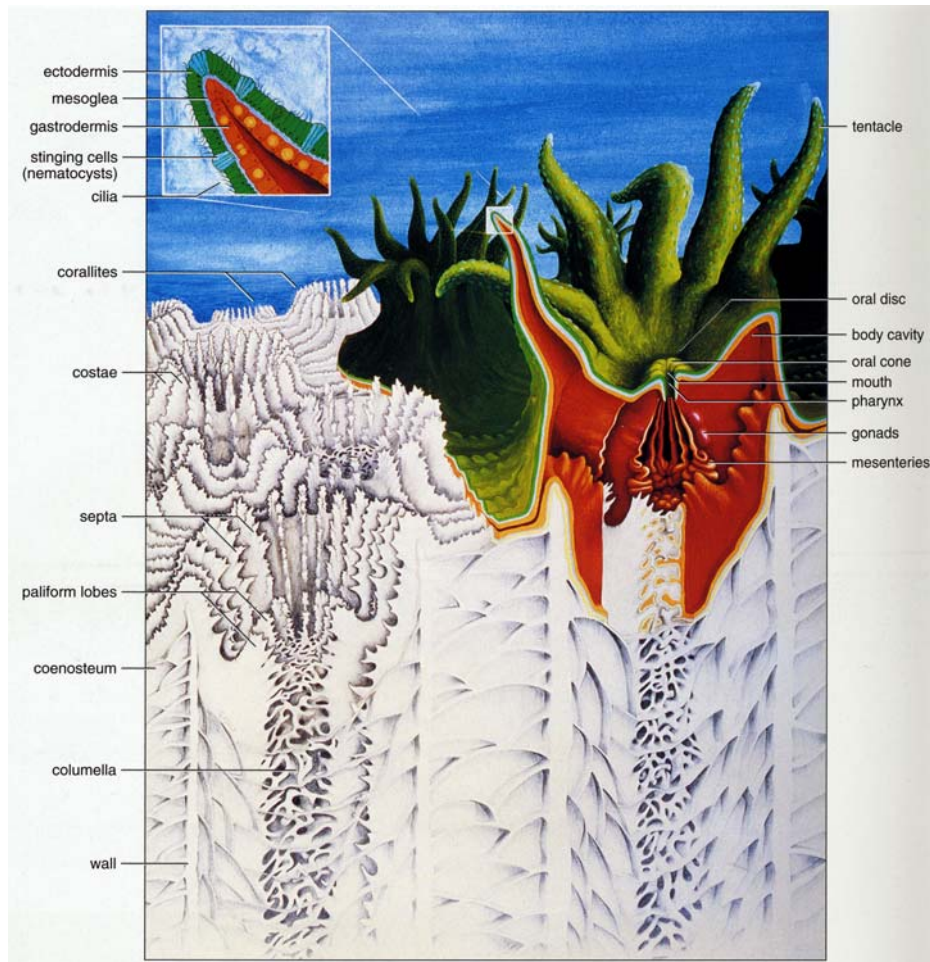


Figura 1.2. Sezione di una madrepora: descrizione del polipo e dello scheletro calcareo (da Veron, 2000).

Le scogliere coralline sono grandi masse di roccia biogenica e sedimenti, ricoperte da un sottile strato di organismi viventi, alcuni dei quali, soprattutto i coralli e le alghe, producono il carbonato di calcio di cui la massa è composta. Grazie alla capacità di crescere in acque limpide questi organismi riescono a compensare un aumento del livello del mare o una subsidenza del terreno, come dedusse Darwin per la prima volta nel 1842, studiando gli atolli dell'Oceano Pacifico.

La crescita delle scogliere verso l'alto è lenta, circa 0,2-0,7cm all'anno, ma nel Pacifico esistono dei depositi spessi 1000m. Le comunità delle scogliere coralline esistono fin dal Triassico, circa 200 milioni di anni fa e questo lungo periodo di

evoluzione è uno dei motivi per cui l'attuale comunità delle scogliere è così diversa e complessa, costituita da relativamente poche specie di coralli, ma abitata da una miriade di pesci e invertebrati, la maggior parte dei quali altamente specializzata nelle proprie nicchie ecologiche (Edwards e Head, 1987).

