



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale
in Scienze dell'antichità: letterature,
storia e archeologia

ordinamento ex D.M. 270/2004

Tesi di Laurea

Archeologia Costiera

Fenomeni di degrado lungo
le coste del Mediterraneo

Relatore

Ch. Prof. Carlo Beltrame

Correlatori

Prof. Sauro Gelichi

Prof. Luigi Sperti

Laureando

Giulia Toniato

Matricola 855523

Anno Accademico

2015 / 2016

INDICE

Introduzione	5
Capitolo 1. <i>Archeologia costiera</i>	9
1.1 Definizione della costa: processi culturali e ambientali	9
1.1.1 Il “paesaggio costiero”	11
1.2 Storia e sviluppo dell'archeologia costiera	13
1.3 Archeologia costiera come un aspetto dell'archeologia marittima	17
1.4 Teoria e metodologia dell'archeologia in ambito costiero	18
1.4.1 Teoria	18
1.4.2 Metodi e tecniche	24
Capitolo 2. <i>L'ambiente costiero</i>	27
2.1 Morfologia costiera	28
2.1.1 Coste rocciose	28
2.1.2 Spiagge e dune costiere	29
2.1.3 Delta, estuari e lagune	30
2.2 Processi di formazione dell'ambiente costiero	32
2.2.1 Fenomeni tettonici	33
2.2.2 Fattori meteo-marini	34
2.2.3 Processi bio-chimici	35
2.2.4 Variazioni del livello del mare	36
2.2.5 Subsidenza	37
2.3 Indicatori archeologici e biologici del livello relativo del mare	37
Capitolo 3. <i>Fenomeni di degrado e di distruzione dell'ambiente costiero</i>	41
3.1 Cambiamenti climatici: il riscaldamento globale	42
3.2 Erosione costiera	44
3.2.1 Scomparsa delle difese naturali	45
3.3 Processi sedimentari	47
3.4 Bradisismo e subsidenza	48
3.5 Variazioni del livello relativo del mare	49
3.6 Eventi estremi ad azione improvvisa	51
3.7 Processi costieri e “neocatastrofismo”	54
3.8 Interventi antropici in aree costiere	56
Capitolo 4. <i>Il porto di Teodosio a Yenikapi (Istanbul, Turchia)</i>	59
4.1 Paleo-tsunami lungo la costa della Turchia	61
4.2 La sequenza stratigrafica	63
4.2.1 L'unità 4: testimonianza di uno tsunami	64
4.2.2 Le imbarcazioni dell'unità 6: resti di violente tempeste	67

Capitolo 5. <i>Alessandria d’Egitto</i>	69
5.1 Il delta del Nilo	71
5.2 Eventi catastrofici naturali lungo la costa Egiziana	72
5.3 La baia di Abukir	76
Capitolo 6. <i>Cesarea Marittima (Israele)</i>	81
6.1 Il degrado del bacino portuale romano	84
6.1.1 Gli tsunami lungo la costa di Cesarea Marittima.....	87
6.1.1.1 Gli eventi del 115 d.C. e 551 d.C.....	87
6.1.1.2 La scoperta dei depositi dello tsunami del 749 d.C.	90
Capitolo 7. <i>Campi Flegrei</i>	93
7.1 I siti archeologici sommersi di Baia e Pozzuoli.....	94
7.1.1 Pozzuoli	95
7.1.2 Baia	98
Capitolo 8. <i>L’area costiera Libanese</i>	103
8.1 Gli antichi porti di Beirut, Sidone e Tiro	103
8.1.1 Tiro.....	106
8.1.2 Sidone	107
8.1.3 Beirut.....	109
Capitolo 9. <i>Libia</i>	113
9.1 Cirenaica	114
9.1.1 Apollonia.....	114
9.1.2 Tolemaide	118
9.2 Tripolitania.....	120
9.2.1 Sabratha.....	121
9.2.2 Leptis Magna	124
Capitolo 10. <i>Pavlopetri (Grecia)</i>	129
10.1 La scoperta dell’antica città sommersa	130
10.1.1 Pavlopetri Underwater Archaeology Project	131
10.2 Il sito di Pavlopetri.....	132
10.3 La sommersione del sito	135
Capitolo 11. <i>Gestione e protezione dei siti costieri</i>	137
11.1 Conservazione dei siti archeologici in ambiente costiero.....	138
11.2 Protezione dei relitti e di siti archeologici di dimensioni ridotte	141
11.2.1 Ricopertura dei siti sommersi con sedimenti	142
11.2.2 Strutture metalliche.....	143

11.2.3 Opere semirigide.....	145
11.2.3.1 Materiali geotessili.....	145
11.2.3.2 Tappeti di alghe artificiali.....	147
11.3 Difesa di strutture archeologiche di grandi dimensioni.....	148
11.3.1 Opere morbide.....	149
11.3.2 Opere rigide.....	150
11.3.2.1 Barriere frangiflutti.....	151
11.3.2.2 Pennelli.....	153
11.3.2.3 Opere aderenti.....	155
11.4 Monitoraggio dei siti.....	157
Considerazioni conclusive.....	161
Bibliografia e sitografia.....	169

Introduzione

Si possono distinguere due principali aspetti caratterizzanti dell'“archeologia costiera”: uno antropologico, interessato alle modalità di adattamento delle popolazioni lungo la fascia litoranea, l'altro, invece, rivolto all'analisi dei processi formativi dell'ambiente costiero; in questo studio si è scelto di affrontare proprio quest'ultima prospettiva: si è voluto, quindi, porre l'attenzione sia sui cambiamenti ambientali avvenuti nel corso del tempo, causati dalla combinazione di forze antropiche e naturali, sia sugli impatti che tali modificazioni hanno sui siti archeologici localizzati in aree costiere.

Ambiente parzialmente sommerso o periodicamente sommerso, la costa è un'area fortemente dinamica, in cui entrano in gioco processi di formazione tipici sia dell'ambiente sommerso che di quello terrestre; lo studio dei litorali richiede, quindi, un approccio multidisciplinare, basato su metodologie e tecniche (di indagine, di monitoraggio e di protezione) derivate sia dall'archeologia “continentale” sia dall'archeologia subacquea.

Le difficoltà che comporta questo tipo di ricerca sono, perciò, legate alla complessità dell'ambiente costiero stesso, che viene continuamente alterato dall'azione delle correnti e dei venti, dalle variazioni isostatiche, eustatiche e tettoniche, nonché dallo sfruttamento antropico.

Un ulteriore problema, sentito molto negli ultimi anni, è rappresentato dal cambiamento climatico globale; queste variazioni delle condizioni climatiche stanno, infatti, portando ad un peggioramento dei fenomeni naturali che minacciano l'area litoranea, tra cui l'innalzamento del livello del mare, l'aumento dell'erosione costiera e l'incremento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi (talvolta “catastrofici”).

L'insieme di questi fattori costituisce, di conseguenza, un rischio sia per gli ecosistemi naturali sia per la stabilità culturale e geopolitica; infatti, è ormai noto che quasi metà della popolazione mondiale risiede entro i 100 km dalla linea di riva e che il previsto innalzamento delle temperature globali (in connessione all'aumento del livello del mare) metterà sempre più in pericolo le società costiere e le loro infrastrutture. Ovviamente, anche il patrimonio archeologico localizzato lungo i litorali del nostro

pianeta subisce gli effetti di questi cambiamenti e, purtroppo, sono molti i siti (terrestri, intertidali, sommersi) che ogni anno vengono danneggiati o addirittura distrutti, portando alla perdita di preziose informazioni sulla storia insediativa delle popolazioni costiere; questo fenomeno, relativo alla scomparsa dei resti culturali, è stato definito da Erlandson (2008) come “erosion of human history”.

Sulla base di tutte queste problematiche si è dunque scelto di mettere in evidenza le critiche condizioni di conservazione dei siti archeologici costieri e la difficoltà gestionale di questi ambienti; considerando i principali fenomeni che influenzano la preservazione del patrimonio culturale localizzato lungo la zona litoranea si nota, infatti, la problematicità della difesa di tale area, costantemente in trasformazione.

Per avere una visione generale più completa degli argomenti trattati si sono, in primo luogo, cercati di delineare i tratti distintivi dell'archeologia costiera e di come il suo approccio metodologico sia evoluto nel corso del tempo. Come è multiforme il paesaggio litoraneo così anche l'oggetto di studio di questa disciplina è estremamente eterogeneo: i siti, infatti, possono essere localizzati sia in ambiente emerso, sia nella zona intertidale, sia sott'acqua includendo, quindi, non solo resti di strutture portuali, peschiere, insediamenti situati sulla costa, ma anche relitti e artefatti che sono stati sommersi dal mare.

Successivamente, vengono descritte le principali morfologie costiere presenti nel bacino del Mediterraneo (dalle coste rocciose alle spiagge, dai delta agli estuari) e i vari processi formativi dell'ambiente litoraneo; tra questi troviamo: i fattori meteo-marini (moto ondoso, vento), i movimenti tettonici, i processi bio-chimici, le variazioni del livello del mare e la subsidenza. In questo secondo capitolo si è voluto, inoltre, sottolineare come l'archeologia possa contribuire all'interpretazione dei dati geologici, in particolare attraverso gli studi sui cambiamenti del livello del mare: siti archeologici sommersi possono, ad esempio, indicare l'innalzamento del livello del mare o lo sprofondamento del suolo, mentre siti con chiara vocazione marittima localizzati in aree distanti dalla linea di riva possono essere la testimonianza di un abbassamento del livello del mare o di un sollevamento della crosta terrestre.

Sono stati poi analizzati i diversi fattori, di origine naturale e/o antropica, che possono determinare la degradazione dei siti archeologici localizzati in prossimità del mare; per comprendere come l'innalzamento del livello del mare, gli apporti/asporti

sedimentari, i fenomeni estremi, quali tsunami e uragani, l'attività erosiva e gli interventi antropici influiscano sul territorio costiero e, di conseguenza, sullo stato di conservazione dei resti archeologici ivi presenti, sono stati analizzati, a titolo di esempio, alcuni importanti siti situati lungo le coste della Libia (Leptis Magna, Sabratha, Tolemaide, Apollonia), dell'Egitto (Alessandria), della Turchia (Yenikapi, Istanbul), d'Israele (Cesarea Marittima), dell'Italia (zona dei Campi Flegrei) e della Grecia (Pavlopetri).

Infine, viene affrontato il problema della gestione dei siti costieri e di come questi possano essere protetti sia dai pericoli naturali sia dalle attività antropiche. Data la grande varietà delle tipologie di giacimenti archeologici, le soluzioni difensive saranno altrettanto differenti, non solo nei materiali ma anche nelle finalità.

Capitolo 1

L'archeologia costiera

L'archeologia costiera può essere definita come un aspetto della ricerca dell'archeologia marittima. La costa è un ambiente complesso per gli archeologi, sia in termini di conservazione e accessibilità, sia per quanto riguarda le metodologie della ricerca¹.

La costa è tanto un “ponte” tra la vita terrestre e quella marittima, quanto un limite percettivo, fisico o culturale; in quanto tale, la costa riesce a collegare archeologia terrestre e archeologia subacquea in un'unificata archeologia marittima².

1.1 Definizione della costa: processi culturali e ambientali

La costa viene generalmente definita come l'area in cui i processi marittimi, come l'erosione, la deposizione e le mareggiate, influenzano i processi terrestri e vice versa. Questa zona può variare di centinaia o migliaia di metri in larghezza, a seconda della pendenza e del substrato del margine costiero; se si aggiungono anche gli impatti climatici, allora tale margine può corrispondere a diverse centinaia di chilometri. Questi impatti influenzano anche culture normalmente non classificate come marittime, ma le cui zone di attività sono influenzate dalla costa; una zona ricca di attività costiere può spesso essere limitata a 5-10 km dall'acqua, ma può anche estendersi maggiormente verso l'interno, se si considerano culture che ricercano cibo sia lungo le coste sia nelle regioni montuose, seguendo un proprio ciclo stagionale³.

Oltre alla difficoltà di dare una definizione precisa della costa, e di conseguenza anche dell'archeologia costiera, vi è il fatto che il litorale sia una zona in continuo mutamento. Per fare alcuni esempi: il sito di ominidi di

¹ Wakler 1990, p. 271.

² Ford 2013, p. 764.

³ Westley e Dix 2006, p. 13.

Boxgrove, nel Sussex occidentale, Gran Bretagna, databile a 500.000 anni fa, era una pianura fangosa situata lungo la costa, ora invece si trova a 46 m sopra il livello del mare e a 11 km verso l'interno del territorio; siti costieri della Scandinavia possono essere rinvenuti a 100 km nell'entroterra, a causa del cosiddetto 'rimbalzo isostatico-glaciale' degli ultimi 13.000 anni⁴. Allo stesso modo, moli e strutture portuali costiere più recenti sono stati spesso rinvenuti lontano dall'attuale linea di costa, come risultato dell'interramento di rifiuti e della pressione verso il mare esercitata dagli impianti portuali.

La maggioranza della recente documentazione archeologica è comunque sommersa; infatti, attualmente stiamo vivendo uno dei più elevati livelli marini degli ultimi 12.000 anni, superato solo dal precedente periodo interglaciale, quando i livelli del mare erano approssimativamente 6 m più alti rispetto ad oggi. Perciò, ad eccezione di siti posti ad latitudini elevate e regioni soggette a sollevamento tettonico, i siti litoranei da circa 12.000 a 5.000 anni fa sono sommersi⁵. Siti che oggi si trovano sulla linea di costa potrebbero essere stati dei siti posizionati in zone interne, con un limitato contatto marittimo durante la loro occupazione, e, al contrario, siti che ora sono lontani dal mare forse erano degli insediamenti costieri.

In aggiunta ai cambiamenti naturali dell'ambiente litoraneo, anche le alterazioni antropogeniche devono essere tenute presenti; attività come l'estrazione, l'agricoltura, l'allevamento e le attività di riempimento possono cambiare drasticamente la qualità della riva, creando nuove insenature e obliterandone altre più antiche.

Riconoscendo che molti siti costieri sono oggi sommersi, si arriva al principale problema dell'archeologia costiera, l'erosione. Molti siti preistorici sommersi sono stati certamente distrutti dall'erosione, dovuta all'innalzamento del livello del mare, mentre siti che si trovano oggi in aree litoranee sono minacciati dall'erosione costiera⁶. L'innalzamento del livello del mare viene sentito come un pericolo anche dal National Trust inglese che ha predetto una perdita di 500 siti archeologici e strutture storiche a causa dell'erosione nel corso

⁴ Goldberg e Macphail 2006, pp. 151-152.

⁵ Erlandson 2001, p. 300; Erlandson e Rick 2008, p. 4.

⁶ Erlandson 2001, p. 291.

del prossimo secolo⁷. Di conseguenza, una conoscenza dei processi formativi e della geoarcheologia costiera è fondamentale per interpretare la storia e l'archeologia di questo tipo di ambiente.

Oltre all'erosione causata dall'azione del moto ondoso, i siti costieri sono molto sensibili a danneggiamenti dovuti al gelo, a devastazioni causate da tempeste e allo sviluppo costiero sempre più in aumento. Approssimativamente il 60% della popolazione mondiale vive entro 100 km dalla costa, e la maggior parte dell'attuale sviluppo si verifica in aree con una lunga storia di attività e occupazioni umane. I siti costieri sono quindi minacciati da: fattori naturali, da fattori naturali influenzati dall'uomo (come possono esserlo, ad esempio, i cambiamenti climatici), e da fattori culturali⁸.

1.1.1 Il “paesaggio costiero”

L'archeologia marittima, al fine di comprendere nel modo più completo possibile le culture costiere, deve indagare ogni aspetto della vita di queste popolazioni del passato, adottando un approccio multidisciplinare (antropologico, geografico, archeologico, ecc.) rivolto verso una prospettiva di tipo paesaggistico.

Il paesaggio può essere considerato come un'intersezione di spazi e culture; questi sono fortemente influenzati l'uno dall'altro: i luoghi sono culturalmente definiti e le culture sono condizionate dagli spazi che occupano. Il modo in cui viene percepito il paesaggio dipende dalle persone che vi abitano e queste, a loro volta, adattano le loro attività in base al luogo in cui si trovano. Il paesaggio è dunque costituito da molteplici aspetti ambientali, come il clima, la disponibilità di acqua, di terre coltivabili, di materie prime e da varie componenti sociali, politiche e ideologiche; tutti questi elementi sono in stretta relazione fra loro e agiscono attivamente gli uni sugli altri, modificando continuamente il paesaggio⁹.

⁷ Colette 2007, p. 52.

⁸ Erlandson e Rick 2008, p. 167.

⁹ Ford 2011, pp. 1-11.

Per quanto riguarda il paesaggio archeologico risulta piuttosto difficile da ricostruire in modo completo, sia per la carenza di dati sia per l'eccessiva quantità di informazioni che dev'essere presa in considerazione; forse il miglior modo per studiarlo è quello di accompagnare le indagini fisiche (analisi dei manufatti, delle strutture archeologiche e dei depositi stratigrafici) con analogie e racconti relativi ad uno specifico luogo. La difficoltà non sta tanto nel documentare gli aspetti concreti del territorio ma nel ricreare la vitalità che tale paesaggio doveva rappresentare per le persone che vi abitavano.

Dal punto di vista archeologico, questi paesaggi sono quindi composti sia dai resti materiali, che gli individui hanno lasciato dietro di sé nel corso del tempo, sia dagli effetti che il paesaggio stesso ha provocato sulle culture, testimoniati, ad esempio, da evidenze di tipo storico ed etnografico.

Gli studiosi hanno utilizzato diversi termini per definire il paesaggio archeologico in ambito costiero/marittimo; i concetti maggiormente diffusi sono quelli di "seascape" e "maritime cultural landscape". Il cosiddetto *paesaggio marino* descrive qualsiasi paesaggio visto dal mare, comprendendo ad esempio porti, scogliere e isole, sottolineando dunque che la costa è una continuazione del territorio continentale, che viene ripetutamente esposta e sommersa nel corso del tempo. Il *paesaggio culturale marittimo* cerca di unire gli aspetti fisici propri della terraferma e del mare per studiare la cultura delle popolazioni marittime all'interno di un preciso contesto spaziale. Questo termine è stato utilizzato per la prima volta nel 1978 da Westerdahl C., secondo cui il paesaggio culturale marittimo definiva l'insieme delle rotte di navigazione, dei porti, delle strutture costiere e di tutte le attività antropiche legate allo sfruttamento dell'ambiente, sia acquatico che terrestre, rispecchiando così la cultura marittima nella sua totalità; seguendo tale approccio, i resti archeologici (relitti, porti, strade, insediamenti, ecc.) vengono associati ai dati immateriali (tradizioni, rituali, comportamenti sociali), per scoprire come l'ambiente marino veniva percepito dalle società del passato¹⁰.

Lo studio delle aree costiere, considerate come zone di confine tra terra e mare, altamente dinamiche, deve dunque necessariamente comprendere delle

¹⁰ Westerdahl 1992, pp. 5-6; O'Sullivan e Breen 2007, p. 62.

ricerche di tipo geografico, che permettano di delineare l'antica linea litoranea e le caratteristiche ambientali proprie di un determinato sito. Questo approccio geoarcheologico può essere messo in relazione con la cosiddetta "archeologia del paesaggio", il cui obiettivo è la ricostruzione dell'evoluzione di un preciso contesto geografico, adottando una prospettiva diacronica e interdisciplinare¹¹.

Bisogna, infine, sottolineare che le modificazioni del territorio operate dall'uomo nel corso dei secoli hanno portato ad una notevole perdita di tali paesaggi archeologici; fortunatamente, negli ultimi anni è emersa una maggiore consapevolezza del potenziale culturale che il paesaggio può offrirci e sono state attivate delle politiche specifiche per la sua difesa¹².

1.2 Storia e sviluppo dell'archeologia costiera

Esiste una vasta tradizione di studi che hanno come oggetto di ricerca la costa che, infatti, a lungo è stata considerata come un'importante risorsa culturale. Possiamo vedere ad esempio, come alcune foreste sommerse lungo la costa inglese erano note già nel 1170, con registrazioni sistematiche all'inizio del XVIII secolo. Ci furono anche precoci tentativi nell'archeologia costiera che utilizzarono metodologie molto simili a quelle usate attualmente; O.G.S. Crawford, per esempio, nel 1927 ha esplorato il Lyonesse, al largo della costa della Cornovaglia, usando metodi di ricerca intertidale, storia orale, ricerca di archivio, e fotografia aerea per investigare un paesaggio preistorico sommerso; sebbene Crawford riteneva che la superficie terrestre fosse sprofondata, e non che il livello marino si fosse innalzato, le sue osservazioni sugli effetti dell'erosione sui siti costieri coincidono con quelle dell'English Heritage¹³ di circa 70 anni dopo¹⁴.

¹¹ Tale disciplina è nata verso la fine del XX secolo in Inghilterra; Cambi 2005, pp. 9-17.

¹² Si vedano, ad esempio, la *Convenzione europea del Paesaggio del Consiglio d'Europa* (2000) e l'approccio dell'UNESCO riguardo la tutela dei Paesaggi culturali come Patrimonio dell'umanità; Salvatori 2010, pp. 283-285.

¹³ Fino al 1999, l'English Heritage era conosciuto come Historic Building and Monuments Commission for England; si tratta di un organismo pubblico inglese incaricato della gestione del patrimonio culturale dell'Inghilterra. Si occupa di conservare, registrare e proteggere il patrimonio storico; possiede direttamente numerosi siti, ma collabora anche con proprietari ed associazioni

In generale, gli archeologi terrestri e quelli subacquei, oltre ad avere opinioni divergenti riguardo ai limiti metodologici e ambientali, si sono tradizionalmente dedicati allo studio di specifiche tipologie di siti lungo la costa: gli archeologi subacquei hanno avuto la tendenza a focalizzarsi su porti e relitti spiaggiati, mentre gli archeologi di terra hanno dato maggior importanza agli *shell middens*, con un interesse secondario, soprattutto europeo, nella localizzazione di tumuli e tombe lungo la costa. Sebbene questi approcci siano circoscritti all'ambito geografico hanno dimostrato di essere molto utili, in quanto hanno fornito una grande quantità di dati per specifici ambienti e hanno posto le basi di molti metodi e teorie proprie dell'archeologia costiera¹⁵.

I porti sono stati a lungo un oggetto di ricerca dell'archeologia marittima, e rimangono tutt'ora un aspetto importante, ma l'interesse su di essi sembra essere fiorito soprattutto durante gli anni Ottanta del XX secolo. Sebbene gli impianti portuali possano essere stati sovrastimati nella letteratura archeologica, bisogna comunque riconoscere che i porti hanno fornito un naturale punto di partenza per l'archeologia costiera, dando importanza sia alla formazione delle città che alla distribuzione e al commercio dei beni¹⁶.

Gli *shell middens* sono stati studiati, invece, dagli archeologi di terra; accumuli di conchiglie sono stati investigati praticamente in ogni continente, eccetto la penisola Antartica¹⁷. Recenti lavori sugli *shell middens* hanno utilizzato metodi rigorosi, inclusa l'analisi al radiocarbonio, portando a nuovi approfondimenti riguardanti l'impatto umano sulla catena alimentare marina; gli *shell middens* hanno anche fornito interessanti dati sul cambiamento culturale e sulla colonizzazione¹⁸. Come gli studi sui porti presentano dei limiti, in quanto si concentrano solo sui maggiori scali del commercio costiero, gli *shell middens* chiariscono solo alcuni aspetti della sussistenza costiera. La conchiglia tende a conservarsi bene, di conseguenza, i tumuli possono indurre ad un modello distorto di ciò che, probabilmente, era un regime di sussistenza opportunistico

minori, e collabora frequentemente con il National Trust inglese.

¹⁴ Ford 2013, p. 270.

¹⁵ Cooney 2004, p. 323.

¹⁶ Walker 1990, p. 279.

¹⁷ Parkington 2006, p. 120.

¹⁸ Erlandson e Rick 2008, pp. 17-18.

basato su un'ampia gamma di risorse marine, inclusi pesci e molluschi, ma che sfruttava anche eventi inattesi, come le maree rosse e balene spiaggiate. Solamente quando anche gli insediamenti, gli approdi isolati e i moli, i monumenti costieri, le navi arenate, e la miriade di altri siti e caratteristiche che sono alla base della documentazione archeologica costiera sono stati presi in considerazione, insieme agli *shell middens* e ai porti, un quadro completo dello sfruttamento umano della costa ha iniziato a prendere forma¹⁹.

Sono stati fatti alcuni tentativi per giungere ad un'archeologia marittima-costiera integrata durante gli anni Ottanta del XX secolo, ma questo settore si è sviluppato soprattutto durante la successiva decade. Gli articoli di Sean McGrail su approdi e strutture costiere hanno posto le basi per lavori successivi, mostrando l'importanza delle strutture litoranee connesse alla battigia, e formulando una tipologia di base per i siti costieri. A partire da questo ed altri precoci lavori, negli anni Novanta del secolo scorso sono state condotte molte ricognizioni costiere su larga scala che tengono conto delle risorse che si trovano sia sotto che sopra il livello medio di piena²⁰.

Gli esempi di studi sulla costa più precoci provengono dalla Gran Bretagna e dall'Irlanda, che per prime hanno guidato la comunità archeologica inglese verso lo sviluppo dell'archeologia costiera attraverso un impegno attivo per la gestione dei siti costieri. Il modello inglese per l'archeologia costiera generalmente si basa su ricognizioni pedestri sistematiche nella zona intercotidale in situazione di bassa marea, in combinazione alla fotografia aerea e alla registrazione intensiva dei luoghi identificati per documentare la totalità di siti all'interno del paesaggio costiero. Come risultato di questo approccio, i dati raccolti dall'archeologia costiera in Gran Bretagna e in Irlanda comprendono spesso più periodi ed includono differenti tipologie di siti. Per fare alcuni esempi: una recente ricognizione lungo la costa del Kent ha documentato una varietà siti: a partire da una foresta sommersa fino ad una stazione torpediniera, da nasse per la pesca a saline medievali, e anche moli, banchine e scafi di imbarcazioni²¹; un'indagine

¹⁹ Parkington 2006, p. 14.

²⁰ Ford 2013, p. 768.

²¹ Paddenberg e Hession 2008, p. 145.

archeologica litoranea sull'estuario dello Shannon, in Irlanda, ha analizzato siti occupati fin dal Neolitico e foreste conservate in ambienti sommersi²².

Basandosi sulla grande quantità di evidenze ben documentate lungo le loro coste, gli studiosi Inglesi e Irlandesi sono stati fra i primi ad aver applicato le teorie archeologiche alla zona del litorale. Inoltre, l'archeologia costiera delle isole Britanniche è stata, ed è tutt'ora, influenzata da quella dell'Europa settentrionale, in particolare per quanto riguarda l'approccio al paesaggio culturale marittimo. Gli studiosi dell'Europa settentrionale hanno, infatti, posto le basi di gran parte dell'attuale ricerca dell'archeologia dei litorali²³.

Molte ricerche archeologiche costiere integrate sono state condotte anche negli Stati Uniti, principalmente come tesi di laurea e come progetti di gestione federali; gli archeologi che hanno lavorato lungo le coste del Canada hanno allo stesso modo utilizzato un approccio integrato. La maggior parte di questi studi differisce dai modelli inglesi e da quelli dell'Europa settentrionale, in quanto non adottano il più ampio approccio rivolto anche verso il paesaggio, ma piuttosto si concentrano su siti specifici. Entrambi i metodi, americano e canadese, lottano per abbattere il limite tra archeologia terrestre e subacquea, nel tentativo di creare un'archeologia costiera senza interruzioni, ma i Canadesi hanno in gran parte optato per indagare delle specifiche località, che presentano sia componenti emersi che sommersi, invece di trattare la costa come un'unità geografica che dev'essere studiata nella sua interezza²⁴.

L'archeologia costiera sta ormai diventando una disciplina vera e propria, distinta dall'archeologia marittima e subacquea, anche se ovviamente rimane intrinsecamente connessa ad essa. In Inghilterra, ad esempio, esiste addirittura una figura professionale ("Investigator") che si occupa della ricerca, dell'analisi e della presentazione dei siti archeologici costieri.

²² O'Sullivan 2001, p. 226.

²³ Westerdahl 1992, pp. 5-7; O'Sullivan e Breen 2007, p. 125.

²⁴ Per esempio, le ricerche di James Ringer (2003) a Canso, in Nuova Scozia, sono state focalizzate sulla porzione sommersa di una stazione di pesca precedentemente scavata ed hanno incluso i ritrovamenti terrestri e sommersi per rispondere alle domande su funzione del sito, stagionalità, associazioni etniche, e sviluppo economico delle peschiere.

1.3 *L'archeologia costiera come un aspetto dell'archeologia marittima*

L'insieme dei dati costieri tende ad includere siti multi-periodo, consentendo analisi riguardanti i cambiamenti culturali e la continuità abitativa, migliori di quanto sia in genere possibile fare con le indagini circoscritte solamente ai relitti. La costa può essere, quindi, definita un deposito di informazioni che influiscono su importanti tematiche come la migrazione, la sussistenza, e la proto-industria²⁵. Un aumento dei dati raccolti lungo la costa non solo può contribuire ad affrontare problematiche archeologiche ma può anche aiutare la gestione e la protezione di siti non identificati o non ancora studiati.

L'archeologia costiera ha la potenzialità di essere un settore integrativo per l'archeologia marittima; sia che il collegamento tra archeologia terrestre e subacquea sia di tipo metodologico o teorico, l'archeologia costiera può servire ad armonizzarle. Molte popolazioni del passato che hanno vissuto in prossimità della costa si sono liberamente spostate da attività terrestri, come l'agricoltura, ad attività marittime, inclusi pesca e commercio. Questi coltivatori, pescatori, e marinai senza dubbio riconoscevano la diversità degli ambienti, i pericoli e le opportunità connessi ad entrambi i tipi di territori, terrestre e marino, ma sembrano essere passati da un'attività all'altra a seconda delle loro necessità; per queste società, la costa era un ponte figurativo (e, nel caso di moli e banchine, anche letterale) tra i vari aspetti delle loro vite lavorative. In un senso più ampio, il litorale forma anche un ponte fra trasporto, produzione e sistemi di distribuzione terrestri, e sistemi di trasporto e produzione che si basano sull'acqua, che erano fondamentali per il passaggio delle merci da un luogo ad un altro. Con crescente regolarità a partire dall'Età delle Scoperte, i vari beni raramente raggiungevano le località di consumo senza essere stati trasportati da navi o barche. Di conseguenza, la costa unisce lo studio dei relitti all'analisi dei siti produttivi e degli insediamenti²⁶.

Al di là di giocare un ruolo funzionale nella vita marittima, la costa è ben presente nella vita spirituale di molte popolazioni costiere; i confini sono

²⁵ Westley e Dix 2006, p. 13; Torben et al. 2001, pp. 595-597.

²⁶ Tomalin 2000, p. 85; Westerdahl 2006, pp. 77-78.

importanti in molti sistemi di credenze, e la costa è tra i limiti naturalmente più evidenti, rendendolo un luogo adatto per lo sviluppo della spiritualità²⁷.

1.4 *Teoria e metodologia nell'archeologia costiera*

1.4.1 *Teoria*

Gran parte dell'iniziale sviluppo teorico dell'archeologia costiera si era basato sui problemi relativi al possibilismo ambientale e a spiegazioni sull'uso del litorale. Mentre l'ambiente rimane tuttora un obiettivo di ricerca fondamentale nell'archeologia costiera, che risulta appropriato dato che le coste sono tra gli ecosistemi più dinamici del pianeta, le interpretazioni archeologiche sul ruolo che la natura gioca nelle occupazioni umane litoranee sono diventate molto più sfumate. Vi è, inoltre, una crescente letteratura che tratta argomenti quali l'identità sociale, la percezione della costa, e il ruolo del cambiamento costiero nella formazione dello stato. Molta della recente archeologia costiera mette in primo piano l'identità sociale e le azioni delle popolazioni del passato; questi studi sono ancora rivolti verso le attività economiche e i cambiamenti ambientali, che sono condizionati e guidati dalle relazioni sociali, ma maggior peso viene dato alle azioni dei singoli individui e dei gruppi²⁸. Buona parte di

²⁷ Westerdahl 1992, pp. 5-14.

²⁸ Van der Noort e O'Sullivan 2006, p. 36, p. 42.

Si può, quindi, fare riferimento, da un lato, all'archeologia processuale e, dall'altro, all'archeologia post-processuale. L'archeologia processuale, o New Archaeology, nata negli anni Settanta negli Stati Uniti (si veda, in particolare, Binford), ritiene la cultura un adattamento extrasomatico, in cui tutto avviene in funzione dell'ambiente: i processi insediativi, della produzione e della vita seguono regole di efficienza/razionalità ecologica ed economica (approccio ecologico ed economico = paesaggio visto come spazio in cui si trovano materie prime e si organizzano scambi e produzioni). L'approccio processuale considera la formulazione di ipotesi e la costruzione di "modelli" (derivati anche da confronti etnografici e dalla sperimentazione) come il procedimento più appropriato; il ricorso all'uso di modelli si collega alla necessità di dare un significato al record archeologico, che Binford (1980, p. 4) considera come uno "static pattern of associations and covariations among things distributed in space". Questo approccio si è, però, spesso tradotto in una visione troppo "funzionalista" delle vicende umane, in quanto ha attribuito un'importanza preponderante all'ambiente e alla sussistenza più che ai fattori sociali.

L'approccio post-processuale, risalente agli anni Ottanta, è nato dalla necessità di dare maggiore importanza agli aspetti ideologici e simbolici della società; si interroga su come viene visto e su cosa significa il paesaggio per l'uomo. In particolare, Ian Hodder mette in risalto il ruolo del contesto specifico e dei singoli individui che lo compongono, e ritiene fondamentale la valorizzazione degli

questa ricerca è pensata per indagare come le persone concepivano la costa, quali particolari informazioni ricavavano da essa, come i ritmi naturali della costa strutturavano le loro vite, come valutavano ed interagivano con gli ambienti litoranei, e come interagivano con le altre popolazioni costiere e con quelle che abitavano nell'entroterra. La logica di base è che la costa sia ovviamente un ambiente diverso dai territori montuosi e che possieda differenti spazi, risorse, e ritmi che probabilmente forniscono potere a coloro che hanno le conoscenze e le capacità per utilizzarli. Tali conoscenze, necessarie per poter abitare sulla costa, e la distinzione tra ambiente costiero e altipiani, portano a modelli di percezione univoci che rendono le comunità costiere una distinta sotto-cultura²⁹.

Un particolare esempio di questa diversità di percezione è il caso delle insenature; queste rappresentano dei rifugi sicuri per i navigatori, sono luoghi che è necessario conoscere ed in cui ripararsi nel caso di una tempesta o per ancorarsi durante la notte. Tuttavia, dalla prospettiva degli abitanti della terraferma, le baie ed i loro fiumi associati sono un ostacolo che richiede un'imbarcazione, un guado o un ponte³⁰.

Viaggiare per mare era generalmente più rapido e più facile su grandi distanze, rispetto allo spostarsi via terra: è infatti possibile muoversi 4 o 5 volte più rapidamente grazie ad una piccola imbarcazione o una canoa che a piedi, e per quel che riguarda l'era pre-moderna, un viaggio doveva essere abbastanza lungo da poter superare il costo del caricamento delle merci a bordo della nave e rendere il trasporto via acqua più efficace di quello via terra. La facilità dei rapporti tra popolazioni costiere che condividono lo stesso bacino d'acqua, in combinazione con le simili conoscenze di base, probabilmente simili percezioni del loro ambiente, e la natura spesso marginale di queste popolazioni in confronto agli abitanti degli altipiani nelle culture di tipo terrestre, ha spesso portato i popoli costieri a sviluppare una maggiore identificazione con comunità costiere geograficamente più distanti piuttosto che con comunità terrestri più

aspetti non materiali del vivere sociale, la ricerca delle credenze e dei pensieri degli individui. Il rischio che si corre, in questo tipo di approccio, è di forzare la dimensione simbolica (interesse per i decori, lo stile e per i caratteri non funzionali).

²⁹ Van der Noort e O'Sullivan 2006, p. 113.

³⁰ Westerdahl 2006, pp. 77-78.

vicine. La relativa assenza di difficoltà della natura dei viaggi via acqua ha portato a far risaltare più la distanza sociale rispetto alla distanza geografica. Questa generale identità marittima di gruppo spesso si manifesta archeologicamente nella relativa abbondanza di prodotti commerciali in zone costiere³¹.

Come per tutte le altre culture, l'identità sociale delle popolazioni costiere era in continuo sviluppo e modificazione. La teoria di Fernand Braudel sulla *longue durée*, e il suo interesse riguardo la continuità delle strutture sociali, pervade gran parte delle discussioni teoriche dell'archeologia costiera. Molti di questi studi sostengono che alcune strutture sociali siano state generate dal mare, e che queste strutture siano comuni tra coloro che vivono in specifiche zone di costa per un lungo periodo di tempo. Tuttavia, è anche possibile che la cultura costiera trascenda le aree geografiche, e stabilisca una continuità non solo attraverso il tempo ma anche attraverso lo spazio; anche questo è un ragionamento interessante, poiché consente l'analisi di una cultura costiera ben definita, anche se non unitaria³².

Quando ben applicata, la teoria della *longue durée* può essere uno strumento molto efficace per studiare la costa; O'Sullivan A., per esempio, sostiene che gli sbarramenti per i pesci siano delle evidenze di continuità multigenerazionale delle tradizioni presso le popolazioni costiere Irlandesi e Inglesi, nonostante grandi sconvolgimenti, come l'invasione Anglo-Normanna. Di fatto, egli suggerisce che le nasse medievali abbandonate possano essere state riutilizzate centinaia di anni più tardi come ricordo delle locali comunità di pescatori e come luogo in cui potrebbero trovarsi le migliori zone di pesca, dando ai siti archeologici in ambienti marini un ruolo di tipo culturale³³.

La continuità culturale è una prospettiva teorica applicabile all'archeologia costiera, ma si basa soprattutto su presupposti di stabilità nell'ambiente costiero. Vi è, invece, un considerevole numero di ricerche che dimostrano il dinamismo del litorale: non solo l'ambiente costiero non è uniforme da un'area geografica

³¹ Hugill 2005, p. 108.

³² Aberg e Lewis 2000, pp. 39-50; Rönnby 2007, pp. 65-68.

³³ O'Sullivan 2004, p. 450.

all'altra, ma è anche soggetto a variazioni stagionali e a lungo termine, e queste ultime possono portare a una discontinuità della *longue durée*³⁴.

A seguito dell'ultimo massimo glaciale, i cambiamenti nel livello del mare, dovuti all'aggiunta di acqua di fusione e ai rimbalzi isostatici, potrebbero essere evidenti in alcune regioni e potrebbero essere stati abbastanza marcati da essersi conservati nella memoria culturale di altri gruppi. Oltre all'aumento e alla diminuzione del livello dell'acqua, i cambiamenti connessi a flora e fauna, come anche il clima di un ambiente, potrebbero aver avuto un profondo effetto sugli abitanti locali; in queste situazioni la continuità della cultura costiera fu quasi del tutto interrotta. Per queste culture, la *longue durée* potrebbe non essere applicabile, o forse sarebbe più adatta un'interpretazione più articolata, che tenga conto dell'impulso culturale di fronte a cambiamenti climatici e che si rivolga all'adattamento della vecchia cultura al nuovo ambiente.

L'archeologia costiera ha anche la possibilità di interagire con tematiche già consolidate, come le cause dell'origine dello stato. Douglas e James Kennett (2006), ad esempio, sostengono che il cambiamento del livello del mare ed il connesso cambio climatico facessero parte del processo che portò alla prima formazione statale in Mesopotamia meridionale. Semplificando il loro modello, essi ritengono che l'innalzamento dei livelli marini consentì una maggiore irrigazione ed aumentò la capacità di produzione delle terre della Mesopotamia meridionale; tuttavia, quando l'aumento del livello del mare diminuì, le richieste sul territorio superarono la capacità della popolazione di sostenerle, provocando l'aggregazione e la competizione tra gruppi. Così, la risposta dell'uomo al cambiamento del livello del mare, in connessione con altri fattori come la delimitazione, la crescita della popolazione, i conflitti, il commercio, e l'irrigazione, portò alla formazione del primo stato.

Il ruolo della costa è presente anche in discussioni che riguardano la transizione di alcuni stati rivolti verso il mare in stati dell'entroterra, orientati quindi verso l'interno, durante i periodi post-medievali e moderni. All'inizio del 1.400 circa, gli stati marittimi erano in grado di controllare vaste aree grazie al potere navale e del commercio; anche se ad ampio raggio, questo potere era

³⁴ Westley e Dix 2006, p. 11.

relativamente debole, poiché il controllo sul mare era condizionato dalla portata dei cannoni navali e dalla capacità di isolare i porti. Prima del 1800 circa, la gran parte della popolazione non viveva molto lontano dal mare, anche se né noi né loro li classificheremmo come “gente di mare”. Con il XIX secolo, e nuove tecnologie come il telegrafo e la locomotiva, così come una migliore gestione burocratica, divenne possibile, per popolazioni e stati, espandersi molto più nell’entroterra. Questi stati orientati verso l’interno, basati sul solido controllo di enormi distese di terreni, oscurarono rapidamente gli stati marittimi durante i secoli XIX e XX. Tale cambiamento può parzialmente essere responsabile della relativa trascuratezza delle coste da parte degli archeologi del XX secolo e può spiegare perché molte culture marittime, come quelle Inglesi e Irlandesi, siano state all’avanguardia nell’archeologia costiera³⁵.

Forse però, l’aspetto più comunemente indagato dell’archeologia costiera è la relazione tra archeologia costiera e ambiente litoraneo. Il contesto costiero è, infatti, tra gli ambienti più dinamici e fragili della terra, e questo rende difficile separare l’archeologia di questa regione dai problemi ambientali. Allo stesso modo, gli archeologi costieri sono spesso politicamente impegnati nella protezione ambientale a causa della reale minaccia che il cambiamento ambientale pone sulle risorse che essi studiano³⁶.

Gran parte dell’attenzione archeologica sull’ambiente costiero, di conseguenza, può essere divisa in due categorie: una che si occupa del cambiamento nell’ambiente costiero causato sia da forze antropiche sia naturali, ed una che si interessa dell’adattamento e della gestione dei cambiamenti nell’ambiente costiero e il loro impatto sui siti archeologici.

Gli uomini influenzano qualsiasi territorio in cui si stabiliscono, e la costa, con la sua tendenza a riunire sia gli impatti sulla terra che sull’acqua, è intensivamente e regolarmente intaccata dagli uomini, sia intenzionalmente sia involontariamente³⁷. Alcune di queste alterazioni, come la raccolta di sedimenti attorno ad argini e banchine, e l’estrazione di pietre, avvengono direttamente sulla costa, ma altre, incluso l’aumento della sedimentazione proveniente da

³⁵ Hugill 2005, p. 108.

³⁶ Walker 1990, p. 275; Van der Noort e O’Sullivan 2006, p. 147.

³⁷ Halpern et al. 2008.

campi arati e l'aumento del deflusso dai canali urbani, sono ben presenti nell'entroterra. Mentre l'intensità di questi effetti antropici aumenta drammaticamente con la Rivoluzione Industriale, vi sono comunque molte evidenze delle alterazioni umane lungo la costa a partire dall'antichità. A rendere ulteriormente complesso lo studio dei cambiamenti costieri vi è il fatto che molti degli impatti umani sul paesaggio sono a livello del terreno e delle sostanze nutritive e, come dimostra l'aumento del livello del mare a seguito dell'ultima grande glaciazione, l'ambiente naturale è capace di drastiche oscillazioni senza un sostanziale apporto umano³⁸.

La difficoltà nell'analizzare i cambiamenti culturali e naturali dell'ambiente ha portato gli archeologi costieri e altri scienziati ad adottare un approccio ecologico; in questo metodo di studio, gli uomini vengono considerati all'interno del loro ambiente, piuttosto che al di fuori di esso, e vengono studiate le complicate relazioni tra azioni e reazioni umane e ambientali. Il problema è che non sono disponibili molti validi dati ecologici prima del XX secolo, e la maggior parte degli studi ecologici considera solo pochi decenni; di conseguenza, la maggioranza dei dati sono stati raccolti in modo adeguato solamente dopo che gli uomini hanno cominciato a danneggiare drasticamente l'ambiente, e comunque la gran quantità dei risultati non rappresentava l'aspetto preistorico. Alcuni archeologi e storici hanno fatto un passo avanti per colmare questo vuoto: molti dati archeologici provengono dagli *shell middens* e interpretano i cambiamenti nella rappresentazione delle specie sia come risultato della predazione umana sia come conseguenza dei cambiamenti causati dall'uomo sull'ambiente fisico³⁹. Vi è inoltre una crescente letteratura riguardante l'ecologia storica che si basa su ricerche d'archivio, ed è utile come collegamento tra i risultati archeologici e le ricerche sul cambiamento ambientale costiero, marittimo e globale⁴⁰.

Alla luce di questi cambiamenti fisici e biologici nella costa, molti archeologi si preoccupano della protezione del nostro patrimonio costiero. Oltre all'erosione, lo sviluppo umano è il maggior pericolo per i siti archeologici

³⁸ Walker 1990, pp. 271-278; Steffen et al. 2004, pp. 11-15.

³⁹ Rick e Erlandson 2008, p. 4.

⁴⁰ Halpern et al. 2008, p. 951.

costieri, e un numero non noto di siti viene irrimediabilmente perduto ogni anno⁴¹.

Mentre la conservazione delle risorse, sia naturali che culturali, si trova ad affrontare il fatto che la costa continuerà a modificarsi, gli effetti di questo cambiamento si fanno sentire in modo molto più serio per il patrimonio costiero. È irrealizzabile preservare e proteggere tutti i siti costieri, ma è importante documentarli tutti; in questo modo avremo una banca dati che raccoglie ciò che è stato perso e quale tipologia di siti un tempo occupavano il paesaggio. Questa banca dati sarà utile non solo come strumento di ricerca per studiare le popolazioni costiere del passato, ma anche come mezzo per gestire i rimanenti siti costieri ed esprimere giudizi su quali tipi di risorse siano da proteggere.