La distribuzione mondiale delle scogliere coralline indica come la loro crescita avvenga, con rare eccezioni, all'interno della fascia compresa tra i paralleli dei due tropici (23°27'N e S) anche se in quest'area la loro diffusione non è tuttavia uniforme in quanto risulta limitata a quelle zone dove la temperatura media dell'acqua nei mesi invernali non è inferiore a 20°C e la temperatura minima non scende mai sotto i 14-15°C. La madrepora *Pocillopora damicornis*, molto diffusa in Mar Rosso, muore in meno di 2 settimane se esposta a temperature di 18°C e in meno di 24 ore a 15°C. Lo sviluppo delle formazioni coralline segue perciò gli invisibili confini segnati dall'andamento sinuoso delle isochimene, le linee corrispondenti ai valori medi invernali sopra indicati e le correnti marine sono uno dei principali fattori in grado di influenzare la distribuzione dei coralli: i flussi di acque calde consentono la crescita anche oltre i limiti dei tropici mentre le correnti fredde ostacolano o impediscono lo sviluppo delle scogliere anche in zone geograficamente favorevoli. Le acque calde del Mar Rosso costituiscono l'habitat ideale per la crescita dei coralli che in questo mare raggiungono uno dei loro limiti più settentrionali (30°N). Oltre alla temperatura, altri fattori come la salinità influiscono sulle possibilità di sviluppo delle madrepore dal momento che queste necessitano di acque con concentrazioni saline piuttosto costanti (34-37‰) e in genere risentono negativamente di valori inferiori, di conseguenza piogge violente prolungate o regolari possono danneggiare i coralli, almeno quelli più superficiali,

in quanto l'acqua dolce tende a stratificarsi sopra quella marina; lo sviluppo dei coralli è anche inibito dalla diluizione imputabile ai grandi fiumi, come avviene nel caso del Rio delle Amazzoni e del Gange (Mojetta, 2003).

Charles Darwin nel 1842 fece la prima mappa di distribuzione delle scogliere coralline nel mondo e su di essa distinse le tre principali categorie geomorfologiche di scogliere ancora oggi riconosciute: le **scogliere di frangenti** o frange coralline (fringing reef), un tipo di scogliera che sporge verso il mare direttamente dalla costa; le **barriere coralline** (barrier reef), formazioni coralline parallele alla costa da cui sono separate da una laguna, per cui vengono considerate come uno stadio di sviluppo avanzato rispetto alle barriere di frangenti e si trovano sul margine delle piattaforme continentali; gli **atolli**, formazioni coralline che delimitano una laguna circolare centrale, presenti solitamente in acque oceaniche in corrispondenza di isole vulcaniche sommerse.

Le scogliere coralline sono presenti nella maggior parte della lunghezza del Mar Rosso, su entrambe le coste, ma tendono ad essere più sviluppate nella zona settentrionale e centrale, nelle coste del Sudan, dell'Arabia Saudita e dell'Egitto (Figura 1.3). Le scogliere del Mar Rosso sono ricche e uniche con più di 1000 specie di pesci e circa 230 specie di madrepora. Almeno il 15% delle specie di pesci, e una simile proporzione per le altre specie marine, sono endemiche e non si trovano in nessuna altra parte del mondo. Le scogliere attuali si sviluppano su scogliere antiche che si sono sviluppate durante i più recenti periodi interglaciali. In molti punti della costa ci sono reef fossili che si sono formati in periodi di livelli del mare più alti.

Il tipo fondamentale di scogliera in Mar Rosso è la scogliera di frangenti che può variare molto in dimensioni. Nel Golfo di Aqaba, a sud di Dahab, ci sono delle scogliere minime, larghe solo 3-4m, e in genere lungo la costa della Penisola del Sinai le scogliere frangenti si estendono solo per pochi metri dalla costa ma possono precipitare verticalmente fino a 500m di profondità. In Sudan la cresta della scogliera può essere anche più di 1Km lontana dalla costa, con interposta una laguna anche di 10m di profondità (Edwards e Head, 1987; Lieske, 2004).