1.4.2 *Metodi e tecniche*

Gli archeologi costieri dovrebbero sempre utilizzare la notevole quantità di ricerche condotte sull'ambiente naturale dei litorali e degli estuari in preparazione di qualsiasi indagine sul litorale. Le ricognizioni costiere dovrebbero essere condotte in momenti di bassa marea per sfruttare il massimo di battigia esposta. Queste indagini possono essere completate a piedi, e maggiore è la variazione della marea, maggiore è la sponda che può essere opportunamente esaminata; la mancanza di variazione di marea è una delle principali differenze tra il condurre una ricerca costiera sull'oceano e una ricognizione lungo le rive di un lago o di un mare di dimensioni ridotte. Comunque, anche in un ambiente lacustre, o lungo coste che hanno poca variazione nel livello dell'acqua, possono essere impiegate sia indagini con sommozzatori, sia a piedi sulla terra esposta, e il telerilevamento. La combinazione di sub-bottom profiler o radar, che penetra attraverso il terreno, e l'analisi dei sedimenti della costa e di quelli presenti in mare aperto, possono essere utili alle indagini costiere, permettendo la ricostruzione dell'antica battigia e degli ambienti ad essa connessi⁴².

⁴¹ Erlandson e Fitzpatrick 2006, p. 18.

⁴² Gearheart 2013, pp. 90-113; Quinn 2013, pp. 68-89.

A prescindere dalla variazione di marea all'interno dell'area di ricerca, gli archeologi dovrebbero tenere presente l'altezza e la tempistica delle maree, in quanto influenzano la sicurezza dei operatori e la loro capacità di localizzare e potenzialmente scavare dei siti⁴³.

Concettualmente la costa dovrebbe essere vista dall'acqua sia in situazione di bassa che alta marea. Molti abitanti della costa avrebbero riconosciuto i siti costieri da questa posizione piuttosto che dall'entroterra; molte domande sulla posizione e sull'importanza dell'abitato costiero possono, quindi, trovare risposta semplicemente osservando un sito dall'acqua.

L'archeologo dovrebbe considerare l'integrità del sito rispetto alla sua conservazione a lungo termine. Molti preziosi siti costieri sono stati identificati in ambienti a bassa energia, come ad esempio a Goldcliff, lungo il fiume Severn, in Inghilterra, dove si sono conservate le impronte di uomini e bestiame⁴⁴. Inoltre, navi arenate o affondate in acque a alta energia e poco profonde si possono preservare al di sotto del fondale da processi di sedimentazione e copertura. I siti che si collocano in aree di moderata o alta energia sono quelli più a rischio. Un sito costiero che riesce a mantenere parte della sua integrità, possiede il potenziale per rispondere a importanti quesiti e problemi della ricerca, e se risulta minacciato dall'erosione, dallo sviluppo e da altre forze, dovrebbe essere preferenzialmente studiato, ed eventualmente scavato, prima di un sito che non corre nessun rischio⁴⁵.

Attraverso un'adeguata gestione, attenti scavi, continue indagini e una giudiziosa conservazione, la documentazione archeologica costiera può essere un'enorme banca dati di informazioni sulla cultura marina. Questi elementi possono fornire una risposta alle molte domande che riguardano le popolazioni marittime del passato, comprendendo studi cognitivi e problemi legati alla sussistenza. Si può, dunque, dire che l'archeologia costiera ha il potenziale per formare un ponte teorico e tangibile tra archeologia subacquea e terrestre, rendendola fondamentale per studiare il passato marittimo.

⁴³ Fulford et al. 1997, pp. 83-94.

⁴⁴ Goldberg e Macphail 2006, p. 193.

⁴⁵ McNinch et al. 2006, pp. 291-293.

Capitolo 2

L'ambiente costiero

La zona costiera può essere considerata come il luogo di transizione tra ambiente continentale e marino ed è costantemente soggetta ad eventi esterni, che non solo contribuiscono alla sua modificazione ma possono anche costituire un pericolo per lo stesso ecosistema e per la vita umana. Si tratta di un sistema complesso e dinamico in cui sono attivi numerosi fattori sia naturali (clima, geologia) che antropici (Fig. 1).

Gli utilizzi e le modificazioni della zona costiera attuali trovano origine nel passato, anche se l'intensità dell'impatto antropico sulle risorse della costa è drammaticamente aumentato durante la Rivoluzione Industriale. A causa del carattere attivo dei processi naturali che agiscono sulla costa, siano essi oceanografici, terrestri, atmosferici o biotici, e poiché l'uomo ha spesso risposto in modo altrettanto aggressivo, risulta difficile distinguere tra cambiamenti addebitabili alla natura o all'uomo; nella maggior parte dei casi, inoltre, gli uni possono aggravare gli altri e diventa quasi impossibile separare la causa dall'effetto.

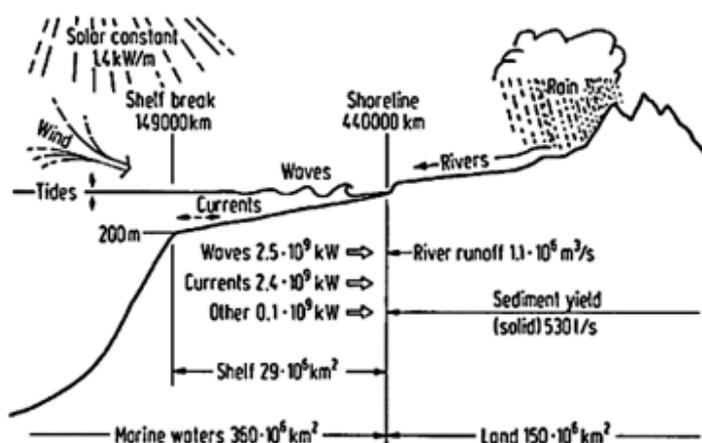


Fig. 1 – Le fonti energetiche della zona costiera (da Inman, Brush 1973, 20).

La difficoltà nel quantificare le modificazioni lungo la costa deriva principalmente dai seguenti fattori: la zona costiera globale comprende un

numero di forme notevolmente diverse tra loro; è quasi interamente influenzata da processi naturali e attività umane; solo in epoca recente sono stati fatti dei confronti tra tutte le principali nazioni costiere mondiali⁴⁶.

In letteratura, sono stati presentati diversi criteri di classificazione delle coste; esistono, infatti, suddivisioni basate sulla morfologia e sulla litologia costiera e distinzioni che fanno, invece, riferimento ai processi di formazione di tale ambiente. Il primo tipo di classificazioni permette di differenziare le coste alte da quelle basse: le prime sono morfologicamente complesse ed hanno una certa altezza e pendenza, possono essere rappresentate da rías e falesie; le seconde risultano quasi piatte e sono costituite per la maggior parte dalle spiagge. Se si fa, invece, riferimento alla genesi delle coste, è possibile identificare ambienti litoranei di origine endogena (ad esempio coste di formazione tettonica, come quelle vulcaniche), morfologica (rías e fiordi, rispettivamente derivanti da valli fluviali e glaciali) e biologica (generati dall'azione di organismi marini, come le barriere coralline).

2.1 *Morfologia costiera*

Dal punto di vista dello sfruttamento umano, il tipo di morfologia presente lungo la linea di costa è estremamente importante. Le forme possono variare dalle coste rocciose, prive di sedimenti, ai delta a rapido accrescimento; vi sono, poi, spiagge, lagune, estuari e dune.

2.1.1 *Coste rocciose*

Le coste rocciose rappresentano circa l'80% della linea costiera mondiale e possono essere composte da rocce 'dure', rocce 'morbide' (dette anche terrose) o da ghiaccio (circa lungo il 5% della linea di costa globale). Le coste rocciose "dure" sono stabili e possono presentare baie e grotte; quelle formate da terra o

⁴⁶ Durante gli anni Ottanta del XX secolo, per esempio, sono state pubblicate alcune valutazioni preliminari sull'erosione delle spiagge, sulla variazione del livello del mare e sull'artificializzazione. Bird 1985, pp. 12-50; Pirazzoli 1986, pp. 1-5; Walker 1988, 1-8.

da ghiaccio sono invece instabili, e subiscono erosione, frane e distacco di iceberg⁴⁷.

La morfologia di questo tipo di coste può derivare da diversi fattori, tra cui le condizioni climatiche, il regime del moto ondoso e delle maree, i cambiamenti relativi del livello del mare, la struttura e la litologia delle rocce stesse. Le scogliere scoscese (falesie), ad esempio, si sviluppano in ambienti fortemente influenzati dall'azione delle onde; mentre le coste rocciose convesse si formano in aree dove prevalgono i processi subaerei. Inoltre, anche la disgregazione chimica riveste un ruolo importante nella creazione delle coste rocciose⁴⁸.

2.1.2 Spiagge e dune costiere

Le spiagge possono essere definite come la tipologia litoranea maggiormente dinamica. Si tratta di depositi costieri composti da sedimenti incoerenti di origini e dimensioni variabili (sabbie fini, ciottoli, ghiaie, massi); l'apporto di materiali provenienti dall'entroterra, dal mare aperto, dalla costa o di formazione biotica garantisce l'esistenza di questo tipo di ambiente, che può appunto possedere lunghezze, ampiezze, composizioni e strutture molto diverse da luogo a luogo⁴⁹.

Circa il 20% delle coste globali sono sabbiose e comprendono dune o altri terreni deposizionali sabbiosi; circa il 70% di queste spiagge, corrispondenti al 14% della totalità della costa, sta subendo il fenomeno dell'erosione, mentre meno di un settimo è soggetto a progradazione⁵⁰.

La spiaggia può essere suddivisa in tre unità principali: una zona sommersa (*shoreface*), costantemente sotto il livello di bassa marea, una zona intertidale (*foreshore*), che viene alternativamente inondata ed esposta all'atmosfera ad opera del moto ondoso e delle maree, e una zona emersa o sopratidale (*backshore*), delimitata nell'area retrostante da eventuali sistemi dunali presenti⁵¹ (Fig. 2).

⁴⁷ Goldsmith 1977, p. 241.

⁴⁸ Sunamura 1992, pp. 184-209.

⁴⁹ Davis 1982, pp. 140-141.

⁵⁰ Bird 1985, pp. 12-50.

⁵¹ Ricci Lucchi 1980, pp. 98-104.

Le dune costiere sono presenti in tutti i continenti e rappresentano quindi una delle forme litoranee più comuni; il loro sviluppo dipende dall'azione eolica e da un'adeguata disponibilità di materiale sabbioso; formano dei cumuli o delle creste di sabbia che, una volta stabilizzati, possono o meno essere coperti da vegetazione. Si tratta di un ambiente molto fragile e vulnerabile ma che risulta essenziale nella protezione della linea di costa, in quanto agisce come una sorta di barriera contro l'azione delle onde durante gli eventi di tempesta, difendendo la terra retrostante dall'intrusione salina; inoltre, costituisce una riserva di sabbia per il ripascimento e il mantenimento delle spiagge sottoposte ad erosione⁵².

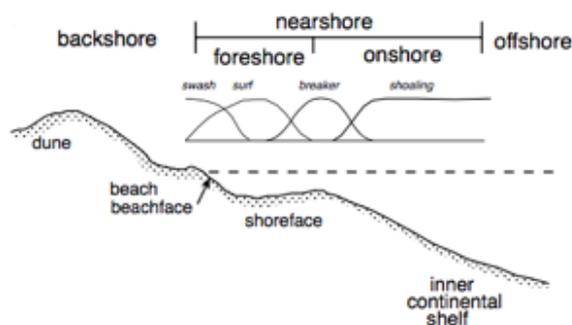


Fig. 2 – Profilo trasversale di una spiaggia (da Woodroffe 2002, 3).

2.1.3 Delta, estuari e lagune

I delta occupano attualmente circa l'1,5% delle linee di costa globali; la loro configurazione e ampiezza dipendono non solo dai sedimenti trasportati verso il mare, ma anche dalla loro redistribuzione operata dalle onde e dalle correnti⁵³; inoltre, le aree deltizie possono comprendere diversi sub-ambienti come paludi, spiagge, laghi, barriere. Sono dei territori litoranei costituiti da accumuli sedimentari fluviali, sia di tipo subaereo sia subacqueo, che hanno formato un paesaggio alluvionale tramite deposizione alla foce di un fiume. Una pianura deltizia può essere divisa in due zone: una superiore, in cui la deposizione è principalmente fluviale e la vegetazione è quella tipica degli ambienti di acqua dolce, ed una inferiore, influenzata sia dalle acque dolci fluviali che da quelle salate marine, contenente quindi specie in grado di tollerare l'acqua salmastra.

⁵² Nordstrom 1994, pp. 497-500.

⁵³ Il termine "delta" viene fatto risalire a Erodoto (V secolo a.C.) il quale notò una similarità geometrica tra il tratto di terra alla foce del fiume Nilo e la lettera greca Δ; Moore e Asquith 1971, pp. 2563-2565.

I delta sono un sistema costiero molto dinamico e possiedono un elevato valore ecologico ed economico; in presenza di un adeguato apporto sedimentario fluviale e di una minima interferenza antropica, generalmente riescono a mantenere la loro integrità o possono continuare ad espandersi verso il mare. L'aumento del budget sedimentario associato con la nascita dell'agricoltura e il disboscamento nelle aree dei bacini idrografici montani ha portato, invece, ad un'accelerazione nella crescita di molti delta nel corso degli ultimi 2.000 anni⁵⁴. Purtroppo, la recente industrializzazione e lo sfruttamento dei bacini ha generato una situazione opposta, ossia una riduzione della quantità di sedimenti fluviali; tale diminuzione, insieme ai fattori isostatici, alla compattazione sedimentaria e alla subsidenza delle aree deltizie, ha trasformato molte zone da una condizione di crescita attiva ad una fase distruttiva⁵⁵.

Gli estuari si formano con l'aumento del livello del mare e si sviluppano soprattutto dove sono presenti pianure costiere piuttosto estese. Fisiograficamente si possono distinguere quattro tipi di estuari: fiordi, che si sono formati da ghiacciai vallivi in territori montuosi, con versanti ripidi e bacino profondo; rías (o valli fluviali sommerse), tipici delle coste alle medie latitudini; lagune chiuse da barriere, caratteristici delle spiagge basse e sabbiose; estuari di origine tettonica, localizzati soprattutto nei graben, nelle depressioni tettoniche o nelle caldere sommerse⁵⁶.

In origine questi specchi d'acqua sono caratterizzati da una foce piuttosto ampia, successivamente, a causa dei processi di sedimentazione, molti estuari vengono separati dal mare dalla formazione di barriere; l'acqua che si può accumulare tra questi cordoni sabbiosi e la terraferma viene solitamente definita come laguna. Questo ambiente, in genere di bassa profondità, è connesso al mare attraverso alcuni canali e si mantiene grazie ad una combinazione tra apporti fluviali e afflusso legato alle variazioni di marea; tende a riempirsi di sedimenti, tra cui anche sabbia (soprattutto in occasione di tempeste), e spesso evolve in un acquitrino o in un terreno paludoso⁵⁷.

⁵⁴ McManus 2002, pp. 155-157.

⁵⁵ Ericson et al. 2006, p. 75.

⁵⁶ Healy 2005, pp. 436-439.

⁵⁷ Oertel 2005, pp. 263-266.

Per quanto riguarda la nostra Penisola, la costa ha una lunghezza totale di circa 8.300 km, di cui 7.500 km sono coste naturali. Più di un terzo delle aree litoranee sono rappresentate dalla tipologia delle coste alte, che si trovano soprattutto lungo la Sicilia e la Sardegna e sulle regioni tirreniche; le coste basse sono, invece, diffuse in quasi tutta l'Italia, anche se un'attenzione particolare va rivolta alle rive adriatiche, costituite per la maggior parte da tratti sabbiosi o deltizi e da ambienti lagunari (i più estesi del Paese); generalmente, le spiagge italiane sono ampie e il 70% (3.720 km) delle coste basse rappresenta spiagge sabbiose o ghiaiose⁵⁸.

Tabella 1 – Distribuzione della costa italiana per tipologia		
Tipologia della costa ⁵⁹	km	%
Naturale	7.687	92,0
Artificiale	314	3,8
Fittizia	352	4,2
TOTALE	8.353	100

Tabella 2 – Distribuzione della costa naturale per tipologia		
Tipologia della costa	km	%
Alta	2.824	36,7
Bassa	4.863	63,3
TOTALE	7.687	100

2.2 Processi di formazione dell'ambiente costiero

Per gestire e tutelare adeguatamente l'ambiente litoraneo risulta necessario conoscere i processi formativi di tale area. Sebbene i tratti principali della costa derivino dall'attività tettonica a lungo termine, associata con il movimento delle placche terrestri, le caratteristiche più particolari sono il risultato di numerosi

⁵⁸ ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2011), Mare e ambiente costiero,

http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/tematiche2011/05_%20Mare_e_a_mambiente_costiero_2011.pdf/view; ultima consultazione 10/02/2017.

⁵⁹ La costa definita come "artificiale" è quella in corrispondenza dei manufatti e delle opere marittime realizzate a ridosso della riva; invece, quella in corrispondenza di foci fluviali, porti, e alcune tipologie di opere marittime di difesa che hanno modificato la morfologia dell'ambiente, viene chiamata "fittizia" (ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2009), Ambito costiero, <http://www.isprambiente.gov.it/files/tematiche2010/09-ambito-costiero.pdf/view>); ultima consultazione 10/02/2017.

processi fisici, chimici e biotici, e talvolta anche antropici, che hanno operato sia sott'acqua che in superficie.

Da quando il mare si è stabilizzato, raggiungendo l'attuale livello, tutti questi fenomeni hanno agito sulla costa e ad essi si sono aggiunti altri fattori, quali l'erosione e la subsidenza, che hanno contribuito alla modificazione della linea di riva.

2.2.1 *Fenomeni tettonici*

Su scala globale, la struttura e la configurazione delle coste sono determinate dalla tettonica a placche. Lungo i margini continentali attivi prevalgono profonde fosse oceaniche, piattaforme continentali strette, rilievi montuosi e isole frastagliate, denominate da Inman e Nordstrom come “coste di collisione”; questo tipo di costa è presente lungo l'intera linea costiera che delimita l'Oceano Pacifico ed è caratterizzata da attività vulcanica e sismica. Le coste che si trovano incorporate all'interno delle placche terrestri tendono ad essere, invece, tettonicamente passive, e sono dette “coste di distensione”; esempi di questa tipologia possono essere le coste orientali dell'America settentrionale, che presentano estese spiagge e ampie piattaforme continentali, e le coste Africane, solitamente più accidentate e spesso supportate da colline o altipiani. Le “coste marginali”, separate dagli oceani da archi insulari, sono delimitate da mari poco profondi e possono presentare vari altipiani; un buon esempio può essere la costa della Cina, con il suo alternarsi di promontori e pianure deltizie⁶⁰ (Fig. 3).

Oltre a determinare la quasi totalità delle forme costiere in tutto il mondo, i fenomeni tettonici influiscono anche sull'estensione e sulla litologia dei bacini di drenaggio, ed esercitano un lieve controllo sul clima e sulla vegetazione; sono quindi, responsabili, anche se indirettamente, della quantità e della tipologia dei sedimenti che vengono trasportati verso gli oceani. Lungo le coste di collisione, dove le pendenze sono piuttosto ripide e le distanze di drenaggio corte, la grana è di solido grossolana e la sabbia è il materiale maggiormente presente; lungo le coste di distensione, dove i gradienti fluviali sono lievi e le distanze lunghe, i

⁶⁰ Inman e Nordstrom 1971, pp. 10-11.

sedimenti hanno solitamente una grana fine e sono spesso ricchi di materiale organico⁶¹.

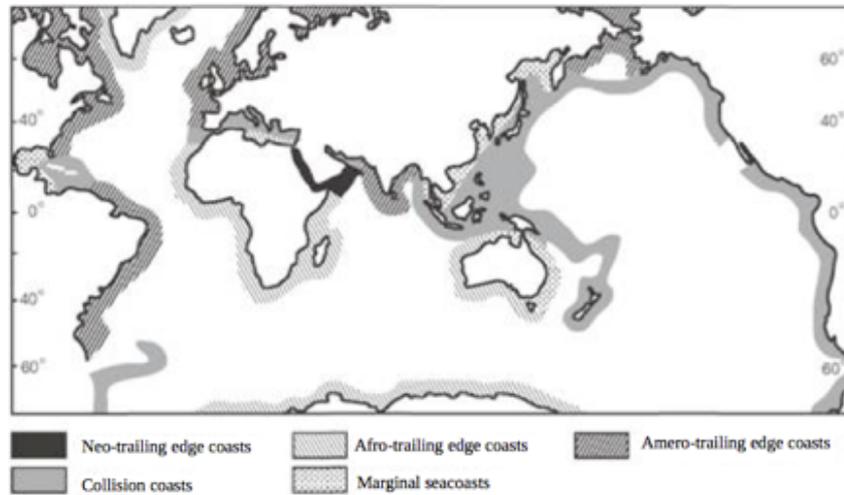


Fig. 3 – Distribuzione delle principali tipologie costiere (da Walker 1990, 272).

2.2.2. Fattori meteo-marini

I processi che forse condizionano maggiormente l'evoluzione costiera sono quelli associati al movimento delle acque, poiché controllano l'attività erosiva marina e il trasporto sedimentario⁶².

Esistono tre forze distinte che agiscono sulle masse d'acqua per generare le onde: quelle astronomiche, responsabili delle variazioni di marea; quelle impulsive, causate da terremoti, eruzioni vulcaniche e frane, che, sebbene siano relativamente rare, possono provocare onde di dimensioni notevoli, come ad esempio quelle degli tsunami; infine, le onde generate dalle forze meteorologiche sono importanti soprattutto per il loro impatto sulla modificazione costiera, in quanto, insieme alle correnti marine che esse stesse hanno prodotto, agiscono come fattori erosivi, trasportatori e deposizionali⁶³.

⁶¹ Kerr 1985, p. 260; Walker 1975, pp. 5-7.

⁶² I fenomeni erosivi possono portare, ad esempio, alla formazione di falesie (tramite l'abrasione di clasti contro strutture rocciose) o di grotte e scogli isolati (a causa dell'erosione bio-chimica o dell'erosione provocata dai processi di imbibizione e disseccamento). Il trasporto di sedimenti avviene, invece, grazie alla cosiddetta deriva litorale e consente la creazione di cordoni sabbiosi, tomboli e frecce litoranee.

⁶³ Weggel 1972, pp. 15-16.

La frequenza, il tipo e l'origine delle onde varia in modo più o meno uniforme lungo le coste, permettendo l'identificazione di specifici ambienti marini: quelli generati da onde di tempesta, o *storm surge* (ad alta energia) sono localizzati soprattutto lungo le coste di media latitudine, mentre ambienti derivati da onde lunghe, o *swell waves* (a bassa energia) sono piuttosto comuni a basse latitudini⁶⁴.

Anche il vento influisce sulla trasformazione del litorale, agendo sia in modo diretto, tramite erosione, trasporto e deposizione dei sedimenti (creando, ad esempio, le dune costiere), sia indirettamente, formando le onde che si abbattono lungo la costa.

2.2.3 Processi bio-chimici

Anche se solitamente sono meno significativi rispetto all'azione del moto ondoso, i processi chimici e biologici sono prevalenti in alcune zone costiere.

Gas, elementi e minerali in soluzione, particelle organiche e inorganiche all'interno dell'acqua, aria e sedimenti del fondale possono tutti essere chimicamente attivi. L'alterazione e la precipitazione chimica sono, infatti, importanti modificatori e creatori delle morfologie costiere. Il CaCO_3 (carbonato di calcio), SiO_2 (silice) e altri composti presenti nell'acqua marina rendono possibile la formazione di barriere coralline da parte di animali (come coralli ermatipici, gasteropodi vermetidi, vermi policheti) e piante (ad esempio le alghe calcaree)⁶⁵; inoltre, la maggior parte della vegetazione, soprattutto le mangrovie, presenti a basse latitudini, e la flora tipica delle paludi salmastre, a latitudini più elevate, riescono ad intrappolare i sedimenti, fornendo materia organica e aiutando la stabilizzazione delle linee di costa⁶⁶.

I processi geomorfologici abiotici (chimici o fisici) possono quindi influenzare gli organismi viventi (sia animali che vegetali), che a loro volta

⁶⁴ Davies 1980, pp. 25-45.

⁶⁵ Jablonski 1982, pp. 679-680.

⁶⁶ Walker 1990, p. 273.

possono modificare le caratteristiche ambientali; lo studio delle interazioni tra fattori geomorfologici e ecologici viene definito come bio-geomorfologia⁶⁷.

2.2.4 *Variazioni del livello del mare*

I movimenti globali di abbassamento e/o di innalzamento del livello del mare sono dovuti ad un insieme di fattori glacio-idro-eustatici e tettonici.

Il termine eustatismo è stato coniato dal geologo Suess nel 1888 e deriva dalle parole greche *eu* “bene” e *statikos* “fisso”; tale definizione fu introdotta per spiegare le fasi di trasgressione e regressione osservate nel livello del mare, che causavano l’inondazione e l’esposizione delle superfici continentali. I cambiamenti del livello eustatico del mare sono dovuti a diversi processi che provocano variazioni nel volume o nella massa degli oceani e sono indipendenti dai fattori locali, infatti vengono appunto definiti come globali⁶⁸. Le modificazioni nella massa sono una conseguenza dell’accrescimento o della fusione delle calotte glaciali (glacio-eustasia) e della redistribuzione delle acque tra differenti bacini idrologici (idro-eustasia); le variazioni nel volume sono causati da cambiamenti nella densità dell’acqua degli oceani, risultanti dal raffreddamento o riscaldamento delle masse liquide, o nella loro salinità.

Inoltre, le variazioni nel volume dei bacini possono essere dovute anche a forze di tipo geologico, come gli spostamenti tettonici del fondale marino o la sedimentazione, fattori che variano in base alla localizzazione geografica. Ad esempio, nel Mediterraneo centrale, la risalita del livello del mare è connessa all’abbassamento del fondale marino e al conseguente sollevamento delle terre continentali⁶⁹. Anche l’Italia è un’area attiva tettonicamente e presenta regioni (Calabria e Sicilia) con settori di sollevamento, zone soggette ad abbassamento e altre che possono essere considerate stabili (Toscana, Sardegna e Lazio)⁷⁰.

⁶⁷ Baptist 2005, pp. 192-194.

⁶⁸ Tali oscillazioni glacio-eustatiche sono state ampiamente studiate da Lambeck (1993) e Peltier (1998).

⁶⁹ L’innalzamento del suolo avviene in modo diversificato tra nord e sud: in base alla maggiore o minore distanza dalle coltri glaciali variano, infatti, i tassi di sollevamento (più elevati a nord); ad esempio, vi è una differenza di quote di più di 1,5 m tra Mar Adriatico settentrionale e Mar Tirreno meridionale. Antonioli et al. 2007, p. 10; Rovere et al. 2016, p. 221.

⁷⁰ Pasquinucci et al. 2004, pp. 90-92.

Di queste oscillazioni nel livello del mare, verificatesi durante gli ultimi 2 milioni di anni, rimangono tracce nei resti fossili di alcuni organismi marini, che hanno registrato nel proprio guscio carbonatico le condizioni climatiche del periodo in cui vivevano (dal rapporto tra gli isotopi ^{16}O e ^{18}O si può capire se si sono verificati cambiamenti nella temperatura ambientale).

Lo studio di questi foraminiferi presenti nei fondali marini, dei sedimenti di spiaggia e delle incrostazioni su speleotemi in grotte sommerse ha permesso la definizione di una curva di oscillazione del livello marino: circa 125.000 anni BP, nell'ultimo periodo interglaciale (chiamato stadio isotopico 5.5 - Marine Isotope Stage 5.5), il livello medio del mare era circa +7 m rispetto a quello attuale; verso 22.000 anni BP, durante l'ultima fase fredda, è invece sceso a -130 m; quando 15.000 anni fa è iniziato il riscaldamento climatico, il mare ha subito un rapido innalzamento, per poi stabilizzarsi intorno a 6.500 anni fa⁷¹.

2.2.5 Subsidenza

Le coste possono essere modificate anche per effetto della subsidenza, cioè un movimento verticale verso il basso della superficie terrestre; tale fenomeno può essere connesso a fattori naturali, quali i movimenti tettonici e isostatici, le trasformazioni dei sedimenti e del livello di falda. Tuttavia, anche le attività antropiche, in particolare lo sfruttamento degli idrocarburi e della falda acquifera e le bonifiche idrauliche, possono influire sulla diminuzione della pressione superficiale dei fluidi che può portare alla compattazione dei sedimenti e alla conseguente subsidenza del suolo⁷². Risulta particolarmente pericolosa se si verifica in aree costiere poiché aumenta il rischio di inondazione.

2.3 Indicatori del livello relativo del mare

I resti archeologici situati in aree costiere in cui non vi sono notevoli differenze di marea, come nel Mar Mediterraneo, possono rappresentare

⁷¹ Antonioli e Silenzi 2007, p. 10.

⁷² Pirazzoli 2000, pp. 15-16.

un'importante fonte di informazioni per la determinazione delle variazioni relative del livello mare nel corso del tempo.

Per livello relativo del mare si intende quello misurato tra la superficie marina e una struttura posta sulla terraferma; i cambiamenti di tale livello possono essere dovuti ai sollevamenti terrestri, alla subsidenza e ai vari movimenti eustatici del mare.

Alcuni siti e strutture archeologiche attualmente sommersi a causa delle variazioni del livello relativo del mare sono stati ampiamente studiati da numerosi ricercatori nel corso del secolo scorso e possono essere di grande aiuto per la ricostruzione delle antiche linee costiere.

Ad esempio, all'inizio del XX secolo, quando il mondo scientifico sosteneva la stabilità del livello del mare durante i tempi storici, si generò un dibattito riguardo la posizione dei resti archeologici sommersi nei pressi delle coste del Mediterraneo (in particolare a Delos, Lefkada ed Egina) che vide opporsi Negrice e Cayeux: secondo il primo, l'immersione osservata in questi siti non era connessa a fenomeni locali ma piuttosto ad un generalizzato aumento del livello del mare in tutto il bacino; al contrario, Cayeux suggeriva che il Mar Mediterraneo non fosse variato in modo significativo dall'antichità. Questo scontro terminò verso gli anni '50 del secolo scorso, quando l'invenzione delle tecniche di datazione radiometriche e l'introduzione di nuove metodologie ad elevata risoluzione consentirono di formulare delle cronologie molto più precise⁷³.

Recentemente Auriemma e Solinas hanno presentato una sintesi sui vari *markers* archeologici che permettono di indagare i cambiamenti del livello relativo del mare; si possono distinguere varie categorie, tra cui le principali sono: strutture sommerse, relitti, fondazioni portuali; elementi di interfaccia (installazioni portuali e peschiere); resti di edifici emersi (unità residenziali, quartieri urbani, tombe, cave, terme, impianti idraulici)⁷⁴ (Fig. 4).

Al fine di ottenere informazioni valide è necessario verificare la funzione "marittima" della struttura e chiarirne la tipologia e l'utilizzo; inoltre, bisogna

⁷³ Morhange e Marriner 2015, pp. 146-147.

⁷⁴ Auriemma e Solinas 2009, pp. 134-135.

analizzare la tecnica costruttiva, il periodo di costruzione e le dinamiche di abbandono o di distruzione; si rivela dunque fondamentale un lavoro di tipo multidisciplinare, che unisca archeologi, geomorfologi e geofisici, per calcolare la posizione originale dei resti archeologici e definire la loro relazione con la linea di costa ad essi contemporanea. La cosiddetta ‘altezza funzionale’ di un indicatore archeologico corrisponde all’elevazione di specifiche parti architettoniche rispetto ad uno stimato livello medio del mare al tempo della sua costruzione, in confronto a contesti moderni; tale altezza varia in base al tipo di struttura, alla sua funzione e alle caratteristiche idrodinamiche della costa⁷⁵.

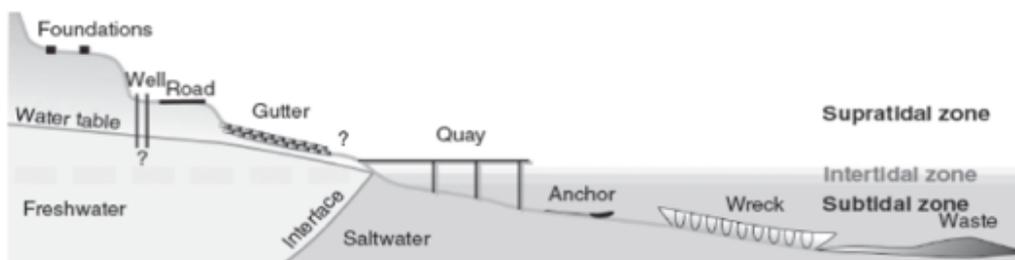


Fig. 4 – Indicatori archeologici del livello relativo del mare presenti nella zona subtidale, nella zona intertidale e nella zona sopratidale (da Morhange e Marriner 2015, 148).

I *markers* archeologici ritenuti maggiormente attendibili sono le peschiere, in quanto hanno avuto una relazione molto precisa con il livello del mare e con le variazioni di marea al momento della loro costruzione tra I secolo a.C. e I secolo d.C. I muri perimetrali esterni della vasca non possono fornire informazioni accurate poiché la loro sommità non era direttamente connessa al livello medio del mare ed inoltre vi è una grande varietà di tipologie architettoniche; al contrario, analisi più precise sono in genere possibili facendo riferimento alle altezze funzionali dedotte dalle crepidini interne (originariamente usate per scopi di manutenzione), dai canali di adduzione (per garantire il ricambio d’acqua) e dalle grate di chiusura intertidali⁷⁶.

All’interno di contesti portuali, le superfici di moli e banchine possono essere considerate dei buoni indicatori del livello del mare, permettendo di determinare il pescaggio delle antiche imbarcazioni, le oscillazioni di marea, la funzionalità

⁷⁵ Marriner e Morhange 2006a, p. 14; Auriemma e Solinas 2009, pp. 135-136.

⁷⁶ Evelpidou et al. 2012, p. 260.

del porto e la sua organizzazione interna; purtroppo, gran parte di queste strutture si trova attualmente in un pessimo stato di conservazione a causa dell'erosione marina e degli interventi antropici sulla costa⁷⁷.

Per una valutazione più completa delle oscillazioni marine può essere integrato anche l'utilizzo di indicatori biologici, databili al radiocarbonio; uno studio di questo tipo si basa sul riconoscimento della distribuzione verticale di flora e fauna sia lungo le coste rocciose sia sulle strutture archeologiche, che rappresenta un modello di fasce ecologiche noto come "zonazione" biologica; tali *markers* sono influenzati da vari fattori fisici quali l'intensità della luce, la torbidità, la salinità, la temperatura⁷⁸. Il cosiddetto "livello biologico del mare", o livello medio del mare, corrisponde al limite tra la zona intertidale (regolarmente sommersa dalle maree e dalle onde) e la zona subtidale e subisce delle modificazioni diverse in base alla località; per quanto riguarda i bacini portuali, essendo degli ambienti artificialmente protetti, essi permettono una zonazione biologica molto precisa, che non viene influenzata in modo significativo da eventi ad elevata energia⁷⁹.

Se si verificano dei cambiamenti nel livello del mare a causa di spostamenti della crosta terrestre, anche la zonazione biologica subirà delle modifiche: le specie costiere si sposteranno in una fascia diversa, adattandosi al nuovo livello marino⁸⁰. In molti casi, come nei porti che hanno subito sollevamento tettonico o interrimento, queste fasce rimangono fossilizzate e possono essere utilizzate come indicatori; confrontando la zonazione biologica attiva e quella fossile si riesce quindi a definire l'antico livello del mare. Studi di questo tipo sono stati effettuati, ad esempio, nel porto romano di Marsiglia, in Francia, e sulle colonne del mercato di Pozzuoli, in Italia meridionale⁸¹.

⁷⁷ Auriemma e Solinas 2009, p. 139.

⁷⁸ Kelletat 1988, pp. 219-220; Morhange e Marriner 2015, p. 147.

⁷⁹ Laborel 1986, pp. 281-310.

⁸⁰ Stewart e Morhange 2009, p. 390.

⁸¹ Morhange et al. 2001, pp. 320-321.

Capitolo 3

Fenomeni di degrado e di distruzione dell'ambiente costiero

Sono molti i fattori che nel corso delle ere geologiche hanno modellato e alterato la forma della costa; tra questi vi sono l'erosione costiera, la variazione del livello marino, le modificazioni delle condizioni climatiche (tassi di precipitazione, frequenza delle tempeste, intensità di tsunami e uragani), il trasporto di materiali da parte del moto ondoso, delle maree e delle correnti oceaniche, alcuni fenomeni geologici a carattere progressivo quali il bradisismo e la subsidenza; quest'ultima è spesso aggravata o addirittura indotta dalle attività antropiche (Fig. 5).

A seconda delle caratteristiche morfologiche della costa (sabbiosa, rocciosa, area deltizia, ecc.) questi processi possono avere una diversa influenza su uno specifico sito costiero; infatti, è possibile trovare i resti di un insediamento antico anche a diverse centinaia di metri di distanza dalla costa o completamente sommerso dall'acqua.

Le popolazioni che risiedono in aree costiere sono senza dubbio quelle più vulnerabili a questi pericoli naturali e necessitano della progettazione di strategie per poter convivere con tali rischi.

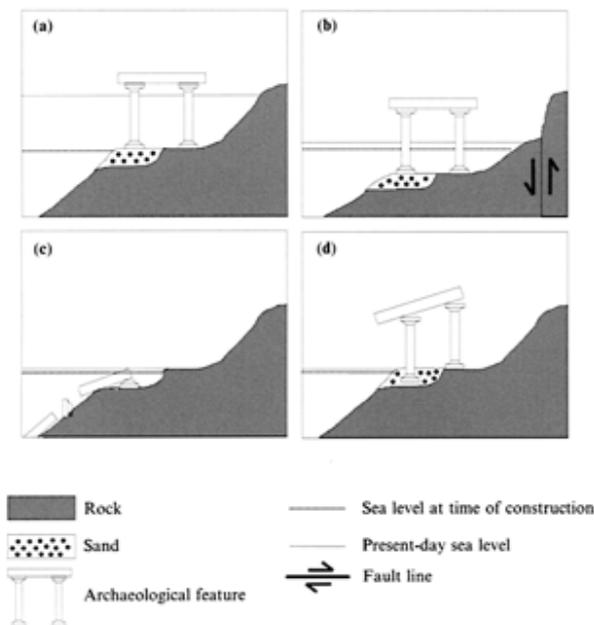


Fig. 5 – I principali tipi di modificazioni costiere che possono colpire le strutture archeologiche; a) cambiamenti del livello del mare, b) attività tettonica, c) erosione, d) fondazioni al di sopra di sedimenti non consolidati (da Galili e Sharvit 1998, 148).

3.1 Cambiamenti climatici: il riscaldamento globale

L'attuale aumento dei gas responsabili dell'effetto serra (anidride carbonica CO₂, metano CH₄, ossidi di azoto NO_x, ozono O₃) è un problema ormai noto e consiste nell'innalzamento delle temperature e nell'alterazione della circolazione sia nell'atmosfera sia nelle acque oceaniche, con conseguenti cambiamenti di tipo meteorologico.

Prima della Rivoluzione Industriale le concentrazioni medie di CO₂ erano circa 280 ppm (parti per milione), ora invece, a causa dell'incremento dell'uso di combustibili fossili, sono arrivate a oltre 400 ppm (Fig. 6). Dalla seconda metà del XX secolo, infatti, risultano aumentati il metano, derivante da allevamenti di ruminanti e risaie, gli ossidi di azoto, prodotti dai gas di scarico dei veicoli e da alcune lavorazioni agricole, e l'ozono, prodotto da reazioni chimiche di agenti inquinanti. L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)⁸² ha, inoltre, evidenziato che la temperatura media superficiale globale è aumentata da 0,3° a 0,6°C durante gli ultimi 100 anni⁸³.

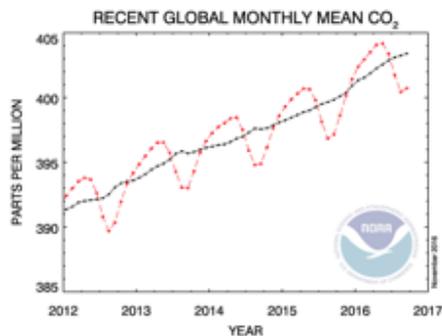


Fig. 6 – Andamento della CO₂ nell'atmosfera negli ultimi anni: la linea rossa tratteggiata rappresenta i valori medi mensili; la linea nera rappresenta gli stessi valori medi dopo aver subito la correzione per il ciclo stagionale (dati NOAA).

La relazione diretta del clima con la temperatura e la trasformazione delle acque tra stato liquido e stato solido influisce sul volume degli oceani del nostro pianeta; possiamo, infatti, vedere che a causa del riscaldamento globale il livello del mare si sta innalzando (ad esempio, da fine Ottocento a fine Novecento è

⁸² L'IPCC provvede allo studio dei cambiamenti climatici attuali e allo sviluppo di probabili scenari futuri, stabilisce delle strategie di adattamento e di mitigazione, definisce la vulnerabilità dei sistemi naturali e sociali.

⁸³ IPCC 2013, p. 24.

stato stimato un aumento globale pari a 1,2 mm/anno)⁸⁴. I principali fattori che provocano tale sollevamento marino sono: l'espansione termica delle masse d'acqua oceaniche e lo scioglimento sia dei ghiacciai montani e delle piccole calotte glaciali sia della calotta glaciale della Groenlandia e antartica⁸⁵.

A partire da circa 2.000 anni fa il mare ha subito un incremento di 1,3-1,4 m, di cui solo 13 cm sono dovuti allo scioglimento dei ghiacciai (come conseguenza del riscaldamento globale degli ultimi 100 anni), mentre il resto è causato dal riaggiustamento glacio-idro-isostatico; negli ultimi 50 anni, invece, la media globale del sollevamento del livello degli oceani, ottenuta dalle centinaia di mareografi presenti in tutto il mondo, mostra un valore di 1,8 mm/anno⁸⁶. Nel rapporto del 2007 dell'IPCC si prevede per il 2100 un innalzamento marino tra +0,18 m e +0,59 m, dovuto esclusivamente a cause climatiche; tenendo conto che un aumento di solo 1 cm può portare all'arretramento della linea di riva anche di un 1 m, il sollevamento marino ipotizzato per il futuro potrebbe avere effetti molto significativi nell'assetto costiero di molte aree litoranee⁸⁷.

Inoltre, in connessione alle variazioni di temperatura, si potranno verificare dei cambiamenti anche nella composizione chimica degli oceani, influenzando quindi la conservazione dei resti archeologici sommersi; esiste, infatti, un complesso insieme di fattori chimico-fisici che permette ai materiali di preservarsi sott'acqua e un aumento della temperatura potrebbe direttamente influenzare non solo il degrado organico e la corrosione metallica dei reperti ma anche la vita degli organismi biologici marini (causando cambiamenti nella zonazione delle specie; ad esempio, la *Teredo navalis*, che non sopravvive alle basse temperature, riuscirà ad aggredire siti un tempo "protetti" dalle fredde acque). La maggiore concentrazione di CO₂ negli oceani porterà ad un aumento dell'acidificazione delle acque, fenomeno che a sua volta provoca una riduzione della saturazione del carbonato di calcio; le concrezioni marine, che formano una sorta di strato semi-permeabile tra materiali archeologici e acqua, agiscono

⁸⁴ Gornitz e Lebedeff 1987, pp. 5-8.

⁸⁵ IPCC 1990, pp. 75-79.

⁸⁶ Church et al. 2004, pp. 2609-2610.

⁸⁷ Motta 2015, p. 240.

come una barriera protettiva fisica e la loro diminuzione avrà dunque serie conseguenze sulla preservazione dei beni culturali sommersi⁸⁸.

Risulta quindi necessaria una pianificazione del territorio in relazione al sollevamento del mare e all'intensificarsi di eventi estremi, dovuti al cambiamento climatico in atto. Come suggerito dal protocollo di Kyoto, sarà indispensabile ridurre l'emissione dei gas serra e avviare adeguate politiche di adattamento. L'incremento che si presuppone per gli anni a venire della frequenza e dell'intensità dei fenomeni estremi (come uragani, tsunami e violente tempeste) e l'accelerazione della risalita del livello marino e dei fenomeni erosivi porterà alla scomparsa di alcuni territori e infrastrutture e alla distruzione di numerosi beni del patrimonio culturale⁸⁹.

3.2 Erosione costiera

L'erosione, che da sempre contribuito a trasformare il paesaggio costiero, può essere definita come un processo di rimozione e trasporto di detriti (terreno, roccia, sabbia) che dipende fortemente dalla stessa morfologia della costa (esposizione al moto ondoso, composizione sedimentaria, pendenza della riva); si possono distinguere due tipologie di erosione: "a breve termine", generata dalla redistribuzione di sedimenti verso il largo e associata alle mareggiate, e "a lungo termine", originata da squilibri nel bilancio sedimentario connessi al trasporto solido litoraneo.

L'erosione costiera può essere considerata il risultato di diversi fattori, sia naturali che antropici, attivi su diversa scala; i fattori naturali più importanti sono quelli meteo-climatici, l'eustatismo, la subsidenza, l'apporto detritico (litologia e morfologia dei bacini), i fattori fisico-oceanografici (correnti e moto ondoso) e la stessa morfologia della costa; tra i fattori indotti dall'uomo bisogna, invece, includere lo sfruttamento della fascia litoranea per lo sviluppo urbanistico, l'uso

⁸⁸ Daly 2011, p. 309; Wright 2016, pp. 261-262.

⁸⁹ Antonioli e Silenzi 2007, p. 21.

del suolo e l'alterazione della vegetazione (disboscamenti), estrazione di acqua dal sottosuolo, sottrazione delle risorse sedimentarie nei bacini alimentatori⁹⁰.