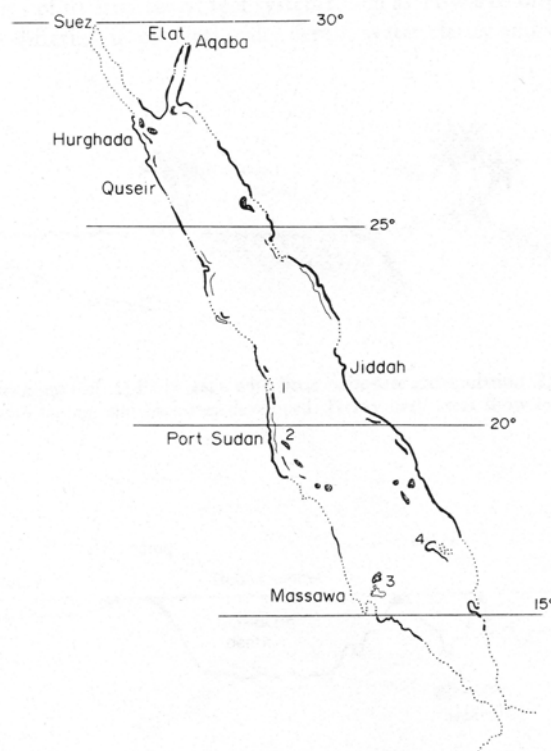


Figura 1.3. Mappa del Mar Rosso che mostra le aree di sviluppo delle scogliere di frangenti con linee nere più spesse sulla costa, mentre le aree senza scogliere estese sono indicate con linea tratteggiata (da Head, 1987).

Un transetto perpendicolare ad una qualsiasi scogliera corallina rivela, procedendo dalla linea di costa verso il mare, un'ordinata sequenza di strutture biologiche e geologiche (Figura 1.4). Come lungo ogni gradiente ambientale, gli organismi

seguono un riconoscibile modello di **zonazione** (Done, 1983; Barnes e Hughes, 1990). E' quindi possibile riconoscere una successione regolare di specie influenzata da tutti i fattori che influiscono sullo sviluppo complessivo delle scogliere (luce, substrato, temperatura, salinità, idrodinamismo..). La successione dei coralli dipende anche da situazioni locali come la tipologia dei fondali, la batimetria e le caratteristiche delle coste circostanti per cui possono esistere delle differenze tra una località e l' altra che sfuggono ad ogni schema. In generale si possono distinguere tre zone fondamentali: la zona interna, la piattaforma corallina e la scarpata esterna.

Nella parte più vicina alla linea di costa (**zona interna**) la scarsa profondità provoca aumenti di temperatura e salinità, inoltre, il flusso di correnti capaci di asportare i sedimenti che soffocano i coralli è scarso. In queste condizioni si può formare una bassa laguna, creata dall'erosione della parte interna della scogliera, composta da detriti e coralli morti o ridotti in sabbia, in essa si sviluppano soprattutto alghe e fanerogame, mentre sono rare le madrepore (per esempio i generi *Favia*, *Porites*, *Platygyra*) che riescono ad insediarsi; in alcuni casi si può formare una scogliera interna (back reef) nella zona in cui la laguna incontra la piattaforma.

In condizioni favorevoli la fascia dei coralli si amplia fino a formare una piattaforma (**piattaforma corallina** o **reef flat**) il cui sviluppo verticale è limitato dall'escursione delle maree e con la crescita orizzontale colonizza tutte le aree disponibili finché fattori avversi ne bloccano l' espansione. In questa fascia di piattaforma, le diverse colonie di coralli ( come i generi *Stylophora*, *Porites*, *Favia*, *Cyphastrea*) sono fortemente saldate tra loro da alghe rosse incrostanti