I processi erosivi comprendono gli effetti diretti dell'azione idraulica del moto ondoso, l'abrasione (con sabbia, ciottoli e frammenti di roccia), l'attrito tra i materiali rocciosi, la disgregazione salina e atmosferica (ad esempio provocata da un forte sbalzo di temperatura tra giorno e notte), la bio-erosione (alghe, gasteropodi ed echinoidi) e l'attacco chimico (corrosione)⁹¹.

Ricerche multidisciplinari degli ultimi anni hanno evidenziato che circa l'80% delle aree litoranee di tutto il pianeta si sta riducendo a causa di fenomeni erosivi, connessi con l'innalzamento del livello del mare, il cambiamento climatico e l'impatto antropico. Anche l'Italia, con i suoi 7.500 km di litorale, è interessata da queste problematiche: il 42% delle coste basse e sabbiose, infatti, è attualmente soggetto a erosione⁹².

Purtroppo, le opere realizzate per la protezione dei fronti urbani, come le dighe marittime, i pennelli e i frangiflutti, costruiti per limitare il fenomeno dell'erosione, hanno in generale portato ad un peggioramento della situazione, generando una maggiore erosione sottoflutto e richiedendo, di conseguenza, ulteriori strutture per la risoluzione del problema⁹³.

3.2.1 *Scomparsa delle difese naturali*

A causa dell'inurbamento della linea di costa, l'erosione ha dunque subito una forte accelerazione che ha portato anche alla scomparsa delle difese naturali (dune costiere), aumentando di conseguenza il rischio di inondazione delle aree litoranee.

Le dune costiere, infatti, non soltanto costituiscono degli habitat specifici per flora e fauna, ma svolgono un ruolo fondamentale nella difesa della fascia costiera, in quanto abbassano il rischio di erosione, costituendo una riserva di sedimenti che alimenta la spiaggia antistante e contrasta il rischio di

⁹⁰ EuroSION 2007, p. 3; APAT 2007, pp. 8-9.

⁹¹ Rampino 2005, pp. 432-434.

⁹² Antonioli e Silenzi 2007, p. 17.

⁹³ Simeone e De Falco 2012, pp. 151-152.

sommersione dell'entroterra. Al loro stato di conservazione è connesso anche quello di altri ecosistemi, quali le lagune, gli ambienti umidi retrodunali e le praterie di *Posidonia oceanica*⁹⁴. Questo tipo di vegetazione è una specie endemica del Mediterraneo che vive fino a 40 m di profondità, colonizzando ampie aree dei fondali e creando addensamenti chiamati “matte”; queste praterie sommerse, oltre a proteggere i siti e i materiali archeologici dagli agenti trasformatori e dal processo di traslocazione dei manufatti, trattengono, con le loro radici, i sedimenti che vengono continuamente spostati dalle correnti marine e stabilizzano i fondali⁹⁵. Anche l'accumulo sulla spiaggia di detriti e resti di *Posidonia oceanica* (foglie morte e resti fibrosi), che formano delle strutture chiamate “banquettes”, contribuiscono alla protezione meccanica contro i fenomeni erosivi, riducendo l'energia del moto ondoso e la velocità delle correnti marine⁹⁶ (Fig. 7).

L'utilizzo delle acque costiere riveste grande importanza nelle società industrializzate, ma l'inquinamento causato dallo scarico di sostanze chimiche e organiche, di derivazione antropica, produce dei cambiamenti ambientali spesso distruttivi degli ecosistemi marini. Inoltre, l'evoluzione climatica e il connesso aumento del livello del mare, delle temperature e delle precipitazioni, potrebbe causare la scomparsa di questa flora, molto sensibile alle perturbazioni del proprio habitat naturale⁹⁷.

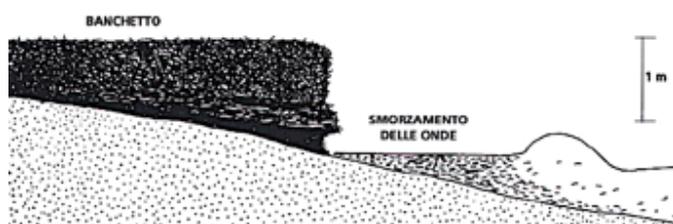


Fig. 7 – Rappresentazione dell'effetto smorzante della banquettes di *Posidonia oceanica* (da Boccalaro e Cantasano 2012, 9).

⁹⁴ Guccione et al. 2005; Simeone e De Falco 2012, p. 224.

⁹⁵ Beltrame 1996, p. 154.

⁹⁶ ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2009), Ambito costiero, <http://www.isprambiente.gov.it/files/tematiche2010/09-ambito-costiero.pdf/view>; ultima consultazione 10/02/17.

⁹⁷ Boudouresque et al. 2006, pp. 32-36.

3.3 *Processi sedimentari*

L'apporto di sedimenti (sabbie, lime, argille, ciottoli, ghiaie) è fondamentale per il mantenimento dell'ambiente costiero; infatti, se i bacini idrografici vengono modificati (sia in modo naturale che antropico) si possono avere delle riduzioni o degli aumenti nella quantità di materiale trasportato nelle aree litoranee, che di conseguenza subiranno delle trasformazioni⁹⁸.

L'insieme degli apporti e degli asporti definisce la stabilità di un'area costiera, che può dunque rimanere in equilibrio, se la posizione della battigia rimane costante nel tempo, oppure può diventare instabile, se prevale l'azione erosiva o di accrescimento.

I processi sedimentari costieri comprendono tutti quei fattori che comportano l'erosione, il trasporto e il deposito dei sedimenti lungo le aree litoranee; le condizioni di questo tipo di ambiente variano quindi continuamente a causa dell'azione dei venti, delle onde, delle correnti e delle maree. Quando l'agente trasportatore dei sedimenti è l'acqua si parla di trasporto marittimo o fluviale e si possono distinguere tre modalità di spostamento dei materiali: scorrimento o rotolamento; saltellamento; sospensione (particelle fini)⁹⁹.

Le onde che si abbattono sulla costa in modo obliquo generano una corrente longitudinale, che trasporta i sedimenti parallelamente alla linea di riva ed è responsabile delle modificazioni a lungo termine della morfologia costiera; il trasporto trasversale rappresenta, invece, lo spostamento dei sedimenti perpendicolarmente alla costa e causa dei cambiamenti a breve termine.

Come visto in precedenza, anche le correnti marine hanno un forte impatto sulle aree costiere, non solo per la loro azione erosiva, ma anche per la capacità di modificare la topografia del fondale; infatti, a seconda della loro intensità, le correnti possono trasportare grandi quantità di ghiaia, sabbia e sedimenti fini, creando un effetto abrasivo. Il trasporto e la deposizione dei materiali

⁹⁸ Maanan e Robin 2015, pp. 191-192; la riduzione degli apporti sedimentari fluviali può essere, ad esempio, dovuta all'estrazione di materiali dai bacini idrografici, la diminuzione della quantità di sabbia disponibile sulla stessa spiaggia può essere stata causata dall'urbanizzazione; il disturbo del trasporto sedimentario è legato alla presenza di installazioni portuali o di opere di protezione costiera.

⁹⁹ van Rijn 2010, pp. 3-4.

sedimentari è direttamente connessa all'energia delle correnti marine che possono così portare sia alla formazione di strati sedimentari sia alla loro rimozione. Per quanto concerne i siti archeologici sommersi, nel primo caso, la deposizione di materiale sedimentario avrà un impatto positivo sulla conservazione dei resti archeologici, fornendo una protezione fisica contro gli agenti fisici e biologici caratteristici di questo ambiente¹⁰⁰; invece, nel secondo caso, le correnti marine, rimuovendo completamente i depositi sedimentari, provocheranno un effetto negativo sugli oggetti e sulle strutture localizzate sul fondale, lasciando relitti e altri resti archeologici sommersi esposti ai vari fattori fisici, biologici e chimici di degrado¹⁰¹.

Nel corso del tempo, dunque, le aree litoranee del nostro pianeta hanno subito delle modificazioni morfologiche a causa dei processi sedimentari, che hanno provocato fenomeni di aggradazione e/o progradazione costiera; ad esempio, numerose coste del Mediterraneo, a partire dal 6.000 a.C., hanno subito un'eccezionale progradazione connessa alla decelerazione della glacio-eustasia; questa evoluzione geomorfologica è particolarmente evidente negli insediamenti localizzati vicino alle rias (alcuni esempi possono essere i siti di Mileto, Priene, Troia ed Efeso in Turchia). L'ipersedimentazione delle aree costiere è responsabile delle variazioni più significative a cui si sono dovute costantemente adattare le società litoranee del passato; tale fenomeno, infatti, ha causato spesso problemi relativi all'accesso al mare e alla viabilità a lungo termine dei bacini portuali¹⁰².

3.4 Bradisismo e subsidenza

I principali fattori geologici a carattere progressivo che influiscono sulla morfologia costiera sono rappresentati dal bradisismo e dalla subsidenza.

¹⁰⁰ Gli organismi bentonici (molluschi, come la *Teredo navalis*, e crostacei, quali il *Limnoria lignorum*) sono i principali colonizzatori delle superfici architettoniche sommerse; essi si attaccano alle superfici, formando uno strato, detto "biofilm", che comporta una modificazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali e favorisce lo sviluppo di organismi di dimensioni maggiori, quali microalghe e animali.

¹⁰¹ Ward 1999, p. 565; Quinn 2006, pp. 1419-1421.

¹⁰² Stanley e Warne 1994, p. 230; Brückner 1997, p. 65.

Il bradisismo è il lento movimento del terreno verso l'alto (bradisismo positivo) o verso il basso (bradisismo negativo), connesso alla dinamica generale della litosfera e appare, molto spesso, preceduto da eruzioni locali; tale fenomeno, infatti, risulta connesso alle variazioni di volume di una camera magmatica vicina alla superficie terrestre o a variazioni di temperatura che agiscono sul volume dell'acqua contenuta nel sottosuolo. In Italia le zone maggiormente interessate dal bradisismo sono i Campi Flegrei in Campania e l'area dell'Alto Adriatico.

La subsidenza è un processo a lungo termine di lento abbassamento del terreno, legato alla naturale costipazione dei sedimenti nelle pianure alluvionali e ai movimenti tettonici; spesso è indotto o aggravato dalle attività antropiche (estrazione di acqua e idrocarburi dal sottosuolo, costruzioni artificiali) e risulta particolarmente pericoloso se si verifica lungo la linea di costa in quanto aumenta il rischio di inondazioni. Per quanto concerne la nostra penisola, il Friuli, il Veneto e l'Emilia Romagna sono aree in subsidenza tettonica¹⁰³.

3.5 *Variazioni del livello relativo del mare*

Qualsiasi cambiamento del livello del mare osservato rispetto a un punto di riferimento sulla terraferma viene definito come livello relativo del mare¹⁰⁴.

La maggior parte dei processi che causano variazioni nel livello relativo del mare sono connessi a fattori climatici e possono agire su diverse scale spaziali e temporali. Tali modificazioni vengono definite aggiustamenti glacio-isostatici e si verificano come risposta alla redistribuzione dei volumi di acqua e ghiaccio (in connessione all'accrescimento o allo scioglimento dei ghiacciai)¹⁰⁵.

Il livello relativo del mare può, inoltre, subire dei cambiamenti a causa dei movimenti verticali generati da forze tettoniche; lo spostamento verso l'alto o verso il basso della linea di costa, dovuto, ad esempio, alla presenza di sistemi di fagliazione, può quindi provocare un abbassamento o una risalita delle acque

¹⁰³ Ferranti et al. 2007, p. 3.

¹⁰⁴ Rovere et al. 2016, p. 222.

¹⁰⁵ Lambeck et al. 2004, p. 567.

marine¹⁰⁶. In generale, la subsidenza e il sollevamento tettonico sono considerati una delle principali cause di tali variazioni marine, sia per quanto riguarda l'Olocene sia per l'ultimo secolo. Bisogna, infine, tenere presente che la deposizione di sedimenti in un'area costiera può subire nel corso del tempo una perdita di volume; questo provoca una subsidenza del suolo e quindi una risalita del livello relativo del mare¹⁰⁷.

Risulta comunque piuttosto difficile delineare una curva di variazione del livello relativo del mare valida per tutto il bacino Mediterraneo, poiché si tratta di un'area molto complessa dal punto di vista geodinamico e, di conseguenza, la tettonica e la glacio-idro-isostasia variano in modo evidente da sito a sito¹⁰⁸ (Fig. 8).



Fig. 8 – La linea di costa durante l'ultimo massimo glaciale (da Marriner e Morhange 2007, 148).

Come visto nel capitolo precedente, gli ambienti costieri possono rappresentare degli ottimi archivi per lo studio del livello relativo del mare, non solo per la presenza di una precisa zonazione biologica degli organismi marini ma anche per l'abbondanza di resti archeologici, quali porti e aree urbane sommerse, che possono essere utilizzati come *markers*; infatti, dove si riesce a

¹⁰⁶ Nelle aree costiere del bacino Mediterraneo, situate in zone tettonicamente attive, si verificano dei movimenti verticali, di sollevamento o di abbassamento, che oscillano tra -1 mm/anno e +2,4 mm/anno; Ferranti et al. 2007, p. 4.

¹⁰⁷ Rovere et al. 2016, p. 225.

¹⁰⁸ Silenzi 2012, p. 55.

stabilire un preciso rapporto verticale tra strutture e indicatori biologici, è possibile ricostruire l'andamento relativo del livello del mare durante l'antichità¹⁰⁹. Inoltre, alcune formazioni geomorfologiche (erosive o deposizionali), che si sono generate in ambienti costieri, possono costituire degli ulteriori indicatori delle posizioni del livello del mare durante le epoche passate; *markers* di tipo erosivo si conservano soltanto in strutture rocciose e comprendono, ad esempio, incavi, piattaforme e terrazze marine, pozzi e grotte; indicatori deposizionali, invece, includono piane tidali, spiagge e speleotemi sommersi e possono anche fornire informazioni cronologiche, in quanto spesso contengono dei fossili guida o dei materiali organici databili al radiocarbonio¹¹⁰.

Le oscillazioni marine hanno da sempre costituito un pericolo per le popolazioni costiere; vediamo ad esempio come, a partire dal 18.000 a.C., l'aumento di circa 120 m del livello del mare abbia causato la sommersione di diverse aree archeologiche del Paleolitico. Fino a tempi relativamente recenti, infatti, le società umane che si sono stabilite lungo le aree costiere erano totalmente in balia delle variazioni del livello del mare; solo con l'inizio del periodo Romano l'uomo ha acquisito le competenze ingegneristiche adeguate per affrontare questo tipo di problema¹¹¹.

Il previsto sollevamento del livello del mare metterà in serio pericolo numerosi siti costieri, in particolare quelli situati su spiagge basse o in prossimità dei delta fluviali, e provocherà seri disagi anche nell'economia e nelle attività antropiche.

3.6 Eventi estremi ad azione improvvisa

Le varie caratteristiche geofisiche e climatiche del Mediterraneo rendono quest'area vulnerabile a molteplici eventi naturali; questi pericoli attivi lungo le zone costiere possono agire secondo diverse scale temporali: mentre l'erosione costiera costituisce un processo piuttosto graduale, le alluvioni e le frane, ad

¹⁰⁹ Morhange e Marriner 2010, p. 326.

¹¹⁰ Pirazzoli 2005a, pp. 1989-1990.

¹¹¹ Erlandson 2008, pp. 1-2; Morhange et al. 2016, p. 97.

esempio, sono fenomeni episodici ed improvvisi, relativamente più difficili da prevedere¹¹².

Tali eventi a manifestazione improvvisa possono essere causati sia da fattori naturali che artificiali: gli eventi sismici e le eruzioni vulcaniche sono di matrice interamente naturale, mentre frane e alluvioni sono da attribuire quasi totalmente a responsabilità umane.

Come già introdotto nel primo paragrafo, risulta molto probabile che come conseguenza dei cambiamenti climatici, dovuti all'effetto serra, ci possa essere anche l'incremento di eventi catastrofici, quali tifoni, uragani, tsunami. Tra questi, un evento particolarmente devastante è rappresentato dallo tsunami, che può essere descritto come il risultato di uno spostamento di una notevole massa d'acqua in un breve periodo di tempo; in genere, si verifica a causa dei movimenti della crosta terrestre del fondale marino durante eventi quali terremoti, eruzioni vulcaniche o frane sottomarine. Lo spostamento dell'acqua genera una serie di onde che possono avere un'estensione estremamente lunga, fino a centinaia di chilometri, che causano devastazioni quando raggiungono la linea di costa. Gli tsunami sono certamente più frequenti lungo le coste dell'Oceano Pacifico, ma nel corso dell'Olocene, anche all'interno del bacino Mediterraneo, caratterizzato da elevata sismicità e da vulcanismo attivo, si sono verificati eventi di forte intensità; a titolo di esempio, solo nel Mar di Marmara sono state rinvenute tracce di circa una trentina di tsunami, avvenuti negli ultimi 2.000 anni¹¹³. Sebbene vi siano alcune zone maggiormente esposte al rischio di tsunami (in particolare, l'area nord-orientale del bacino, come il Mar Egeo e l'Adriatico), virtualmente qualsiasi tratto litoraneo del Mediterraneo è suscettibile all'attacco di uno tsunami¹¹⁴. Il Mediterraneo, infatti, occupa la zona di convergenza tra tre grandi placche: Africana, Euroasiatica e Araba; il risultato è un complesso insieme di strutture tettoniche, rappresentato da due zone di subduzione, una nel Mar Mediterraneo occidentale (arco Calabro) e l'altra nel Mediterraneo orientale (arco Ellenico e Cipriota). L'attività sismica è strettamente connessa a questi processi tettonici, e poiché spesso sono proprio i

¹¹² European Environment Agency 2004, pp. 5-7.

¹¹³ Yalciner et al. 2002, p. 445.

¹¹⁴ Walsh 2014, p. 38.

terremoti a generare gli tsunami, la distribuzione dei paleo-tsunami segue coerentemente l'andamento sismotettonico.

Mentre nel Mar Tirreno e nel Mar Egeo si sono verificati tsunami causati da eruzioni vulcaniche, i margini continentali attivi del bacino Mediterraneo nord-occidentale, i margini passivi del Levante e l'area del Delta del Nilo indicano che anche i crolli e le frane sottomarine possono essere potenzialmente comuni. Tutto questo rende dunque il bacino Mediterraneo un'area soggetta a terremoti e tsunami¹¹⁵ (Fig. 9).

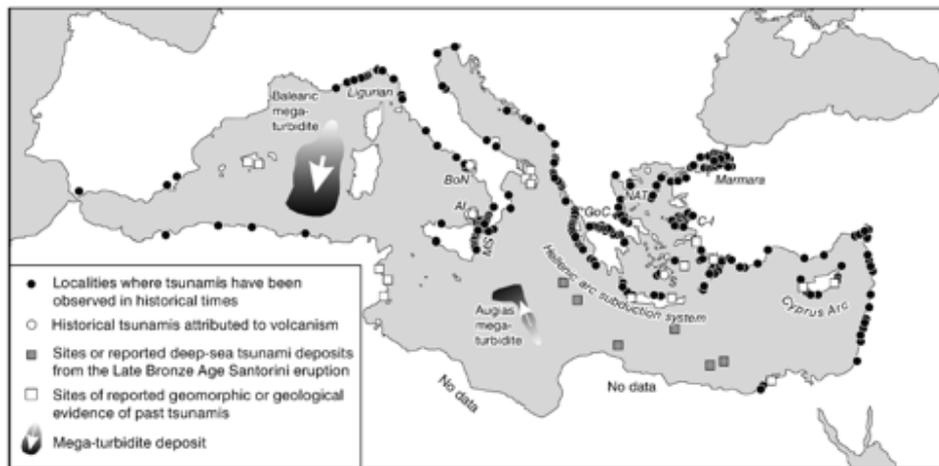


Fig. 9 – Località colpite da tsunami all'interno del bacino del Mar Mediterraneo (da Stewart e Morhange 2009, 400).

Non esiste una metodologia standard, universalmente valida, per la definizione della magnitudo di uno tsunami, ma recentemente Papadopoulos e Imamura hanno proposto una scala di intensità suddivisa in dodici gradi, ordinata in base agli effetti che tale evento ha sugli esseri umani, sugli edifici e sui manufatti¹¹⁶.

Sono stati condotti numerosi studi biostratigrafici sulle sequenze sedimentarie costiere, ma l'identificazione dei depositi prodotti dagli tsunami risulta essere ancora piuttosto complessa e incerta, in quanto tali sedimenti sono molto simili a quelli generati dalle inondazioni dovute a violente tempeste e mareggiate;

¹¹⁵ Salamon et al. 2007, p. 713; Stewart e Morhange 2009, pp. 385-386.

¹¹⁶ Papadopoulos e Papageorgiou 2014, p. 253.

inoltre, anche la conservazione a lungo termine di tali depositi risulta essere alquanto limitata¹¹⁷.

3.7 Processi costieri e “neocatastrofismo”

Come visto in precedenza, la linea costiera può essere considerata come il risultato di complesse interazioni eustatiche, glacio-idro-isostatiche e processi tettonici. Ovviamente, tutti questi processi hanno avuto un notevole impatto sulle attività antropiche costiere, portando alla formazione di nuove topografie litoranee.

Dunque, per comprendere al meglio la mobilità e l'evoluzione dei litorali e, di conseguenza, delle infrastrutture portuali antiche, è necessario utilizzare un approccio multidisciplinare e stabilire un adeguato equilibrio tra studi geoarcheologici e il cosiddetto “neocatastrofismo”¹¹⁸, dottrina secondo cui i principali cambiamenti avvenuti nella storia della Terra sono dovuti ad eventi catastrofici e non a processi evolutivi.

Le origini della concezione neocatastrofica, che è stata recentemente riproposta in numerosi studi geoarcheologici, possono essere ricercate negli antichi miti, come ad esempio quello relativo alla città sommersa di Atlantide. A partire dagli scavi della località portuale di Akrotiri e dalla presunta scomparsa dell'impero Minoico a causa dell'eruzione di Santorini e del conseguente tsunami, il “collasso” delle civiltà del passato è diventato un tema centrale in questo tipo di ricerca. Infatti, l'eruzione del vulcano Thera, nella Tarda Età del Bronzo (circa 1.600 anni a.C.), viene considerato come l'episodio più significativo del vulcanismo Egeo durante l'Olocene e alcuni studi hanno dimostrato che numerosi tsunami possono essersi generati durante questa attività vulcanica. Come in passato, ancora oggi si discute sugli effetti causati

¹¹⁷ Stewart e Morhange 2009, pp. 400-401.

¹¹⁸ Teoria scientifica proposta dal naturalista G. Cuvier agli inizi del XIX secolo per giustificare la scomparsa improvvisa di alcune specie faunistiche nel corso dei tempi geologici, il catastrofismo ritiene che la Terra sarebbe stata interessata da violentissimi fenomeni naturali, di breve durata, che avrebbero provocato degli eventi catastrofici. A questa teoria si contrappose quella dell'attualismo (o uniformismo), secondo la quale le leggi fisiche operanti ai nostri giorni sono state valide anche nelle epoche passate ed hanno sempre agito allo stesso modo.

dall'eruzione di Santorini, per capire se tale evento possa aver portato alla scomparsa di alcune popolazioni dell'Egeo e del Mediterraneo; Marinatos fu il primo a credere che l'eruzione del vulcano fu seguita da uno tsunami che distrusse la civiltà Minoica. Sebbene le evidenze geologiche relative alla Santorini della Tarda Età del Bronzo registrino un evento ad elevata energia, le tracce sedimentologiche lungo le coste Egee non sono sufficienti per spiegare in modo esaustivo la scomparsa di questo impero a causa dello tsunami; saranno quindi necessarie ulteriori indagini per definire l'impatto sociale che ha avuto questa catastrofe naturale¹¹⁹.

Ambraseys ritiene che la ragione di questo ritorno delle teorie catastrofiche, soprattutto nell'archeologia, sia forse dovuto alla loro semplicità nell'essere spiegate e sostiene che "if the solution to a problem is not immediately obvious, a catastrophe theory, which attracts considerable publicity, can account for it"¹²⁰; tali ipotesi, diventate molto comuni negli ultimi anni, sono però spesso basate su testimonianze antiche inadeguate e faziose. Inoltre, secondo Morhange anche l'utilizzo delle tecniche di datazione radiometriche è stato fondamentale per la proliferazione del neocatastrofismo in geoarcheologia, in quanto, restringendo il limite temporale degli eventi studiati, rinforza la validità scientifica di tali ipotesi¹²¹.

A dispetto di questa concezione, ormai così popolare, che associa le catastrofi naturali a disastri nelle società umane, i dati ottenuti attraverso analisi multidisciplinari (geomorfologiche, sedimentologiche, archeologiche, cronostratigrafiche) dimostrano che la scomparsa di antiche culture è solitamente un processo graduale, che può durare diverse decadi o secoli, e che gli eventi naturali ad elevata energia a volte agiscono come uno stimolo piuttosto che come un ostacolo per lo sviluppo antropico; perciò, bisogna fare molta attenzione nell'imputare ad un unico evento disastroso, come uno tsunami, la causa del crollo di intere società, in quanto si rischia di proporre teorie troppo semplicistiche.

¹¹⁹ Morhange et al. 2014, p. 32.

¹²⁰ Ambraseys 2005, p. 560.

¹²¹ Morhange et al. 2014, p. 32.

3.8 *Interventi antropici in aree costiere*

La costa è stata a lungo considerata come uno degli ambienti più allettanti per l'insediamento antropico: ricca di risorse, climaticamente favorevole e strategicamente localizzata era un'area ideale per lo sviluppo delle società umane e delle loro attività¹²².

La quasi totalità dei sistemi costieri ha, infatti, subito l'influenza delle attività antropiche e diventa dunque necessario considerare l'uomo come uno dei più importanti agenti modificatori di questo tipo di ambiente. Le società umane non solo hanno sfruttato le risorse costiere e bonificato alcune aree per poter praticare l'agricoltura, ma hanno anche modificato il territorio tramite la realizzazione di porti, sia a scopo commerciale sia militare, e di infrastrutture al fine di controllare alcuni processi naturali. Bisogna, inoltre, tenere presente che qualsiasi cambiamento apportato nell'area litoranea può compromettere l'equilibrio della linea di riva, causandone, ad esempio, lo spostamento verso il mare o verso l'entroterra, e l'urbanizzazione di questa zona può aumentare notevolmente la vulnerabilità ad eventi estremi e inondazioni; inoltre, l'impatto antropico provoca degli sconvolgimenti anche nella componente biotica, portando alla scomparsa di alcune specie animali¹²³.

La deforestazione e la pastorizia sono forse state tra le prime attività antropiche ad aver alterato in modo significativo la costa, aumentando l'apporto sedimentario (causando la progradazione delle foci fluviali); la canalizzazione, la deviazione delle acque fluviali e l'arginamento delle risorse idriche hanno, invece, ridotto la quantità dei sedimenti costieri (incrementando i processi erosivi)¹²⁴.

Lo sviluppo turistico, iniziato nella seconda metà del XIX secolo, ha provocato un'ulteriore modificazione della costa; la costruzione di nuove abitazioni e di infrastrutture per i trasporti lungo la costa ha portato alla distruzione di numerosi ambienti dunali e di aree paludose¹²⁵.

¹²² Walker 1988, 2-5.

¹²³ Jackson e Nordstrom 2005, pp. 387-388; Pranzini 2004, pp. 91-93.

¹²⁴ Walker 1985, pp. 61-62.

¹²⁵ Jackson e Nordstrom 2005, pp. 387-388.

La tipologia delle strutture costiere e i materiali utilizzati dipendono da numerosi fattori (economici, politici, giuridici, estetici, tecnologici, disponibilità dei materiali e natura del pericolo percepito); alcune strutture sono realizzate con lo scopo di migliorare la navigazione (ad esempio la costruzione di infrastrutture portuali quali moli e frangiflutti), altre hanno la funzione di tenere sotto controllo i fenomeni dannosi per l'ambiente antropizzato, specialmente l'erosione e l'eccessiva di sedimentazione; tali opere possono quindi costituire un'interfaccia tra terra e mare, possono essere costruite sulla linea di costa oppure essere posizionate al largo, più o meno parallele alla costa¹²⁶.

Per quanto riguarda l'Italia, il 30% della popolazione italiana risiede in città costiere, occupando circa il 13% del territorio nazionale; gli insediamenti urbani, le attività industriali e turistiche hanno causato notevoli alterazioni nella morfologia delle coste italiane. Inoltre, il 34% del territorio compreso nella fascia dei 300 m dalla riva, zona ritenuta da tutelare per il suo valore paesaggistico (D.Lgs. 42/2004 e s.m.i.), risulta fortemente urbanizzato¹²⁷.

Sebbene molte testimonianze archeologiche costiere siano andate perdute, soprattutto a causa della risalita del livello del mare avvenuta a seguito dell'ultima deglaciazione e della conseguente erosione, è evidente che l'occupazione antropica fosse estesa lungo moltissime aree litoranee del nostro pianeta¹²⁸.

Recenti lavori multidisciplinari mostrano come i sedimenti costieri possano essere utilizzati per ricostruire, a partire dalla Preistoria, l'evoluzione delle interazioni antropiche con l'ambiente. Sono, infatti, riscontrabili tracce della presenza e dell'impatto delle società umane sul paesaggio litoraneo nella granulometria degli strati sedimentari: ad esempio, il ritrovamento di un'unica *facies* a grana fine testimonia la costruzione di infrastrutture portuali; anche le modificazioni delle associazioni faunistiche (inquinamento biologico) possono indicare lo sfruttamento antropico dell'area; infine, gli impatti geochimici, come

¹²⁶ Bruun 1985, pp. 13-14.

¹²⁷ ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2011), Mare e ambiente costiero, http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/tematiche2011/05_%20Mare_e_a_mambiente_costiero_2011.pdf/view; ultima consultazione 10/02/17.

¹²⁸ Walker 1981, p. 59.

l'utilizzo del piombo, sono utili per chiarire lo sviluppo delle antiche attività industriali¹²⁹.

¹²⁹ Morhange et al. 2016, p. 101.

Capitolo 4

Il porto di Teodosio a Yenikapi (Istanbul, Turchia)

La scoperta del porto di Teodosio, presso Yenikapi, è avvenuta nel 2004, durante gli scavi condotti per il progetto Marmaray (inaugurato nel 2013), che prevedeva la realizzazione di un tunnel ferroviario sotto lo Stretto del Bosforo per collegare Asia e Europa. Questo sito è un quartiere di Istanbul ed è situato nel distretto metropolitano di Fatih, sulla sponda europea del Bosforo, delimitato a nord dal Corno d'Oro e a sud e a est dal Mar di Marmara (Fig. 10).

Fin dall'antichità, la regione di Marmara, connessa al Mar Nero e al Mar Egeo attraverso lo Stretto di Dardanelli e del Bosforo, è stata un'area fondamentale per l'attività marittima. Capitale dell'Impero Romano d'Oriente, Bizantino e Ottomano, l'odierna Istanbul è stata, infatti, un centro commerciale di notevole importanza a partire dalla sua fondazione; per quasi un secolo, a seguito dell'inaugurazione di Costantinopoli nel 330 d.C., ci fu una grande espansione urbanistica, con la ricostruzione delle mura di cinta e la realizzazione di due nuovi impianti portuali sul Mar di Marmara: il porto di Giuliano (poi noto come Sofiano) e più a occidente il porto di Teodosio; anche se restavano comunque attivi gli antichi scali sul Corno d'Oro del *Neorion* e del *Prosphorion*¹³⁰.

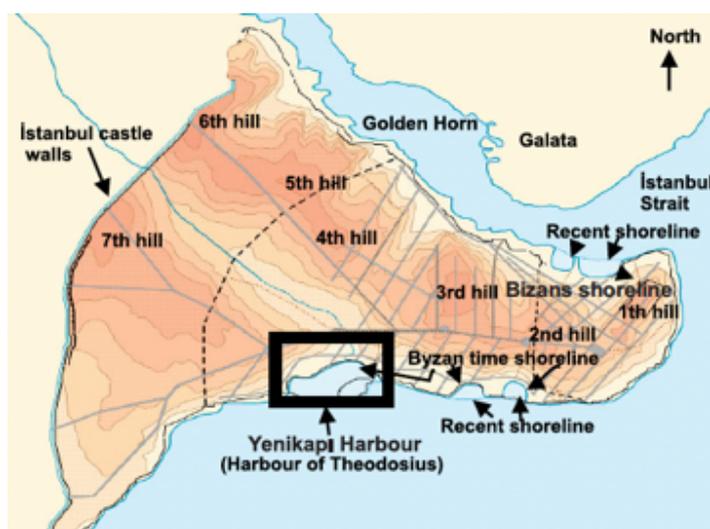


Fig. 10 – Topografia di Istanbul nel periodo Bizantino; nel riquadro è localizzato il porto di Teodosio (da Perincek 2010, 70).

¹³⁰ Mango 1986, 121.

In particolare, il porto di Teodosio, attualmente situato a ~ 1,5 km dalla linea di costa, fu costruito all'interno di un'insenatura naturale alla foce del fiume Lycos, nel periodo Bizantino durante il regno di Teodosio I (379-395), per rispondere al rapido sviluppo commerciale della città¹³¹. Il costante aumento della popolazione tra IV e XI secolo richiedeva, inoltre, un continuo apporto di beni alimentari, la maggior parte dei quali veniva importata attraverso il mare; la presenza di due grandi granai (*Horrea Alexandrina*, *Horreum Theodosianum*) in prossimità dell'area orientale del porto di Teodosio indica che questo bacino portuale era coinvolto nel commercio del grano con l'Egitto. Con la perdita di questa regione, conquistata dagli Arabi all'inizio del VII secolo, la città ha probabilmente fatto affidamento soprattutto sulle risorse alimentari più facilmente reperibili e più vicine, che continuarono ad essere importate grazie al trasporto navale¹³².

Il porto era protetto dalle mura di Bisanzio e possedeva un perimetro di 1600 m, con ingresso situato a nord-est; con Teodosio II (428-450) fu dotato anche di un molo ampio 3,7 m orientato est-ovest, come ulteriore protezione per il bacino¹³³. Rimase in uso dal IV secolo d.C. fino almeno all'XI secolo d.C., quando fu completamente interrato dai sedimenti alluvionali trasportati dal fiume Lycos; durante il periodo Ottomano quest'area, nota come "Langa Bostani" o "Vlanga", fu sfruttata per la coltivazione di frutta e verdura¹³⁴.

Il rinvenimento all'interno di quest'area portuale di 37 relitti in buone condizioni, alcuni dei quali ancora contenenti il proprio carico intatto, è di notevole importanza, in quanto si possono ricavare informazioni sulle tipologie delle imbarcazioni e sullo sviluppo delle tecniche costruttive; ad esempio, le analisi effettuate sui reperti lignei hanno identificato un utilizzo diversificato del legno dal V all'XI secolo d.C.: fino all'VIII secolo, in genere, veniva privilegiato il legno di conifera; dal IX secolo, invece, è stato sfruttato il legno delle latifoglie (olmo, quercia, castagno)¹³⁵. Non è ancora del tutto chiaro quale

¹³¹ La data precisa di edificazione del porto di Teodosio non è nota, ma risulta essere menzionato nella *Notitia urbis Constantinopolitanae*, un elenco dei monumenti della città, del 425 d.C.

¹³² Asal 2013, p. 5; Magdalino 2013, 11-15.

¹³³ Grelois 2007, p. 512.

¹³⁴ Kocabaş 2015, p. 5.

¹³⁵ Akkemik e Kocabaş 2014, pp. 317-318.

sia stata la causa dell'affondamento di queste imbarcazioni (mercantili e galee); si ritiene che alcune furono distrutte da eventi di tempesta, inondazioni o da tsunami avvenuti nel corso del X-XI secolo d.C., mentre altre furono abbandonate quando ormai erano in stato di degrado.

Di alcuni fenomeni naturali catastrofici, infatti, sono rimaste tracce all'interno della sequenza sedimentaria del sito, che comprende un'area di 58000 m². Gli studiosi hanno identificato, in alcuni strati, dei depositi ad elevata energia e li hanno attribuiti al forte terremoto del 557 d.C. e al conseguente tsunami, sostenendo quindi che la distruzione di parte dell'impianto portuale sia da attribuire a questo preciso evento; per quanto riguarda, invece, l'affondamento delle imbarcazioni bizantine si ritiene sia stato causato da violente tempeste avvenute a metà del X secolo e nell'XI secolo¹³⁶.

4.1 Paleo-tsunami lungo la costa della Turchia

La regione di Marmara è una zona tettonicamente attiva della Turchia nord-occidentale, caratterizzata dalla collisione delle placche Africana e Euroasiatica, ed è controllata da tre principali sistemi di faglie: la Faglia Anatolica Settentrionale e Orientale e l'arco Ellenico. In particolare, la Faglia Anatolica Settentrionale è una delle faglie trasformati maggiormente attive a livello globale; infatti, nel corso della storia, ha contribuito alla formazione di numerosi terremoti e tsunami (Fig. 11).

I primi cataloghi nazionali relativi a questa tipologia di eventi sono stati redatti negli anni Ottanta del secolo scorso, in particolare il primo è stato creato da Soysal et al. (1981); mentre le liste più aggiornate sono state prodotte soprattutto in ambito di progetti Europei quali GITEC (Genesis and Impact of Tsunami on the European Coasts, 1992-1995) e TRANSFER (Tsunami Risk And Strategies For the European Region, 2006-2009)¹³⁷, che hanno permesso di

¹³⁶ Morhange e Marriner 2010, p. 322.

¹³⁷ Tali progetti rientrano nell'ambito della difesa delle popolazioni europee dai rischi naturali ed hanno condotto studi multidisciplinari, teorici e sperimentali sui maremoti europei provocati da frane e terremoti.

stabilire dei criteri unitari per la parametrizzazione degli tsunami (da 0: molto improbabile a 4: sicuro). Attualmente il database comprende 134 tsunami avvenuti durante gli ultimi 3.500 anni, molti dei quali ha colpito anche le coste della Turchia (sono almeno 76 gli tsunami, con un'affidabilità compresa tra 3 e 4, che hanno impattato le coste Turche). La maggior parte degli eventi si è verificata nel Mar Egeo (51), nel Mar Mediterraneo (41) e nel Mar di Marmara (35); le cause principali che hanno generato degli tsunami, come visto nei capitoli precedenti, possono essere state dei forti terremoti, delle frane o crolli sottomarini e fenomeni di subsidenza e fagliazione¹³⁸.

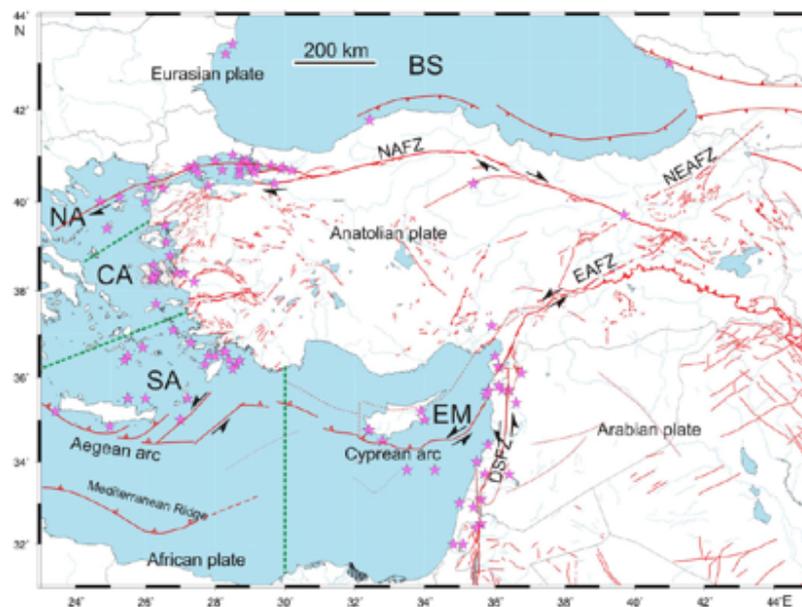


Fig. 11 – La neotettonica della Turchia è caratterizzata da tre principali sistemi di faglie e da una zona di subduzione lungo l’arco Egeo e di Cipro. In questa rappresentazione le stelle indicano i luoghi di origine degli tsunami descritti nel catalogo del 2011; DSFZ – Dead Sea Fault Zone, EAFZ – East Anatolian Fault Zone, NAFZ –North Anatolian Fault Zone, NEAFZ – Northeast Anatolian Fault Zone (da Altinok et al. 2011, 274).

Un modello numerico di propagazione degli tsunami avvenuti nell’area della Turchia negli ultimi 2000 anni ha previsto delle onde in prossimità della riva con altezze minime di ~ 6 m, quando, in genere, il clima ondoso locale di Istanbul è caratterizzato da un altezza massima di +2,5 m.¹³⁹

¹³⁸ Altinok et al. 2011, p. 275.

¹³⁹ Bony et al. 2012, p. 17; Yalçın et al. 2002, pp. 445-446.

Le conseguenze di eventi così distruttivi, in connessione al continuo incremento dell'urbanizzazione costiera, possono essere estremamente gravi; la Turchia, in particolare, comprende circa 8300 km di coste, lungo le quali vive quasi un terzo della popolazione, che è quindi fortemente a rischio.

Riguardo a tsunami avvenuti in epoca Bizantina abbiamo testimonianza anche in alcune fonti antiche: gli storici Evagrio (1, 17) e Malalas (*Chron.* 363, 4) descrivono, ad esempio, l'impatto dell'onda sismica del 447 d.C. su Istanbul; mentre Ammiano Marcellino (*Com.* 92, 6-10) attesta l'evento del 557 d.C.¹⁴⁰.

4.2 *La sequenza stratigrafica*

La sequenza sedimentaria analizzata a Yenikapi è spessa ~ 7 m e registra un periodo di quasi 7.000 anni; essa comprende sia facies marine sia fluviali che attestano vari cambiamenti ambientali: la zona, infatti, è passata da area paludosa continentale, prima della trasgressione marina dell'Olocene, medio ad ambiente costiero utilizzato come porto tra IV-XI secolo d.C. e, infine, si ha un riempimento successivo all'XI secolo d.C.¹⁴¹.

La cronostratigrafia dei depositi dell'Olocene, suddivisi da Perinçek in 9 unità, fornisce informazioni sulle caratteristiche paleo-ambientali di questo sito portuale. L'unità 1 è composta da fango, e testimonia quindi un antico ambiente paludoso; l'unità 2 (datata grazie ai resti archeologici al 5.200-3.800 a.C.) è costituita da sedimenti grossolani, ciottoli e sabbia, caratteristici di un ambiente che può essersi formato durante l'ultima trasgressione marina (circa 7.000 cal. a.C.); l'unità 3 è caratterizzata da una grana sabbiosa e corrisponde, infatti, ad un ambiente di spiaggia; l'unità 4 è piuttosto caotica, contiene materiali terrestri e marini rielaborati (questo è il deposito interpretato come prodotto da uno tsunami); l'unità 5 rappresenta la facies portuale (datata al VII-IX secolo d.C.)

¹⁴⁰ Guidoboni et al. 1994, pp. 314-321: Malalas sull'evento del 447 d.C. specifica che "It happened late in evening, and the city was razed to the ground and flooded by the sea"; Ammiano Marcellino scrive invece dello tsunami del 557 d.C. "...innumerable calamities happened both by land and sea... The sea also cast up dead fish; many islands were submerged, and ships were stranded by the retreat of the waters...".

¹⁴¹ Perinçek 2010, p. 71.

ed è composta da sabbia e strati di limo e comprende anche resti archeologici; l'unità 6, interpretata come deposito di tempesta (datata al X secolo d.C.), è formata da sabbia e limo e, inoltre, contiene frammenti di anfore e 25 relitti; l'unità 7 è composta da sabbia e ciottoli rotondeggianti e rappresenta un'area costiera influenzata da apporti sedimentari fluviali; l'unità 8 è simile alla precedente ma sono presenti anche dei paleo-canali riempiti con sabbia e ciottoli; infine, l'unità 9 è un suolo coltivato a partire dal XII secolo d.C.

4.2.1 *L'unità 4: testimonianza di uno tsunami*

All'interno della sequenza sedimentaria, l'unità 4, il cui spessore varia dai 10 ai 100 cm, è stata definita come un deposito che si è originato dalle onde di uno tsunami; questo strato è caratterizzato da un fondo irregolare, costituito da sedimenti di varie dimensioni e consistenze (fango, sabbia, limo, ghiaia); inoltre, è ricco di materiali sia marini che continentali piuttosto rielaborati, tra cui conchiglie, monete, anfore e ceramiche, ossa, frammenti di legno.

Questa unità è stata suddivisa in tre ulteriori *facies* che distinguono le differenti fasi d'impatto dello tsunami: gli strati inferiori corrispondono alla sommersione del sito a causa delle onde generate da tale evento (unità 4a: matrice essenzialmente limosa contenente microfauna tipica del mare aperto; unità 4b: matrice sabbiosa con una maggiore percentuale di specie marine rispetto all'unità precedente), mentre la zona superiore indica il ritiro delle acque marine (unità 4c: matrice sabbiosa ricca di carboni, semi, resti di piante, frammenti ceramici di origine continentale, tra i molluschi dominano quelli di origine costiera, mentre ostracoidi e foraminiferi sono assenti)¹⁴².

All'interno degli strati fangosi dell'unità 4 sono stati scoperti anche i resti di quattro cavalli e di un cammello; le ossa di questi animali non erano disperse e questo indica che sono stati trasportati verso l'ambiente marino insieme a materiali sabbiosi e fanghiglia che hanno portato al loro rapido seppellimento. Inoltre, in questo strato sono presenti resti di imbarcazioni e di alcuni piloni, che

¹⁴² Wazny et al. 2010, p. 194.

dovevano costituire i moli e le banchine del porto, spezzati dalle onde dello tsunami e deteriorati dall'azione degli organismi marini.

I depositi di tsunami risultano estremamente difficili da riconoscere e possono talvolta essere interpretati come sedimenti depositi a seguito di tempeste particolarmente violente, in quanto entrambi i fenomeni causano un'inondazione costiera caratterizzata da forti correnti. Un ulteriore ostacolo per l'identificazione dei depositi di tsunami è rappresentato dalla loro ridotta capacità di preservazione; infatti, siti caratterizzati da una forte dinamica costiera o da un'intensa attività vulcanica possono produrre fenomeni di rimaneggiamento sui depositi o addirittura obliterarli totalmente con la deposizione di nuovi sedimenti marini.

Per questi motivi numerose ricerche hanno cercato di stabilire alcuni criteri per distinguere i depositi causati da eventi di tempesta rispetto a quelli prodotti da tsunami; nel porto di Teodosio, considerato un buon archivio sedimentario in quanto bacino protetto, alcune delle caratteristiche che generalmente si riscontrano nei depositi di tsunami sono:

- la forma irregolare della parte inferiore dell'unità 4 (in contatto con l'unità 3) è un segno dell'erosione prodotta dalle correnti indotte dal tipico ritiro delle acque prima dell'arrivo delle onde dello tsunami;

- questa unità grossolana e caotica attraversa l'intera area di scavo di Yenikapi; i depositi di tsunami sono, infatti, caratterizzati da uno strato continuo, invece, i depositi generati da tempeste sono caratterizzati da sedimentazione disomogenea;

- è presente un'anomalia sedimentologica: questa unità grossolana di origine marina e terrestre è stata depositata all'interno dell'area portuale protetto; tale stratigrafia è atipica per un ambiente protetto artificialmente;

- si trovano diverse *facies* all'interno del deposito ad elevata energia; queste indicano due differenti livelli energetici (di crescita e di risacca) correlati con la serie di onde dello tsunami; inoltre, l'inondazione ha causato un'erosione a monte del sito, che ha prodotto la rielaborazione di materiali terrestri come il legno, semi e fanghi organici;

- la presenza di alcune specie marine (*S. plana*, *Mytulaster galloprovincialis*, *Pontocythere* spp., *Loxoconcha* spp., *Urocythereis* spp., *Rossalina* spp., *Cassidulina* spp., *Bulmina* spp.) indica il loro rimescolamento al largo; la rielaborazione di specie marine, costiere e lagunari è, infatti, un fenomeno tipico dei depositi di tsunami;

- la morfoscopia della macrofauna è caratterizzata da conchiglie rotte e da frammenti angolari; la presenza di questo tipo di esseri viventi all'interno del bacino portuale indica dei processi ad elevata energia¹⁴³.

Grazie all'analisi al ¹⁴C di alcuni campioni lignei prelevati da questa unità si è ottenuta una datazione compresa tra 420-570 cal. d.C. (con una probabilità del 95.4%); la datazione radiocarbonica effettuata su resti ossei animali è risultata essere 566-646 d.C.; i materiali archeologici rinvenuti (ceramiche e monete¹⁴⁴) datano lo strato tra V-VII secolo d.C.¹⁴⁵

Il confronto tra cronologie ricavate dai materiali archeologici, datazioni radiocarboniche e lo studio dei dati bio-sedimentari, geomorfologici e storici hanno permesso di identificare i depositi dell'unità 4 come prodotti da uno tsunami; tuttavia, a causa delle incertezze sulla datazione, risulta difficile attribuire queste specifiche unità sedimentarie ad un unico evento. Infatti, dalle ricerche sui paleo-tsunami/terremoti che si sono verificati sulla costa di Istanbul sono stati individuati vari eventi disastrosi all'interno del periodo ottenuto dagli studi cronologici: nel 543, 545, 549, 553, 555, 557 d.C.

Si ritiene, dunque, che l'unità 4 sia un deposito formatosi durante uno tsunami, avvenuto in seguito ad un terremoto. Le onde connesse a questo evento si sono generate in mare aperto e, mentre giungevano a riva, hanno trasportato notevoli quantità di conchiglie, fango e sabbia; una volta arrivate sulla terraferma si sono infrante sul porto, distruggendo le imbarcazioni e le installazioni portuali. Quando le acque si sono poi ritirate, hanno portato verso il mare anche materiali terrestri (animali, ceramiche, piante) che hanno subito una rapida sedimentazione sotto strati di fango (Fig. 12).

¹⁴³ Bony et al. 2011, p. 27.

¹⁴⁴ Nel livello superiore dell'unità 4 è stata rinvenuta una moneta risalente al periodo di Giustiniano (527-565).

¹⁴⁵ Onar et al. 2010, pp. 251-252.



Fig. 12 – Le banchine realizzate nel VI secolo d.C. e quelle di epoca precedente sono state distrutte dallo tsunami (segnate con una “x”) per poi essere coperte dai depositi dell’unità 5; le palificate segnate con una “y” sono quelle ricostruite a seguito di questo evento (Perinçek 2010, 77).

4.2.2 Le imbarcazioni dell’unità 6: resti di violente tempeste

All’interno dell’unità 6, spesso tra i 70-130 cm e composta prevalentemente da sabbia, sono stati rinvenuti 25 relitti insieme a frammenti ceramici e di anfore, gusci di noci, noccioli di ciliegie, resti di vegetazione marina (*Posidonia*) carbonizzati e conchiglie marine.

Tale unità può essere suddivisa in due sub-unità (6a e 6b) grazie alla presenza di numerosi frammenti ceramici, pezzi di anfore e pietre angolari e di livelli di sabbia; questi strati di materiale vario si sono formati a causa di una tempesta, mentre la sabbia si è depositata in condizioni marine normali successive all’evento. Secondo alcuni studiosi due violente tempeste, infatti, avrebbero colpito le coste di Istanbul tra X-XI secolo e potrebbero appunto essere la ragione della presenza di queste particolari unità composte da ceramiche e da sabbia; un’ulteriore prova di questi avvenimenti sarebbe data dall’esistenza di strati trasversali di sabbia non fangosa anche all’interno dei relitti (Fig. 13).

Questi depositi sabbiosi si sono formati in un ambiente ad elevata energia: in generale, la sabbia sollevata dal fondale marino dalle tempeste ha poi ricoperto le imbarcazioni, permettendo in questo modo la loro parziale conservazione

dagli effetti del moto ondoso e degli organismi viventi lignifori. Per quanto riguarda il carico, le anfore, ad esempio, che sono cadute in mare e non sono state sepolte dalla sabbia, hanno subito frammentazione a causa delle onde, per questo i margini delle ceramiche risultano rotondeggianti; inoltre, più ci si allontana dall'area in cui sono affondate le navi più sono ridotti nelle dimensioni i resti delle anfore e delle ceramiche e la loro densità diminuisce; secondo Perinçek, questo indica che la loro dispersione è stata causata da eventi di tempesta¹⁴⁶.



Fig. 13 – Frammenti ceramici e litici presenti nell'unità 6 (Perinçek 2010, 79).

Nell'unità 6 vi sono anche tracce sedimentarie “sismiche”, suggerendo che Istanbul e l'area circostante alla città siano state soggette a forti terremoti durante la deposizione di questo strato; i sedimenti non consolidati, avendo un eccesso di acqua all'interno dei pori, hanno perso la loro struttura primaria sedimentaria e, di conseguenza, la sequenza si è deformata. Le tracce sismiche si sono, dunque, formate prima della compattazione e consolidazione; in particolare, si ritiene che questi sedimenti siano connessi ai terremoti del 989 e del 1010¹⁴⁷.

¹⁴⁶ Perinçek 2010, pp. 78-80.

¹⁴⁷ Perinçek 2010, p. 80.

Capitolo 5

Alessandria d'Egitto

Alessandria, situata sul ramo occidentale del Nilo, prese il nome dal suo fondatore, Alessandro Magno che ordinò la sua costruzione sulle coste dell'Egitto nel 331 a.C. Tuttavia, antiche fonti (Strabone – *Geogr.* XVII, 1, 6-9; Plinio – *Nat. Hist.* V, 11, 62) suggeriscono l'esistenza di un insediamento pre-ellenistico chiamato Rhakotis; per verificare tale evidenza letteraria recenti studi sono stati condotti sui sedimenti portuali della città. I dati ottenuti, basati sulle datazioni geochimiche e radiocarboniche effettuate su frammenti di conchiglie, hanno rivelato dei picchi di contaminazione da piombo durante l'Antico Regno (2.686-2.182 a.C.) e l'Età del Ferro (1.000-800 a.C.); questo dimostra la presenza di un florido insediamento pre-ellenistico sul luogo in cui poi sorse Alessandria¹⁴⁸.

La città, posizionata su un cordone litoraneo che separa il Mar Mediterraneo e il lago Mareotide (o Maryut), un bacino salmastro localizzato nella parte occidentale del delta del Nilo, era famosa in tutto il mondo per la sua enorme Biblioteca Reale, realizzata durante il regno di Tolomeo II all'inizio del III secolo. d.C. e per l'isola di Faro, unita alla terraferma per mezzo di una diga (Eptastadio¹⁴⁹), che consentiva alla città di avere due porti, quello Orientale o “Grande Porto” e quello Occidentale o “Eunostos” (Fig. 14).

Strabone, che ha vissuto ad Alessandria durante la prima metà del I secolo a.C., inizia la sua descrizione della città proprio dai bacini portuali, prestando particolare attenzione al Porto Orientale, situato nella parte più ricca della città, in prossimità diretta con le residenze imperiali e i principali edifici pubblici. Il “Grande Porto” doveva rivestire importanti funzioni commerciali, militari e politiche, non solo per Alessandria, ma per l'intera regione.

Secondo i testi antichi (Strabone; Flavio Giuseppe – *Bell. Iud.* IV, 612), le imbarcazioni che arrivavano nel “Grande Porto” dovevano avere alla loro destra

¹⁴⁸ Véron et al. 2006, pp. 1-4.

¹⁴⁹ Fu chiamato Eptastadio in quanto la sua lunghezza corrispondeva a 7 stadia (lo *stadio* è un'antica unità di misura greca ed equivale a 184,85 m).

(quindi ad est) l'isola di Faro e a sinistra (ad ovest) il Capo Lochia e le scogliere. Inoltre, si ritiene che dovevano essere presenti almeno due canali d'ingresso principali per questo porto: uno situato tra il faro e l'isolotto centrale, l'altro posto tra l'isolotto centrale e l'area orientale del bacino.

Il Porto Orientale comprendeva diversi bacini al suo interno: il "Porto Reale", localizzato ad ovest del Capo Lochia, ampio circa 5 ettari, con ingresso molto stretto e quindi facile da chiudere con delle catene; un secondo bacino, identificato come militare, era situato più a sud, aveva un'area di quasi 15 ettari e a nord-ovest era protetto dalle scogliere; proseguendo verso sud-ovest lungo la costa si trovava un terzo porto di 16 ettari, chiuso da un lato dal promontorio di Poseidone e dall'altra dall'isola di Antirodi, tra queste due linee di terra fu costruito un molo; un ulteriore porto interno era posizionato sottovento rispetto all'isola di Antirodi e la sua parte meridionale era separata da una lunga e stretta diga; inoltre, vi era un passaggio, tra questa diga e il molo, che consentiva la circolazione dell'acqua all'interno dell'area portuale, prevenendone l'interramento; infine, nella parte occidentale del Porto Orientale sono stati scoperti resti di moli e banchine che forse servivano per il piccolo commercio e come cantieri navali.

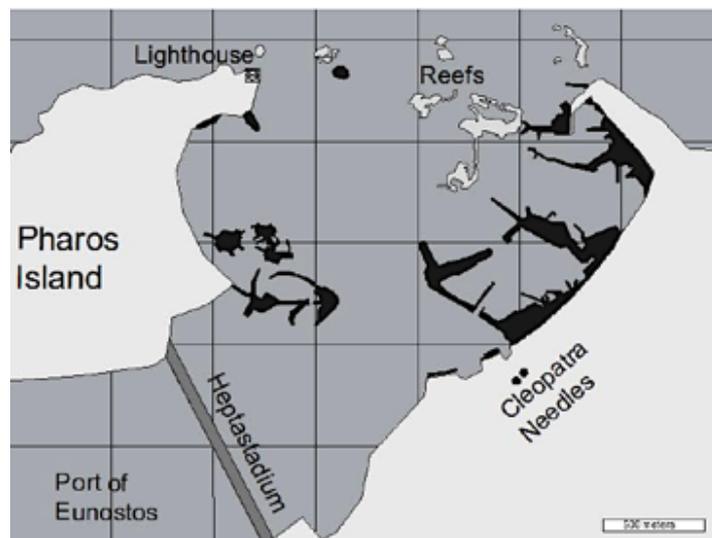


Fig. 14 – Antica topografia del Porto Orientale di Alessandria (da Belov 2014, 9).

5.1 *Il delta del Nilo*

Attualmente, molte coste del Mediterraneo sono formate da spiagge lunghe e sabbiose, ma nell'antichità i litorali di questo bacino erano costituiti da numerose baie e lagune. La graduale scomparsa di queste forme costiere ha avuto inizio con l'innalzamento post-glaciale delle acque, terminato circa 8.000 BP; con la lenta stabilizzazione del livello marino, l'apporto sedimentario fluviale ha permesso la creazione di spiagge e lingue di terre, ricoprendo con argilla, limo e detriti l'antica linea di costa glaciale¹⁵⁰.

Nel Mediterraneo, i delta fluviali hanno iniziato così ad avanzare verso il mare; mentre crescevano in ampiezza hanno però iniziato ad abbassarsi a causa del loro stesso peso, creando, in questo modo, ulteriore spazio per l'accomodamento dei sedimenti. Il delta di Nilo costituisce un esempio di questa situazione: il suo notevole peso ha causato un generale abbassamento delle coste di circa 4-5 m durante gli ultimi 2.500 anni, che, sommato alla subsidenza, alla compattazione dei sedimenti e all'innalzamento del livello del mare, ha provocato la sepoltura di alcuni porti antichi, tra cui quello di Alessandria, attualmente sommerso a 6-8 m di profondità¹⁵¹.

Certamente anche l'impatto delle attività antropiche ha contribuito ad accelerare l'accrescimento costiero durante l'Olocene, e anche i cambiamenti delle condizioni climatiche del Mediterraneo possono aver influito sulla progradazione dei delta fluviali¹⁵².

Il delta del Nilo comprende una superficie piana di circa 22.000 km² e il suo limite settentrionale è definito da una costa di forma arcuata, estesa da Alessandria verso il Canale di Suez. La sua origine è dovuta all'accumulazione di sedimenti connessa sia all'innalzamento eustatico del livello marino sia alla subsidenza, che si presenta minima lungo il margine deltizio occidentale (< 2 mm/anno) e massima nell'area di Porto Said (~ 5.0 mm/anno). Il maggiore controllo del flusso del Nilo durante il XIX secolo, attraverso la realizzazione di

¹⁵⁰ Stewart e Morhange 2009, p. 386.

¹⁵¹ Stanley e Warne 1997, pp. 1-2.

¹⁵² In particolare, molti delta del Mediterraneo hanno subito notevoli avanzamenti durante i secoli della Piccola Era Glaciale (fine XVI- XIX secolo).

sbarramenti e canali d'irrigazione, e la costruzione della diga di Assuan nel XX secolo hanno alterato notevolmente il regime deposizionale lungo costa del delta fluviale (le acque alluvionali che si riversavano nella bassa valle del Nilo e nel delta sono ora contenute nel Lago Nasser, al confine tra Egitto e Sudan). Come conseguenza della deviazione e della riduzione di gran parte delle acque del Nilo e di altri fenomeni locali quali l'aumento dell'erosione costiera, dell'inquinamento e della salinizzazione, il delta del Nilo si trova oggi in una fase di riduzione e distruzione.

5.2 Eventi catastrofici naturali lungo la costa Egiziana

La costa dell'Egitto è una zona attiva dal punto di vista tettonico; tale area si estende in direzione est-ovest per circa 500 km, da Alessandria a Salloum ed è posizionata al limite tra la placca Africana e quella Euroasiatica; per questo motivo, negli ultimi 2.000 anni, è stata colpita da numerosi eventi sismici e da tsunami. In particolare, dallo studio delle testimonianze storiche, sembra che almeno sei tsunami (23 a.C.; 365 d.C.; 1303; 1759; 1870; 1908), causati da terremoti generati nell'arco Ellenico, abbiano impattato Alessandria e l'area del delta del Nilo¹⁵³.

Nel bacino del Mediterraneo, inoltre, il distacco e l'accumulo di clasti di grandi dimensioni lungo le coste sono ritenuti degli indicatori dell'impatto di onde ad elevata energia e sono quindi messi in relazione con eventi catastrofici, quali appunto tsunami e violente tempeste, che normalmente generano onde di notevole altezza; sulla costa Egiziana è stata individuata la presenza di grandi massi presso la zona di Alam-El-Rum¹⁵⁴.

Numerose fonti antiche riportano vari eventi sismici avvenuti nel Mediterraneo orientale; di questi, il terremoto del 365 d.C. risulta essere quello maggiormente descritto. Lo storico romano Ammiano Marcellino (325-391), ad esempio, ci informa che lungo le coste Egiziane si verificò un ritiro delle acque marine in seguito ad un violento terremoto e che, successivamente, il mare

¹⁵³ Morhange et al. 2014, p. 41.

¹⁵⁴ Shah-Hosseini et al. 2016, p. 850.

inondò la terraferma, causando la morte di decine di migliaia di persone; in particolare, nomina la città di Alessandria quando parla delle imbarcazioni che furono trasportate sui tetti delle abitazioni: “Other big vessels pushed out of the sea by the fury of winds ended on the top of the roofs, which occurred in Alexandria...”¹⁵⁵; benché sia una narrazione piuttosto realistica non è totalmente affidabile; fonti successive, infatti, sembrano dimostrare che la devastazione connessa a questo tsunami sia stata limitata all’area dell’Eptastadio¹⁵⁶.

L’epicentro del terremoto che ha innescato lo tsunami si ritiene sia in prossimità di Creta¹⁵⁷ e che abbia colpito varie aree del Mediterraneo orientale, tra cui appunto Creta, Cipro, Libia, Egitto e Palestina¹⁵⁸.

Nello studio condotto da Hamouda (2010), in cui vengono riesaminati la posizione, la direzione, l’altezza e il tempo di arrivo dello tsunami del 365 d.C. lungo le coste Egiziane, è stata calcolata una magnitudo superficiale del terremoto pari a 8.5 e un’intensità di 3; inoltre, si stima che le onde dello tsunami abbiano raggiunto le località litoranee in diversi momenti: a Salloum dopo 52 minuti, ad Alessandria dopo 83 minuti e ad El-Arish (Sinai) dopo 115 minuti; le onde si propagano, infatti, più lentamente dove il fondale è relativamente poco profondo (partendo dalla Piana Abissale di Erodoto sono arrivate poi al lieve pendio che caratterizza l’area di fronte al Delta del Nilo). Infine, sono state ricavate anche le altezze delle onde: a quelle massime sono state registrate ad Alessandria (9.5 m) e a Rashid (7.1 m), mentre le minime a Salloum (2 m) (Fig. 15-16).

Lo tsunami del 365 d.C. sembra, tuttavia, non aver lasciato tracce evidenti nei depositi sedimentari del porto di Alessandria; per spiegare questa apparente assenza di segni lasciati da questo evento, Morhange et al. (2014) hanno proposto due ipotesi: la prima riguarda l’errata collocazione geografica dello tsunami, il quale non si sarebbe verificato ad Alessandria d’Egitto ma in Asia Minore, ad Alessandria Troade; tale ipotesi è sostenuta anche da Goiran grazie al

¹⁵⁵ Pagnoni et al. 2015, p. 2672.

¹⁵⁶ Stiros 2010, pp. 55-56; Secondo Pararas-Carayannia G. (2011) e Pagnoni et al. (2015), danni maggiori, tra cui la distruzione del Faro, sarebbero stati causati dallo tsunami del 1303 d.C.

¹⁵⁷ Come dimostrazione dell’origine del terremoto nella zona di subduzione dell’arco Ellenico è stato indicato il sollevamento di circa 9 m dell’area occidentale di Creta, fenomeno datato dai geologi nello stesso periodo dell’evento sismico.

¹⁵⁸ Hamouda 2010, pp. 697-699.

ritrovamento di una facies portuale apparentemente omogenea e continua, senza segni di perturbazioni di elevata energia; la seconda spiegazione attribuisce, invece, la scomparsa delle tracce dello tsunami alla manutenzione del porto effettuata con dragaggi, che possono aver rimosso tali depositi¹⁵⁹. Solamente Stanley e Bernasconi sembrano aver trovato probabili testimonianze (associazioni biocenotiche, crolli sedimentari e alcune lacune negli strati) dello tsunami del 365 d.C. nella baia orientale di Alessandria¹⁶⁰.

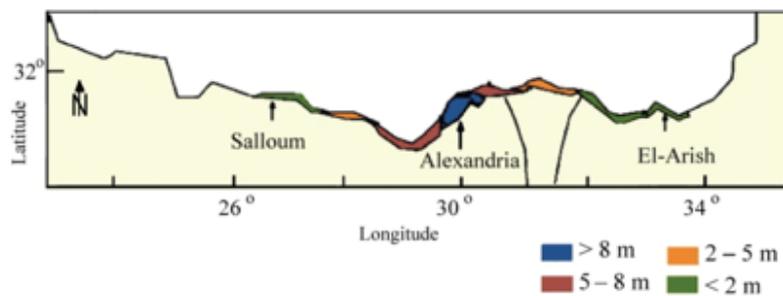


Fig. 15 – Altezza delle onde dello tsunami lungo le coste Egiziane (da Hamouda 2010, 699).

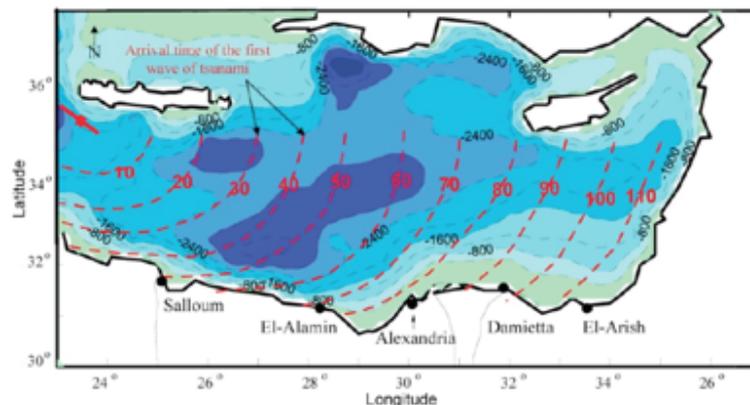


Fig. 16 – Tempo di percorrenza della prima onda dello tsunami del 365 d.C. (da Hamouda 2010, 697).

All'interno dei depositi sedimentari del porto orientale di Alessandria sono stati comunque identificati alcuni strati comprendenti delle importanti lacune, che possono documentare sia episodici eventi di tempesta, di attività sismica e di

¹⁵⁹ Morhange et al. 2014, p. 41.

¹⁶⁰ Stanley e Bernasconi 2006, pp. 283-284.

tsunami, sia l'impatto delle attività umane, che hanno provocato appunto una deformazione sedimentaria¹⁶¹ (Fig. 17).



Fig. 17 – Testa in granito attribuita a Cesarione (Tolomeo XV), figlio di Giulio Cesare e Cleopatra VII, datata al I secolo a.C. e rinvenuta all'interno dell'antico porto di Alessandria, di fronte all'isola di Antirodi (da <http://www.franckgoddio.org/projects/sunken-civilizations/alexandria.html>; ultima consultazione 19/02/2017).

Come visto in precedenza, la foce del Nilo costituisce un'area costiera piuttosto instabile, la cui geomorfologia è condizionata principalmente dall'aumento del livello del mare e dall'apporto di sedimenti fluviali; la baia di Abukir, ad esempio, situata nel delta nord-occidentale del Nilo, si è formata in seguito all'abbassamento e alla degradazione della foce Canopica. Strutture come i frangiflutti e le dighe si ritiene possano aver modificato il normale processo di sedimentazione, creando ulteriore difficoltà nella distinzione tra depositi naturali e quelli connessi ad azioni antropiche. Alcuni studiosi hanno attribuito lo sviluppo di diversi strati di fango, databili tra 2.200-1.800 anni BP, alla realizzazione dell'Eptastadio, la strada rialzata che permetteva di connettere Alessandria con l'isola di Faro¹⁶². L'analisi al radiocarbonio di alcuni campioni

¹⁶¹ Morhange et al. 2014, p. 41.

¹⁶² Anthony et al. 2014, p. 337.

Olocenici e i dati ottenuti dagli scavi archeologici registrano una notevole incidenza della destabilizzazione sedimentaria e dei movimenti terrestri nell'area portuale di Alessandria a partire dalle prime occupazioni antropiche nel corso del I millennio a.C.

Ad Alessandria sono state, inoltre, effettuate anche delle analisi sugli isotopi del piombo per ricostruire la storia del paleo-inquinamento antropico nella città. Il piombo rappresenta, infatti, un buon indicatore per lo studio delle società umane del passato, in quanto la contaminazione ambientale dovuta a questo metallo è legata ai processi di estrazione e di fusione. Tali ricerche non solo hanno mostrato l'utilità del piombo per individuare antichi centri di attività e lavorazione, ma hanno contribuito alla conoscenza dello sviluppo delle città marittime del passato¹⁶³.

Infine, recentemente sono stati condotti alcuni studi per comprendere l'impatto economico dello tsunami del 365 d.C. ad Alessandria; nell'area del delta del Nilo, infatti, l'agricoltura era di primaria importanza non solo per il sostentamento della regione egiziana, ma per tutto l'impero. Sarebbe dunque logico supporre che le onde dello tsunami abbiano avuto un effetto devastante sulla produzione agricola; tuttavia, non sembrano non essere presenti tracce di crisi economica conseguenti all'anno di tale evento catastrofico. Secondo Naco Del Hoyo e Nappo (2013) tale assenza può essere spiegata in due modi: l'impatto dello tsunami lungo le coste dell'Egitto fu di intensità limitata, perciò le sue conseguenze economiche risultano poco visibili; oppure, questo evento ha portato degli sconvolgimenti soltanto sull'economia a breve termine, dimostrando che l'impero romano era in grado di assorbire, senza troppe difficoltà, i danni causati da tali disastri naturali.

5.3. *La baia di Abukir*

Situata a circa 20 km a nord-est di Alessandria, sul limite nord-occidentale del delta del Nilo, la baia di Abukir è considerata un'area moderatamente attiva dal punto di vista tettonico e soggetta all'apporto e alla compattazione dei

¹⁶³ Véron et al. 2013, pp. 138-140.

sedimenti delle foci dei canali Canopici; a causa della subsidenza subita durante gli ultimi 2.500 anni, la costa di questa baia si è spostata di quasi 5 km a sud rispetto all'originaria linea litoranea¹⁶⁴ (Fig. 18).

Al suo interno sono state recentemente scoperte due città sommerse a 5-7 m di profondità: Heracleion e Canopo Orientale; questi siti sono stati fondati dai Greci durante il periodo Tolemaico e rappresentavano dei centri commerciali molto importanti, attraverso cui dovevano passare le navi che volevano entrare nel delta del Nilo.

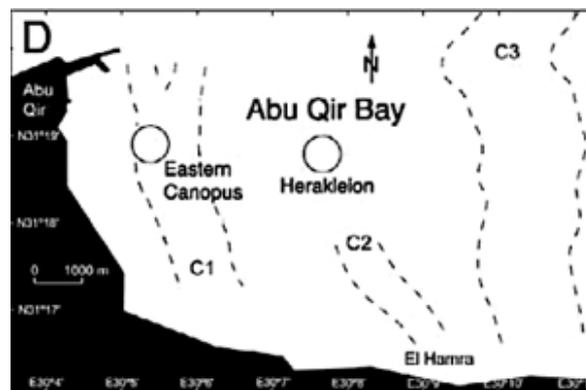


Fig. 18 – I siti di Heracleion e Canopo Orientale, un tempo localizzati lungo i canali Canopici del Nilo e vicini alla linea di costa, ora si trovano alla profondità di 5-7 m nella baia di Abukir (da Stanley 2005, 68).

Alcune testimonianze storiche e i dati archeologici indicano che Heracleion fu attiva dal IV secolo a.C. e che fu parzialmente sommersa nel I secolo d.C.; Canopo Orientale, invece, scomparve intorno alla metà dell'VIII secolo d.C., dopo la conquista Araba.

La graduale subsidenza e l'innalzamento del livello relativo del mare hanno provocato una sommersione dei siti di 4-5 m; mentre i crolli e le frane, provocati dall'apporto e dalla mobilitazione dei sedimenti del substrato saturo d'acqua, che si sono verificati durante le inondazioni e i terremoti, hanno probabilmente causato un'ulteriore abbassamento delle due città di 3-4 m¹⁶⁵. Senza nessuna

¹⁶⁴ Stanley 2005, p. 69.

¹⁶⁵ I processi che hanno portato alla sommersione dei siti sono stati interpretati sulla base dei dati archeologici, fisiografici, geologici e geofisici (grazie all'utilizzo di side-scan sonar, magnetometro a risonanza nucleare, sismica ad alta risoluzione).

diga o altri sistemi di protezione, non sorprende che i siti siano stati danneggiati e siano sprofondatai all'interno della baia di Abukir (Fig. 19).



Fig. 19 – Colossale statua in granito rosso (di circa 5 m di altezza) trovata nei pressi del tempio della sommersa città di Heracleion (da <http://www.franckgoddio.org/projects/sunken-civilizations/heracleion.html>; ultima consultazione 19/02/2017).

Sebbene la distruzione di Canopo Oriente venga attribuita all'inondazione del Nilo del 741-742 d.C., può non essere legata necessariamente ad unico evento catastrofico; infatti, numerosi studi sismologici e archeologici hanno dimostrato che, durante il periodo compreso tra IV e VI secolo d.C., si verificarono vari terremoti devastanti in tutto il Mediterraneo Orientale (Fig. 20). Inoltre, in aggiunta ai processi naturali (subsidenza, aumento del livello marino) è molto probabile che l'abbassamento delle città sia stato aggravato dalla costruzione di edifici pesanti, come templi colonnati e spesse murature, direttamente al di sopra del substrato fangoso, instabile e non consolidato, su cui non furono realizzate delle fondazioni robuste o delle basi di calcestruzzo¹⁶⁶.

¹⁶⁶ Stanley et al. 2004, pp. 4-7.



Fig. 20 – Misurazione delle numerose colonne in granito rinvenute a Canopo (da <http://www.franckgoddio.org/projects/sunken-civilizations/canopus.html>; ultima consultazione 19/02/2017).

Capitolo 6

Cesarea Marittima (Israele)

Il porto di Cesarea Marittima¹⁶⁷ in Palestina, circa 40 km a sud di Haifa, è uno dei grandi impianti antichi realizzati quasi interamente in mare; la sua costruzione fu ordinata da Erode il Grande nel 21 a.C. e preziose descrizioni della città ci sono fornite dallo storico Flavio Giuseppe (*Bell. Iud.* V, 21). Secondo l'autore, Erode scelse di realizzare il porto e la città di Cesarea Marittima nel sito di un antico villaggio Fenicio, da tempo abbandonato, chiamato Torre di Stratone. La città era situata in una posizione vantaggiosa per la costruzione di un porto commerciale ma ha posto notevoli sfide tecniche per la sua edificazione; l'ambiente della costa Israeliana offriva, infatti, scarsa protezione naturale ed è stato solo grazie all'uso di fondazioni antropiche che il porto di Cesarea ha preso forma.

Tali narrazioni hanno trovato pieno riscontro nelle recenti scoperte archeologiche subacquee che, oltre a precisare la conformazione dell'intera area portuale, hanno accertato l'adozione di sistemi costruttivi descritti da Vitruvio¹⁶⁸ (*De architectura* V, XII)¹⁶⁹.

Il bacino fu costruito su delle creste di arenaria eolianite (chiamata localmente "kurkar"), che si estendevano parallelamente rispetto alla costa, e al di sopra delle sabbie non consolidate provenienti dal Nilo; partendo da queste basi, gli ingegneri romani utilizzarono il calcestruzzo pozzolanico (*pulvis puteolanus*) per la realizzazione dei moli, dando così vita ad un bacino artificiale chiuso che, a

¹⁶⁷ Inizialmente chiamato "Sebastos" e successivamente *Portus Augustii* (dopo la rifondazione della città come colonia romana da parte di Vespasiano nel 71 d.C.).

¹⁶⁸ Vitruvio distingue tre principali tecniche per la costruzione dei moli in acqua: a cassaforma "inondata"; a cassaforma "stagna"; con blocchi prefabbricati; i primi due metodi sono da utilizzare per costruzioni da fare direttamente sul punto di destinazione dell'opera (mediante gettate di calcestruzzo in casseforme di legno), il terzo, invece, prevede la realizzazione a terra di blocchi prefabbricati da gettare poi in acqua in un secondo momento. In particolare, a Cesarea è stata rinvenuta una porzione di cassaforma lignea con paratia doppia, riempita da una sorta di malta; tuttavia, questa cassa non era stagna, in quanto priva di fondo. Raban 1998, p. 217.

¹⁶⁹ Nel 2001 è stato avviato un progetto per mappare le fondazioni di calcestruzzo pozzolanico a Cesarea utilizzando metodi magnetici; si è ritenuto, infatti, che l'alto contenuto di cenere vulcanica e tufo nel calcestruzzo (materiali ricchi di ossidi magnetici) avrebbe dovuto dare un evidente contrasto magnetico rispetto ai sedimenti circostanti. Boyce e Reinhardt 2004, pp. 122-123.

differenza dei porti del Bronzo Antico e dell'Età del Ferro che sfruttavano insenature e protezioni naturali, era completamente esposto alle dinamiche ad elevata energia della costa Levantina¹⁷⁰. (Fig. 21-22).

Le fasi di vita del porto, ricostruite mediante ricerche sedimentologiche, geofisiche e archeologiche, possono essere suddivise in sei fasi principali: 1) I secolo d.C.: inizio costruzione; 2) I-II secolo d.C.: distruzione; 3) III-IV secolo d.C.: ambiente non protetto, esposto al mare aperto e privo di strutture portuali intatte; 4) IV-VI secolo d.C.: porto naturale; 5) VI secolo d.C.: riempimento di sedimenti sabbiosi; 6) VI-XI secolo d.C.: restaurazione e distruzione¹⁷¹.

Il porto originale comprendeva tre sotto-bacini ed era chiuso da un ampio molo ad ovest (chiamato “molo meridionale”) e da un altro molto più corto e di forma rettangolare a nord; si accedeva al porto tramite un canale piuttosto stretto situato a nord-ovest. Lungo il lato rivolto verso il mare del molo meridionale è stato posto un ulteriore frangiflutti segmentato, affinché assorbisse l'energia del moto ondoso, prevenendo il degrado del molo e proteggendo i depositi collocati sopra di esso dalle onde. Inoltre, era provvisto di canali artificiali e grate che dovevano mantenere un costante ingresso di acqua marina nel porto, impedendo l'insabbiamento dei bacini portuali¹⁷².

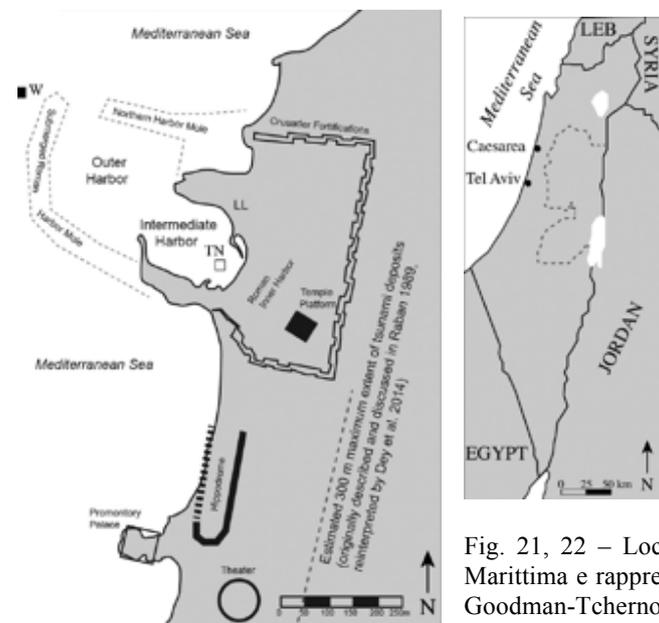


Fig. 21, 22 – Localizzazione della città di Cesarea Marittima e rappresentazione del bacino portuale (da Goodman-Tchernov e Austin Jr. 2015, 446).

¹⁷⁰ Raban e Holm 1996, pp. 359-360.

¹⁷¹ Goodman-Tchernov e Austin Jr. 2015, p. 445.

¹⁷² Boyce e Reinhardt 2004, pp. 123-126.

Secondo Flavio Giuseppe, il porto doveva superare in dimensione la maggior parte dei bacini portuali del Mediterraneo contemporanei e afferma che per la sua realizzazione furono fatti ingenti investimenti. È emerso, infatti, che molti dei materiali costruttivi utilizzati provenivano da paesi piuttosto lontani da Cesarea: ad esempio, analisi chimiche effettuate sulla pozzolana adottata per i moli mostrano che fu prelevata dal Vesuvio; mentre il legno con cui fu realizzata la cassaforma era originario delle foreste di cedri del Libano¹⁷³.

Nonostante i significativi investimenti e la durevolezza del calcestruzzo utilizzato, il porto risulta essere in stato di degrado verso la fine del II secolo d.C.; l'esistenza di una situazione di questo tipo è stata confermata dalle datazioni radiocarboniche effettuate sulle evidenze sedimentologiche, che mostrano un cambiamento nella natura del luogo: da un ambiente a bassa energia (porto chiuso) ad un ambiente esposto al mare aperto, quindi non protetto, nel corso del II secolo d.C. Fu sottoposto ad alcune ristrutturazioni durante il VI secolo d.C., ma dalla fine del periodo Bizantino non riuscì più ad essere uno dei principali porti commerciali del Mediterraneo orientale.

Attualmente le sovrastrutture portuali sono fortemente degradate a causa dei collassi e dell'azione erosiva; tuttavia, alcune infrastrutture sommerse a 4-10 m sotto il livello del mare sono ancora intatte.

Proprio per l'importanza di questo porto¹⁷⁴, nel 1992, per volere dell'archeologo A. Raban del Centro di Studi Marittimi dell'Università di Haifa in occasione della celebrazione del bimillenario della città e del porto, è stato istituito a Cesarea Marittima un parco archeologico subacqueo, il primo di questo genere realizzato nel bacino del Mediterraneo. Esso è costituito da quattro percorsi, di 400 m di lunghezza, attraverso i quali sono stati posti dei cavi-guida fissati a pali metallici sul fondo marino a -6 m, che permettono ai subacquei di visitare il sito, anche con l'aiuto di guide illustrate plastificate. La realizzazione del parco è stata possibile grazie alla collaborazione tra il Cesarea

¹⁷³ Hohlfelder et al. 2007, pp. 409-410; Votruba 2007, p. 225.

¹⁷⁴ Quando Sebastos fu completato, nel 15 a.C. (dopo più di cinque anni dall'inizio dei lavori), rappresentava il più grande bacino artificiale del Mediterraneo e fu il primo utilizzato in cui fu utilizzato su vasta scala l'innovativo calcestruzzo idraulico.

Development Co., che ha finanziato e promosso il progetto, il Centro di Studi Marittimi dell'Università di Haifa e della Federazione dei Subacquei Israeliani, a cui è affidata la manutenzione del parco¹⁷⁵.

6.1 *Il degrado del bacino portuale*

Attualmente il porto romano di Cesarea si trova sommerso in alcune aree a 5 m sotto il livello del mare ed è stato considerato come un sito di ricerca ideale per la comprensione degli impatti tsunamigenici (Fig. 23). Negli ultimi trent'anni, infatti, archeologi, geologi e storici hanno cercato di trovare una spiegazione per la rapida scomparsa di questo porto, indicando come possibili cause vari processi naturali, tra cui la presenza di faglie in mare aperto, l'attività sismica, i cedimenti e i deterioramenti delle strutture, la liquefazione e lo spostamento di sabbie non consolidate. Tali studi costituiscono degli esempi fondamentali di archeologia multidisciplinare e di ricerca neocatastrofica.



Fig. 23 – Fotografia aerea dell'antico porto sommerso di Cesarea Marittima (da Hohfelder et al. 2005, 409).

¹⁷⁵ Raban 1992, pp. 112-113.

Ad esempio, negli anni Novanta del secolo scorso, Mart e Peregman (1996) proposero una teoria neotettonica per spiegare la sommersione a circa 5 m di profondità dei frangiflutti romani: attraverso indagini sismiche a riflessione, questi studiosi sostenevano che la subsidenza delle antiche strutture fosse stata causata dallo spostamento tettonico di faglie parallele alla costa, diventate attive in un periodo successivo alla costruzione del porto. Recenti ricerche geologiche hanno, tuttavia, attestato una stabilità neotettonica dell'area almeno per gli ultimi 2.500 anni¹⁷⁶.

Un'ulteriore teoria neocatastrofica più recente si è focalizzata, invece, sugli impatti degli tsunami. Reinhardt et al. (2006) hanno, infatti, condotto delle indagini geoarcheologiche subacquee sul basso fondale (~10 m di profondità) di fronte a Cesarea per documentare lo tsunami che danneggiò l'antico porto nel 115 d.C.; uno strato di circa 0,5 m di spessore, costituito da sabbia grossolana, ciottoli, ceramica e frammenti di conchiglie (*Glycymeris violescens*), è stato interpretato come il deposito di tale evento; la datazione radiocarbonica ottenuta dalle conchiglie ha permesso di collocare cronologicamente questa unità sedimentaria tra I secolo a.C. e II secolo d.C., rendendo quindi plausibile l'ipotesi dello tsunami del 115 d.C. (Fig. 24-26).



Fig. 24 – La piscina del palazzo di Erode fortemente erosa dal mare (da <http://www.thisworldrocks.com/destinations/middle-east/israel/exploring-israels-ancient-roman-ruins/>; ultima consultazione 19/02/2017).

¹⁷⁶ Marriner e Morhange 2007, pp. 161-162.



Fig. 25 – L'antico porto di Cesarea Marittima è stato fortemente urbanizzato nel corso del tempo (da <https://ferrelljenkins.wordpress.com/category/church-history/page/2/>; ultima consultazione 21/02/2017).



Fig. 26 – Moderne strutture realizzate sull'antico bacino portuale di Cesarea Marittima (da <http://www.ayalatours.co.il/english/Article.aspx?Item=650&Section=611>; ultima consultazione 21/02/2017).

6.1.1 *Gli tsunami lungo la costa di Cesarea Marittima*

Esistono alcune evidenze storiche di tsunami che si riferiscono direttamente alla città di Cesarea, in particolare agli eventi del 115 d.C., 551 d.C., 749 d.C. e 1202 d.C. Già da molti anni gli archeologi erano consapevoli della presenza di questi fenomeni nel Mediterraneo orientale, ma non disponevano di strumenti adatti o non possedevano abbastanza dati di riferimento per poter attribuire con certezza la formazione di determinati depositi ad eventi di tsunami, perciò furono proposte delle spiegazioni alternative per tali strati sedimentari; ad esempio, le ampie distese di conchiglie presenti negli scavi terrestri di Cesarea, attualmente ritenute evidenze di uno tsunami, sono state precedentemente interpretate come il risultato di attività di dragaggio o di riempimento.

In quest'area del Mediterraneo, i depositi tsunamigenici sono stati sepolti al di sotto delle sabbie trasportate dal Nilo; prima della costruzione del porto, al tempo dell'evento di Santorini, tali strati non potevano avere buone possibilità di conservarsi nelle acque poco profonde presenti di fronte a Cesarea, sia a causa della loro esposizione verso il mare aperto, sia perché venivano redistribuiti e trasportati durante le tempeste; gli tsunami che si sono, invece, verificati dopo la realizzazione del porto si sono potuti preservare grazie all'ambiente protetto, caratteristico del bacino¹⁷⁷.

6.1.1.1 *Gli eventi del 115 d.C. e 551 d.C.*

Per dimostrare l'impatto dello tsunami del 115 d.C., che si ritiene aver causato l'inizio del degrado portuale di Cesarea, Reinhardt et al. (2006) hanno analizzato il fondale esterno all'antico porto, individuando dei depositi contenenti conchiglie alloctone, prevalentemente *Glycymeris*, datate al radiocarbonio tra I a.C. e II d.C.; questi molluschi generalmente vivono ad almeno 18 m di profondità e sono piuttosto robuste: l'abbondante ritrovamento di gusci frammentati e di forma non arrotondata è coerente con un evento ad elevata energia e un rapido seppellimento.

¹⁷⁷ Goodman-Tchernov e Austin Jr. 2015, pp. 451-453.

Durante lo tsunami, infatti, grandi quantità di sedimenti del fondale marino e di conchiglie devono aver colpito le infrastrutture portuali e lo strato roccioso naturale, provocando la frammentazione dei materiali, il danneggiamento e l'affondamento (provocato dalla liquefazione dei sedimenti) delle fondazioni del molo. Nella successiva fase di ritiro delle acque possono essersi verificati ulteriori processi di alterazione ed erosione, che hanno portato alla formazione di depositi caotici caratterizzati da disomogeneità (Fig. 27).

Dey e Goodman-Tchernov (2010) hanno determinato la datazione dei depositi tsunamigenici (115 d.C. e 551 d.C.) studiando frammenti di ceramica diagnostica, effettuando l'analisi radiocarbonica delle conchiglie bivalve e utilizzando la Luminescenza Otticamente Stimolata (OSL) sui sedimenti sabbiosi. All'interno di questi strati sono state osservate delle caratteristiche simili, tra cui cambiamenti micropaleontologici (ad esempio, nella concentrazione relativa di specie differenti di foraminifere) e la presenza di inclusi organici terrestri.