(*Lithothamnion*) che ne aumentano la resistenza all' azione delle onde e delle correnti spesso violente. In regioni dove il fondale degrada rapidamente, l' ampiezza della scogliera sarà limitata e questa sarà caratterizzata da un pendio molto ripido, come nel caso delle scogliere di Ras Mohammed che si perdono negli abissi fino ad una profondità di 800m. Nelle zone in cui il fondo degrada più lentamente e con maggiore regolarità, lo sviluppo delle scogliere sarà molto maggiore, con una piattaforma più estesa e pendii meno accentuati. La parte in crescita attiva è rivolta verso il mare aperto (**scarpata esterna**), dove le condizioni ambientali (luminosità, ossigenazione, concentrazione di nutrienti) sono più favorevoli allo sviluppo dei coralli. Nella zona più superficiale della scarpata (reef edge o crest) e più influenzata dalle onde, predominano le specie di *Millepora* che crescono in modo trasversale alla corrente principale, nella parte immediatamente sottostante si insedia il genere *Acropora* (*A. humilis*, *A. variabilis*) le cui colonie a grosse ramificazioni sono più adatte a sopportare la turbolenza delle acque e le forme tabulari sfruttano le oscillazioni verticali dell' acqua che forniscono un buon apporto di ossigeno e plancton (Mergner, 1971). A queste specie si associano i generi *Goniastrea* e *Stylophora* e nelle zone più riparate *Seriatopora* e *Pocillopora*. Più in basso nella scarpata si assiste ancora ad un notevole sviluppo di *Acropora* (*A. hemprichi* e *A. variabilis*) cui si accompagnano in genere *Stylophora pistillata* e *Platygyra lamellina*, e i generi *Lobophyllia*, *Porites* e vari Fungidi. Nelle cavità ombreggiate sono frequenti anche i coralli molli del genere *Dendronephthya* e i coralli aermatipici (*Tubastrea* e *Dendrophyllia*). La base della scarpata spesso è costituita da detriti di coralli e sabbia e larghi pinnacoli possono emergere dalla base alla superficie. La parte



superficiale di questi può essere erosa dal vento e dall' acqua ma è spesso ricoperta dalle forme di coralli massivi come *Porites* e *Platygyra*, mentre le pareti laterali presentano un' elevata ricchezza in specie di coralli e Alcyonari (Lieske e Myers, 2004). Nel caso in cui la scarpata finisca a basse profondità (10-20m) alla sua base si presenta una zona secondaria di *Acropora* formata dai pezzi di corallo vivo che si sono staccati dalla fascia più superficiale (Mergner, 1971).

Le scogliere di frangenti del Mar Rosso sono solcate ad intervalli da stretti canali, chiamati *marsas* nella costa occidentale e *sharms* nella costa orientale. Sono considerati dei letti di fiumi creati durante il Pleistocene e generalmente sono ancora collegati ai fiumi stagionali. Marsas e sharms costituiscono degli eccellenti porti naturali, ma in alcuni casi vengono soffocati dalla crescita dei coralli (Mojetta, 2003; Edwards e Head, 1987).

Le scogliere coralline sono fortemente minacciate dall'attività umana a cui sono legati fenomeni di inquinamento di vario tipo legato soprattutto all'eccessivo sfruttamento, spesso a scopo turistico, delle coste. L'overfishing e l'utilizzo di pratiche di pesca distruttive sono altre attività che contribuiscono al declino delle scogliere coralline. Altri fenomeni saltuariamente generano grossi problemi alle madrepore e conseguentemente al resto dell'ecosistema: il così detto "coral bleaching", che consiste nell' espulsione delle zooxantelle dai tessuti dei polipi dei coralli, le invasioni della stella marina *Acanthaster planci* che si nutre dei polipi dei coralli e le malattie dovute a microrganismi patogeni per i coralli.