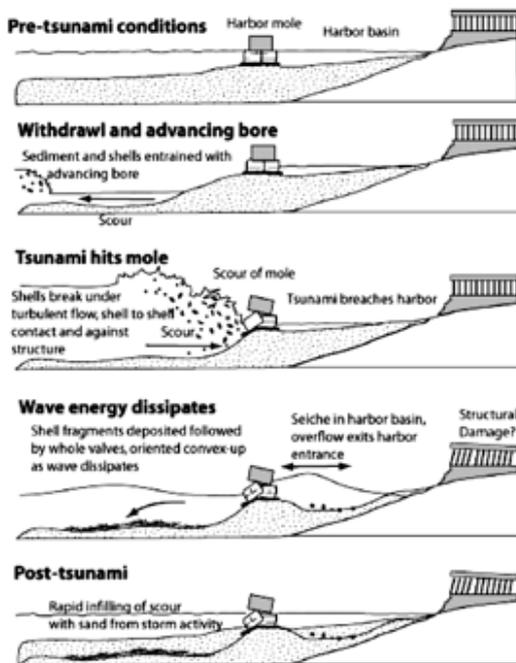


Fig. 27 – Sequenza degli eventi avvenuti durante l'impatto dello tsunami (da Reinhardt et al. 2006, 1063).

Riguardo allo tsunami del 115 d.C. non disponiamo di molte fonti letterarie: Cassio Dione (LXVIII, 24-25), all'inizio del III secolo d.C., descrive gli effetti del terremoto che colpì Antiochia; due passi del Talmud raccontano di un

terremoto avvenuto in Siria, che distrusse la città di Antiochia e che generò un'onda di tale ampiezza che si dice fu vista perfino da Roma; si ritiene, dunque, che quest'onda, generata da una forte attività sismica, abbia danneggiato anche Cesarea e Yavneh.

Abbiamo, invece, maggiori informazioni sullo tsunami del 551 d.C., che deve aver molto colpito gli osservatori contemporanei all'evento, diventati più sensibili ai disastri naturali a causa di un reale aumento della loro frequenza nel periodo compreso tra IV e VI secolo. Numerosi terremoti provocarono localmente devastanti tsunami in vari settori del Mediterraneo orientale, dalla terraferma della Grecia alle isole Egee, Creta e Cipro, dalle coste dell'Egitto alla Palestina. L'evento del 551 d.C. è descritto in tre fonti più o meno contemporanee: Malalas (*Chron.* XVIII, 118), Agazia (*Hist.* II, 15-16) e Giovanni di Efeso (*Hist.* libro II). Malalas e Giovanni concordano sul fatto che le onde abbiano devastato numerose città litoranee, tra cui Sidone, Tiro, Tripoli, Byblos, Beirut e Botrus¹⁷⁸.

Si ritiene che a Cesarea, in seguito a questi eventi catastrofici, ci furono dei periodi di commercio ridotto nel bacino portuale e delle fasi di stagnazione economica nella città.

Contemporanei allo tsunami del 115 d.C. sono i disordini generati dalla popolazione ebraica della regione, culminati meno di 20 anni dopo nella disastrosa rivolta di Bar Kokhba, evento che portò notevoli conseguenze non solo a Cesarea ma nell'intera provincia di Palestina; questo avvenimento può forse aiutare a spiegare perché le autorità Romane non abbiano tentato di ripristinare il porto alla sua precedente magnificenza.

Il traffico commerciale nel porto riprese vigore nella seconda metà del III secolo d.C.; inoltre, la riorganizzazione Diocleziana dell'annona militare e la riscossione delle tasse sui prodotti agricoli, destinati alle truppe stazionate in tutto l'impero, fanno presupporre una connessione diretta tra il ruolo di Cesarea come punto focale per la distribuzione dei prodotti del Levante e una rinascita del porto durante il IV secolo.

¹⁷⁸ Dey e Goodman-Tchernov 2010, pp. 270-272.

Dopo un lungo periodo di prosperità nei maggiori centri urbani del Levante, si verificò lo tsunami del 551 d.C. che determinò l'inizio del degrado portuale, testimoniato anche dal declino delle quantità di beni commerciali trasportati alla fine del VI secolo; la città di Cesarea e l'intera regione peggiorarono ulteriormente le loro condizioni nei primi anni del VII secolo, con l'occupazione Persiana dal 614 al 628, seguita dalla conquista Araba meno di un decennio più tardi¹⁷⁹.

6.1.1.2 *La scoperta dei depositi dello tsunami del 749 d.C.*

Dey et al. (2014), dopo aver recentemente rivisto tutti i risultati degli scavi effettuati negli anni precedenti, per poter ottenere una visione più chiara degli eventi che colpirono Cesarea, sono riusciti ad identificare le tracce di un altro tsunami, associato al devastante terremoto del 749 d.C., che ha lasciato notevoli segni di distruzione in tutta la regione, soprattutto a Madaba, Damasco, Scythopolis e Cesarea stessa.

Dalle evidenze stratigrafiche vediamo, quindi, che la vita a Cesarea non finì con i disordini politici e militari dell'inizio del VII secolo, anche se la città diventò più povera e ridotta nelle dimensioni rispetto al suo apice tra IV-VI secolo. Un segno di questa continuità dopo il terremoto e lo tsunami del 551 d.C. può essere notato nella relativa assenza di depositi marini attribuibili a questo evento, anche in settori della città molto vicini alla costa; questo suggerisce che fu compiuto un notevole sforzo per ripulire l'intera area. Uno scenario simile è stato proposto anche per l'evento del 749 d.C., in questo caso però furono bonificate solo le zone circostanti il porto interno e la piattaforma del tempio, cioè i quartieri che rimasero abitati anche dopo la conquista Araba del 640-641.

Gli strati più significativi attribuibili ad un'inondazione marina della metà dell'VIII secolo sono visibili nel settore sud-occidentale, lungo la fascia costiera a sud delle fortificazioni Crociate; essi comprendono due distinte e sovrapposte sequenze, ognuna costituita da uno strato sottostante composto da conchiglie,

¹⁷⁹ Dey e Goodman-Tchernov 2010., p. 275, pp. 279-281.

pietrisco e frammenti vari, spesso fino a 1,5 m, databile all'VIII secolo¹⁸⁰ e da uno strato superiore scuro e argilloso di 20-40 cm di spessore, formatosi nel XIV secolo.

Per spiegare la presenza di questi depositi, senza considerare l'impatto di uno tsunami, furono proposte due ipotesi: secondo la prima, gli strati rappresentano una deposizione intenzionale di materiale dragato dal fondale portuale, mentre per la seconda, si verificarono delle fluttuazioni tettoniche che causarono il sollevamento e l'abbassamento della costa (fino a 10 m) avvenuti in cicli ripetuti tra l'età Romana e Medievale (quando la costa era sotto il livello del mare si sono formati i depositi). La prima ipotesi non è plausibile perché, alla fine del VII e all'inizio dell'VIII secolo, il settore interessato dai depositi fu trasformato in un giardino terrazzato, irrigato da fontane e cisterne, realizzato all'interno e sopra i resti degli edifici residenziali e amministrativi Bizantini. Per quanto riguarda la seconda proposta non esistono evidenze di un significativo spostamento verticale della linea di costa negli ultimi millenni; il livello del mare lungo le coste Levantine è variato molto poco dall'inizio del periodo Romano, infatti, è rimasto tra ± 50 cm¹⁸¹. Notevoli spostamenti verticali si verificarono solo in mare aperto, dove le infrastrutture antropiche costruite su sedimenti non consolidati, come ad esempio le porzioni esterne dei moli, sono sprofondate di quasi 5 m; questo processo può essere dovuto dall'azione abrasiva causata da violente tempeste e da tsunami.

Gli strati dell'VIII secolo hanno, quindi, molte delle caratteristiche tipiche dei depositi tsunamigenici: sedimenti marini alloctoni, deposizione laterale estesa lungo la costa, inclusioni malacologiche, materiali eterogenei e la stessa struttura sedimentologica.

Varie fonti medievali descrivono un terremoto che colpì il Levante nell'VIII secolo e che causò l'inondazione di molte aree costiere; la più nota testimonianza è rappresentata dalle cronache di Michele il Siro (*Chron.* 466-67), secondo cui il mare "boiling like a cauldron", sommerse le coste meridionali del

¹⁸⁰ Nello strato inferiore sono stati rinvenuti anche resti ossei umani disarticolati e uno scheletro completamente integro; questi corpi furono probabilmente depositati da un evento naturale violento (forse proprio dal ritiro delle acque dello tsunami) e rapidamente ricoperti dai detriti.

¹⁸¹ Sivan et al. 2001, pp. 101-104.

Levante e affondò moltissime imbarcazioni. Un'altra fonte che si riferisce a questo evento può essere anche un anonimo poema liturgico Ebraico, del X-XII secolo, che racconta dell'inondazione della pianura di Sharon, nella cui parte settentrionale si trova Cesarea¹⁸².

Infine, anche nel recente studio effettuato da Goodman-Tchernov e Austin Jr. (2015), in cui è stato utilizzato un sub-bottom profiler ad elevata risoluzione per la creazione di mappe della superficie portuale, sono state trovate tracce di uno tsunami avvenuto nell'VIII secolo. Analizzando i risultati delle indagini, gli studiosi sono giunti alle seguenti conclusioni: al largo di Cesarea si possono effettivamente riconoscere degli orizzonti tsunamigenici multipli (riferibili quindi a più eventi); in genere uno strato di origine tsunamigenica è caratterizzato da eterogeneità dei materiali e dalla presenza di tracce di canalizzazione dovute al ritiro delle acque.

Esempi di questo tipo di depositi sono stati rinvenuti nell'area meridionale del porto e sono stati datati al VI-VIII secolo d.C., mentre nel porto intermedio, di bassa profondità, sono stati indagati alcuni strati contenenti materiale di vario tipo (domestico, commerciale, religioso), databili tra IV-VIII secolo d.C., con differenti stati di conservazione, suggerendo una rapida e non intenzionale sepoltura degli oggetti, prodotta appunto da uno tsunami.

Utilizzando il contrasto acustico è stato, inoltre, possibile osservare le proprietà fisiche degli strati, riuscendo così a differenziare i sedimenti generati da tsunami da quelli non tsunamigenici: la sabbia del Nilo risulta, ad esempio, molto omogenea (silico-clastica e ricca di quarzo), mentre i depositi prodotti dagli tsunami sono composti da granelli sabbiosi di varie dimensioni e da materiali eterogenei (conchiglie, frammenti di roccia, ciottoli, ceramica...).

Dalle analisi effettuate nel corso negli anni, si può, dunque, affermare che Cesarea sia stata colpita da diversi tsunami: un primo evento avvenuto nel II secolo d.C. (115 d.C.), che ha danneggiato il porto, a quell'epoca ancora intatto; e successivi tsunami avvenuti tra VI-VIII secolo d.C. (551 d.C., 749 d.C.) che hanno impattato un bacino portuale già in stato di degrado.

¹⁸² Dey et al. 2014, p. 367.

Capitolo 7

Campi Flegrei (Italia)

La regione vulcanica dei Campi Flegrei¹⁸³, comprendente un'area di circa 150 km², si estende a nord-ovest di Napoli e si affaccia sulle acque del Golfo di Pozzuoli (Mar Tirreno). È conosciuta, in particolare, per i suoi numerosi siti archeologici datati al periodo romano (ad esempio, la famosa città commerciale di *Puteoli* e la rinomata località residenziale di *Baiae*) e per il fenomeno del bradisismo, che nel corso del tempo, già a partire dal IV secolo d.C., ha radicalmente modificato la struttura originaria della linea di costa, portando alla sommersione di alcune aree litoranee¹⁸⁴ (Fig. 28-29).

A causa di due importanti eventi eruttivi, avvenuti uno circa 39.000 anni fa (eruzione dell'Ignimbrite Campagna) e l'altro circa 15 anni fa (eruzione del Tufo Giallo Napoletano) una parte della caldera dei Campi Flegrei è stata sommersa sotto il livello del mare¹⁸⁵.



Fig. 28, 29 – Localizzazione della regione dei Campi Flegrei in Italia meridionale (da Morhange et al. 2006a, 93).

Le città localizzate all'interno della caldera sono, infatti, attualmente sommerse a circa 10 m sotto il livello medio del mare e costituiscono degli

¹⁸³ Il nome deriva da φλεγραιος, ardente.

¹⁸⁴ Miniero 2010, p. 102.

¹⁸⁵ Morhange et al. 2006a, p. 93.

ottimi esempi per studiare la mobilità della linea costiera di questa regione dovuta appunto al bradisismo, fenomeno che comporta delle periodiche oscillazioni verticali (abbassamento e innalzamento) del suolo, provocando evidenti trasformazioni nella geomorfologia dell'ambiente.

Si ritiene che la deformazione della superficie terrestre, connessa a questi movimenti verticali, sia da attribuire a delle variazioni del volume della riserva magmatica: i cicli di riempimento e sgonfiamento della camera sono indotti dagli apporti di magma, dai processi di degassamento e dalle essoluzione di fluidi¹⁸⁶.

7.1 I siti archeologici sommersi di Baia e Pozzuoli

L'area litoranea compresa tra Bacoli e Pozzuoli costituisce il Parco Archeologico Sommerso di Baia, istituito nel 2002 per proteggere non solo le testimonianze storico-archeologiche ivi presenti ma anche l'ambiente marino stesso¹⁸⁷.

Il vulcanismo attivo, caratteristico di questa regione, ha attirato l'attenzione di studiosi e viaggiatori fin dall'antichità; in particolare, le colonne romane del mercato di Pozzuoli, perforate da organismi marini, divennero famose nel XVIII secolo all'interno del dibattito che vedeva contrapposti i catastrofisti e gli attualisti. Goethe, ad esempio, sosteneva che i fenomeni eruttivi, tipici della zona, potevano aver creato un avvallamento, che si sarebbe poi riempito di acqua marina (permettendo così lo sviluppo dei molluschi sulle colonne). Nel XIX secolo, grazie soprattutto alle ricerche di Lyell, sostenitore dell'uniformismo, questi resti archeologici divennero un simbolo della geologia moderna e vennero utilizzati per spiegare la mobilità del substrato terrestre (fino al XVIII secolo, invece, si credeva che la sommersione e l'emersione degli edifici del mercato fossero dovute a delle variazioni del livello

¹⁸⁶ Marriner e Morhange 2007, pp. 150-151.

¹⁸⁷ Stefanile 2012, p. 36.

del mare)¹⁸⁸. Verso la metà del secolo scorso, Parascandola fu il primo che tentò di realizzare una sintesi dei movimenti terrestri avvenuti lungo questo tratto costiero¹⁸⁹.

La regione dei Campi Flegrei viene descritta anche in alcune fonti letterarie antiche; si veda, ad esempio, l'interpretazione del bradisismo attivo in quest'area come punizione divina contro i pagani negli Atti Apocrifi degli Apostoli Paolo e Pietro (testo originario del IV secolo d.C. con rimaneggiamenti del IX secolo d.C.); interessante è anche la visione della società Medievale: la zona, a causa delle eruzioni vulcaniche e dei sollevamenti della superficie terrestre, era stata identificata come la discesa verso gli Inferi; questa immagine dell'oltretomba rimane presente anche nelle credenze Cristiane¹⁹⁰.

7.1.1 Pozzuoli

La città di Pozzuoli era situata nel settore occidentale dei Campi Flegrei e, grazie a tale posizione geografica, costituiva il principale centro portuale di Roma, intrattenendo rapporti commerciali con la Sicilia, l'Africa e il Vicino Oriente.

Il mercato romano (*Macellum*) del I-III secolo d.C., chiamato anche "Serapeo", costituisce l'area maggiormente interessante della città, sia dal punto di vista archeologico che geologico: infatti, essendo situato in prossimità della riva, rappresenta l'esempio per eccellenza del fenomeno del bradisismo; scoperto verso la metà del XVIII secolo, comprende delle strutture¹⁹¹ (magazzini, depositi, moli e colonnati) in parte sommerse dalle acque marine.

Sulle colonne si nota una porzione, compresa tra 3,6 m e 6,5 m dalla base, perforata da litodomi marini e gli strati sedimentari (costituiti da incrostazioni calcaree o da materiale vulcanocastico) mostrano un'alternanza di episodi marini e continentali: una prima ingressione marina si sarebbe verificata nel V secolo

¹⁸⁸ Il mercato romano di Pozzuoli fu raffigurato sul frontespizio dell'opera "Principles of Geology" (1830-1833) di Lyell.

¹⁸⁹ Morhange et al. 2003, pp. 372-374; Pappalardo e Russo 2001, p. 107.

¹⁹⁰ Morhange et al. 2003, p. 376; Varriale 2004, pp. 302-303.

¹⁹¹ Molto importante nella storia dell'ingegneria portuale di Pozzuoli è l'utilizzo dell'*opus caementicium* nella realizzazione dei moli; tale tecnica costruttiva viene ricordata anche da Strabone (V, 4, 6).

d.C., una seconda fase marino-lacustre tra VIII-X secolo d.C. e un ultimo episodio marino nel corso del XIV-XVI secolo d.C.¹⁹² (Fig. 30-31).

Gli organismi marini che hanno perforato le colonne sono stati utilizzati come indicatori biologici per valutare il livello del mare del passato; in particolare, sono stati prelevati dei campioni fossili (sia di molluschi fissi, come i *Chama gryphoides*, sia perforanti, ad esempio i *Lithophaga lithophaga*) in tre aree: sulle colonne del mercato, sulle falesie del Rione Terra e in un criptoportico scavato nel Rione Terra. Il materiale biologico, datato al radiocarbonio, può essere suddiviso in tre gruppi¹⁹³:

- il primo ha un'età media di 2230±25 anni BP (cal. 334-527 d.C.); tale datazione è in accordo con i dati epigrafici, che nominano il mercato per l'ultima volta nel 394 d.C.;

- il secondo risale a 1860±25 anni BP (cal. 698-884 d.C.) e corrisponde a un episodio di sollevamento terrestre che ha causato la morte degli organismi marini; i frammenti ceramici rinvenuti all'interno dello strato sedimentario marino (sabbioso), che si era accumulato in quest'area, sono stati datati archeologicamente al VII-IX secolo d.C.;

- l'età media del terzo è di 1205±20 anni BP (cal. 1336-1454 d.C.), questo periodo di tempo coincide con l'inizio di una fase di sollevamento del substrato; alcune fonti storiche testimoniano un innalzamento della superficie terrestre alla fine del XV secolo, alcuni decenni prima dell'eruzione del Monte Nuovo (1538)¹⁹⁴.

Da questi dati si può dedurre che il livello del mare non sia rimasto stabile a circa + 7 m e che la sommersione della città di Pozzuoli non sia il risultato di un unico evento, anzi sia connessa a tre principali variazioni avvenute tra V e XV secolo d.C.: la prima trasgressione marina del mercato romano termina nel 400-530 d.C.; la seconda oscillazione si è verificata all'inizio del periodo Medievale, tra 700-900 d.C.; l'ultima sommersione durante la fine del Medioevo, seguita da

¹⁹² Pappalardo e Russo 2001, pp. 108-109.

¹⁹³ Morhange et al. 2006a, pp. 93-94.

¹⁹⁴ Nel 1502 e nel 1511 furono rilasciati due editti reali relativi alla distribuzione di nuovi territori litoranei emersi al di sotto del Rione Terra.

una fase di sollevamento terrestre, è terminata con l'eruzione del Monte Nuovo nel 1538¹⁹⁵.



Fig. 30 – Colonne del mercato romano di Pozzuoli con perforazioni causate da molluschi marini (da <http://www.natgeocreative.com/photography/2281851>; ultima consultazione 16/02/2017).



Fig. 31 – Il *Macellum* di Pozzuoli (da Pappalardo e Ciardiello 2005, 67).

¹⁹⁵ Morhange et al. 2003, pp. 386-389.

7.1.2 Baia

Tra Punta Epitaffio e il promontorio del Castello Aragonese sono stati scoperti, grazie a rilevamenti subacquei e aerofotogrammetrici, i resti archeologici sommersi dell'antica *Baiae*¹⁹⁶; le strutture romane si trovano al massimo a 400 m di distanza dall'attuale linea di riva e ad una profondità di 9 m (Fig. 32-35).



Fig. 32 – La fotografia aerea mostra l'antica città di Baia attualmente sommersa (da <http://www.nauticareport.it/dettnews.php?idx=3723&pg=3818>; ultima consultazione 19/02/2017).

Testimonianze della sommersione della costa possono essere viste, a Baia, nei resti del cosiddetto Tempio di Venere che presenta delle marcate tracce di erosione marina e che attualmente si trova interrato nella banchina del porto per circa 3 m; un'ulteriore evidenza è visibile nella stratigrafia della struttura termale chiamata “Tempio di Mercurio”: sono presenti, infatti, tre pavimentazioni sovrapposte, di cui la più antica (I secolo a.C.) è collocata a 4,7 m sotto il livello del mare, mentre le altre due (III secolo d.C.) sono poste a 1,3 m e a 6,7 m di

¹⁹⁶ Alcuni tratti di una strada basolata, poco distante da Punta Epitaffio, si trovano a 3,75 m sotto il livello del mare; la villa dei Pisoni è a 6,5 m di profondità.

profondità; si stima dunque un interrimento totale dell'edificio di circa 10 m. Infine, anche il ninfeo datato al I secolo d.C., attualmente tra 6,4 e 7,3 m di profondità, è stato sommerso dalle acque marine durante il IV-V secolo d.C.; si è cercato di porre rimedio a questo evento attraverso la realizzazione di un rialzo del piano di calpestio (nella parte superiore di questo riempimento è stata rinvenuta una moneta di Giustiniano che ha permesso di datare la fase finale dell'intervento al VI secolo d.C.); perciò, in quest'area, il bradisismo ha avuto inizio verso la fine del IV e gli inizi del V secolo d.C.¹⁹⁷



Fig. 33 – La villa dei Pisoni (da <http://subaia.com/it/fotogallerydivingcampania.php>; ultima consultazione 19/02/2017).



Fig. 34 – Il ninfeo di Punta Epitaffio (da <https://www.ideegreen.it/parco-archeologico-sommerso-baia-76346.html>; ultima consultazione 19/02/2017).

¹⁹⁷ Varriale 2004, pp. 297-298.



Fig. 35 – La villa a protiro; i mosaici possono andare incontro ad un rapido degrado se non vengono coperti adeguatamente, sia a causa dello sviluppo della vegetazione marina tra le tessere sia dall'azione delle onde (da <http://www.centrosubcampiflegrei.it/le-immersioni/parco-sommerso-di-baia/villa-protiro>; ultima consultazione 19/02/2017).

Per concludere, dunque, si può affermare che dai risultati delle ricerche geologiche, geomorfologiche, archeologiche e storiografiche si evince che la linea di costa in epoca post-romana dev'essere variata esclusivamente a causa dell'attività bradisismica, probabilmente connessa ad eventi vulcanici catastrofici, e che tale fenomeno sia avvenuto in modo graduale, tra la fine del IV e il XVI secolo d.C.

Inoltre, l'antica linea di riva, grazie alle ricognizioni archeologiche, è stata riconosciuta a 10-11,5 m sotto il livello del mare ed è attestata ad una distanza compresa tra zero e centinaia di metri rispetto alla costa odierna; queste caratteristiche vengono confermate dagli studi effettuati sul fondale marino di fronte alle città di Baia e Pozzuoli che hanno rivelato l'esistenza di due terrazzamenti. Secondo Pappalardo e Russo (2001), una di queste terrazze, situata a 9-11 m di profondità, può essere considerata di epoca romana, mentre l'altra, a 4-6 m sotto il livello del mare, appartiene forse al periodo alto-medievale.

A partire dal 1969-1982, sono state condotte delle osservazioni più approfondite sugli spostamenti del substrato terrestre nell'area dei Campi Flegrei; si è visto che dal XIV secolo si verificò un lento sollevamento del suolo, con conseguente avanzamento della linea di costa e l'eruzione del 1538 fu

seguita da un periodo di lenta subsidenza, fenomeno che terminò solo nel 1969, quando iniziò una nuova fase di risalita; dal 1984 è ripreso, invece, l'abbassamento del terreno, dimostrando che questa regione dell'Italia meridionale è ancora soggetta a variazioni del substrato.

Capitolo 8

L'area costiera Libanese

Il territorio del Libano si trova compreso all'interno del sistema di fagliazione del Mar Morto, che si estende dal Golfo di Aqaba, a sud, fino alla Faglia Anatolica Orientale, a nord, e segna il confine tra la placca tettonica Africana e quella Araba; di conseguenza, nel corso del tempo, in quest'area si sono verificati numerosi terremoti e, connessi a questi eventi, anche notevoli episodi tsunamigenici, soprattutto tra IV e XI secolo d.C.¹⁹⁸

Le recenti indagini geomorfologiche, grazie alla datazione radiocarbonica di alcuni indicatori biologici del livello del mare, mostrano che, durante gli ultimi 6.000 anni, si sono verificati due importanti sollevamenti della crosta terrestre nella regione Libanese; è stata, infatti, documentata una linea di costa più alta, circa +120/+140 cm, tra 6.000-3.000 anni BP e una linea di riva più bassa, circa +80/±40 cm, tra V secolo a.C. e VI secolo d.C.¹⁹⁹

8.1 *Gli antichi porti di Tiro, Sidone e Beirut*

Negli ultimi anni, si è preferito utilizzare un approccio di tipo cronostratigrafico e bio-sedimentologico per studiare le principali aree portuali antiche del Libano e per meglio comprendere l'evoluzione tecnologica portuale adottata in quest'area del Mediterraneo.

Per quanto riguarda le città di Beirut, Sidone e Tiro, fondate durante il III millennio a.C., esse presentano alcune caratteristiche comuni all'interno dei loro depositi sedimentari; questo consente di individuare dei modelli di sviluppo portuale simili per tutti e tre i bacini: si nota, ad esempio, che solo tra la fine dell'Età del Bronzo Medio e l'inizio del Bronzo Tardo queste baie naturali cominciano ad essere modificate artificialmente (Fig. 36).

¹⁹⁸ Dall'analisi dei dati geologici degli antichi porti di Sidone, Tiro e Beirut sono emerse, infatti, tracce di impatti tsunamigenici, testimoniando che eventi di questo genere si verificarono anche lungo le aree costiere del Libano.

¹⁹⁹ Morhange et al. 2006b, p. 85; Pirazzoli 2005b, p. 1996.

Un tratto distintivo della costa Levantina è la presenza di affioramenti di arenaria, chiamati “kurkar” in Israele e “ramleh” in Libano, che hanno creato una geomorfologia costiera unica, che è stata sfruttata dalle società umane nel corso dei millenni; infatti, con la stabilizzazione del livello del mare intorno a 6.000 anni BP, gli uomini hanno iniziato a stabilirsi in modo definitivo lungo le attuali linee di riva, localizzando i loro insediamenti preferibilmente vicino a bacini naturali a bassa energia e presso la foce di sistemi fluviali. Tali ancoraggi naturali sono stati dotati di strutture artificiali a partire dalla fine della Media Età del Bronzo, per rispondere all’espansione dei traffici commerciali in questo periodo; dell’Età del Ferro, invece, sono rimaste poche tracce nella stratigrafia di queste tre città Libanesi, poiché le continue operazioni di dragaggio effettuate in epoca Romana e Bizantina non hanno permesso la loro conservazione.

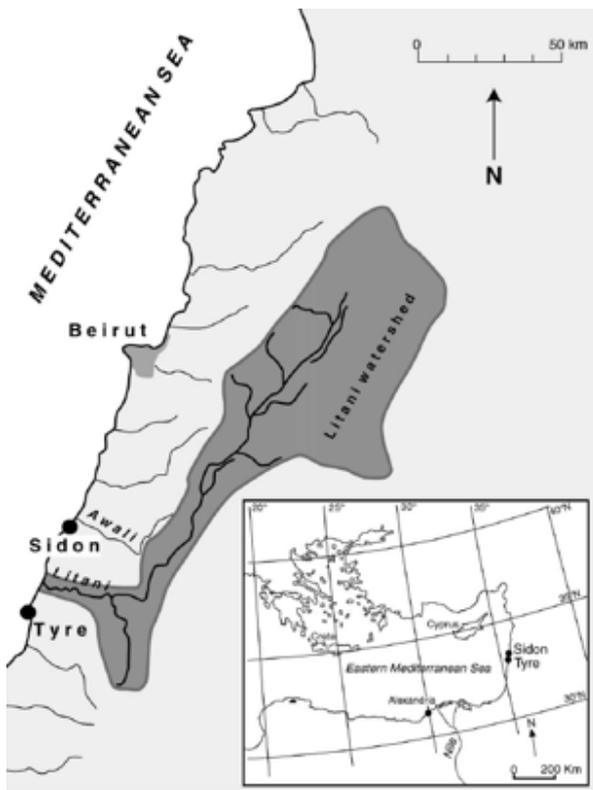


Fig. 36 – Localizzazione di Beirut, Sidone e Tiro (da Marriner e Morhange 2005, 184).

Si osservano strati composti da limo e argilla a grana fine durante i periodi Ellenistico e Romano, che testimoniano un’area ben protetta dalle dinamiche

marine²⁰⁰. Nelle unità sedimentarie datate tra VI e VIII secolo sono presenti, invece, sabbie grossolane, che attestano un periodo di semi-abbandono dei bacini e un insabbiamento delle aree portuali rivolte verso la riva. Secondo Marriner (2007) questa fase di degrado può essere connessa a quattro fattori principali: le inquietudini interne ed esterne (espansione delle forze Islamiche) alla regione hanno portato ad un indebolimento del potere Bizantino nel Levante e ad una contrazione dei traffici commerciali; i rapidi cambiamenti nel livello relativo del mare, indotti dai movimenti tettonici²⁰¹; la distruzione dei porti a causa dell'impatto di tsunami (l'evento meglio documentato è quello del 551 d.C.); il deterioramento climatico (maggiore aridità)²⁰².

Il rallentamento dell'innalzamento del livello del mare circa 6.000 anni BP, insieme all'elevato apporto sedimentario, ha portato ad un'accelerazione della progradazione costiera in quest'area del Mediterraneo; tale fenomeno spiega perché, nel corso dei millenni, siano stati sepolti e distrutti numerosi porti antichi: Sidone, Beirut e Tiro costituiscono degli ottimi esempi di porti interrati. La modificazione e lo sfruttamento delle risorse idriche da parte delle società umane hanno contribuito ad aumentare l'erosione del suolo; infatti, nonostante i bacini portuali di queste tre città siano ancora attualmente ancora in uso, dopo circa 5.000 anni dalla loro fondazione, le dimensioni si sono ridotte quasi della metà²⁰³.

²⁰⁰ Grazie alla scoperta del calcestruzzo idraulico, questi porti furono, infatti, dotati di vari moli, banchine e frangiflutti, che contribuivano alla protezione del bacino dai processi naturali tipici di questo ambiente.

²⁰¹ Durante il periodo romano è, infatti, attestata una significativa attività sismica nelle tre città; a Tiro, ad esempio, il molo settentrionale si trova attualmente a 2,5 m sotto il livello del mare e questo indica che a partire dal periodo Romano ha avuto inizio una subsidenza tettonica di circa 3-3,5 m; a Sidone, invece, la mobilità tettonica è inferiore rispetto a Tiro, circa +50 cm; su Beirut ci sono molte antiche fonti testuali e archeologiche che riportano informazioni riguardo a un terremoto avvenuto durante la metà del VI secolo d.C.

²⁰² Gli isotopi marini e terrestri mostrano un aumento nei valori di $\delta^{18}\text{O}$, tra 1.300 e 900 BP, e ciò indica un'evoluzione a condizioni climatiche più secche; poiché la stabilità della società bizantina era fortemente basata sull'agricoltura, che è legata a fattori quali la fertilità del suolo, le precipitazioni e l'irrigazione, tale peggioramento climatico ha portato alcuni studiosi a collegare la fase di declino culturale Bizantina all'aumento dell'aridità.

²⁰³ Marriner e Morhange 2007, p. 152.

8.1.1 Tiro

L'antica città di Tiro comprendeva diverse aree portuali: un bacino meridionale, rivolto verso l'Egitto, chiamato da Poidebard "Porto Egizio"; uno settentrionale o "Sidonio", rivolto appunto verso Sidone, Beirut e Byblos; alcuni approdi esterni che sfruttavano le creste di arenaria e un complesso continentale, localizzato nei pressi di Tell Mashuk e Tell Chawakir.

Recenti ricerche hanno dimostrato che l'area sommersa a circa 3 m di profondità, all'interno del porto "Egizio" di Tiro, in realtà non si trattava di un complesso portuale, ma doveva essere un quartiere urbano dell'antica città, data la presenza di numerose strutture realizzate sulla terraferma²⁰⁴. Un'altra ipotesi sulla localizzazione del porto meridionale è stata proposta da Renan: egli riteneva, infatti, che fosse situato ai piedi della cinta muraria della città, in prossimità della cosiddetta *Tour des Algériens*; tuttavia, dalle analisi sedimentarie è emerso che quest'area era un ambiente marino aperto ed esposto alle dinamiche costiere, mentre invece le fonti letterarie antiche lo descrivono come un porto chiuso²⁰⁵.

Gli studi geoarcheologici (ricognizioni topografiche, analisi della stratigrafia costiera e della morfologia urbana, confronti con antiche fotografie e incisioni, ricerche archeologiche subacquee), effettuati nel porto settentrionale, hanno mostrato che il bacino, durante l'antichità, era circa il doppio rispetto ad oggi. Inoltre, Marriner e Morhange (2006b) sono riusciti ad identificare l'evoluzione di quattro paleo-ambienti, durante gli ultimi 8.000 anni, nel porto settentrionale di Tiro: lo strato inferiore, composto da notevoli quantità di conchiglie, testimonia la trasgressione marina avvenuta intorno a 8.000 anni BP; si trova poi un'unità sabbiosa a grana di medie dimensioni, datata a 6.000 anni BP, che rappresenta una spiaggia protetta; il terzo ambiente è di tipo marino-lagunare, datato dal periodo Fenicio a quello Bizantino, ed è in questa fase che si rintracciano i primi segni di modificazioni antropiche nel bacino (unità limo-

²⁰⁴ El Amouri et al. 2005, pp. 91-95.

²⁰⁵ Carayon et al. 2011, pp. 46-49.

sabbiosa a grana fine)²⁰⁶; infine, un'unità di sabbia grossolana rappresenta il periodo di declino economico di Tiro, che ha portato al degrado delle strutture portuali e alla riapertura dell'ambiente costiero durante l'epoca Islamica.

La quasi totale assenza di sedimenti databili tra 4.000-500 anni a.C., un periodo che va dall'Età del Bronzo a quella Persiana, suggerisce che, durante le epoche successive, siano state attuate delle operazioni di dragaggio per mantenere un'adeguata profondità di navigazione all'interno del porto. Nei depositi sedimentari successivi al periodo Bizantino, poiché non furono più svolte tali attività di dragaggio, si sono, invece, conservate tracce di una rapida progradazione del bacino; questo fenomeno non è da attribuire solamente ai cambiamenti delle infrastrutture portuali e della protezione costiera, infatti, anche le modificazioni antropiche nei vicini bacini idrografici, in particolare del fiume Litani, hanno influenzato in modo significativo l'apporto sedimentario.

Attualmente alcune aree portuali dell'antica Tiro sono sommerse dal mare, mentre altre strutture sono state sepolte al di sotto delle costruzioni del mercato moderno della città; inoltre, lungo le creste di arenaria, localizzate in prossimità della costa, sono attivi fenomeni di erosione marina, che aggravano maggiormente il problema della conservazione di questo sito²⁰⁷.

8.1.2 *Sidone*

La città di Sidone possedeva tre aree portuali: il porto settentrionale, centro delle attività economiche e militari, situato a nord-ovest del promontorio e protetto dal mare aperto da una cresta di arenaria lunga 580 m; il cosiddetto *Crique Ronde* di Poidebard, a sud, è una baia semi-circolare e comprende una spiaggia sabbiosa; infine, presso l'isola di Zire, situata a circa 500 m al largo

²⁰⁶ L'influenza dell'uomo ha provocato varie modificazioni nel bacino portuale: ad esempio, tra 6.000-4.000 a.C. la sedimentazione era di 0,5-1 mm/anno, mentre tra 500 a.C. e 500 d.C. (periodo in cui furono costruite varie strutture portuali artificiali) l'accumulo di sedimenti era circa 10 volte maggiore, cioè 10 mm/anno. L'ipersedimentazione divenne un problema molto grave in epoca Romana e il dragaggio era l'unica soluzione possibile per assicurare la viabilità del porto alle imbarcazioni.

²⁰⁷ Marriner e Morhange 2006b, p. 164.

della città, vi è un porto esterno di piccole dimensioni, che è stato dotato di strutture artificiali quali moli e banchine²⁰⁸.

Fino alla Media Età del Bronzo i sedimenti del porto settentrionale sono riferibili ad un ambiente marino sublitoraneo parzialmente protetto da scogliere di arenaria; negli strati successivi, sono visibili alcune fasi di delimitazione dell'area: la prima è avvenuta intorno al 1.700-1.450 a.C. e riguarda la modificazione artificiale delle creste rocciose; la seconda fase è datata al periodo Romano e corrisponde alla realizzazione di un bacino ben protetto, soggetto però ad un rapido insabbiamento; gli ultimi cambiamenti sono stati effettuati in epoca moderna e contemporanea ed hanno portato alla creazione di un ambiente portuale aperto, influenzato dalle dinamiche marine²⁰⁹.

Anche a Sidone è attestata una progradazione della linea costiera a partire dall'Età del Bronzo e circa metà del porto settentrionale si trova al di sotto della città Medievale e Moderna. Tale accrescimento è connesso con l'aumento dell'apporto sedimentario, a sua volta dovuto a tre principali fattori: lo sviluppo agricolo e la deforestazione hanno contribuito ad incrementare l'erosione del suolo, la disgregazione di strutture realizzate con mattoni di argilla, l'utilizzo dei bacini portuali come discariche²¹⁰.

La recente costruzione di una strada che fiancheggia la costa, in prossimità del porto settentrionale, ha portato alla distruzione dei resti di un antico frangiflutti e alla copertura di alcune porzioni del bacino portuale, mettendo a rischio il potenziale archeologico e turistico della città. I resti archeologici si trovano, inoltre, in una situazione di grave pericolo, non solo a causa dell'erosione costiera, ma anche perché le aree portuali sommerse hanno attirato l'attenzione dei "cacciatori di tesori", che minacciano l'integrità del sito (Fig. 37-38).

²⁰⁸ Marriner et al. 2006, pp. 1515-1517.

²⁰⁹ Carayon et al. 2011, pp. 49-51.

²¹⁰ Marriner e Morhange 2005, pp. 187-188.



Fig. 37 – Il lungomare della baia meridionale di Sidone è stato realizzato al di sopra di una probabile area archeologica datata tra l'Età del Bronzo e del Ferro (da Marriner e Morhange 2008, 435).



Fig. 38 – Il porto settentrionale di Sidone è stato estensivamente urbanizzato, causando la distruzione di parti delle antiche infrastrutture portuali (da Marriner e Morhange 2008, 434).

8.1.3 *Beirut*

Anche Beirut ha svolto un ruolo fondamentale nel traffico commerciale all'interno del bacino Mediterraneo, in particolare durante i periodi Romano e Bizantino. La città comprendeva due porti, separati da un promontorio: ad ovest,

si trovava un'insenatura formata dalla foce di un wadi, protetta dal Ras Beirut e da vari affioramenti rocciosi, che doveva servire come ancoraggio naturale durante la Media e Tarda Età del Bronzo; ad est, c'era un'altra baia di piccole dimensioni, maggiormente esposta verso il mare aperto. Entrambi i bacini, nel corso dei secoli, hanno subito un graduale insabbiamento, connesso allo sviluppo urbanistico e all'apporto sedimentario.

L'abbandono dei porti durante il VI-VII secolo d.C., come descritto in precedenza, si ipotizza sia dovuto non solo al declino dell'egemonia Bizantina nel Levante, ma anche al verificarsi di episodi sismici piuttosto intensi. Infatti, da alcune fonti antiche e dagli studi litostratigrafici condotti nel bacino portuale, sappiamo che Beirut fu colpita da un terremoto e da uno tsunami di particolare violenza nel 551 d.C.²¹¹; questo evento viene descritto da Malalas (491-578), Agazia (532-580) e Giovanni di Efeso (507-586) come il più disastroso nella storia del Mediterraneo orientale, e in un itinerario di viaggio, datato al 560-570 (*Itinerarium Antonini Placentini*) si dice che il vescovo di Beirut, testimone oculare del terremoto, riteneva fossero morte circa 30.000 persone. Guidoboni et al. (1994) hanno ipotizzato che l'epicentro di tale terremoto sia da localizzare al largo della costa di Beirut, mentre Ambraseys et al. (1994) ritengono sia nella valle tettonica della Giordania. Secondo Marriner et al. (2008) la prima ipotesi è quella più realistica, dato che sono state rinvenute tracce di distruzione provocate da uno tsunami lungo il tratto litoraneo Libanese compreso tra Tripoli e Tiro.

L'antica linea costiera di Beirut ha subito, dunque, notevoli variazioni, sia naturali che artificiali; tali modificazioni sono visibili, ad esempio, nelle infrastrutture portuali datate all'Età del Ferro, che si trovano attualmente a circa 300 m dal mare e attestano, quindi, un'importante deformazione costiera avvenuta negli ultimi 3.000 anni²¹².

²¹¹ Gli scavi nell'area portuale di Beirut hanno rivelato la presenza di considerevoli quantità di detriti e di ceramica non abrasa di epoca Romana all'interno degli strati del VI-VII secolo d.C., insieme a depositi di limo e fango sopra il fondale marino.

²¹² Ad esempio, tra l'Età del Bronzo e il periodo Romano, i dati archeologici mostrano una progradazione di circa 70 m; a seguito del periodo Bizantino, quando cessarono le operazioni di dragaggio nelle aree portuali, si è verificato un avanzamento della linea di costa di circa 30 m; Carayon et al. 2011, pp. 51-54.

Tali processi si sono accentuati durante gli scorsi 200 anni, quando sono state realizzate nuove costruzioni nell'area portuale, rimasta in uso per quasi 5.000 anni dalla sua fondazione. Infatti, la moderna Beirut è stata progressivamente costruita al di sopra di antichi quartieri abitativi e di alcune aree del porto, rendendo gli scavi archeologici estensivi, in una zona così densamente urbanizzata, molto difficili sia dal punto di vista logistico che politico²¹³. Nonostante i danni provocati ai resti archeologici, i progetti di ricostruzione e modernizzazione del centro della città, proposti all'inizio degli anni Novanta del secolo scorso, hanno dato l'opportunità di conoscere l'evoluzione di questo importante sito costiero.

²¹³ Marriner et al. 2008, pp. 430-431.

Capitolo 9

Libia

Lungo le coste della Libia sono stati realizzati numerosi insediamenti nel corso dei millenni e il recente sviluppo urbanistico pone in serio pericolo i resti di questi antichi siti.

In Tripolitania, ad esempio, la pianura costiera e gli altipiani del Gebel stanno vivendo un periodo di estrema crescita ed evoluzione urbana, che esercita una notevole pressione sia sui siti costieri sia dell'entroterra; infatti, numerosi insediamenti Greco-Romani localizzati sulla costa della Tripolitania, tra Sabratha e Leptis Magna, sono stati sotterrati da nuove costruzioni; situazione analoga è presente anche in Cirenaica. I principali insediamenti antichi di queste regioni sono, dunque, minacciati dalle attività edilizie quali la costruzione di acquedotti, di nuovi quartieri urbani, di impianti di desalinizzazione, di centrali elettriche, di strade e di ferrovie (Fig. 39).

Al problema dell'industrializzazione antropica si deve aggiungere un pericolo di tipo naturale, l'erosione costiera; questo fenomeno è particolarmente visibile ad Apollonia dove, negli ultimi 50 anni, ha portato alla distruzione di vari elementi protettivi naturali costituiti da scogli, rendendo così il porto vulnerabile agli eventi di tempesta.



Fig. 39 – Raffigurazione della Cirenaica (da Bennet e Barker 2011, 7).

9.1 *Cirenaica*

La Cirenaica si trova nella Libia nord-orientale e forma una sporgente penisola lungo la costa dell’Africa settentrionale; è costituita da due distinte aree tettoniche, separate tra loro dal sistema di fagliazione Cirenaico che, nel corso dei millenni, ha indotto movimenti eustatici e di subsidenza. Essendo circondata da tre dal deserto, l’unica zona della regione adatta all’insediamento umano era la parte costiera (“sahel” in Arabo) all’estremità settentrionale tra Benghazi e Derna, insieme all’adiacente plateau calcareo, il Gebel Ahkdar; il Sahel può essere suddiviso in tre aree: la prima si estende da Tocra, dove la scarpata più bassa dell’altopiano raggiunge il mare, verso ovest; vi è poi una zona pianeggiante che si unisce con il limite orientale della Sirtica e, nel settore orientale della regione, il margine di Derna si collega gradualmente con il deserto Marmarico. Nella zona centrale, tra Tolemaide e Derna, dove le propaggini del Gebel arrivano fino al mare, la difficoltà stava nel garantire le comunicazioni tra il litorale e i principali centri abitati sull’altopiano; si sono così formati vari modelli insediativi lungo questa linea di costa. Le aree portuali realizzate in tale zona, influenzate da fattori locali quali l’insabbiamento e i forti venti costieri, erano associate con città situate nell’entroterra: ad esempio, Tolemaide con Barca, Ausigda con Messa, Phycus con Balagrae, Apollonia con Cirene.

I porti più piccoli servivano per le comunicazioni interne alla stessa Cirenaica, mentre invece Tolemaide e Apollonia, quali porti di città metropolitane, dovevano intrattenere rapporti con tutto il Mar Mediterraneo, per questa ragione furono utilizzate le migliori tecniche ingegneristiche per migliorare le caratteristiche naturali della zona con costruzioni artificiali²¹⁴.

9.1.1 *Apollonia*

Il sito di Apollonia, situato a circa 20 km dall’antica città di Cirene, lungo la costa della Cirenaica, fu fondato nel 631 a.C. come colonia greca dagli abitanti

²¹⁴ Little 1978, pp. 43-45; El-Hawat e Abdulsamad 2004, pp. 5-8.

dell'isola di Thera. Fino al I secolo a.C. fu utilizzato esclusivamente come porto di Cirene, in seguito divenne una vera e propria città con il nome di Apollonia²¹⁵.