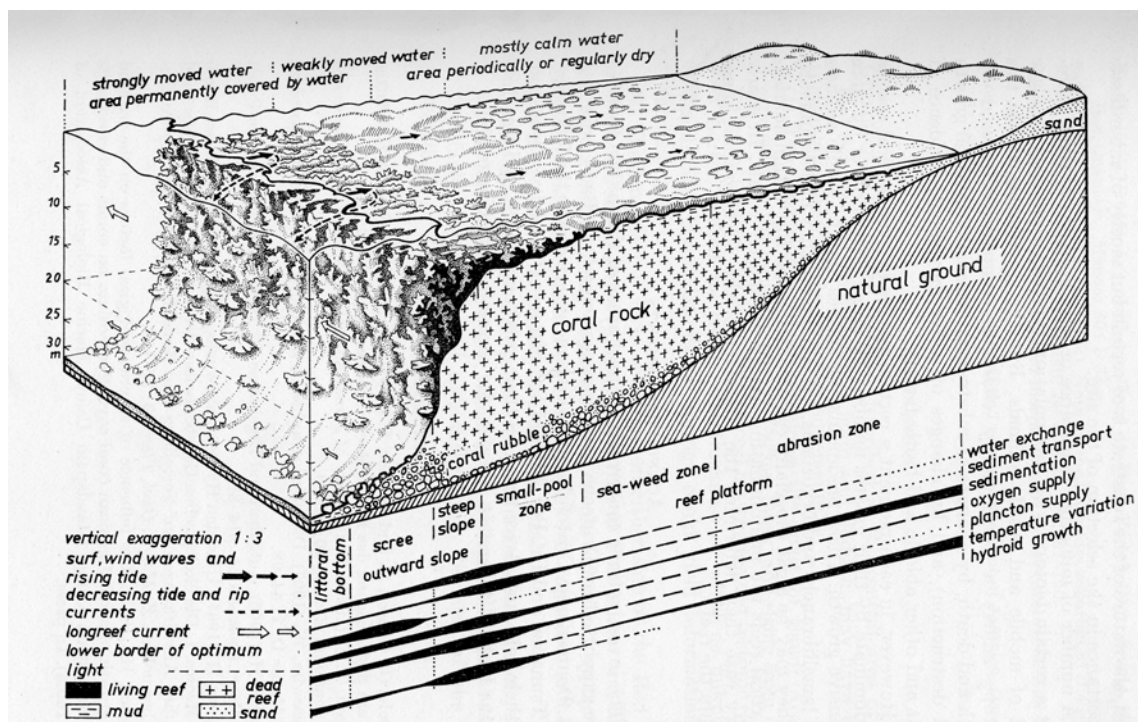


Figura 1.4. Tipica scogliera di frangenti. Il diagramma tridimensionale illustra la struttura della scogliera, la zonazione e le principali condizioni ecologiche presenti (da Mergner, 1971).

#### 1.4. METODI UTILIZZATI PER LO STUDIO DELLE SCOGLIERE

##### CORALLINE

Vari metodi per descrivere le scogliere coralline sono stati sviluppati per decenni ma ancora oggi resta un campo di ricerca attivo. Come tutti i problemi di campionamento, la scelta di un metodo è intrinsecamente legata alle scale spaziali e/o temporali dell'obiettivo del campionamento.

Si possono distinguere metodi per misurare le fluttuazioni nella percentuale di ricoprimento dei coralli viventi da quelli utilizzati per descrivere le principali caratteristiche di una scogliera lungo un margine continentale (Green *et al.*, 2000).

Nei casi in cui sia necessario un rilevamento rapido di un'ampia area della scogliera, come ad esempio nel caso si vogliano determinare i danni provocati da

una tempesta, dall'attività umana o per determinare i confini appropriati per un parco marino o nei rilevamenti preliminari per selezionare un'area di studio per programmi di monitoraggio a lungo termine, si possono utilizzare metodi indiretti come l'aerofotografia (Rogers *et al.*, 1994) e i rilevamenti satellitari (Mumby *et al.*, 2004), o metodi di osservazione diretta da parte dell'operatore come il manta tow (English *et al.*, 1997).

Per una descrizione più dettagliata della scogliera, nel caso in cui gli habitat debbano essere descritti quantitativamente sono disponibili vari metodi, con adeguate repliche la maggior parte di questi metodi può anche essere utilizzata per monitorare i cambiamenti nella copertura del fondale. Più i metodi sono accurati e precisi e più richiedono tempo, per questo spesso campionamenti di tipo quantitativo sono limitati a piccole aree.

Ci sono 2 gruppi principali di metodi per misurare la copertura di coralli e macroalghe: quadrati e transetti, entrambi possono essere realizzati mediante rilevamento video-fotografico o tramite censimento visivo *in situ*.

QUADRATI: sono usati per campionamenti in tutti i rami dell'ecologia e molti approcci sono possibili. Questo metodo consiste nel posizionare una cornice di forma quadrata sul substrato e nel rilevare gli organismi sessili che si vengono a trovare all'interno. La cornice impiegata può avere, a seconda degli scopi, dimensioni variabili, per le scogliere coralline i quadrati hanno in genere un'area minima di  $1\text{m}^2$  e sono divisi in una griglia uniforme di 100 quadratini delle dimensioni di  $10\times 10\text{cm}$ . Ogni quadratino rappresenta l' 1% di copertura dell'unità di campionamento. Le dimensioni del quadrato possono essere ridotte a  $0,25\text{m}^2$  se