Per quanto riguarda l'area portuale, dovevano esistere due bacini: quello occidentale era protetto da due isole situate a nord e dalla cosiddetta "Grotto Reef" a ovest, che recentemente è crollata per cause naturali²¹⁶; quello orientale era protetto dall'isola di Sharkéa, che ospitava un faro sull'estremità meridionale. Un canale, il cui ingresso era incorniciato da due torri, univa questi due bacini portuali e durante la Tarda Antichità è stato deliberatamente chiuso, rendendo accessibile solamente il porto orientale.

Probabilmente a causa dell'azione congiunta della subsidenza, che ha portato ad un abbassamento di circa 2,5-2,7 m, e dell'innalzamento del livello del mare, di circa +0,30/+0,50 m durante gli ultimi 2.000 anni, lungo le coste della Cirenaica, il porto di Apollonia si trova oggi a 2,5-3,5 m di profondità. All'interno dell'area portuale sono visibili, ad esempio, alcuni ricoveri per navi militari attualmente sommersi e una peschiera romana (costituita da una vasca principale di 44 m di lunghezza e tre vasche più piccole di forma quadrata scavate nella roccia) che si trova a circa 2-4 m sotto il livello del mare

Questo sprofondamento della città ha forse avuto inizio durante la Tarda Antichità e sta gradualmente portando alla distruzione degli antichi edifici e dei depositi archeologici, che subiscono costantemente l'azione dell'erosione costiera²¹⁷. Infatti, sebbene la maggior parte del sito sia riuscita a sopravvivere all'impatto antropico diretto, in quanto si trova all'esterno della moderna città di Marsa Susa, è attualmente in pericolo a causa del continuo infrangersi delle onde (Fig. 40-42).

²¹⁵ Fu ribattezzata "Sozousa" (da cui deriva l'attuale nome di Susa) quando divenne la capitale della Libia Superiore, provincia romana creata dall'imperatore Diocleziano.

²¹⁶ La parte nord-occidentale della città è rimasta protetta dall'azione del mare, per quasi un migliaio di anni, dalla Grotto Reef e da frangiflutti artificiali in pietra situati tra la scogliera naturale e l'isola occidentale; a causa del crollo di queste strutture le onde riescono ora a raggiungere l'area urbana. Flemming ha proposto la costruzione di nuovo frangiflutti sopra l'antico sito della Grotto Reef per prevenire ulteriori danneggiamenti; Pizzinato e Beltrame 2012, pp. 219-220.

²¹⁷ Flemming 1965; Baika 2014a, pp. 294-298; già nel 1936 il geologo Moret aveva stimato una sommersione del porto di Apollonia a circa 3 m sotto il livello del mare, indicando come causa il lento fenomeno della subsidenza.



Fig. 40, 42 – Le antiche strutture scavate nella roccia sono parzialmente sommerse e fortemente erose dal mare (foto gentilmente concesse dal prof. Beltrame).

Risultano problematici per la sopravvivenza di questo sito anche il crescente inquinamento del mare a causa dei versamenti delle acque di scarico e la vicinanza all'area archeologica di un hotel, che contribuisce a peggiorare le condizioni marine.

Il fondale dell'antica città di Apollonia fu esplorato per la prima nel 1957 volta dal Capitano D. Forrow; negli anni seguenti (1958-1959) furono condotte due campagne di documentazione dalla Spedizione di Cambridge, sotto la direzione di Nicholas Flemming; il team di subacquei ha prodotto una pianta

preliminare del sito sommerso ed ha indagato la parte orientale della città, stabilendo l'esistenza di due porti e definendo i relativi ingressi. Nel 1986-1987 furono condotte ulteriori indagini nel sito da parte della missione Francese del DRASSM di Marsiglia sotto la direzione di André Laronde. Il gruppo francese scoprì due relitti di epoca romana e scavò una trincea tra le due torri all'entrata del porto occidentale, che permise di capire che tra VI-VII secolo d.C. l'ingresso del porto fu chiuso rapidamente grazie al riuso di materiale costruttivo²¹⁸; altre ricerche sono state recentemente condotte da un altro team francese per analizzare alcuni ricoveri per navi militari di età greca. Nel 2008-2009 lo studio Archeo.Te.M.A. di Venezia è stato incaricato dal governo della Libia di proporre un progetto per la realizzazione di un parco archeologico subacqueo a Leptis Magna, Apollonia e Tolemaide, che consentirebbe non solo di migliorare la gestione e la conservazione dei monumenti sommersi, ma anche di ricavare dei fondi per il loro restauro²¹⁹.



Fig. 42 – Il porto sommerso di Apollonia visto dalla basilica orientale (foto gentilmente concessa dal prof. Beltrame).

²¹⁸ Laronde e Sintès 1998, pp. 301-302.

²¹⁹ Pizzinato e Beltrame 2012, p. 220; Sintès 2010, pp. 83-94.

9.1.2 Tolemaide

Tolemaide è stata fondata alla fine del VI secolo a.C. come porto esterno (*epineion*) della città di Barca, situata a circa 30 km di distanza nell'entroterra; fu nominata in questo modo nella metà del III secolo a.C., quando la regione fu riconquistata da Tolomeo III Evergete (246 a.C.). Nel 70 a.C. divenne una provincia romana; dalla metà del IV secolo d.C., a causa di forti eventi sismici (fu particolarmente colpita dal terremoto del 365 d.C.) e di invasioni di tribù nomadi nella regione, la città fu lasciata in stato di degrado, ma solo nell'XI secolo d.C. venne definitivamente abbandonata²²⁰.

Nel 1822, i fratelli Beechey, due ufficiali della Marina Britannica, realizzarono la prima pianta dell'antica città di Tolemaide; in seguito, il sito fu studiato da un team di Italiani, guidati dal professor G. Caputo, che ha concentrato le ricerche nell'area della cosiddetta Via Monumentale, nel "Piazzale delle cisterne" e nel "Palazzo delle colonne". Tra 1956-1958, l'Oriental Institute di Chicago, con il professor Kraeling C., ha prodotto una pianta topografica della città; le ricerche furono poi continuate da Jones G.D.B. e Little J.H. nel 1971 e l'area portuale fu indagata sia da terra che sott'acqua da Yorke R.A. per la Society for Libyan Studies nel 1972; due scali di alaggio sono stati ipotizzati da Laronde A. nel 1981-1987. Infine, nel 2009 un team Italiano ha effettuato ulteriori ricerche nel bacino portuale²²¹.

Come visto in precedenza, la linea costiera della Cirenaica compresa tra Euesperide (Bengasi) e Apollonia, è in genere priva di ripari naturali, ma Tolemaide rappresenta un'eccezione; infatti, in quest'area la costa è piuttosto frastagliata ed è interrotta da un promontorio roccioso che si estende sul mare, con una altezza variabile da 1 m fino a 10 m sopra il livello dell'acqua. I porti dell'antica città sono localizzati all'interno di due baie situate ad est e ad ovest di questo promontorio. Nella baia orientale i due isolotti al largo della costa, uniti tra loro da una scogliera sommersa, sono stati sfruttati per la protezione del

²²⁰ Laronde 1992, pp. 56-57.

²²¹ Beltrame 2012, p. 316.

bacino portuale (di quasi 7 ettari)²²²; quella occidentale (di 2,5 ettari), invece, era più piccola ed era formata da una bassa spiaggia sabbiosa, riparata dai venti provenienti da oriente. Il promontorio sembra essere stato utilizzato come una grande cava di pietra, per l'estrazione di materiale da costruzione per il porto e la città; su questa penisola rocciosa si trovano i resti di antiche strutture non ancora indagate, che sono attualmente sepolti dai sedimenti o sono sotto alcune moderne capanne di pescatori.

Kraeling sosteneva che il porto principale della città fosse quello occidentale, mentre l'altro dovesse servire come zona di ancoraggio; al contrario, Jones, Little, Yorke e altri studiosi ritengono fosse quello orientale il più importante tra i bacini portuali, in quanto era maggiormente riparato ed era compreso all'interno delle mura di cinta della città. È possibile che il porto occidentale, esterno al sistema di fortificazione, venisse utilizzato come un *emporium* in condizioni climatiche favorevoli, e che quello orientale comprendesse numerose installazioni commerciali e militari²²³.

Recenti ricerche archeologiche hanno rivelato la presenza di un'antica imbarcazione (coperta da sabbia e piccole pietre) alla profondità di 1,5 m, all'interno della baia orientale situata a sud dell'isola più piccola; in particolare, si trova all'interno di uno spazio rettangolare, chiuso da murature in pietra, che sembra avere un ingresso nella parte nord-occidentale.

Dallo studio del relitto si è potuto constatare che tale barca fosse stata realizzata con giunzioni a mortase e tenoni; sono, inoltre, visibili tracce della struttura e del fasciame esterno. La porzione di scafo che è riuscita a conservarsi fino ai nostri giorni misura 8 m di lunghezza e 2,3 m di ampiezza; si è dunque proposto, sulla base delle dimensioni delle strutture lignee, che l'originale lunghezza della barca dovesse essere di circa 10-12 m. Un dato interessante riguarda le specie lignee utilizzate per la costruzione di questa imbarcazione: dalle analisi effettuate, infatti, si è scoperto che per alcune parti fu adoperato il *Pinus pinea*, una specie non autoctona dell'Africa settentrionale, portando quindi

²²² L'isola più vicina alla costa (quella occidentale) fu collegata alla riva con una struttura realizzata con pietre squadrate, in modo da ottenere una sorta di banchinamento, che avrebbe garantito l'accesso all'isola.

²²³ Laronde 1981, pp. 60-63; Baika 2014b, pp. 494-496.

ad ipotizzare che probabilmente la barca fosse stata realizzata con legname importato²²⁴.

A causa dell'innalzamento del livello relativo del mare verificatosi negli ultimi 2.000 anni, stimato a circa 2-2,5 m dall'antichità, le installazioni portuali sono attualmente sommerse e si trovano in un avanzato stato di degrado, soprattutto per la continua azione del moto ondoso²²⁵ (Fig. 43).



Fig. 43 – Struttura sommersa, realizzata con blocchi di pietra squadrati, situata sulla costa occidentale della baia di Tolemaide (foto gentilmente concessa dal prof. Beltrame).

9.2 Tripolitania

L'area costiera occidentale della Libia, compresa tra la Piccola e la Grande Sirte, costituisce la regione della Tripolitania; si tratta di una delle poche zone del paese in cui si riesce a praticare l'agricoltura grazie alla fertile pianura costiera; in generale la costa è rettilinea e pianeggiante e le acque poco profonde²²⁶. Questa regione può essere suddivisa in tre principali aree geografiche: la pianura costiera (Gefara) nel settore centrale, l'altopiano calcareo (Gebel) e quello predesertico del Dahar.

²²⁴ Beltrame 2012, pp. 317-318.

²²⁵ Yorke e Davidson 2017, pp. 20-21.

²²⁶ Brogan e Kenyon 1966, p. 5.

Il nome deriva dal greco “tripolis” (tre città) e si riferisce in particolare alle tre città costiere, di origine Punica (VII-V secolo a.C.), che diventarono particolarmente importanti durante il periodo Classico: Sabratha, Oea e Leptis Magna.

9.2.1 *Sabratha*

Il sito archeologico di Sabratha si trova nel distretto di Zawia, in Libia, lungo la costa della Tripolitania, 67 km ad ovest della moderna Tripoli. In origine doveva essere un semplice avamposto commerciale fenicio, datato al VII secolo a.C., situato in una posizione strategica, lungo un'importante tratta che collegava l'oasi di Ghadames con il centro urbano; verso la metà del II secolo a.C. la città è passata sotto la dominazione Numidica e, in seguito, Romana. Fu integrata nella provincia dell'Africa Nova, grazie alla riorganizzazione della regione da parte di Cesare, e ottenne lo status di colonia sotto Antonino Pio (138-161 d.C.). Tra 363-365 d.C. la città ha subito gli attacchi degli Austriani²²⁷ e al tempo della conquista Musulmana era ormai quasi del tutto abbandonata.

Il porto è stato studiato dal Gruppo di Ricerca Subacquea dell'Università di Cambridge nel 1966, che ha sistematicamente indagato un tratto marino di quasi 1 km, prestando particolare attenzione alle scogliere rocciose parallele alla costa.

Le strutture originarie sembrano essere state realizzate direttamente sulla roccia naturale, che si estendeva per circa 180 m a nord di quello che sarebbe poi diventato il centro romano della città; in quest'area infatti, sono ancora visibili delle opere in calcestruzzo, anche se si trovano in un pessimo stato di conservazione per effetto dell'erosione marina. Alcuni moli sono distesi verso il mare e in direzione della scogliera settentrionale, formando una sorta di diga marittima triangolare, lungo più di 70 m. Le infrastrutture portuali proseguivano poi verso ovest, dove si trova un frangiflutti lungo quasi 230 m che doveva svilupparsi fino ad un'isola naturale nella parte nord-occidentale della baia;

²²⁷ Alcuni studiosi, basandosi sulle narrazioni di Ammiano Marcellino, hanno ipotizzato che le incursioni delle tribù degli Austriani, del IV secolo d.C., siano responsabili della devastazione della città; le ricerche più recenti tendono, invece, a screditare tale proposta, suggerendo come causa dei crolli degli edifici e delle strade di Sabratha il terremoto/tsunami del 365 d.C. (tale evento è attestato anche nella città di Leptis Magna); Pararas-Carayannis 2011, p. 272, p. 282.

questo frangiflutti esterno, ancora visibile a 30 cm sotto la superficie del mare, proteggeva le pareti interne del porto e le banchine fino a 75 m dall'estremità occidentale della scogliera. L'ingresso portuale principale era collocato tra il margine orientale del frangiflutti e la scogliera naturale. Dalla parte opposta di questa entrata, è possibile riconoscere delle fondazioni di una struttura circolare, probabilmente un faro, localizzato ad est della tonnara; si ritiene che il faro di Sabratha fosse simile a quello di Alessandria.

Questo porto doveva originariamente svolgere funzioni prettamente commerciali (in connessione alla fertile pianura costiera) ma forniva anche schiavi, animali e beni esotici (avorio, legname, tessuti, pietre preziose) soprattutto alla città di Roma²²⁸.

A causa dell'azione dei fenomeni climatici le antiche costruzioni si sono gravemente danneggiate; in particolare, la città è notevolmente esposta all'azione del vento che, trasportando sali marini e sabbia, ha provocato effetti disastrosi sugli edifici realizzati con materiali calcarei. Inoltre, alcune strutture localizzate vicino al mare, come ad esempio il tempio di Iside e le cosiddette "Terme a mare", che costituivano il complesso termale pubblico più grande di Sabratha (utilizzato dal I al IV secolo d.C.), sono crollate per l'azione della continua erosione marina; di queste terme si sono conservati solo l'ingresso monumentale, le latrine con pianta esagonale e alcuni annessi con pavimenti a mosaico²²⁹ (Fig. 44-46).

Il fenomeno dell'erosione è connesso alla composizione piuttosto morbida (sabbia, argilla e calcarenite) della costa, che è costituita da una terrazza di arenaria, poco resistente all'azione delle onde. Il moto ondoso sta, infatti, gradualmente portando alla scomparsa di questi monumenti, impoverendo il patrimonio culturale della città; per questo motivo, sono state recentemente fatte delle ricognizioni per studiare le caratteristiche topografiche, batimetriche e morfologiche dell'area costiera di Sabratha, in modo da poter progettare nuove strutture difensive ed effettuare i restauri necessari²³⁰.

²²⁸ Mattingly 1995, pp. 205-209; Bonacasa 2000, pp. 69-72.

²²⁹ Bonacasa 1997, pp. 170-173; Baccar e Souq 2007, pp. 4-8.

²³⁰ D'Urso et al. 2015, p. 2.



Fig. 44 – Erosione delle strutture del tempio di Iside a Sabratha (da <https://www.theatlantic.com/photo/2013/05/over-libyas-coast/100523/>; ultima consultazione 13/02/17).



Fig. 45 – L'immagine mostra quanto il sito di Sabratha sia fortemente degradato dall'azione erosiva delle onde, che si infrangono continuamente sulle strutture costiere (foto gentilmente concessa dal prof. Beltrame).



Fig. 46 – Le Terme a mare di Sabratha; si notano crolli e danneggiamenti delle strutture e dei mosaici pavimentali geometrici a causa dell’erosione marina (foto gentilmente concessa dal prof. Beltrame).

9.2.2 *Leptis Magna*

La città è situata nel distretto di Khoms, a 130 km a sud-est di Tripoli, sulla costa della Tripolitania, caratterizzata da un’alternanza di spiagge e promontori rocciosi.

Si tratta di un sito di origine fenicio-punica (XII secolo a.C.), fondato alla foce del Wadi Lebda; nel I secolo a.C., fu integrato nell’Impero romano: Augusto fece costruire un foro, una basilica e vari templi, Nerone decise di creare un’area portuale all’estremità del Wadi.

Quando Settimio Severo divenne imperatore (II-III secolo d.C.) intraprese un esteso programma edilizio che trasformò totalmente la città (arco di trionfo, strada colonnata, *nymphaeum*) e il porto, che venne dotato di banchine, colonnati e magazzini. Il bacino aveva una superficie pari a 102.000 m², con una larghezza massima di 390 m e una profondità di 410; la banchina orientale del porto, realizzata aggiungendo calcestruzzo alle scogliere già esistenti, era composta da due moli, che creavano così un ingresso di circa 70 m. Sull’estremità del molo

nord-occidentale si trovava il faro: un edificio a base quadrata (21 m per lato) affacciato sul mare, a cui si accedeva grazie ad una scalinata di circa 6 m; fu realizzato con blocchi quadrati di pietra calcarea scura e con un conglomerato molto resistente; dalle fonti iconografiche (su marmi, mosaici, terrecotte, rilievi) si è ipotizzato fosse formato da tre dadi sovrapposti, leggermente rientranti l'uno sull'altro, e avesse un'altezza complessiva di 30-36 m, esclusa la lanterna; dalla posizione sulla parte finale del molo si ritiene servisse ad indicare l'entrata del bacino portuale²³¹ (Fig. 47-49).

Probabilmente durante il regno di Adriano, nella parte meridionale della città, al fine di proteggere la città dalle alluvioni del vicino Wadi, furono realizzati una possente diga in muratura e un argine in terra; quest'ultimo fiancheggiava il canale che deviava il flusso delle acque fluviali del Lebda in un wadi secondario (Wadi Rsaf) e circondava il perimetro occidentale urbano, fungendo forse da recinto difensivo; tuttavia, a seguito del crollo di tale struttura, forse nel IV secolo d.C., il bacino cominciò ad essere progressivamente interrato a causa dei sedimenti fluviali. Infine, Leptis Magna si arrese alla conquista Araba durante l'XI secolo²³².



²³¹ Bartoccini 1961, pp. 239-240; Baccar e Souq 2007, pp. 9-13.

²³² Mattingly 1995, pp. 194-201.



Fig. 47-49 – Il faro, situato all'ingresso del porto di Leptis Magna, gravemente danneggiato dall'erosione costiera e minacciato dal sollevamento del livello del mare (foto gentilmente concesse dal prof. Beltrame).

Nel 1924 fu effettuata la prima missione archeologica Italiana a Leptis Magna, il cui obiettivo era quello di definire una pianta precisa dell'area portuale di età Severiana; nel 1952 ripresero le ricerche nella città sempre ad opera degli

stessi studiosi Italiani. Tra 1986-1987 furono condotte alcune indagini subacquee da un team Francese, guidato da A. Laronde, che ipotizzò la presenza di due moli, uno di fronte all'antico faro e uno, lungo circa 250 m cruciforme, davanti al molo orientale. In realtà, da recenti ricerche effettuate nel 2009, si è visto che quest'ultima struttura non è a forma di croce, ma anzi risulta molto irregolare ed è costituita da vari elementi, quali blocchi di pietra rettangolari, basi di colonne di marmo, piccole colonne, pezzi di lastre marmoree e cornici; trovandosi a circa 2 m sotto il livello del mare sembra più probabile che tali strutture siano sempre state sott'acqua o almeno non troppo esposte in superficie, e siano quindi da intendere come dei frangiflutti di età bizantina (utilizzati forse per prevenire la formazione di barre sabbiose all'ingresso del porto). Nell'area di fronte al faro, a circa 4 m di profondità, sono state rinvenute due *pilae* di calcestrutto: una realizzata in *opus incertum*, l'altra in *opus latericium* (quest'ultima potrebbe essere crollata dalla base del faro)²³³.

Attualmente, il patrimonio archeologico di Leptis Magna non solo sta subendo un forte degrado a causa dei processi marini²³⁴, ma anche per il verificarsi delle inondazioni del Wadi Lebda, che fin dall'inizio ha avuto un forte impatto sullo sviluppo della città e del porto²³⁵; nel corso del tempo, sono stati fatti numerosi interventi per regolarizzare il flusso del fiume, tra cui anche la costruzione di una diga in anni recenti, ma non si è ancora riusciti a risolvere tale problema.

Nel 2009 è nato un progetto chiamato "Safeguarding the Sabratha and Leptis Magna archaeological sites. Preventing flooding of Leptis Magna from the Wadi Lebda", che si propone appunto di trovare delle soluzioni per proteggere l'area costiera di questi due importanti siti archeologici. Per raggiungere tale obiettivo sono stati effettuati degli studi multidisciplinari per ricostruire la morfologia di tali aree e, utilizzando la tecnologia multi-beam e le immagini satellitari, sono stati realizzati dei DEM (Digital Elevation Model)²³⁶.

²³³ Beltrame 2012, pp. 322-324.

²³⁴ Gran parte del faro è crollata in mare, ed oggi è seriamente minacciato dall'innalzamento del livello marino e dall'erosione costiera.

²³⁵ Ad esempio, gravi danni sono stati causati alla strada colonnata di Leptis Magna dall'inondazione del Wadi Lebda del 1987.

²³⁶ D'Urso et al. 2015, pp. 4-8.

Per quanto riguarda Leptis Magna risulta necessario progettare un modello di protezione costiera e di controllo delle tracimazioni fluviali, così da mettere in sicurezza non solo la popolazione ma anche il patrimonio culturale della città.

Capitolo 10

Pavlopetri (Grecia)

Il sito di Pavlopetri è localizzato nella parte occidentale della baia di Vatika, nella Laconia sud-orientale (Grecia); il nome deriva dalla piccola isola di Pavlopetri situata a circa 200 m dalla linea di costa, in prossimità della quale si trova appunto il sito. Si tratta della più antica città sommersa al momento conosciuta: i frammenti ceramici rinvenuti in questo contesto sono stati, infatti, datati al 3.500 a.C. (Fig. 50).

I resti archeologici, comprendenti fondazioni di edifici in pietra, cortili, strade e sepolture, si trovano sommersi a circa 3-4 m di profondità e occupano un'area di circa 60.000 m². I muri in pietra, che dovevano costituire le fondazioni di strutture realizzate con mattoni di argilla e stucco, sono stati edificati utilizzando grezzi blocchi di arenaria, eolianite e calcare, senza l'utilizzo di malta; la maggior parte di questi muri si conserva in altezza soltanto con il primo livello di blocchi lapidei.

Le caratteristiche architettoniche delle strutture e i rinvenimenti ceramici suggeriscono che il sito di Pavlopetri sia stato abitato a partire dall'Età del Bronzo Antico (3.500 a.C.) fino alla fine del Bronzo Tardo (circa 1.110 a.C.)²³⁷.



Fig. 50 – Localizzazione della città sommersa di Pavlopetri (da Henderson et al. 2011, 207).

²³⁷ Henderson et al. 2013, pp. 244-245.

10.1 *La scoperta dell'antica città sommersa*

Nel 1904 il geologo Negris P. scoprì i resti architettonici sommersi al largo della costa della Laconia sud-orientale sul lato occidentale della baia di Vatika; in particolare, queste strutture si trovano tra l'isola di Pavlopetri e la riva di Pounta a Viglafia (a circa 20 m di distanza dalla costa), proprio di fronte all'isola di Elafonissos.

Il rinvenimento di questo sito non suscitò, tuttavia, grande attenzione al tempo della sua scoperta; infatti, fu solo nel 1967 che le osservazioni di Negris vennero confermate dall'oceanografo Flemming N., dell'Università di Southampton, quando visitò quest'area nel corso di ricerche mirate all'individuazione di prove sui cambiamenti eustatici del livello del mare nell'Egeo²³⁸.

Nel 1968 un team di archeologici dell'Università di Cambridge ha effettuato delle indagini nel sito sommerso per circa sei settimane, utilizzando un sistema di griglie rigido e facendo misurazioni manuali. Durante le ricerche fu, inoltre, utilizzato un pallone a idrogeno per realizzare delle fotografie aeree; purtroppo, a causa dell'elevato numero di detriti presenti sul fondale marino, tali fotografie riprese dall'alto furono abbastanza insoddisfacenti ma risultarono comunque utili per la creazione di una pianta della città (estesa per circa 30.000 m²). Furono identificati e documentati almeno quindici complessi edilizi separati, i resti di altrettante strutture architettoniche, cortili e spazi aperti, cinque strade, due tombe a camera e trentasette tombe a cista di forma rettangolare²³⁹.

Non molto distante dalla costa di Pounta fu, poi, indagata una vasta necropoli (scoperta dal Colonnello Leake W. nel 1806), costituita da almeno una sessantina di tombe di dimensioni ridotte e di forma circolare scavate nella roccia (Fig. 51). Sono stati, inoltre, raccolti dal fondale marino numerosi artefatti, tra cui frammenti di ceramica, lame e schegge di ossidiana e di silice, una figurina in bronzo di tipo Minoico e ossa animali. Lo studio delle ceramiche ha indicato un'occupazione del sito che va dall'Elladico Antico II all'Elladico Tardo IIIB; alcuni frammenti suggeriscono contatti con l'insediamento minoico di Kastri, sull'isola di Kythera, e con le Cicladi.

²³⁸ Mourtzas 1990, pp. 2247-2249.

²³⁹ Harding et al. 1969, p. 116; Henderson et al. 2011, pp. 212-215.

Confrontando questo sito con altri abitati preistorici noti e basandosi sulla predominanza di ceramiche databili all'Età del Bronzo Tardo, gli edifici sommersi a Pavlopetri furono attribuiti al periodo Miceneo²⁴⁰.

Dopo il 1968 il sito fu posto sotto la protezione del governo greco e non furono più organizzate delle ricerche archeologiche in quest'area, almeno fino al 2007, quando Gallou C., ricercatrice presso l'Università di Nottingham, cominciò a riesaminare i ritrovamenti del 1968 per uno studio sulla Laconia preistorica. Nel 2008, 40 anni dopo le prime ricerche di Cambridge, insieme ad Henderson e Flemming, Gallou visitò il sito di Pavlopetri e scoprì che la città era ancora ben conservata sul fondale marino²⁴¹.



Fig. 51 – La fotografia illustra la necropoli preistorica costituita da tombe scavate nella roccia situata lungo la zona litoranea di Pounta (da Gallou e Henderson 2012, 84).

10.1.1 *Pavlopetri Underwater Archaeology Project*

Nel 2009 l'Università di Nottingham, con la collaborazione dell'Eforato delle Antichità Subacquee e del Centro Ellenico per la Ricerca Marittima (H.C.M.R.), ha dato inizio ad un progetto di durata quinquennale con l'intento di studiare e documentare

²⁴⁰ Gallou e Henderson 2012, pp. 79-80.

²⁴¹ Henderson et al. 2011, p. 208.

questa città sommersa utilizzando metodologie moderne: il Pavlopetri Underwater Archaeology Project (PUAP)²⁴².

Lo scopo di questo progetto multidisciplinare consisteva nel riuscire a ricostruire il paesaggio preistorico sommerso, comprendere i processi geologici che portarono alla sommersione della città, utilizzare delle tecniche di mappatura innovative per documentare al meglio il sito. Vi era, dunque, un duplice obiettivo: da un lato, si voleva stabilire la funzionalità del sito, per scoprire il ruolo di tale insediamento nel sistema dei commerci marittimi non solo nel golfo della Laconia ma anche al di fuori del Mar Egeo, dall'altro, si tentava di promuovere lo sviluppo di nuove metodologie subacquee di indagine archeologica²⁴³.

Per lo studio del sito sono stati, infatti, utilizzati side scan sonar, multibeam echo sounder, tecniche fotogrammetriche e AUV (Autonomous Underwater Vehicle); nelle zone localizzate a profondità maggiori è stato impiegato anche il sub-bottom profiler per mappare geologicamente l'area e comprendere il ruolo dei movimenti tettonici verticali e dell'innalzamento del livello del mare durante l'Olocene nella sommersione della città²⁴⁴.

10.2 *Il sito di Pavlopetri*

I resti architettonici di Pavlopetri sono delimitati ad est da una cresta rocciosa, che si estende in direzione nord-sud, e ad ovest da ampi depositi sabbiosi e da acque più profonde. L'esistenza della cresta rocciosa orientale ha contribuito alla protezione delle strutture archeologiche dall'azione del moto ondoso; infatti, dove sono presenti delle aperture nel sistema roccioso i muri in pietra sono stati completamente erosi o sono stati dispersi sul fondale marino (Fig. 52-54).

Nel corso delle ricerche del 2009 sono stati scoperti più di 9.000 m² di nuove strutture, a nord dei resti originari. Sembra abbastanza plausibile che questi resti siano stati coperti da degli strati di sabbia nel corso degli anni precedenti, dato che non furono visti dai sommozzatori che avevano visitato il sito nel 1967, nel 1968 e nel 2008.

²⁴² Henderson et al. 2011, p. 207.

²⁴³ Henderson 2013, pp. 244-245.

²⁴⁴ Mahon et al. 2011, pp. 2315-2319.

Si è notato che i resti delle strutture in pietra scoperte nelle nuove aree erano coperte da uno strato di sabbia molto più sottile rispetto alle zone già indagate, su cui si erano, inoltre, stabilizzate delle specie algali e degli organismi marini, tra cui spugne e ricci di mare; da questa osservazione è nata dunque l'ipotesi che questi edifici siano stati esposti solo recentemente. Le alterazioni della copertura sabbiosa potrebbero essere messe in relazione con i cambiamenti della posizione e della forma della linea di costa nel corso del tempo, a causa della variabilità dell'azione del moto ondoso.

Dalla mappa batimetrica e topografica dell'area si evince la presenza di alcune interruzioni nella cresta rocciosa orientale: le onde passano attraverso questi spazi vuoti e vengono diffratte e rifratte intorno all'isola di Pavlopetri, generando la focalizzazione dell'energia del moto ondoso in punti discontinui lungo la costa e provocando, di conseguenza, delle variazioni nel trasporto dei sedimenti. Questo modello di spostamento non è ancora del tutto chiaro, tuttavia, sulla base delle scoperte del 2009, si ritiene che coloro che visiteranno il sito nei prossimi anni potrebbero scoprire ulteriori aree dell'antica città che al momento si trovano nascoste da depositi sabbiosi.



Fig. 52 – L'edificio II di Pavlopetri (da Henderson et al. 2011, 212).

I resti scoperti nel 2009 comprendono un'area di almeno 25 stanze quadrangolari e rettilinee unite tra loro, delimitate da blocchi squadrati di calcare e situate a partire da circa 10 m dalla linea di costa; è stata identificata anche una strada lunga quasi 40 m allineata ad alcuni edifici. Uno dei più importanti rinvenimenti recenti è un grande edificio di forma trapezoidale che misura 34 m in lunghezza e 12-17 m in ampiezza; per

le sue notevoli dimensioni e per la sua posizione centrale all'interno dell'insediamento, si suppone che tale edificio dovesse avere un certo valore per la popolazione.

I frammenti ceramici documentati nel 2009 hanno confermato l'occupazione del sito durante l'Età del Bronzo, come proposto nel 1969. Tuttavia, la scoperta di nuovi resti ceramici indica che il sito fu occupato per la prima volta alla fine del periodo del Neolitico Finale e non durante l'Elladico Antico II, come ipotizzato in origine. Inoltre, alcuni frammenti datati al periodo Protogeometrico, Classico, Ellenistico, Romano e Bizantino hanno ampliato l'arco temporale di occupazione dell'insediamento²⁴⁵.

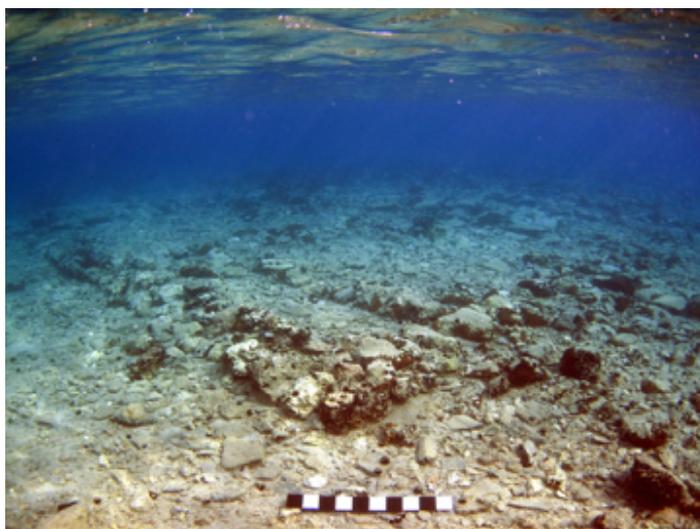


Fig. 53 – Il sito appare come un insieme di basse mura in calcare e arenaria sparse sul fondale marino (da Handerson et al. 2013, 244).



Fig. 54 – L'edificio IX è stato datato all'Età del Bronzo e si ritiene dovesse avere una funzione rituale (da Gallou e Henderson 2012, 84).

²⁴⁵ Harding et al. 1969, pp. 133-139; Henderson et al. 2011, pp. 212-215.

10.3 *La sommersione del sito*

Gli edifici dell'Età del Bronzo della città di Pavlopetri sono stati sommersi a 3-4 m di profondità durante gli ultimi 5.000 anni. Ci sono ancora molti interrogativi riguardo l'evoluzione di questo insediamento nel corso dell'Età del Bronzo e sulla sua successiva sommersione.

L'innalzamento eustatico del livello del mare dopo l'Ultimo massimo glaciale, conclusosi circa nel 6.800-5.700 cal. BP, e il livello regionale del mare nel Mediterraneo hanno subito oscillazioni di meno di 0,5-1,0 m²⁴⁶. La sommersione di Pavlopetri è perciò dovuta principalmente a fattori tettonici, connessi alla placca di convergenza e di subduzione dell'Arco Cretese e alle relative faglie locali e regionali.

Al momento non è possibile attribuire i processi di subsidenza ad una particolare faglia o ad un preciso evento sismico, ma il frequente verificarsi di terremoti in quest'area è un fenomeno ben documentato²⁴⁷. Ad esempio, il sito archeologico di Plitra, a 26 km a nord di Pavlopetri, è stato anch'esso sommerso ad alcuni metri di profondità, mentre Antikythera, a 80 km a sud, ha subito, invece, un sollevamento.

Il processo di sommersione di questo sito non è ancora stato stabilito con certezza, tuttavia, si stima che il tasso medio di subduzione sia di 0,8-1,0 m per 100 anni. Le testimonianze archeologiche indicano, inoltre, che la città di Pavlopetri sia stata probabilmente sommersa al tempo dell'Impero Romano e sia stata, di conseguenza, completamente abbandonata²⁴⁸.

Nel 2015 il sito di Pavlopetri è stato inserito all'interno della lista del World Monuments Fund²⁴⁹ dei siti storico-archeologici di rilevanza mondiale maggiormente a rischio; si spera che questo contribuirà a far aumentare la consapevolezza riguardo i pericoli, soprattutto di tipo antropico, che minacciano questo sito sommerso e a incoraggiare una maggiore partecipazione del pubblico nella sua protezione.

²⁴⁶ Anche Flemming riteneva che il livello eustatico del mare, nel corso degli ultimi 2.000 anni, fosse variato di circa 0,5 m e che quindi la sommersione del sito fosse attribuibile a locali attività sismiche e vulcaniche.

²⁴⁷ Stiros 2010, pp. 54-63.

²⁴⁸ Henderson et al. 2011, pp. 215-217.

²⁴⁹ La World Monuments Fund (WMF), nata nel 1965, è un'organizzazione privata impegnata nella conservazione dei beni architettonici storici di grande valore culturale.

I principali rischi per questo insediamento preistorico sono rappresentati dall'aumento dell'inquinamento causato dalle navi commerciali, che scaricano rifiuti e sostanze chimiche nelle acque marine, dallo spostamento dei sedimenti provocato da piccole imbarcazioni che navigano al di sopra del sito archeologico, che possono anche danneggiare le fondazioni e resti delle murature, e dal saccheggio dei reperti dal fondale marino; inoltre, la costruzione di un nuovo gasdotto per il gas naturale da Creta al Peloponneso e di una centrale elettrica nelle vicinanze di Pavlopetri sono ulteriori minacce per la sicurezza del sito.

Negli ultimi anni, le autorità locali si sono impegnate nella promozione di una grande campagna per la protezione dell'antica città sommersa, incoraggiando anche l'adozione di specifici decreti rivolti alla difesa del sito; si sta cercando, inoltre, di evitare l'emanazione di uno Speciale Regolamento Portuale che consentirebbe alle navi di ancorare legalmente nella baia di Vatika.

Nel 2016 l'area archeologica è stata delimitata con dei galleggianti, mantenendo così ad una certa distanza le imbarcazioni, e sono stati posizionati dei pannelli descrittivi che sottolineano l'importanza di Pavlopetri ai visitatori.

Anche la creazione di un parco archeologico subacqueo è una valida opzione, ma richiede una progettazione estremamente attenta, che tenga conto dei vari rischi e che riesca a prevenire qualsiasi danneggiamento al sito preistorico. Recentemente, infatti, sono state condotte alcune ricerche con lo scopo di analizzare tutti gli aspetti (positivi e negativi) della realizzazione di un parco subacqueo in questo insediamento; la proposta per la creazione di un parco per le immersioni è stata fortemente sostenuta dalle comunità locali, che ritengono porterà ad un aumento del turismo e quindi ad una crescita economica della regione. Ciò che ci si aspetta da un simile intervento sono la valorizzazione dell'ambiente costiero e marittimo in termini di sostenibilità, la promozione internazionale dei beni storico-culturali greci, la protezione del sito archeologico e il miglioramento della qualità dei servizi turistici.

Capitolo 11

Gestione e protezione dei siti costieri

La fascia costiera sta attualmente subendo una fortissima pressione non solo dal punto di vista ambientale (variazione delle condizioni climatiche globali e processi erosivi di vario genere) ma anche a causa delle costanti attività antropiche, sempre più concentrate in questa zona; di conseguenza, anche il patrimonio costiero, che comprende siti localizzati sulla terraferma, sulla fascia intertidale e siti sommersi, inclusi i relitti, è minacciato dagli stessi pericoli. Come visto in precedenza, i principali rischi che corrono i resti archeologici costieri sono l'innalzamento del livello del mare che ne causa la sommersione, l'azione erosiva del moto ondoso e delle correnti, l'intrusione salina, l'impatto di violente tempeste e tsunami; ovviamente, il grado di distruzione di tali fenomeni dipende dalla morfologia litoranea, quindi i siti situati su spiagge basse ed estuari sono quelle maggiormente a rischio²⁵⁰.

Inoltre, per quanto riguarda i giacimenti sommersi, come i relitti, è in atto un aumento del degrado dei materiali lignei a causa dell'erosione dei sedimenti protettivi, che porta l'esposizione dei resti archeologici all'azione dei batteri e dei microrganismi marini xilofagi²⁵¹.

Al fine di comprendere al meglio quali sono gli impatti e le dinamiche che tali aree costiere stanno vivendo è necessario adottare delle adeguate strategie di monitoraggio, che permettano di valutare il grado di vulnerabilità delle zone litoranee e quindi di proporre delle soluzioni che riescano a mitigare i processi di degrado²⁵².

Bisogna, comunque, tenere sempre presente che interventi inappropriati possono portare a delle variazioni nei processi erosivi e nel trasporto sedimentario, talvolta aggravando tali fenomeni sulle aree litoranee adiacenti non protette²⁵³. Per limitare gli effetti negativi che possono essere causati dalle

²⁵⁰ Daly 2011, p. 298; Pearson e Williams 1996, pp. 123-125.

²⁵¹ Bjordal et al. 2006, pp. 6-7.

²⁵² Mastronuzzi et al. 2007, pp. 162-165; Wright 2016, p. 257.

²⁵³ Edwards e O'Sullivan 2007, pp. 12-13.

opere marittime difensive devono essere analizzate le caratteristiche geomorfologiche della costa, la dinamica dei trasporti solidi lungo la riva e l'esposizione al moto ondoso e alle correnti; dunque, qualsiasi lavoro effettuato sulla costa non può prescindere dalla conoscenza dei processi fisici e biologici che operano in questo ambiente²⁵⁴.

11.1 *Conservazione dei siti archeologici in ambiente costiero*

All'interno del bacino del Mar Mediterraneo esistono vari contesti ambientali in cui possono essersi formati dei siti archeologici; ogni area geografica possiede delle caratteristiche specifiche che influiscono sul grado di conservazione dei materiali.

I siti localizzati ad elevate profondità (sotto i 40 m), ad esempio, riescono a preservarsi in modo piuttosto buono poiché l'energia idrodinamica è debole rispetto a quella degli ambienti più superficiali. Inoltre, la quantità di ossigeno disciolta nell'acqua diminuisce con l'aumentare della profondità, non consentendo ad alcuni organismi marini di svilupparsi (oltre i 200 m di profondità, ad esempio, la *Teredo navalis* non può sopravvivere).

Le spiagge e le aree costiere poco profonde sono caratterizzate da una forte dinamica ambientale, condizionata dall'azione dei venti, del moto ondoso e delle correnti marine. L'elevata energia idrodinamica presente in questo particolare tipo di ambiente può comunque permettere la conservazione di un relitto grazie alla rapida copertura dei materiali archeologici con i sedimenti trasportati lungo la riva; questi, infatti, agiscono come una sorta di protezione fisica contro l'impatto delle forze marine (onde e correnti) e dei fattori biologici. Al contrario, bassissimi fondali rocciosi non offrono delle condizioni ottimali per la conservazione dei resti archeologici; in particolare, i materiali organici vengono rapidamente degradati sia a causa dell'azione fisica del moto ondoso sia

²⁵⁴ Beltrame 2004, pp. 145-146.

dell'attacco biologico (formazione di concrezioni che bloccano i manufatti al fondale marino)²⁵⁵.

L'eccezionale stato di conservazione dei relitti lungo la linea costiera è quindi strettamente connesso alla loro rapida sepoltura sotto i sedimenti (processo legato ai continui movimenti dei banchi di sabbia) e allo sprofondamento dello scafo nel substrato sabbioso (dovuto all'opera di escavazione prodotta dalle onde di frangente).

Trovandosi in un ambiente così dinamico, i relitti possono addirittura trasformarsi da giacimenti sommersi a siti terrestri; infatti, se sono localizzati su litorali in progradazione, l'avanzamento della linea di costa può portare al totale seppellimento dei resti archeologici nella sabbia; questo fenomeno provoca un duplice effetto: da un lato, permette un'ottima conservazione dei materiali, dall'altra, causa la "scomparsa" dei giacimenti, nascondendoli sotto i sedimenti, e li rende dunque difficili da individuare (aspetto che può, tuttavia, essere considerato positivamente, poiché in questo modo i siti risultano protetti dai cosiddetti "tombaroli").

Il rinvenimento dei resti archeologici costieri può essere dovuto ad una rapida rimozione dei sedimenti sovrastanti, ad attività di dragaggio o a lavori edilizi lungo il litorale. Per quanto riguarda le cause naturali, sappiamo che il profilo della spiaggia subisce costanti mutamenti connessi ai ciclici cambiamenti stagionali e agli eventi di tempesta; queste alterazioni provocano un avanzamento (deposizione) o un ritiro (erosione) del litorale. La costruzione di opere difensive, d'altra parte, provoca delle variazioni nel regime sedimentario e può essere estremamente dannosa se tali strutture impattano direttamente il sito²⁵⁶.

È dunque fondamentale la pianificazione di interventi conservativi *in situ*, che permettano non solo la preservazione dei siti archeologici ma anche di effettuare monitoraggi periodici dell'area; questo approccio non comporta alcuno spostamento dei materiali, garantendone così l'integrità e consentendone lo studio anche alle generazioni di archeologici²⁵⁷. La Carta Internazionale sulla

²⁵⁵ Beltrame 1996, pp. 158-160.

²⁵⁶ Beltrame 2002, pp. 390-392.

²⁵⁷ Godfrey et al. 2005, pp. 343-351.

Protezione e la Gestione del Patrimonio Culturale Subacqueo del 1996 e, successivamente, la Convenzione UNESCO sulla Protezione del Patrimonio Culturale Subacqueo nel 2001, sottolineano, infatti, la necessità di utilizzare dei metodi conservativi *in situ*²⁵⁸.

Durante l'ultimo decennio, sono state condotte numerose ricerche per approfondire le tecniche di conservazione *in situ*; tali indagini non sono state eseguite soltanto dagli archeologici, infatti, hanno dato il loro contributo anche alcuni scienziati, esperti nei settori della chimica e della biologia. Ad esempio, progetti come il RAAR (Reburial and Analyses of Archaeological Remains), in Svezia, il cui scopo è quello di studiare tutti i materiali che possono essere rinvenuti in contesti archeologici, e il MoSS (Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites), che ha coinvolto numerose nazioni europee tra cui la Finlandia, la Danimarca, i Paesi Bassi, la Germania, la Svezia e il Regno Unito, e che mira ad una migliore conoscenza dei processi di degrado e alla ricerca di tecniche protettive, sono stati messi in pratica in vari siti archeologici sommersi; anche le analisi effettuate in laboratorio (come gli studi di Björdal e Nilsson sui microrganismi marini, ad esempio) hanno dimostrato che la conservazione *in situ* può essere considerata un ottimo metodo²⁵⁹.

Inoltre, per quanto riguarda la protezione dei siti localizzati in aree litoranee, nel corso dell'ultimo secolo, sono state progettate delle opere difensive che riescono a controllare l'erosione costiera e a mitigare gli impatti dei processi marini (inondazioni, moto ondoso, correnti). Tali strutture artificiali possono ridurre i fenomeni di risalita e tracimazione delle onde (paratie, muri di sponda, rivestimenti), rallentare il trasporto solido litoraneo (pennelli), dissipare l'energia del moto ondoso (scogliere, frangiflutti), controbilanciare le perdite di sedimenti causate da processi naturali o da interventi antropici (ripascimenti delle spiagge)²⁶⁰. Questi sistemi difensivi sono in genere stati sviluppati per la protezione delle spiagge dall'erosione costiera soprattutto in una prospettiva di tipo turistico/balneare; tuttavia, tali tecniche possono risultare utili anche per la conservazione del patrimonio archeologico collocato sulla fascia costiera.

²⁵⁸ Staniforth e Shefi 2010, p. 1547.

²⁵⁹ Ortmann 2009, pp. 17-20.

²⁶⁰ APAT 2007, p. 34.

Per salvaguardare al meglio i siti situati sott'acqua bisogna adottare una metodologia protettiva adeguata; si devono, quindi, valutare vari parametri, relativi alle caratteristiche generali del sito: il tipo di giacimento archeologico (porto, relitto, artefatti, resti umani, edifici, ecc.), la profondità a cui si trova, lo stato di conservazione, le condizioni ambientali (fattori di degrado), i finanziamenti a disposizione. Sulla base di tali dati viene identificata la strategia difensiva migliore per un determinato sito²⁶¹.

11.2 Protezione dei relitti e di siti archeologici di dimensioni ridotte

Per la salvaguardia dei relitti e di piccoli siti in zone costiere, l'applicazione delle tecniche di conservazione *in situ* rappresenta un'ottima soluzione; esistono diverse metodologie che riescono a fornire una protezione fisica al sito sommerso dalle influenze ambientali negative ma il fine di tali operazioni è comune a tutte: la stabilizzazione del giacimento e il rallentamento dei processi di degrado. La conservazione *in situ* è una tecnica non invasiva e permette l'installazione di protezioni che possono essere facilmente rimosse in caso di monitoraggio o di ricerca archeologica.

I siti archeologici sommersi sono costantemente minacciati dall'erosione costiera, dalle correnti marine che possono rimuovere lo strato protettivo di sedimenti, dalla corrosione che porta al danneggiamento dei materiali metallici e dagli impatti antropici; affinché tutti questi fattori siano, se non eliminati, almeno ridotti, sono state sviluppate delle tecniche difensive utilizzabili sott'acqua: dalla copertura del sito con strati di sedimenti all'uso di sacchi di sabbia o geotessuti, dal posizionamento di reti e gabbie metalliche alla disposizione di manti di alghe artificiali.

²⁶¹ Pešić 2011, pp. 78-79.

11.2.1 Ricopertura dei siti sommersi con sedimenti

I sistemi di ricopertura con sedimenti garantiscono una buona stabilità del sito, rallentano i processi di degradazione aerobica biologica dei materiali e proteggono l'area archeologica dagli effetti delle attività antropiche, inclusi gli atti di vandalismo e di saccheggio, e dall'erosione.

Come per il ripascimento delle spiagge, anche in questo caso sono necessarie delle ricerche per capire quali siano i sedimenti più adatti e quanto debba essere spesso lo strato di copertura (ad esempio, in ambienti dove non prevale il trasporto solido litoraneo sono sufficienti pochi centimetri); se si utilizzano sedimenti con una grana troppo fine c'è la possibilità che vengano rimossi dalle correnti marine, se, al contrario, sono troppo pesanti (pietre), sebbene risultino più stabili, rischiano di causare danneggiamenti del materiale archeologico; inoltre, è altamente sconsigliato il riutilizzo dei sedimenti asportati durante le operazioni di scavo poiché possono essere stati colonizzati da agenti bio-deteriogeni²⁶².

Il metodo della ricopertura dei siti con sedimenti si basa sul concetto che alcuni ambienti sono naturalmente in grado di rallentare i processi di deterioramento (ad esempio, gli ambienti anaerobici); il fine di questo intervento è proprio quello di ricreare un ambiente stabile e di limitare il degrado chimico, biologico e fisico (ottenendo appunto delle condizioni anaerobiche).

È un sistema difensivo economico e semplice, facilmente rimovibile in caso di ulteriori ricerche archeologiche; richiede un programma di monitoraggio al fine di valutare lo stato del sito e assicurarsi che non venga nuovamente esposto all'azione degradante dei microrganismi²⁶³.

Uno dei primi interventi di ricopertura dei resti archeologici sommersi risale agli anni Ottanta del secolo scorso: tra 1980-1984, la baleniera basca *San Juan*, rinvenuta a Red Bay (Canada), è stata ricoperta con sedimenti per proteggere il legname dall'attacco biologico, chimico e fisico (dovuto ai banchi di ghiaccio).

Un altro esempio di applicazione di questa tecnica è il relitto romano di Spargi, Sardegna (120-100 a.C.), che è stato protetto prima con uno strato di

²⁶² Beltrame 2004, p. 148.

²⁶³ Oxley 1998, pp. 167-169.

rocce, poi con una rete di nylon fissata con picchetti metallici al fondale, coperta da un ulteriore strato di pietre, infine il tutto è stato ricoperto da sabbia²⁶⁴.

11.2.2 *Strutture metalliche*

L'utilizzo di reti metalliche protettive risulta essere un metodo semplice e poco costoso; vengono adoperate principalmente in siti ad elevate profondità ma possono essere utilizzate anche in contesti archeologici situati in acque basse, in prossimità della spiaggia, soprattutto in siti minacciati da atti di vandalismo, per impedire l'accesso all'area a persone non autorizzate. Poiché tali protezioni sono relativamente facili da rimuovere è necessario fissare le reti al fondale marino con dei picchetti o appesantirle con dei blocchi di cemento. Sono particolarmente utili le reti realizzate in ferro galvanizzato, ricoperte con inibitori di corrosione; sopra a queste strutture metalliche può essere posto un'ulteriore protezione, ad esempio un telo di geotessuto o degli strati di sacchi di sabbia, assicurando così una maggiore stabilità fisica al sito. Inoltre, i microrganismi marini colonizzano in breve tempo le strutture metalliche, creando una copertura visiva del giacimento. Bisogna comunque considerare che le reti si corrodono piuttosto rapidamente e richiedono delle fasi di monitoraggio e, in caso di necessità, anche di sostituzione dei materiali (Fig. 55).

Questo metodo è stato spesso usato in Croazia e in Italia, dove si sfrutta la combinazione di sacchi di sabbia e di reticolati elettrosaldati in ferro zincato, poi coperti da uno strato di sabbia; la rete è saldamente fissata al fondale marino.

Ad esempio, a Grado, Gorizia, il relitto, datato alla prima metà del II secolo d.C. (situato a -16 m di profondità), è stato coperto con strati di polietilene, poi da uno strato di sabbia ed infine da due strati di reti elettrosaldate collegate a quattro blocchi di cemento collocati intorno al giacimento²⁶⁵.

Possono essere utilizzati anche delle gabbie metalliche, dei pannelli modulari di metallo o dei cassoni di acciaio senza fondo; sono metodi piuttosto costosi ma risultano estremamente efficaci nella difesa dei giacimenti sommersi di dimensioni ridotte. Il sito non subisce la pressione del peso dei materiali

²⁶⁴ Davide 2004, pp. 139-141.

²⁶⁵ Beltrame 2004, p. 149.

protettivi che lo ricoprono (sacchi di sabbia, blocchi di cemento, ecc.) e si trova al riparo dall'azione potenzialmente devastante di ancore e reti da strascico. Un altro vantaggio dell'adozione di queste strutture è l'assenza di luce che si viene a creare all'interno del sito: il buio, infatti, inibisce lo sviluppo di organismi biodeteriogeni, rallentando i processi di degrado. Sia i pannelli che le casse metalliche possono, inoltre, essere rimosse e riassemblate più volte durante le operazioni di scavo e ricerca archeologica e riutilizzate in altri siti²⁶⁶.

La tecnica dei cassoni metallici è stata impiegata con successo nel relitto di epoca fenicia (VII secolo a.C.) rinvenuto a Mazzarón, Spagna: il giacimento è stato protetto da una scatola formata da pannelli di acciaio, sorretti da un telaio metallico ancorato al fondale. Anche la piroga scoperta a Capodimonte, sul Lago di Bolsena (a -11 m di profondità), è stata protetta da 12 casse modulari in acciaio senza fondo, che erano state forate per permettere la circolazione dell'acqua. Pannelli modulari metallici zincati e ricoperti in vetroresina hanno protetto il relitto romano di Montaldo di Castro, Viterbo, situato in alto fondale (-38 m)²⁶⁷.



Fig. 55 – La foto mostra un sistema protettivo a rete metallica (da Pešić 2011, 82).

²⁶⁶ Davide 2004, pp. 144-145; Pešić 2011, pp. 81-83.

²⁶⁷ Beltrame 2004, p. 149.

11.2.3 Opere semirigide

Le principali caratteristiche delle opere semirigide sono la reversibilità e la flessibilità; spesso tali strutture accompagnano gli interventi morbidi di difesa costiera. La loro durata dipende principalmente dalla resistenza dei materiali impiegati nella costruzione (naturali o artificiali) e possono influenzare la morfodinamica della spiaggia, che subisce delle modificazioni a causa degli effetti provocati da tali elementi sul trasporto solido litoraneo.

Recentemente, si è cercato di stabilizzare i resti archeologici *in situ* sfruttando il trasporto sedimentario a proprio vantaggio: intrappolando i materiali sedimentari che si spostano nell'acqua e creando un fondale marino artificiale o un cumulo di sabbia al di sopra del sito in pericolo.

11.2.3.1 Materiali geotessili

I geotessuti sono dei materiali tessili utilizzati in ambienti costieri per prevenire l'erosione e in contesti archeologici subacquei per la protezione fisica dei siti contro l'attacco degli organismi marini degradanti. Possono essere realizzati con fibre naturali o sintetiche; in quest'ultimo caso si parla di tessuti geosintetici che, a differenza dei naturali, non sono biodegradabili e sono composti da polimeri di diversa composizione chimica: polietilene, polipropilene, polivinilcloruro (PVC), nylon e poliestere. I geotessuti naturali, invece, sono composti da fibre naturali, anch'esse formate da polimeri, essenzialmente costituiti da cellulosa e lignina. All'interno della categoria dei geosintetici vanno incluse anche le geogriglie e le georeti (materiali plastici a forma di reticolato), le geomembrane, le guaine in argilla sintetica, le geotubature e i geocompositi²⁶⁸.

Al giorno d'oggi questi materiali possono essere impiegati in varie modalità: come una sorta di filtro in strutture protettive contro l'erosione (rivestimenti, dighe); divisori nelle fondazioni di pennelli e frangiflutti; per realizzare sacchi (poi riempiti con sabbia) o tubature; telo flessibile; rinforzi

²⁶⁸ Barret 1966, pp. 1048-1067.

nelle opere di dragaggio; membrane da utilizzare nelle coperture delle discariche; contenitori in cui disporre il materiale dragato dai canali di navigazione²⁶⁹. In generale, i geotessuti hanno quindi le seguenti funzioni: separazione (di due materiali di diversa natura), rinforzo, filtraggio (contenendo il suolo e permettendo la dispersione delle forze idrauliche), drenaggio (consentendo un movimento dei fluidi e allo stesso tempo limitando la perdita di terreno), contenimento (fornendo un isolamento tra due superfici)²⁷⁰.

Andando ad analizzare nel dettaglio l'applicazione dei sacchi di sabbia, si nota come questo metodo sia uno dei più comunemente utilizzati per la stabilizzazione dei siti archeologici subacquei; è semplice, economico, con un basso impatto ambientale, consente la protezione di una vasta area ed è facile da rimuovere in caso di interventi di monitoraggio²⁷¹. (Fig. 56).

Questo metodo, tuttavia, non fornisce una sufficiente chiusura ermetica del sito e non riesce a creare un ambiente anaerobico (non riuscendo quindi ad assicurare una totale protezione dai fattori biologici di degrado); tale problema può essere ovviato posizionando uno strato di geotessuto al di sotto dei sacchi e ricoprendo poi il tutto con della sabbia²⁷².

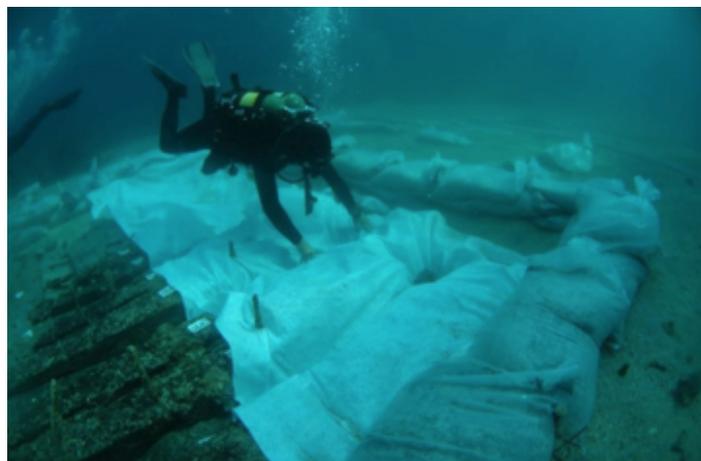


Fig. 56 – Protezione di un sito con sacchi di sabbia e geotessuto (da Pešić 2011, 80).

²⁶⁹ Heerten e Kohlhasse 2000, p. 512.

²⁷⁰ Mohan e Nair 2005, pp. 479-481.

²⁷¹ Gregory et al. 2008, pp. 15-23.

²⁷² Oxley 1998, pp. 167-169.

Alcuni siti in cui è stato previsto l'utilizzo di sacchi di sabbia sono, ad esempio, Torre Santa Sabina, a Brindisi, dove uno dei relitti romani rinvenuti a pochi metri di distanza dalla spiaggia è stato appunto protetto con geotessuto e sacchi di sabbia e infine ricoperto con blocchi di cemento, e il relitto del Duart Point, in Scozia, su cui sono stati posati dei sacchi di sabbia con lo scopo di favorire il ripristino dell'originaria superficie del fondale²⁷³.

Geotessuti sono stati impiegati non solo sui relitti ma anche per la difesa di strutture architettoniche sommerse; ad esempio, a Torre Astura e a Baia (Napoli) per conservare pavimentazioni e mosaici: nel primo sito, infatti, sono stati posizionati dei teli di geotessuto, tenuti fermi con sacchi di sabbia, e dei "tappeti" di geotessuto imbottiti con ghiaia (più stabili e più rapidi da rimuovere e ricollocare) per la protezione dei piani pavimentali; a Baia, il mosaico di Villa dei Pisoni è stato coperto con geotessuto appesantito da sacchi riempiti di ghiaino²⁷⁴.

11.2.3.2 *Tappeti di alghe artificiali*

Negli ultimi anni, sono stati sviluppati alcuni metodi che sfruttano il trasporto sedimentario sottomarino a vantaggio del giacimento archeologico. Tali tecniche, infatti, si basano sul principio che se vi è un trasporto di sedimenti nelle acque che circondano il sito, questi materiali possono essere intrappolati e stabilizzati per ricoprire l'area interessata. Ad esempio, per conservare e proteggere i beni archeologici sommersi, sono stati realizzati dei tappeti di alghe artificiali; le fronde plastiche riescono a rallentare la velocità dell'acqua e a bloccare i sedimenti sabbiosi e fangosi, portando alla formazione di un cumulo artificiale di sedimenti²⁷⁵ (Fig. 57).

Questo metodo risulta utile soprattutto in siti con fondali piatti e sabbiosi e in cui ci sono forti correnti marine e fenomeni erosivi; la rete dovrebbe essere posizionata perpendicolarmente alla direzione della corrente in modo da trattenere la maggior quantità possibile di sedimenti. Le alghe artificiali possono

²⁷³ Bowens 2009, pp. 167-168.

²⁷⁴ Petriaggi e Davidde 2007, pp. 127-129.

²⁷⁵ van Rijn 2010, pp. 7-8.

essere collocate su tutto il relitto o solo in determinate parti, consentendo, ad esempio, ai ricercatori di proseguire lo studio²⁷⁶.



Fig. 57 – Accumulo di sabbia stabilizzato dopo il posizionamento di tappeti di alghe artificiali (da Staniforth 2006, 53).

11.3 Difesa di strutture archeologiche di grandi dimensioni

Siti costieri che comprendono strutture monumentali, come possono essere ad esempio delle antiche aree portuali, devono essere protetti con delle opere di dimensioni adeguate; una soluzione potrebbe essere l'utilizzo di strutture difensive adoperate normalmente con finalità ambientalistiche: manufatti rigidi di tipo attivo (opere parallele distaccate, opere trasversali) o passivo (opere radenti), ricostruzione artificiale delle spiagge. Il primo tipo di strutture agisce in maniera diretta riducendo l'energia delle onde (attenuando di conseguenza l'erosione) o modificando il trasporto solido longitudinale (portando quindi all'accumulo di sedimenti sopraflutto); quelle di tipo passivo invece, proteggono gli edifici o la zona naturale a loro retrostante dalle inondazioni. Un ripascimento può essere complessivamente morbido, quando prevede il solo versamento di sabbia sul litorale, o protetto, se all'apporto di sedimenti vengono aggiunte delle opere marittime rigide per aumentarne la durata.

²⁷⁶ Manders 2011, p. 31; Pešić 2011, p.79.

11.3.1 *Opere morbide*

Le protezioni di tipo morbido comprendono il ripascimento artificiale della spiaggia e il mantenimento dell'ambiente dunale e della vegetazione costiera; queste soluzioni non possono essere considerate permanenti, ma vengono attualmente privilegiate rispetto alla costruzione di opere rigide, in quanto sono altamente compatibili con il paesaggio naturale e non hanno un forte impatto visivo.

Il posizionamento di sedimenti (soprattutto materiali sabbiosi) direttamente sulla spiaggia è un processo che viene definito come ripascimento o ricostruzione; si tratta di una metodologia ecocompatibile di protezione costiera ed è stata utilizzata in numerose località, con diverse condizioni ambientali.

L'apporto artificiale di sabbia può essere ritenuto l'intervento più pratico per difendere le aree litoranee dalle inondazioni dovute ad eventi di tempesta e permette anche l'avanzamento della spiaggia verso il mare, ampliandone dunque l'estensione. Come visto in precedenza, i sedimenti che si accumulano lungo la riva hanno differenti origini: possono, ad esempio, essere stati trasportati da un fiume e poi si sono depositati in un'area deltizia, oppure possono derivare da pre-esistenti sedimenti situati sul fondale marino, da precipitazioni chimiche o da organismi viventi; quando tale apporto sedimentario naturale viene interrotto, i litorali si riducono. I lavori di mantenimento delle spiagge mirano dunque al loro rifornimento attraverso il versamento artificiale di materiale idoneo; questo può essere fatto in corrispondenza della zona sommersa della spiaggia (*shoreface zone*), nell'area emersa (*beach*) o nel sistema dunale (*backshore zone*); in genere si utilizzano delle pompe di dragaggio per aspirare e posizionare il materiale sulla spiaggia.

Risulta fondamentale riuscire a localizzare una fonte di sedimenti che abbia delle caratteristiche granulometriche e tessiturali compatibili con quelle della fascia costiera originaria e che disponga di una quantità di materiali sufficiente per eseguire i lavori. I contesti di prelievo possono essere situati in mare (cave sottomarine) o sulla terraferma (cave terrestri, alvei fluviali, depositi alluvionali); ogni località presenta però degli svantaggi: ad esempio, se si

effettuano dei prelievi da cave terrestri, bisogna tenere presente che i costi di trasporto saranno piuttosto elevati, se invece i sedimenti vengono estratti da cave sottomarine è necessario scendere ad elevate profondità (fino a -100 m) per non turbare l'equilibrio ambientale²⁷⁷.

In aree litoranee dove il vento è un fattore dominante si può intervenire consolidando il cordone dunale; l'azione eolica viene ridotta grazie all'introduzione di strutture difensive realizzate principalmente con tavolate di legno, con fibre vegetali (juta, cocco, ramaglie) o con elementi in geotessuto; viene dunque favorito il deposito sedimentario e, per aumentare la resistenza del sistema dunale, può essere incrementata la vegetazione di questa zona.

11.3.2 *Opere rigide*

In aree costiere ad elevata energia, cioè dove le onde si infrangono in modo continuo, dovrebbero essere privilegiate strutture difensive di tipo rigido e permanente; tali interventi possono comprendere la costruzione di pennelli per intercettare i sedimenti che vengono trasportati lungo la spiaggia e di barriere artificiali posizionate al largo per ridurre l'energia delle onde prima che queste raggiungano la riva²⁷⁸.

Queste strutture garantiscono un'elevata stabilità dell'intervento, in quanto sono realizzate con massi di grandi dimensioni o con elementi prefabbricati in calcestruzzo armato; nonostante siano delle opere robuste, richiedono comunque una costante attività di monitoraggio a causa delle modifiche indotte dalle stesse costruzioni sul fondale marino.

Nelle considerazioni da tenere presente durante la scelta di una determinata opera di difesa rigida è necessario includere anche le caratteristiche delle aree litoranee vicine; questo perché le protezioni collocate in una sezione costiera generalmente influenzano il trasporto sedimentario lungo la riva, causando così delle alterazioni non solo sulla spiaggia in cui sono state posizionate ma anche in quelle adiacenti ad esse²⁷⁹.

²⁷⁷ Finkl e Walker 2005, pp. 147-149.

²⁷⁸ Oxley e Gregory 2002, pp. 715-725.

²⁷⁹ Dean e Dalrymple 2002, p. 210.

I danni che possono essere causati ai siti archeologici dalle opere marittime situate non solo nelle sue vicinanze ma anche da quelle collocate a notevole distanza non sono da sottovalutare. Si veda, ad esempio, il caso di Cesarea (Israele), dove la posa di un nuovo frangiflutti ha provocato l'erosione dello strato di sabbia protettivo che gli archeologi avevano disposto sopra ad un antico relitto (I secolo d.C.); o ancora nella rada di Alghero (Sassari) la costruzione di un pennello e di barriere frangiflutti ha innescato un fenomeno erosivo che ha permesso di individuare quattro relitti²⁸⁰.

In base all'orientamento rispetto alla linea di riva queste opere possono essere distinte in: parallele (opere a parete verticale o scogliere aderenti) o trasversali (pennelli); un ulteriore aspetto negativo delle protezioni rigide è il loro forte impatto paesaggistico e ambientale.

Non bisogna dimenticare, inoltre, che spesso la realizzazione di queste strutture ha portato alla scoperta accidentale di antichi siti costieri; al fine di evitare che le nuove costruzioni impattino rovinosamente i resti archeologici, dovrebbero essere eseguite adeguate indagini preliminari e prospezioni prima che i lavori edilizi vengano avviati²⁸¹.

Un esempio di giacimento archeologico rinvenuto casualmente in corso di costruzione di opere rigide lungo il litorale può essere il vascello (datato agli inizi del XIX secolo) scoperto a 200 m dalla spiaggia di Pesaro nel 1978; durante la posa di massi per dei nuovi frangiflutti, il fondale marino iniziò ad essere eroso dalla corrente generata da queste strutture e portò alla luce i resti di un relitto. Purtroppo, furono recuperati solo alcuni oggetti e una parte della fiancata sinistra della nave fu coperta a causa della continuazione dei lavori²⁸².

11.3.2.1 *Barriere frangiflutti*

I frangiflutti sono considerati delle strutture distaccate parallele alla linea di costa e riescono a proteggere una sezione della riva bloccando l'energia

²⁸⁰ Beltrame 2004, p. 144.

²⁸¹ Ancora più utile sarebbe la redazione di mappe predittive che segnalino le aree costiere maggiormente a rischio, indicando le zone già indagate, lo stato delle spiagge (in avanzamento o in erosione), ecc.

²⁸² Beltrame 2004, p. 144.

incidente delle onde. Possono essere emersi o sommersi, e in quest'ultimo caso vengono chiamati "a scogliera" (il cui vantaggio è quello di avere un basso impatto visivo); a volte vengono realizzati in modo da essere parzialmente sommersi, ad esempio durante l'alta marea, per permettere alle onde di passare sopra di essi e consentire così un migliore ricircolo delle acque. Normalmente vengono costruiti più gruppi di frangiflutti, in modo da formare un complesso sistema segmentato lungo la costa (Fig. 58).

Esistono diverse tipologie di barriere: quelle realizzate con blocchi artificiali di varie forme e dimensioni (tetrapodo, cubo, parallelepipedo), quelle in massi naturali (in genere collocati sopra un filtro geotessile), barriere costruite con contenitori in rete metallica riempiti di pietrame (gabbioni), con geotubi o con sacchi geotessili²⁸³ (Fig. 59).

Possono essere costruite anche delle opere chiamate "reef" artificiali (strutture semi-rigide) che non solo consentono la protezione della linea di costa, tramite l'assorbimento dell'energia del moto ondoso, ma permettono anche alla flora e alla fauna marina di svilupparsi, data la presenza di fori e cavità negli elementi costruttivi; tali strutture, perciò, hanno un basso impatto paesaggistico, integrandosi con l'ambiente grazie appunto alla crescita di vegetazione sopra di esse.

La loro presenza causa delle alterazioni nel moto ondoso, tramite la riflessione, rifrazione, diffrazione e dissipazione dell'energia, provocando un accumulo di sedimenti nella zona protetta sottovento.

Possono essere un tipo di protezione appropriata in aree dove il trasporto trasversale è particolarmente intenso o dove l'energia delle onde deve essere necessariamente ridotta.

La sabbia che si deposita tra le strutture e la spiaggia, grazie alla presenza dei frangiflutti distaccati, può portare alla creazione di varie forme litoranee, tra cui le più frequenti sono il tombolo o la cuspidè²⁸⁴.

²⁸³ APAT 2007, pp. 48-64.

²⁸⁴ Davis 2005, pp. 530-535; van Rijn 2010, pp. 39-40.

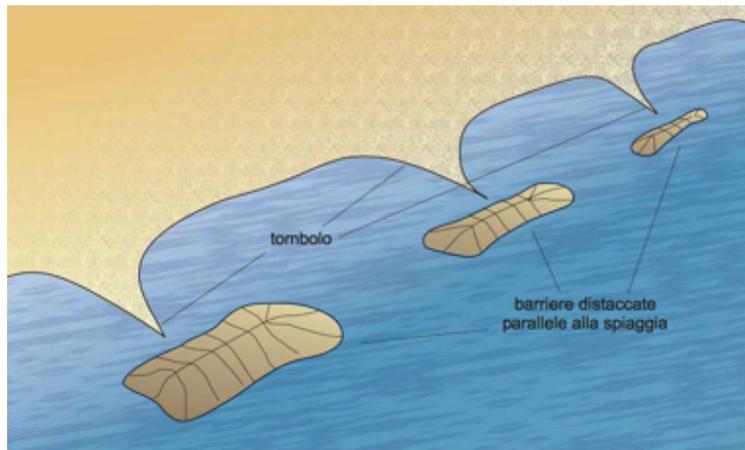


Fig. 58 – Le barriere distaccate creano delle zone concave tra una struttura e l'altra e formano dei tomboli nella zona retrostante ad esse (da APAT 2007, 49).

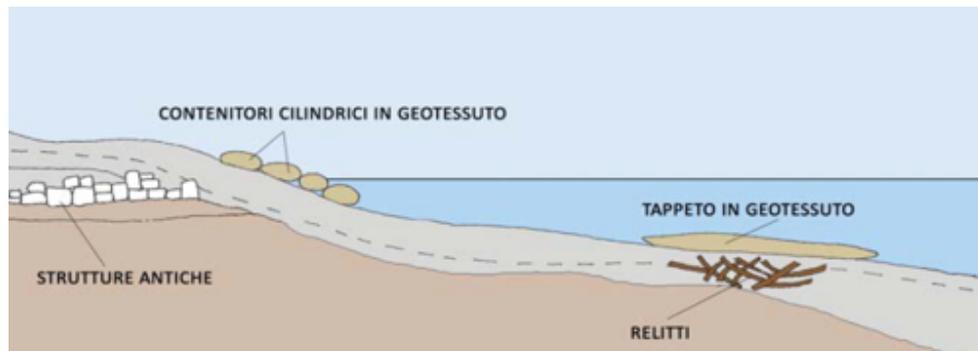


Fig. 59 – Esempi di utilizzo di barriere realizzate con geotessuto per la protezione di strutture archeologiche localizzate sulla costa e di teli in materiale geosintetico disposti al di sopra di un relitto (da Aminti e Cappuccini 2012, 31).

11.3.2.2 Pennelli

I pennelli sono lunghe e strette strutture perpendicolari o oblique alla linea di riva (opere trasversali) che si estendono nella zona di frangimento delle onde per ridurre le correnti longitudinali, per trattenere la sabbia tra i pennelli, per stabilizzare e ampliare la spiaggia o per aumentare la durata dei ripascimenti artificiali; in generale servono, dunque, a controllare la quantità di sedimenti che si sposta lungo la riva (Fig. 60).

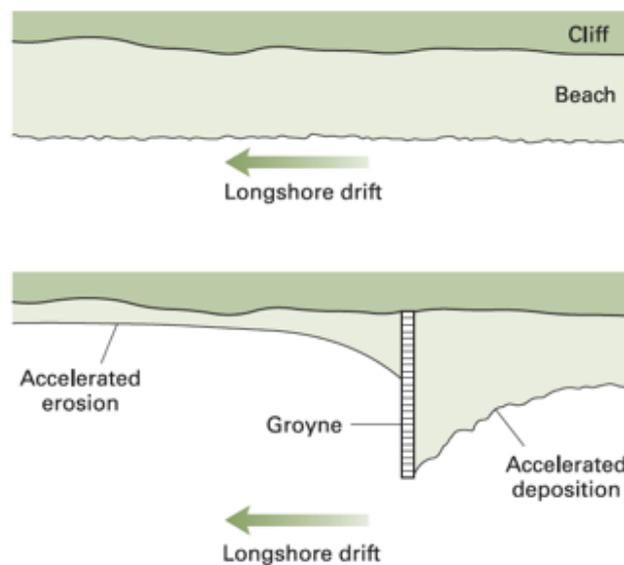


Fig. 60 – Rappresentazione degli effetti della costruzione di pennelli sui processi sedimentari di una spiaggia (da Goudie 2013, 205).

Sono state sviluppate varie forme (a T, a L, a Y) per poter trattenere al meglio i sedimenti, riducendo il trasporto sottomarino e fornendo una zona riparata dall'azione del moto ondoso; solitamente, infatti, vengono posizionati nelle zone in cui vi è un notevole trasporto sedimentario longitudinale. Non risultano particolarmente utili durante eventi di tempesta, in quanto non riescono ad evitare che la sabbia si sposti verso il largo; in queste situazioni sono preferibili i frangiflutti distaccati (Fig. 61).

Possono avere diversi gradi di permeabilità: quelli impermeabili possono essere realizzati con massi naturali, pali di legno trattato o materiali sintetici riempiti di sabbia, e sono utilizzati per mantenere la sabbia all'interno dei compartimenti tra pennelli adiacenti; quelli permeabili possono essere costruiti con massi naturali, pali o gabbioni e vengono, in genere, adottati in spiagge che presentano degli apporti sedimentari insufficienti, la loro funzione è quindi quella di ridurre la deriva litorale nella zona di frangente e creare una linea di costa più regolare²⁸⁵.

²⁸⁵ van Rijn 2010, pp. 40-42.

Gli svantaggi principali dei pennelli sono connessi alla possibilità che tali strutture hanno di accentuare l'erosione nelle zone sottoflutto e nelle aree limitrofe e di causare un approfondimento dei fondali per effetto della riflessione del moto ondoso indotta dalla stessa opera; senza dimenticare che hanno anche un forte impatto paesaggistico²⁸⁶.

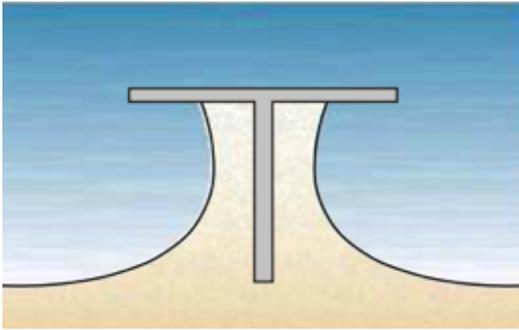


Fig. 61 – Il pennello a T permette l'accumulo di sedimenti dietro la struttura, diminuendo l'altezza e la velocità delle onde (da APAT 2007, 74).

11.3.3 Opere aderenti

Sono opere di difesa parallele alla costa e possono comprendere: rivestimenti, scogliere radenti, muri, paratie e argini.

Vengono utilizzate soprattutto in ambienti di costa alta e hanno un forte impatto paesaggistico; queste strutture incrementano la riflessione dell'onda, determinando fenomeni di interferenza, il cui effetto finale è quello di aumentare l'agitazione ondosa in prossimità delle strutture, provocando, a volte, fenomeni di scalzamento al piede delle opere; inoltre, possono amplificare gli effetti dell'erosione nelle aree limitrofe (Fig. 62-63).

I rivestimenti sono posti a difesa di una scarpata a mare; in generale sono realizzati con massi naturali o artificiali in calcestruzzo; il loro scopo è la difesa di sponde e coste soggette all'erosione per attacco ondoso (bisogna tenere presente però che proteggono solamente il terreno a loro retrostante).

Le scogliere radenti possono essere costruite con massi naturali o artificiali e sono disposte a ridosso della linea di riva; l'obiettivo principale è riuscire a dissipare l'energia delle onde incidenti.

²⁸⁶ Kraus 2005, pp. 875-877.

Le paratie vengono usate come mezzo temporaneo di protezione per gli spazi portuali e per le sponde dei canali navigabili; sono costituite da elementi verticali di spessore ridotto e sono inserite direttamente nel terreno, favorendo la riflessione delle onde.

I muri, essendo delle costruzioni verticali, servono principalmente per contrastare il moto ondoso e trattenere il terreno a tergo, sono quindi considerati dei rinforzi del profilo costiero.

Gli argini sono dei terrapieni formati con materiale naturale compattato su cui è stato disposto un rivestimento in pietrame sul lato a mare; vengono usati per contenere le escursioni di livello del mare²⁸⁷.

Tutte queste strutture (verticali, concave o inclinate) sono realizzate lungo una sezione limitata della linea di costa come una sorta di ultima difesa contro le onde, in situazioni in cui le spiagge naturali e le dune hanno dimensioni troppo ridotte per contrastare l'erosione causata da onde molto alte.

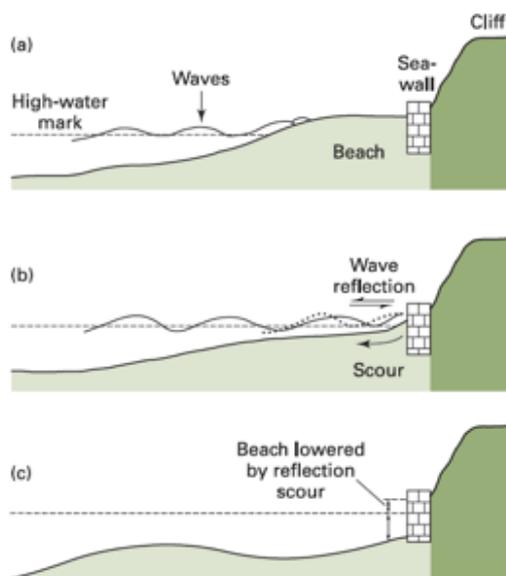


Fig. 62 – Esempio di funzionamento di un muro: a) una spiaggia ampia ed elevata impedisce alle onde di infrangersi contro il muro e verrà erosa molto lentamente; b) e c) se le onde vengono riflesse dalla struttura radente, l'erosione risulta accelerata e la spiaggia si ridurrà velocemente (da Goudie 2013, 206).

²⁸⁷ APAT 2007, pp. 77-85.

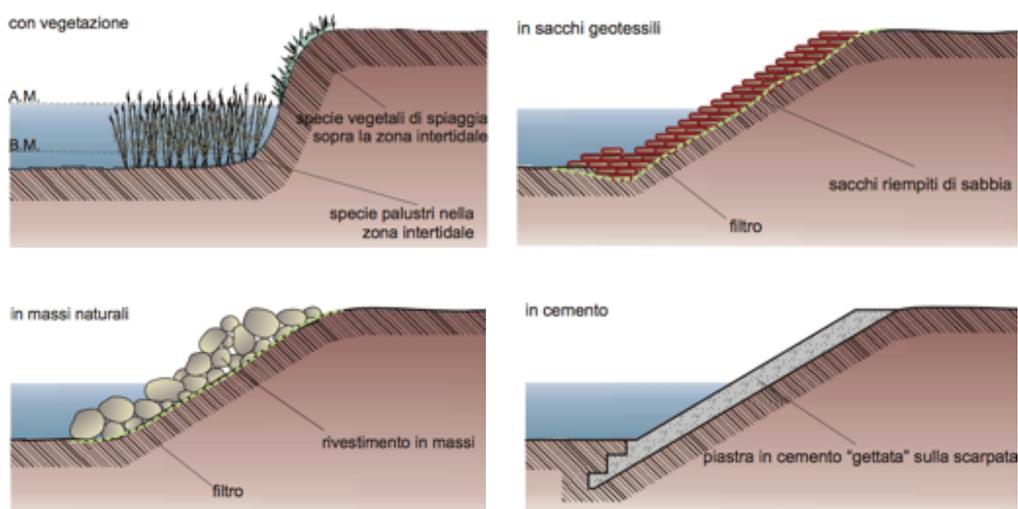


Fig. 63 – Tipologie di rivestimento realizzate con vegetazione, con sacchi di geotessuto, in cemento o in massi naturali (da APAT 2007, 80).

11.4 Monitoraggio dei siti

I progetti di conservazione *in situ* non terminano con la stabilizzazione del sito; essi, infatti, devono prevedere anche l'esecuzione di monitoraggi periodici dell'area archeologica.

Si tratta, in particolare, di controlli chimici, fisici e biologici, che comprendono la documentazione fotografica dell'area archeologica, lo studio dei materiali (valutare se sono rimasti stabili o se hanno subito degli spostamenti), la verifica della temperatura dell'acqua, del pH, dei livelli di ossigeno disciolti, della torbidità dell'ambiente, della salinità, ecc.; inoltre, per una completa analisi dei processi biochimici che degradano i materiali lignei, può essere necessario fare dei campionamenti²⁸⁸.

Il monitoraggio è, infatti, estremamente importante per comprendere i processi di conservazione del patrimonio culturale sommerso; in questa particolare condizione, i materiali archeologici si trovano in un stato di equilibrio dinamico e l'ambiente che li circonda può subire delle modifiche a causa di diversi fattori. Anche il più lieve cambiamento può innescare una serie

²⁸⁸ Beltrame 2004, p. 149; Gregory 2009, pp. 1-16.

di processi irreversibili che possono portare alla degradazione del sito; per questo motivo è necessaria una costante attività di controllo.

Il telerilevamento è un'ottima tecnica per studiare e monitorare le aree litoranee; se viene eseguita in modo periodico, consente di confrontare le variazioni nella morfologia della linea di costa, nel trasporto sedimentario in ambienti con acque poco profonde (6-9 m) e nel degrado dei materiali archeologici. Il recente sviluppo delle tecnologie geospaziali, come appunto il *remote sensing* e i sistemi informativi geografici (GIS), riveste molta importanza nelle attività di gestione costiera²⁸⁹.

Le fotografie aeree e le immagini da satellite, ad alta risoluzione spaziale, sono strumenti ideali per mappare l'evoluzione delle coste sia per fini archeologici sia per scopi puramente ambientali. Molto utile può essere anche la fotogrammetria, che permette di definire la generale topografia del sito; in ambito ecologico, questa tecnica viene comunemente usata per documentare i cambiamenti dei sistemi dunali e della loro vegetazione²⁹⁰.

Ma non sono solo i pericoli naturali a rappresentare una minaccia per la conservazione dei giacimenti archeologici, anche l'impatto antropico (vandalismo e saccheggio), infatti, è ormai diventato un grave problema. Con la diffusione delle attività subacquee, il patrimonio storico e culturale del Mediterraneo, che a lungo era rimasto nascosto e protetto, è diventato accessibile a moltissime persone, purtroppo non tutte rispettose di questi siti.

Ovviamente, risulta praticamente impossibile proteggere e monitorare tutte le aree archeologiche sommerse, per questo è indispensabile educare e sensibilizzare le comunità locali; presentazioni, pubblicazioni e corsi sono solo alcuni esempi di ciò che si può fare per avvicinare anche le persone non esperte nel settore al patrimonio subacqueo, con l'obiettivo di aumentare la consapevolezza del pubblico nei confronti della conservazione²⁹¹.

Per concludere, questi controlli periodici aiutano quindi a selezionare le misure di protezione più adeguate per un determinato sito; salvaguardare un'area

²⁸⁹ Sesli et al. 2009, pp. 391-403.

²⁹⁰ Baily e Nowell 1996, pp. 87-89; bisogna tenere presente che serve applicare delle correzioni alle fotografie ottenute in ambiente sommerso, a causa dell'effetto della rifrazione che si genera sulla superficie dell'acqua.

²⁹¹ Pešić 2011, pp. 84-86.

archeologica è un processo lungo e impegnativo, che permette di valutare l'effettiva efficacia degli interventi effettuati in passato e capire se questi siano ancora validi dopo molti anni.

Riguardo ai metodi conservativi, la tendenza degli ultimi anni a presentare i resti archeologici *in situ* ha portato alla creazione di numerosi parchi archeologici subacquei in tutto il mondo. In questi contesti, il patrimonio culturale subacqueo non solo può essere studiato da personale qualificato, ma può essere ammirato anche da visitatori esterni; inoltre, i materiali si trovano in un costante stato di monitoraggio e controllo.

Parchi di questo genere si trovano, ad esempio, al largo dell'isola di Ustica in Sicilia, a Baia (Napoli), a Cesarea Marittima in Israele; qui i visitatori vengono guidati alla scoperta dei resti archeologici e possono conoscere la storia di tali reperti grazie alla presenza di pannelli didattici che li descrivono²⁹². Lo sviluppo di itinerari culturali subacquei contribuisce ad accrescere il valore sociale e culturale del patrimonio sommerso.

Possono, infine, essere realizzati anche dei musei subacquei; strutture visitabili da un pubblico più ampio (non solo subacquei) e dove i resti archeologici sommersi vengono presentati *in situ*.

²⁹² Davide 2002, pp. 85-86.

Considerazioni conclusive

Le regioni costiere e, di conseguenza, i siti archeologici localizzati in questa zona sono estremamente vulnerabili, non solo alle forze di origine naturale, ma anche alle attività antropiche. I processi formativi in tali aree possono, infatti, essere distinti in: culturali, cioè quelli in cui l'agente trasformatore è l'uomo, e non culturali, dove sono attivi i fattori ambientali.

Gli impatti di tipo naturale comprendono sia eventi straordinari e puntuali, come possono essere, ad esempio, gli tsunami e gli uragani, sia fenomeni fisiologici e progressivi, tra cui quelli geologici e climatici, che insieme determinano delle specifiche condizioni ambientali, influenzando il regime delle precipitazioni, i venti, l'erosione, la sedimentazione²⁹³.

La costa può, quindi, essere influenzata su ampia scala, quando i fattori naturali agiscono in modo graduale (nel caso, ad esempio, della progradazione della linea di riva) oppure può subire un impatto improvviso e circoscritto (come possono essere gli effetti di uno tsunami su un singolo sito). I giacimenti archeologici che si trovano lungo le aree litoranee, inoltre, possono essere colpiti in modo diretto da tutti questi processi, ad esempio, quando vengono fisicamente alterati e danneggiati dall'infrangersi delle onde o dalla continua erosione, oppure possono essere oblitterati a causa di diversi fattori costieri: come lo spostamento del profilo della linea di costa (dovuto sia alle naturali variazioni stagionali sia a periodici eventi di tempesta) che, in caso di avanzamento verso il mare, riesce a proteggere i giacimenti archeologici (inclusi i relitti localizzati in prossimità della spiaggia), ricoprendoli con i sedimenti²⁹⁴.

Come visto in precedenza, nel corso degli ultimi 2.000 anni, l'aumento del livello del mare di circa due metri ha causato notevoli alterazioni su scala globale: ad esempio, alcune pianure costiere sono state sommerse provocando lo spostamento della linea di riva anche di centinaia di chilometri in determinate aree geografiche e le popolazioni che abitavano in queste zone si sono dovute conseguentemente adattare a tali cambiamenti territoriali. Risulta, dunque, fondamentale per gli archeologici studiare i siti costieri al fine di comprendere come la posizione della linea di riva si sia modificata nel corso del tempo: conoscendo tali variazioni si potranno poi ricostruire le

²⁹³ Schiffer 1996, p. 7.

²⁹⁴ Beltrame 2002, pp. 386-387.

caratteristiche paleo-ambientali dei giacimenti archeologici e ipotizzare le probabili collocazioni di altri antichi siti costieri.

Tuttavia, lo studio delle oscillazioni della linea di riva risulta molto complesso; si deve, infatti, considerare la combinazione di diversi fattori: dagli aggiustamenti isostatici della litosfera terrestre ai cambiamenti del livello marino eustatico, dai processi tettonici locali ai movimenti verticali lungo i sistemi di fagliazione. Numerosi ricercatori hanno cercato di ideare degli schemi matematici validi a livello globale per simulare gli aggiustamenti glacio-isostatici avvenuti in tutto il mondo; tali modelli possono essere di grande aiuto per l'archeologia, poiché se si riesce a calcolare l'evoluzione del livello relativo del mare in una determinata località si può prevedere dove è possibile rintracciare nuovi siti archeologici costieri.