il principale obiettivo di campionamento è stimare la copertura delle macroalghe. La cornice può essere costituita di materiali diversi ma la soluzione migliore è rappresentata da un tubo di PVC con alcuni fori che lasciano entrare l'acqua per rendere la struttura debolmente negativa. Con l'impiego del quadrato possono essere effettuati: I) conteggi degli individui (ottenendo così direttamente la densità per m<sup>2</sup>); II) stima del ricoprimento percentuale (stimando ad occhio il ricoprimento all'interno di ogni singolo quadratino e riportando poi al totale); III) valutazioni di frequenza (contando il numero di quadratini in cui ogni specie è presente rapportati al totale dei quadratini); IV) presenza/assenza. La stima visiva di ricoprimento percentuale è un metodo molto utilizzato in ambiente marino e diversi studi hanno dimostrato che il campionamento visivo è molto robusto rispetto all'errore introdotto dall'operatore (Bianchi *et al.*, 2003). In confronto alle altre tecniche di campionamento quantitativo, i quadrati hanno il vantaggio che i dati vengono raccolti in modo relativamente rapido ed economico sul campo, mentre tra i principali svantaggi ci sono la difficoltà nel campionare madrepora ramificate come alcune specie di *Acropora* e il fatto di fornire dati in 2 dimensioni sottostima la copertura di organismi che hanno un'orientamento prevalente sul piano verticale, come per esempio i coralli molli.

TRANSETTI: Il transetto è una linea di riferimento di lunghezza definita che viene utilizzata come riferimento per effettuare il rilevamento visivo; nello studio del benthos marino la linea di riferimento consiste generalmente in una cima metrata posta sul fondo, lungo la quale si contano e/o misurano gli organismi al di sotto, o in una fascia di ampiezza definita ai due lati della linea stessa. Il transetto

può anche essere utilizzato come pura linea di riferimento lungo cui posizionare altri strumenti di campionamento, ad esempio il quadrato. L'orientamento del transetto rispetto alla linea di costa è un elemento importante da considerare secondo il tipo di studio da effettuare. I transetti perpendicolari alla linea di costa, comunemente detti anche transetti di profondità, massimizzano la variabilità ambientale e sono adatti per studi bionomici mirati a descrivere la zonazione dei popolamenti, invece i transetti paralleli alla costa, e quindi a profondità costante, minimizzano la variabilità ambientale e consentono di studiare la composizione quali-quantitativa di un popolamento specifico (Bianchi *et al.*, 2003). L'utilizzo di transetti video è utile per coprire velocemente ampie aree e forniscono un documento visivo che dura nel tempo che consente molteplici ri-campionamenti (Carleton e Done , 1995).

Ci sono almeno 4 tipologie di transetto: Line Intercept Transect (LIT) che consiste nel registrare sulla lavagnetta l'intercetta al centimetro in ogni punto in cui cambia la categoria di organismo, o di substrato, sotto la cima; Chain Transect (CT) in cui la cima viene tesa tra due picchetti infissi sul fondo sul quale si appoggia una catena per tutta la lunghezza del transetto in corrispondenza della cima tesa; Point Intercept Transect (PIT) che prevede che sia identificato l'organismo, o il substrato, che si trova in corrispondenza di punti a distanza predeterminata lungo la cima; Belt transect (BT) per il quale si usa la cima metrata come riferimento e si contano gli organismi all'interno di una fascia di area definita ai lati di essa. L'ampiezza della fascia ( $W$ ) da considerare ai lati della cima è solitamente compresa tra 2m e 5m. Questo tipo di transetto non consente di ricavare

informazioni sul ricoprimento percentuale ma permette di ricavare dati di densità di un organismo in base alla sua abbondanza nell'area esaminata pari a  $W \times T$ .

Il metodo dei transetti ha il vantaggio di avere un basso costo e una buona rapidità di esecuzione, ma uno dei limiti dell' utilizzo dei PIT e LIT sulle scogliere coralline sta nel fatto che tendono a sottostimare il ricoprimento percentuale in aree eterogenee con scarsa copertura di organismi del reef , come per esempio aree con coralli sparsi (Green *et al.*, 2000).

### 1.5. STUDIO DELLA VARIABILITA' SPAZIALE

Lo studio dei processi che regolano la struttura e la dinamica delle comunità bentoniche ha ricevuto negli ultimi 30 anni un notevole impulso grazie all' affermarsi nell'ecologia marina di un moderno approccio sperimentale. La distribuzione degli organismi bentonici e le modalità attraverso le quali tale distribuzione si realizza sono fenomeni di estrema complessità. Ad ogni scala di risoluzione spaziale gli organismi si distribuiscono in modo non omogeneo così che ogni porzione di substrato, anche nello stesso habitat, viene occupata da un mosaico di aree in cui individui e popolazioni si dispongono in modo variabile. Tale eterogeneità può essere dovuta alla fluttuazione di fattori fisici legati al particolare habitat, ma questa considerazione giustifica solo in parte la variabilità presente nelle comunità naturali. Infatti, anche ambienti che presentano condizioni fisiche relativamente uniformi e costanti rivelano un livello di eterogeneità nella distribuzione degli organismi, che tende a rimanere elevato (Sousa, 1984). Le variazioni spaziali e temporali del reclutamento, dell'immigrazione ed emigrazione, della mortalità, della crescita di individui e popolazioni,

interagiscono con i processi fisici e partecipano alla regolazione delle interazioni che si instaurano tra gli individui. Tutto ciò contribuisce a determinare la particolare struttura di un popolamento in luoghi e tempi diversi (Kennelly e Underwood, 1992). Quindi i popolamenti naturali sono intrinsecamente variabili e una descrizione quantitativa di tale variabilità è un passo fondamentale prima che possano essere formulati e testati modelli in grado di spiegare gli andamenti di distribuzione osservati (Underwood, 1991). La variabilità nella distribuzione degli organismi si può realizzare a diverse scale spaziali, che vanno da quella biogeografica a quella locale (Barry e Dayton, 1991; Levin, 1992; Underwood e Petraitis, 1993). Documentare la scala spaziale alla quale si rileva la maggiore variabilità nell'abbondanza degli organismi è fondamentale per capire l'importanza relativa dei diversi processi ecologici responsabili di tale variabilità (Underwood e Chapman, 1996). Per analizzare l'organizzazione spaziale e temporale degli organismi e valutare la scala alla quale essi interagiscono tra di loro e con l'ambiente che li circonda occorrono disegni di campionamento gerarchizzati ed elevati livelli di replicazione (Underwood, 1997).

La variabilità a diverse scale spaziali nella distribuzione ed abbondanza degli organismi è stata studiata nei popolamenti intertidali (Underwood e Petraitis, 1993; Underwood e Chapman, 1996; Menconi *et al.*, 1999), così come in habitat infralitorali (Kennelly e Underwood, 1992; Benedetti- Cecchi *et al.*, 1998; Ferdeghini *et al.*, 2000; Balata *et al.*, 2006) tuttavia esistono pochi studi che analizzano gli andamenti di distribuzione a diverse scale spaziali delle scogliere coralline (Connell *et al.*, 1997).

L'importanza che riveste la procedura di campionamento nelle ricerche ecologiche è ampiamente riconosciuta e la valutazione del miglior metodo di campionamento relativamente alle domande a cui si cerca di dare risposta è il primo passo per il successo di una qualsiasi indagine (Andrew e Mapstone, 1987; Benedetti-Cecchi *et al.*, 1996; Acunto *et al.*, 2001). Per questo motivo ed al fine di scegliere la procedura di campionamento più adatto alle specifiche esigenze di lavoro, prima di procedere allo studio della distribuzione spaziale, è stato effettuato un confronto per verificare l'efficacia relativa di due metodi di campionamento che potevano essere applicati per rilevare i dati quantitativi.

L'uso di tecniche multivariate per quantificare l'organizzazione spaziale di comunità naturali richiede la scelta del livello di risoluzione al quale i taxa debbano essere identificati. Generalmente, grossolani livelli di risoluzione tassonomica conservano gli stessi andamenti riscontrabili utilizzando livelli di risoluzione più fini (Chapman, 1998). Per molte ragioni può essere vantaggioso lavorare con raggruppamenti di specie. L'identificazione di una specie richiede la disponibilità di specialisti ed una certa quantità di tempo; il tempo risparmiato riducendo il livello di risoluzione tassonomica da raggiungere può essere impiegato per analizzare un maggior numero di campioni. Si ottiene così la possibilità di analizzare quel maggior numero di repliche necessario per descrivere adeguatamente gli andamenti di distribuzione e abbondanza degli organismi (Chapman, 1998).