La linea costiera, inoltre, non subisce solo delle variazioni di tipo verticale, ma può anche modificarsi lateralmente, attraverso fenomeni di progradazione (verso il mare) o di erosione (verso la terraferma): una costa in avanzamento tende a ricoprire e a proteggere i resti archeologici, mentre una costa in erosione causa la distruzione dei siti e la dispersione dei materiali lungo la riva.

Ciò che maggiormente preoccupa la comunità archeologica è il progressivo peggioramento delle condizioni conservative dei siti costieri; in aggiunta al riscaldamento globale, all'aumento del livello del mare e dell'erosione marina, la negligenza, le attività antropiche (pesca, turismo, ecc.) e gli interventi difensivi inadeguati aggravano questa situazione, portando ad un deterioramento ancora più rapido delle strutture e dei materiali. Devono dunque essere ideati nuovi progetti rivolti alla protezione del patrimonio archeologico che riescano a rallentare i processi di degrado.

In genere, la gestione e la protezione delle aree costiere sono finalizzate principalmente alla salvaguardia dell'ambiente naturale e di rado sono indirizzate alle risorse culturali. Recentemente, si è voluto, invece, mettere in evidenza la necessità di definire delle pratiche di indagine e di monitoraggio che siano utili per comprendere i processi attivi lungo le zone litoranee, poiché la conoscenza di tali cambiamenti costieri può aiutare a identificare gli effetti delle pratiche gestionali del passato e contribuire a pianificare delle strategie per il futuro, focalizzate soprattutto sull'implementazione di progetti costieri integrati, che considerino, quindi, anche la componente archeologica.

Questo approccio mira appunto ad unificare tutti gli aspetti propri della zona costiera, con lo scopo di bilanciare le finalità ambientali, economiche, sociali, culturali e ricreative, nel tentativo di ottenere una certa sostenibilità e superare la gestione settoriale dell'area litoranea.

Affinché questo sia possibile, viene fortemente incoraggiata la cooperazione tra ingegneri e archeologici, non solo durante le preliminari fasi di ricognizione (per prevenire il rischio di rinvenimenti archeologici durante l'esecuzione dei lavori edilizi), ma anche nella progettazione di difese per le antiche testimonianze; la collaborazione tra differenti specialisti (geologi, biologi, archeologici, geografi, architetti, ingegneri, ecc.) è, infatti, fondamentale per elaborare delle soluzioni protettive adeguate e permette, inoltre, ad ogni esperto di arricchire le proprie conoscenze, provando a ragionare seguendo diverse prospettive. Si può quindi dire che, al fine di valutare il patrimonio costiero nel contesto di una politica gestionale integrata, sia necessario un approccio di tipo olistico e interdisciplinare, che consideri sia i cambiamenti climatici globali sia quelli economici e geopolitici.

È indispensabile, inoltre, riuscire ad educare e sensibilizzare la popolazione affinché comprenda l'importanza e il valore dei resti archeologici costieri e rifletta sugli impatti che i cambiamenti climatici e le attività antropiche stanno provocando sul nostro patrimonio culturale. Si sottolinea poi l'importanza della conservazione *in situ* e della creazione di parchi archeologici subacquei, combinando così la protezione dei siti con il turismo, ottenendo, da una parte, la tutela e valorizzazione dei rinvenimenti archeologici e, dall'altra, l'apporto di benefici economici.

Sulla conservazione e sulla gestione delle antiche strutture localizzate lungo la linea di costa non vi è molta letteratura, soprattutto perché la maggior parte dell'attenzione viene indirizzata sulla difesa dei relitti. Infatti, i resti delle antiche imbarcazioni, che possono trovarsi sommersi o interrati, in base all'azione dei vari processi formativi, sono il principale oggetto di studio dell'archeologia marittima, per questo gran parte dei ricercatori ha cercato di individuare delle tecniche in grado di proteggere i relitti dalle influenze ambientali negative (sia di tipo meccanico, come il moto ondoso e l'erosione, sia di tipo chimico-biologico, ad esempio l'azione di microrganismi lignifori e la corrosione metallica); focalizzando l'interesse quasi esclusivamente su questa specifica tipologia di giacimento archeologico, d'altronde particolarmente delicata e indifesa, si è

creato quindi uno scompenso nel campo della ricerca di soluzioni difensive: i siti litoranei di dimensioni maggiori, infatti, non dispongono di metodologie ideate appositamente per la loro protezione.

In generale, i responsabili della gestione costiera possono rispondere ai fenomeni di degrado propri di questo ambiente in vari modi: costruendo delle opere di difesa lungo la riva; realizzando delle protezioni al largo oppure non intervenendo affatto, lasciando quindi che l'erosione continui²⁹⁵.

Chiaramente, se non si interviene in modo mirato sui problemi che affliggono i siti archeologici localizzati sulla costa si rischia che questi vengano completamente distrutti; bisognerebbe perciò seguire una metodologia di ricerca volta alla determinazione della natura e dell'estensione dei siti e alla valutazione dei rischi presenti in determinate aree geografiche; tutte le informazioni archeologiche raccolte dovrebbero poi essere inserite all'interno di un GIS, che permette di collegarle con i dati fisici relativi alla vulnerabilità ambientale.

Personalmente ritengo che per la protezione dei siti costieri (sommersi, semi-sommersi ed elevati) una buona soluzione possano essere le opere difensive utilizzate normalmente con finalità ecologiche e ricreative; in particolare, mi riferisco sia alla costruzione di argini a mare, di frangiflutti, di pennelli, di scogliere artificiali, sia agli interventi di tipo morbido, come il ripascimento delle spiagge, e semi-rigido, ad esempio l'utilizzo di sacchi di sabbia realizzati in geotessuto. Tutte queste strutture, sebbene debbano essere fisicamente resistenti (per sostenere l'impatto delle onde, delle tempeste, del vento, ecc.), non dovrebbero causare degli sconvolgimenti eccessivi nell'ambiente in cui si trova il sito, poiché potrebbero addirittura portare ad un aumento del degrado. Infatti, è fondamentale tenere presente che qualsiasi lavoro effettuato sulla costa comporta delle conseguenze, non sempre positive per il sito; si dovrà dunque prestare molta attenzione durante la posa di strutture difensive rigide per non rischiare di impattare i resti archeologici e la loro progettazione deve essere realizzata considerando gli effetti che tali opere hanno sul trasporto sedimentario litoraneo, in modo da non aggravare la situazione e da non innescare nuovi processi di degrado in aree limitrofe.

²⁹⁵ Rooke e Curtis 2010, p. 80.

Per quanto riguarda l'utilizzo di strutture rigide per la salvaguardia del patrimonio culturale costiero appare interessante, ad esempio, il progetto di protezione (Thetis srl Venezia su commissione del governo libico) realizzato per i siti di Leptis Magna e Sabratha, in Libia, comprendente la realizzazione di barriere "soffolte" e di ripascimenti protetti con lo scopo di ridurre l'erosione marina e minimizzare l'impatto paesaggistico e visivo delle opere difensive.

Degni di nota sono anche il progetto SASMAP (2012-2015): Development of advanced technologies and tools for mapping, diagnosing, excavating, and securing underwater and coastal archaeological sites e la call del progetto Horizon (2020): Cultural heritage of European coastal and maritime regions. Il primo aveva come obiettivo primario lo sviluppo di nuovi strumenti e tecnologie da utilizzare sia per la localizzazione e la mappatura dei siti archeologici sommersi, sia per la loro conservazione. Lo scopo del secondo progetto di ricerca è, invece, quello di riuscire a fornire un quadro globale per la preservazione dei paesaggi culturali costieri e marittimi europei; seguendo un approccio di tipo multidisciplinare verranno considerati ambienti geograficamente differenti gli uni dagli altri e si utilizzeranno metodologie proprie non solo della conservazione culturale, ma anche delle scienze sociali e ambientali.

Comunque, risulta praticamente impossibile attuare piani di mitigazione o di adattamento in tutti i siti archeologici costieri, sia a causa della mancanza di finanziamenti sia per l'elevato numero di rinvenimenti che deve ancora essere documentato; per questo è necessario valutare i rischi potenziali (sia naturali che antropici) di ogni sito e successivamente, facendo una scelta per priorità, indagare quelli maggiormente in pericolo e/o di particolare interesse storico-culturale²⁹⁶.

Anche la produzione di letteratura scientifica riguardante gli effetti del cambiamento climatico sul patrimonio culturale costiero è relativamente scarsa; si tratta di una problematica estremamente attuale che, tuttavia, non è ancora stata inserita all'interno dei Rapporti di Valutazione dell'IPCC. Pearson e Williams (1996), ad esempio, sono stati tra i primi ad aver evidenziato quanto sia difficile e complesso riuscire a convincere i governi locali ad intervenire per ridurre l'impatto dei processi ambientali sui resti archeologici (spesso a causa della mancanza di finanziamenti).

²⁹⁶ In Scozia, ad esempio, gli archeologi si sono mobilitati per valutare gli effetti dell'erosione sui siti archeologici costieri (progetto SCAPE 2008), facendo anche intervenire la popolazione per aiutare a salvare e documentare i più importanti giacimenti in pericolo.

Generalmente, tali studi relativi agli impatti del cambiamento climatico (frequentemente distinti tra diretti e indiretti, cioè quelli causati da strategie di mitigazione o adattamento) sul patrimonio culturale sono delle analisi tematiche del rischio oppure sono delle trattazioni specifiche su determinate tipologie di materiali (ad esempio, ricerche puntuali sul degrado della pietra o del legno).

Uno dei progetti di ricerca più importanti degli ultimi anni è stato il Noah's Ark Project (2004-2007), finanziato dalla Commissione Europea, che ha realizzato delle mappe predittive dei danni e dei rischi per i siti archeologici, considerando ad esempio le precipitazioni, gli eventi di inondazione, la forza eolica, l'inquinamento atmosferico; il risultato è stato un "Atlante di Vulnerabilità" che crea un collegamento tra le scienze climatiche e il potenziale danneggiamento del patrimonio culturale; sono state prodotte anche delle "Linee Guida" con lo scopo di aiutare coloro che gestiscono il patrimonio culturale a relazionarsi con i cambiamenti climatici, in modo da attivare adeguati interventi di mitigazione o di adattamento.

Inoltre, si ricorda l'importanza delle operazioni di monitoraggio in un ambiente così dinamico, che permettono di definire i cambiamenti qualitativi e quantitativi avvenuti nel corso del tempo nei vari siti archeologici; il monitoraggio può essere effettuato periodicamente attraverso il remote sensing, utilizzando metodi non distruttivi di alta tecnologia come l'osservazione satellitare, la fotografia aerea o il LIDAR (Light Detection And Ranging). Il monitoraggio ha, dunque, la potenzialità di essere un ottimo strumento di controllo per la gestione del patrimonio culturale proprio perché riesce ad identificare l'evoluzione del degrado archeologico e consente di stabilire quali possano essere le soluzioni più appropriate per ciascun sito²⁹⁷.

Ironicamente, l'erosione marina sta distruggendo siti costieri che possono fornirci preziose informazioni sulle strategie di adattamento delle società del passato in risposta ai cambiamenti della geografia costiera; lo studio degli effetti dell'innalzamento marino post-glaciale sulle antiche popolazioni può, infatti, aiutare a comprendere maggiormente l'attuale situazione di "crisi" climatica e fornire dei modelli culturali di soluzioni a tali problemi costieri. Pertanto, l'archeologia può partecipare attivamente al dialogo sul cambiamento climatico globale, analizzando l'evoluzione dell'innalzamento del livello

²⁹⁷ Dunkley 2015, pp. 226-227.

marino e del suo impatto sulle antiche popolazioni e creando una connessione tra il degrado archeologico e gli indicatori del cambiamento climatico.

Per concludere, si può quindi dire che la complessità dell'ambiente costiero richiede un studio approfondito delle numerose dinamiche, non solo naturali ma anche antropiche, attive in questa specifica zona. Infatti, soltanto attraverso il riconoscimento delle tipologie dei pericoli e delle loro origini è possibile individuare le migliori soluzioni per la salvaguardia dei siti costieri; affinché i reperti archeologici vengano protetti dagli inesorabili processi di degrado, è necessario adottare delle tecniche di difesa adeguate, sfruttando anche le metodologie proprie della gestione costiera (opere rigide o morbide), soprattutto se si pensa che, nel prossimo futuro, il danneggiamento dei siti localizzati lungo i litorali diventerà sempre più grave e difficile da risolvere. La speranza è che si riescano ad integrare gli obiettivi della ricerca e della tutela archeologica con quelli della gestione pubblica del territorio, e che vengano proposte nuove metodologie per la difesa dei siti costieri, implementando le sperimentazioni e i monitoraggi, al fine di comprendere i vari cambiamenti fisici che si verificano sui reperti antichi e trovare appropriate soluzioni.

Bibliografia

- Aberg A., Lewis C., eds. (2000), *The rising tide: Archaeology and coastal landscapes*, Oxford, Oxbow, 39-50.
- Adams J. (2006), Editorial article: From the water margins to the centre ground?, in *Journal of Maritime Archaeology* 1, 1-8.
- Akkemik Ü., Kocabaş U. (2014), Woods of Byzantine trade ships of Yenikapı (Istanbul) and changes in wood use from 6th to 11th century, in *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 14 (2), 317-327.
- Altinok Y., Alpar B., Özer N., Aykurt H. (2011), Revision of the tsunami catalogue affecting Turkish coasts and surrounding regions, in *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 273–291.
- Ambraseys N. (2005), Archaeosismology and Neocatastrophism, in *Seismological Research Letters* 76 (5), 560-564.
- Aminti P.L., Cappuccini L. (2012), Utilizzo di contenitori in materiali geosintetici riempiti di sabbia per la protezione di strutture archeologiche sommerse, in *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento al n.1, 29-31.
- Anthony E.J., Marriner N., Morhange C. (2014), Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase?, in *Earth-Science Reviews* 139, 336-361.
- Antonioli F., Silenzi S. (2007), Variazioni relative del livello del mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane, in *Quaderni della Società Geologica Italiana* 2, 2-29.
- Antonioli F., Anzidei M., Lambeck K. (2007), Sea level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeological and geomorphological data, in *Quaternary Science Reviews* 26, 2463–2486.
- APAT (2007), *Atlante delle opere di sistemazione costiera*. Manuali e Linee Guida APAT, 44/2007.
- Asal R. (2013), Yenikapı Excavations and Trade in Istanbul in Antiquity, in Kızıltan Z. (ed.), *Stories from the Hidden Harbor: The Shipwrecks of Yenikapı*, Istanbul, 5–10.
- Auriemma R., Solinas E. (2009), Archaeological remains as sea level change markers: A review, in *Quaternary International* 206, 134–146.
- Baccar M., Souq F. (2007), *Report on the Reactive Monitoring Mission to Archaeological sites of Sabratha and Leptis Magna*, 18-28 January 2007, UNESCO.
- Bacchielli L. (1995), A Cyrenaica earthquake *post* 365 A.D.: written sources and archaeological evidences, in *Annali di Geofisica* XXXVIII (5-6), 977-982.

Baika K. (2014a), Apollonia, in Blackman D., Rankov B. (eds.), *Shipsheds of the Ancient Mediterranean*, Cambridge University Press, Cambridge, 294-306.

Baika K. (2014b), Ptolemais in Cyrenaica, in Blackman D., Rankov B. (eds.), *Shipsheds of the Ancient Mediterranean*, Cambridge University Press, Cambridge, 494-500.

Baily B., Nowell D. (1996), Techniques for monitoring coastal change: a review and case study, in *Ocean & Coastal Management* 32 (2), 85-95.

Baptist M.J. (2005), Biogeomorphology, in Schwartz M.L. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 192-194.

Barrett R.J. (1966), *Use of plastic filters in coastal structures*, *Proceedings of the 16th International Conference On Coastal Engineering*, New York, American Society of Civil Engineers, 1048–1067.

Bartoccini R. (1961), La missione archeologica italiana nel porto di Leptis Magna, in *Atti del VII Convegno Internazionale di Archeologia Classica*, vol. I, Roma, 231-241.

Beltrame C. (1996), Processi formativi del relitto in ambiente marino mediterraneo, in Volpe G. (a cura di), *Archeologia subacquea. Come opera l'archeologo. Storie dalle acque, VIII Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia*. Certosa di Pontignano (Siena), 9-15 dicembre, 141-166.

Beltrame C. (2002), Investigating Processes of Wreck Formation: Wrecks on the Beach Environment in the Mediterranean Sea, in *Archeologia Subaquea. Studi, ricerche e documenti* 3, 353-379.

Beltrame C. (2004), Tutela e conservazione dei relitti in ambiente di spiaggia, in Maniscalco F. (a cura di), *Tutela, Conservazione e Valorizzazione del Patrimonio Culturale Subacqueo*, vol. 4, 141-150.

Beltrame C. (2012), New Evidence for the Submerged Ancient Harbour Structures at Tolmetha and Leptis Magna, Libya, in *The International Journal of Nautical Archaeology* 41 (2), 315-326.

Belov A. (2014), Navigational aspects of calling to the Great Harbour of Alexandria, halshs-00845524.

Bennet P., Barker G. (2011), Protecting Libya's Archaeological Heritage, in *African Archaeological Review* 28 (5), 5-25.

Bird E.C.F. (1985), *Coastline Changes: A Global Review*, New York, John Wiley & Sons, 12-50.

Bjordal C.G., Nilsson T., R. Klaassen (2006), Bacterial Destruction of Wooden Cultural Heritage, in Drdacky M., Chapuis M. (eds.), *Proceedings of the 7th European Conference Safeguarded Cultural Heritage*, Prague, Glos Semily, 9-16.

Boccalaro F., Cantasano N. (2012), *Posidonia oceanica per la difesa delle coste sabbiose*.

Ovvero come difendere il litorale con l'aiuto delle fanerogame marine, in *Geologia dell'Ambiente* 3, 8-17.

Bonacasa N. (1997), Missione archeologica a Sabratha e Leptis Magna, in *M.A.E. Missioni archeologiche italiane. La ricerca archeologica, antropologica, etnologica*, Roma, 168-174.

Bonacasa N. (2000), The port of Sabratha, Libya, in Mostafa M.H., Grimal N., Nakashima D. (ed.), *Underwater Archaeology and Coastal Management: focus on Alexandria*, Coastal Management Sourcebooks 2, United Nations Educational, Paris, 69-73.

Bony G., Marriner N., Morhange C., Nakiewski D., Perinçek D. (2012), A high-energy deposit in the Byzantine harbour of Yenekapi, Istanbul (Turkey), in *Quaternary International* 266, 17-30.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L. (2006), *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*, Ramoge, Monaco, 7-68.

Bowens A. (2009), *Underwater archaeology: the NAS guide to principles and practice*, second edition, Portsmouth.

Boyce J.I., Reinhardt E.G. (2004), Marine Magnetic Survey of a Submerged Roman Harbour, Caesarea Maritima, Israel, in *The International Journal of Nautical Archaeology* 33 (1), 122-136.

Brogan Lady, Kenyon K. (1966), *Cambridge expedition to Sabratha*.

Brückner H. (1997), Coastal changes in western Turkey; rapid progradation in historical times, in Briand F., Maldonado A. (eds.), *Transformations and evolution of the Mediterranean coastline*, CIESM Science Series 3, Institut Océanographique, Monaco, 63-74.

Bruun P. (1985), *Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection*, Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1-26.

Cambi F. (2005), *Archeologia dei paesaggi antichi: fonti e diagnostica*, Urbino, Carocci, 9-17.

Carayon N., Marriner N., Morhange C. (2011), Geoarchaeology of Byblos, Tyre, Sidon and Beirut, in *Rivista di Studi Fenici* XXXIX (1), 45-55.

Colette A. (2007), *Case studies on climate change and world heritage*, Paris, UNESCO World Heritage Centre, 52-53.

Church J.A., White N.J., Coleman R., Lambeck K., Motrovica J.K. (2004), Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1950 to 2000 period, in *Journal of Climate* 17, 2609-2625.

D'Urso I., Ombrelli M., Telaroli P., Calessio W., Badin C., Senigaglia M., Urrutis C., Sterponi L. (2015), A Multidisciplinary Approach to the Coastal Protection of Two Archaeological Sites in Lybia, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and*

Spatial Information Science XL, Underwater 3D Recording and Modeling, 16-17 April, Piano di Sorrento, Italy.

Daly C. (2011), *Climate Change and the Conservation of Archaeological Sites: a Review of Impacts Theory Conservation and Management of Archaeological Sites*, vol. 13 (4), 293-310.

Davidde B. (2002), Underwater archaeological parks: a new perspective and a challenge for conservation - the Italian panorama, in *The International Journal of Nautical Archaeology* 31 (1), 83-88.

Davidde B. (2004), Methods and strategies for the conservation and museum display *in situ* of underwater cultural heritage, in *Archaeologia Maritima Mediterranea* I, 137-150.

Davies J.L. (1980), *Geographical Variation in Coastal Development*, London, Longman, 25-45.

Davis R.A. (1982), Beach, in Schwartz M.L. (ed.), *The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*, Stroudsburg, Hutchinson Ross Publishing Company, 140-141.

Davis R.A.Jr. (2005), Human Impact on Coasts, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 530-535.

Dean R.G., Dalrymple R.A. (2002), *Coastal Processes with Engineering Applications*, Cambridge, Cambridge University Press.

Dey H., Goodman-Tchernov B. (2010), Tsunamis and the port of Caesarea Maritima over the longue durée: a geoarchaeological perspective, in *Journal of Roman Archaeology* 23, 265-284.

Dey H., Goodman-Tchernov B., Sharvit J. (2014), Archaeological evidence for the tsunami of January 18, A.D. 749: A chapter in the history of early Islamic Qâysariyah (Caesarea Maritima), in *Journal of Roman Archaeology* 27, 357-373.

Dunkley M. (2015), Climate is what we expect, weather is what we get: managing the potential effects of climate change on underwater cultural heritage, in Willems W., van Shaik H. (eds.), *Water and heritage: material, conceptual, and spiritual connections*, Sidestone Press, Leiden, 217-230.

Edwards, R. & O'Sullivan, A. 2007. *A Vulnerability Assessment of Ireland's Coastal Archaeological Heritage*, Final Report, Archaeology Grant, 1-21.

El-Hawat A.S., Abdulsamad E.O. (2004), *Geology and archaeology of Cyrenaica. North Eastern Libya*, 32nd International Geological Congress, 20-28 August, Florence-Italy, APAT, Roma, 3-32.

El Amouri M. , El Helou M., Marquet M., Noureddine I., Seco Alvarez M. (2005), Mission d'expertise archéologique du port sud de Tyr, sud Liban: résultats préliminaires. in *Bulletin d'Archéologie et d'Architecture Libanaises*, Hors-Série 2, 91-11.

Ericson J.P., (2006), Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human

dimension implications, in *Global and Planetary Change* 50, 63-82.

Erlandson J. M. (2001), The archaeology of aquatic adaptations: Paradings for a new millennium, in *Journal of Archaeology Research* 9 (4), 287-350.

Erlandson J.M (2008), Racing a Rising Tide: Global Warming, Rising Seas, and the Erosion of Human History, in *Journal of Island and Coastal Archaeology* 3, 167-169.

Erlandson J. M., Fitzpatrick S. M. (2006), Oceans, islands and coasts: Current perspectives on the role of the sea in human prehistory, in *Journal of Island and Coastal Archaeology* 1 (2), 5-32.

Erlandson J. M., Rick T. C. (2008), Archaeology, marine ecology, and human impacts on the marine environment, in Rick T. C., Erlandson J. M. (eds.) *Human impacts on ancient marine ecosystems: A global perspective*, Berkeley, University of California Press, 1-19.

European Environment Agency (2004), Mapping the impacts of recent natural disasters and technological incidents in Europe, in *Environmental issue report* 35, 5-11, 24-28.

EuroSION (2007), *Vivere con l'erosione costiera in Europa. Sedimenti e spazio per la sostenibilità*, Commissione Europea.

Evelpidou N., Pirazzoli P., Vassilopoulos A., Spada G., Ruggieri G., Tomasin A. (2012), Late Holocene sea level reconstructions based on observations of Roman fish tanks, Tyrrhenian coast of Italy, in *Geoarchaeology: An International Journal* 27, 259–277.

Ferranti L., Monaco C., Antonioli F., Maschio L., Kershaw S., Verrubbi V. (2007), The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, southern Italy: Evidence from raised Late Holocene shorelines, in *Journal of Geophysical Research* 112.

Finkl C.W., Walker H.J. (2005), Beach Nourishment, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 147-161.

Flemming N.C. (1965), Ports, harbours and other submerged sites, in Taylor J. du Plat (ed.), *Marine Archaeology. Developments during Sixty Years in the Mediterranean*, London, 168-178.

Ford B. (2011), Landscape in Archaeology, in Ford B. (ed.), *The Archaeology of Maritime Landscapes*, Springer, New York, 1-11.

Ford B. (2013), Coastal Archaeology, in Catsambis A., Ford B., Hamilton D. (eds.) *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, New York, Oxford University Press, 763-785.

Franco L. (1996), Ancient Mediterranean harbours: a heritage to preserve, in *Ocean Coastal Management* 30, 115–151.

Fulford M., Champion T., Long A. (1997), *England's coastal heritage: A survey for English Heritage and the RCHME. Archaeological Report* 15, London, English Heritage, 74-99.

- Galili E., Sharvit J. (1998), Ancient coastal installations and the tectonic stability of the Israeli coast in historical times, in Stewart I.S., Vita-Finzi C. (eds.), *Coastal Tectonics*, Geology Society, London, Special Publications 146, 147-163.
- Gallou C., Henderson J. (2012), Pavlopetri, an Early Bronze Age harbour town in south-east Laconia, in *Pharos* 18 (1), 79-104.
- Gearheart R. (2013), Archaeological Interpretation of Marine Magnetic Data, in Catsambis A., Ford B., Hamilton D. (eds.) *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, New York, Oxford University Press, 90-113.
- Godfrey I. M., Gregory D., Nystrom I., Richards V. (2005), *In Situ* Preservation of Archaeological Materials and Sites Underwater, in Maniscalco F. (ed.), *Mediterraneum*, vol. 4, 343-351.
- Goldberg P., Macphail R. (2006), *Practical and theoretical geoarchaeology*, Malden, MA, Blackwell, 189-204.
- Goldsmith F.B. (1977), Rocky cliffs, in Barnes R.S.K. (ed.), *The Coastline*, London, John Wiley & Sons, 237-251.
- Goodman-Tchernov B.N., Austin Jr. J.A. (2015), Deterioration of Israel's Caesarea Maritima's ancient harbor linked to repeated tsunami events identified in geophysical mapping of offshore stratigraphy, in *Journal of Archaeological Science*, Reports 3, 444-454.
- Gornitz V., Lebedeff S. (1987), Global sea level changes during the past century, in Nummendal D., Pilkey O.H., Howard J.D. (eds.), *Sea Level Change and Coastal Evolution*, Society for Economic Palaeontologists and Mineralogists (SEPM Special Publication 4), 3-16.
- Goudie A. (2013), *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present and Future*, Wiley-Blackwell, Ltd.
- Gregory D. (2009), *In situ* Preservation of Marine Archaeological Sites: Out of Sight but Not Out of Mind, in Richards V., McKinnon J. (ed.), *In Situ Conservation of Cultural Heritage: Public, Professionals and Preservation*, Flinders University Program in Maritime Archaeology, 1-16.
- Gregory D., Ringgard R., Dencker J. (2008), From a grain of sand, a mound appears, in *Maritime Archaeology Newsletter from Denmark* 23, Roskilde, 15-23.
- Grelois J.-P. (2007), Pierre Gilles, Itinéraires Byzantins. De la topographie de Constantinople et de ses antiquités, Collège de France – CNRS, Centre de recherche, d'histoire et civilisation de Byzance, in *Monographies* 28, Librairie AACHCByz, Paris, 512.
- Guccione M., Bovina G., Gori M. (2005), *Tutela della connettività ecologica degli habitat marini e costieri: una proposta per l'organizzazione e la gestione dei dati*, Rapporti APAT 54/2005.
- Guidoboni E., Cosmatri A., Traina G. (1994), *Catalogue of Ancient Earthquakes in the*

- Mediterranean Area up to the 10th Century*, Istituto Nazionale di Geofisica, 314-321.
- Halpern B., et al. (2008), A global map of human impact on marine ecosystems, in *Science* 319, 948-952.
- Hamouda A.Z. (2010), A Reanalysis of the AD 365 tsunami impact, in *Acta Geophysica* 58, 687-704.
- Harding A.F. (1970), Pavlopetri. A Mycenaean town underwater, in *Archaeology* 23, 242–250.
- Harding A., Cadogan G., Howell R. (1969), Pavlopetri, an Underwater Bronze Age Town in Laconia, in *The Annual of the British School at Athens*, vol. 64, 113-142.
- Healy T.R. (2005), Estuaries, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 436-439.
- Heerten G., Kohlhasse S. (2000), Geotextiles in Coastal and Harbor Engineering, in Bruun P. (ed), *Port Engineering*. Houston, Gulf Publishing, 512–530.
- Henderson J. (2013), Mapping Submerged Archaeological Sites using Stereo-Vision Photogrammetry, in *The International Journal of Nautical Archaeology* 42 (2), 243-256.
- Henderson J., Gallou C., Flemming N., Spondylis E. (2011), The Pavlopetri Underwater Archaeology Project: investigating an ancient submerged town, in Benjamin J., Bonsall C., Pickard C., Fischer A. (eds.), *Underwater Archaeology and the Submerged Prehistory of Europe*, Oxbow Books, 207-218.
- Hohfelder R.L., Brandon C., Oleson J.P. (2007), Constructing the Harbour of Caesarea Palaestina, Israel: new evidence from the ROMACONS field campaign of October 2005, in *International Journal of Nautical Archaeology* 36, 409–415.
- Hugill P. (2005), Trading states, territorial states and technology, in *Global geostrategy: Halford Mackinder and the defence of the West*, London, Frank Cass, 107-124.
- IPCC (1990), *Climate Change: The Scientific Assessment*, Cambridge University Press.
- IPCC (2013), *Climate Change: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
- Inman D.L., Nordstrom C. (1971), On the tectonic and morphologic classification of coasts, in *Journal of Geology* 79, 1-21.
- Inman D.L., Brush B.M. (1973), The coastal challenge, in *Science* 181, 20-32.
- Jablonski D. (1982), Reefs, noncoral, in Schwartz M.L. (ed.), *The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*, Stroudsburg, Hutchinson Ross Publishing Company, 679-681.
- Jackson N.L., Nordstrom K.F. (2005), Developed Coasts, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 387-388.

- Kelletat D. (1988), Zonality of modern coastal processes and sea-level indicators, in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 68, 219–230.
- Kennett D.J., Kennett J.P. (2006), Early state formation in Southern Mesopotamia: Sea levels, shorelines, and climate change, in *Journal of Island and Coastal Archaeology* 1 (1), 67-99.
- Kerr R.A. (1988), Is the greenhouse here?, in *Science* 239, 559-561.
- Kocabaş U. (2015), The Yenikapi Byzantine-Era Shipwrecks, Istanbul, Turkey: a preliminary report and inventory of the 27 wrecks studied by Istanbul University, in *The International Journal of Nautical Archaeology* 44 (1), 5-38.
- Kraus N.C. (2005), Shore Protection Structures, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 875-877.
- Laborel J. (1986), Vermetid gastropods as sea-level indicators, in van de Plassche O. (ed.), *Sea-level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data*, GeoBooks, Norwich, 281-310.
- Lambeck K. (1993), Glacial rebound and sea-level change: an example of a relationship between mantle and surface processes, in *Tectonophysics* 223, 15.
- Lambeck K., Anzidei M., Antonioli F., Benini A., Esposito A. (2004), Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change, in *Earth and Planetary Science Letters* 224, 563–575.
- Laronde A. (1981), Variations du niveau de la mer sur les côtes de Cyrénaïque à l'époque historique, in *Les Dossiers d'Archéologie* 50, 60-65.
- Laronde A. (1992), Les ports de Ptolémaïs et d'Apollonia, in *Les Dossiers d'Archéologie* 167, 54-63.
- Laronde A., Sintès C. (1998), Recherches recentes dans le port d'Apollonia, in *La Cirenaica in età antica*. Atti del convegno internazionale di studi (Macerata 1995), 301–310.
- Lauffray J. (1995), Beyrouth: ce qui n'a pas été dit, in *Archéologia* 317, 4-11.
- Little J.H. (1978), Harbours and Settlements in Cyrenaica, in *The Society for Libyan Studies*, Nonth Annula Report 1977-78, The Institute of Archaeology, London, 43-45.
- Maanan M. e Robin M. (2015), *Sediment Fluxes in Coastal Areas*, vol. 10, Springer, Dordrecht, 191-206.
- Magdalino P. (2013), The Harbors of Byzantine Constantinople, in Kızıltan Z. (ed.), *Stories from the Hidden Harbor: The Shipwrecks of Yenikapi*, Istanbul, 11–15.
- Mahon I., Pizarro O., Johnson-Roberson M., Friedman M., Williams S., Henderson J. (2011), *Reconstructing Pavlopetri: Mapping the World's Oldest Submerged Town using Stereo-vision*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 9-13, Shanghai, China, 2315-2321.

- Manders M.R. (2011), *Guidelines for Protection of Submerged Wooden Cultural Heritage, Including Cost-Benefit Analysis*, WreckProtect, Amersfoort.
- Manders M.R., Underwood C.J. (2012), *Training Manual for the UNESCO Foundation Course on the Protection and Management of Underwater Cultural Heritage in Asia and the Pacific*, UNESCO, Bangkok.
- Mango C. (1986), The Development of Constantinople as an Urban Centre, in *The 17th International Byzantine Congress*, Major Papers, New Rochelle, New York, 117-36.
- Marriner N. (2007), *Geoarchaeology of Phoenicia's Buried Harbours: Beirut, Sidon and Tyre, 5000 Years of Human-Environment Interactions*, HAL Archives, Geomorphology, Université de Provence-Aix-Marseille.
- Marriner N., Morhange C. (2005), Under the city centre, the ancient harbour. Tyre and Sidon: heritages to preserve, in *Journal of Cultural Heritage* 6, 183-189.
- Marriner N., Morhange C. (2006a) The 'Ancient Harbour Parasequence' Anthropogenic forcing of the stratigraphic highstand record, in *Sedimentary Geology* 186, 13–17.
- Marriner N., Morhange C. (2006b), Geoarchaeological evidence for dredging in Tyre's ancient harbour, Levant, in *Quaternary Research* 65, 164-171.
- Marriner N., Morhange C. (2007), Geoscience of ancient Mediterranean harbors, in *Earth-Science Reviews* 80, 137-194.
- Marriner N. Morhange C. (2008), Preserving Lebanon's coastal archaeology: Beirut, Sidon and Tyre, in *Ocean & Coastal Management* 51, 430-441.
- Marriner N., Morhange C., Boudagher-Fadel M., Bourcier M., Carbonel P. (2005), Geoarchaeology of Tyre's Ancient Northern Harbour, Phoenicia, in *Journal of Archaeological Science* 32, 1302-1327.
- Marriner N., Morhange C., Doumet-Serhal C. (2006), Geoarchaeology of Sidon's Ancient Harbours, Phoenicia, in *Journal of Archaeological Science* 33, 1414-1535.
- Marriner N., Morhange C., Saghieh-Beydoun M. (2008), Geoarchaeology of Beirut's Ancient Harbour, Phoenicia, in *Journal of Archaeological Science* 35, 2495-2516.
- Mart Y., Peregman I. (1996), Neotectonic activity in Caesarea, the Mediterranean coast of central Israel, in *Tectonophysics* 254, 139–153.
- Mastronuzzi G., Fontolan G., Palmentola G., Sansò P., Cacciapaglia G., De Santis V., Milella M., Pignatelli C., Selleri G. (2007), Clima e dinamica costiera: dall'approccio deterministico a quello probabilistico, in *Geologi e Territorio. Periodico dell'Ordine dei Geologi della Puglia* 3-4, 156-172.
- Mattingly D.J. (1995), *Tripolitania*, Batsford Ltd, London, 205-209.

- McManus, J., 2002. Deltaic responses to changes in river regimes, in *Marine Chemistry* 79, 155–170.
- McNinch J.E., Wells J.T., Trembanis A.C. (2006), Predicting the fate of artefacts in energetic, shallow marine environments: An approach to site management, in *International Journal of Nautical Archaeology* 35 (2), 290-309.
- Miniero P. (2010), Baia sommersa e *Portus Iulius*: il rilievo con strumentazione integrata Multibeam, in Blackman D.J., Lentini M.C. (eds.), *Ricoveri per navi militari nei porti del mediterraneo antico e medievale*, Proceedings of the workshop held in Ravello, 4-5 novembre 2005, Bari, Edipuglia, 102-108.
- Mohan R.K., Nair C.G.R. (2005), Geotextile Applications, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 479-481.
- Moore R.A., Asquith D.O. (1971), Delta: term and concept, in *Geological Society of America Bulletin* 82, 2563-2568.
- Morhange C., Goiran J.P., Laborel J., Oberlin C. (2003), Studio geoarcheologico dell'antico litorale di Pozzuoli (Campania): il problema delle variazioni relative del livello del mare, in *Ambiente e paesaggio nella Magna Grecia*, Atti del 42° convegno di studi sulla Magna Grecia, Taranto 5-8 ottobre 2002, Napoli, 365-396.
- Morhange C., Laborel J., Hesnard A. (2001), Changes of relative sea level during the past 5000 years in the ancient harbour of Marseilles, Southern France, in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 166, 319–329.
- Morhange C., Marriner N. (2010), Palaeo-hazards in the coastal Mediterranean: a geoarchaeological approach, in I. P. Martini, W. Chesworth (eds.), *Landscapes and Societies: Selected Cases*, Dordrecht, 322–34.
- Morhange C., Marriner N. (2015), Archaeological and biological relative sea-level indicators, in Shennan I., Long A.J., Horton B.P. (eds.), *Handbook of Sea Level Research*, Wiley & Sons, Ltd, 146-156.
- Morhange C., Marriner N., Carayon N. (2016), The eco-history of ancient Mediterranean harbours, in Bekker-Nielsen T., Gertwagen R. (eds.), *The Inland Seas, Towards an Ecohistory of the Mediterranean and the Black Sea*, Verlag, pp. 85-106.
- Morhange C., Marriner N., Laborel J., Todesco M., Oberlin C. (2006a), Rapid sea-level movements and noneruptive crustal deformations in the Phlegrean Fields caldera, Italy, in *Geology* 34 (2), 93-96.
- Morhange C., Marriner N., Pirazzoli P.A. (2006b), Evidence of Late-Holocene Tsunami Events in Lebanon, in *Zeitschrift für Geomorphologie* N.F. Suppl. vol. 146, 81-95.
- Morhange C., Salamon A., Bony G., Flaux C., Galili E., Goiran J.P., Zviely D. (2014), Geoarchaeology of tsunamis and the revival of neo-catastrophism in the eastern Mediterranean, in *ROSAPAT 11*, Rome “La Sapienza” Studies on the Archaeology of Palestine & Transjordan, 31-51.

Motta M. (2015), *I processi di modellamento del paesaggio terrestre*.

Mourtzas N.D. (1990), Holocene vertical movements and changes of sea-level in the Hellenic Arc, in Marinos P.G., Koukis G.C. (eds.), *The Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historic Sites, Preservation and Protection 4*, Rotterdam, 2247-2262.

Naccache A. (1996), The price of progress, in *Archaeology* 49 (4), 51-56.

Naccache A. (1998), Beirut's memorycide: hear no evil, see no evil, in Meskell L. (ed.), *Archaeology under fire: nationalism, politics and heritage in the Eastern Mediterranean and Middle East*, London, Routledge, 140-158.

Naco Del Hoyo T., Nappo D. (2013), When the waters recede: the economic impact of tsunamis in the Graeco-Roman world, in *Revue belge de philologie et d'histoire* 91 (1), 45-68.

Nordstrom K.F. (1994), Beaches and dunes of human-altered coasts, in *Progress in Physical Geography* 18, 497-516.

O'Sullivan A. (2001), *Foragers, farmers and fishers in a coastal landscape: An intertidal archaeological survey of the Shannon estuary*, Dublin, Royal Irish Academy.

O'Sullivan A. (2004), Place, memory and identity among estuarine communities: Interpreting the archaeology of early medieval fish weirs, in *World Archaeology* 35 (3), 449-468.

O'Sullivan A., Breen C. (2007), *Maritime Ireland: An archaeology of coastal communities*, Stroud, UK, Tempus.

Oertel G. F. (2005), Coastal Lakes and Lagoons, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 263-266.

Onar V., Pazvant G., Armutak A. (2010), Radiocarbon Dating Results of the Animal Remains Uncovered at Yenikapı Excavations, in Kocabaş U. (ed.), *Istanbul Archaeological Museums Proceedings of the 1st Symposium on Marmaray–Metro Salvage Excavations*, 5th–6th May 2008, Gülhane-Istanbul, 249-256.

Ortmann N. (2009), Developing Methodology for Understanding *In Situ* Preservation and Storage from a Practitioner Perspective, in Richards V., McKinnon J. (ed.), *In Situ Conservation of Cultural Heritage: Public, Professionals and Preservation*, Flinders University Program in Maritime Archaeology, 17-31.

Oxley I. (1998), The *in-situ* preservation of underwater sites. In M. Corfield, P. Hinton, T. Nixon, M. Pollard (eds.), *Preserving archaeological remains in situ. Proceedings of Conference held at the Museum of London (1st-3rd April 1996)*, London, pp. 159-173.

Oxley I., Gregory D. (2002), In Site Management, in Ruppé C.V., Barstad J.F. (eds.), *International Handbook of Underwater Archaeology*, New York-Boston-Dordrecht-London-Moscow, 715-726.

- Paddenberg D., Hession B. (2008), Underwater archaeology on foot: A systematic rapid foreshore survey on the North Kent coast, England, in *International Journal of Nautical Archaeology* 37 (1), 142-152.
- Pagnoni G., Armigliato A., Tinti S. (2015), Scenario-based assessment of buildings' damage and population exposure due to earthquake-induced tsunamis for the town of Alexandria, Egypt, in *Natural Hazards and Earth System Science* 15, 2669-2695.
- Papadopoulos G.A., Papageorgiou A. (2014), Large earthquakes and tsunamis in the Mediterranean region and its connected seas, in Ismail-Zadeh J., Fucugauchi U., Kijko A., Takeuchi K., Zaliapin I. (ed.), *Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications*, Cambridge University Press, 253-266.
- Pappalardo U., Ciardiello R. (2005), *Guida geoarcheologica della costa Campana ad uso dei naviganti*, Valtrend Editore, Napoli.
- Pappalardo U., Russo F. (2001), Il Bradisismo dei Campi Flegrei (Campania): dati geomorfologici ed evidenze archeologiche, in Gianfrotta P.A., Maniscalco F. (a cura di), *Forma Maris*, Atti della rassegna internazionale di archeologia subacquea (Pozzuoli 1998), Napoli, 107-119.
- Pararas-Carayannis G. (2011), The Earthquake and Tsunami of July 21, 365 AD in the Eastern Mediterranean Sea, in *Journal of Tsunami Society International*, 30 (4), 253-292.
- Parkington J. (2006), *Shorelines, strandloppers and shell middens*, Cape Town, Creda Communications.
- Pasquinucci M., Pranzini E., Silenzi S. (2004), Variazioni del livello marino ed evoluzione della costa toscana in epoca storica: opportunità di porti ed approdi, in De Maria L., Turchetti R. (a cura di), *Evolucòn paleoambiental de los puertos y fondeaderos antiguos en el Mediterràneo occidental*, I seminario ANSER, Roma, Rubbettino, 87-102.
- Pearson M., Williams E. (1996), Possible effects of climate change on the cultural national estate, in Smith L., Clarke A. (eds.), *Issues in Management Archaeology* vol. 5, St Lucia, Anthropology Museum, University of Queensland, 123-127.
- Peltier W.R. (1998), Global sea level rise and glacial isostatic adjustment, in *Global and Planetary Change* 20, 93-123.
- Perinçek D. (2010), The geoarchaeology of the Yenikapi excavation site in the last 8000 years and geological traces of natural disasters (Istanbul, Turkey), in *Bulletin of The Mineral Research and Exploration* 141, 69-92.
- Petriaggi R., Davidde B. (2007), Restaurare sott'acqua: cinque anni di sperimentazione del NIAS-ICR, in *Bollettino ICR* 14, 127-142.
- Pešić M. (2011), *In Situ Protection of Underwater Cultural Heritage*, in Bekič L. (ed.), *Conservation of Underwater Archaeological Finds: Manual*, International Centre for Underwater Archaeology in Zadar, Zadar, 77-86.

- Pirazzoli P.A. (1986), Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records, in *Journal of Coastal Research*, Special Issue 1, 1-26.
- Pirazzoli P.A. (2000), Cambiamenti globali e variazione del livello del mare: meccanismi e tendenze evolutive, in *Mare e Cambiamenti Globali. Aspetti scientifici e gestione del territorio*, 15-28.
- Pirazzoli P.A. (2005a), Geomorphic Sea-level Indicators, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 836-838.
- Pirazzoli P.A. (2005b), A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area, in *Quaternary Science Reviews* 24, 1989-2001.
- Pizzinato C., Beltrame C. (2012), A project for the creation of an underwater archaeological park at Apollonia, Libya, in *International journal of the Society for Underwater Technology*, 30 (4), 217-224.
- Pranzini E. (2004), *La forma delle coste. Geomorfologia costiera, impatto antropico e difesa dei litorali*, Bologna, Zanichelli, 91-93, 177-181.
- Quinn R. (2006), The role of scour in shipwreck site formation processes and the preservation of wreck-associated scour signatures in the sedimentary record - evidence from seabed and sub-surface data, in *Journal of Archaeological Science* 33, 1419-1432.
- Quinn R. (2013), Acoustic Remote Sensing in Maritime Archaeology, in Catsambis A., Ford B., Hamilton D. (eds.) *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, New York, Oxford University Press, 68-89.
- Raban A. (1992), Archaeological park for divers at Sebastos and other submerged remnants in Cesarea Marittima, Israel, in *International Journal of Nautical Archaeology* 21, 111-124.
- Raban A. (1998), Sebastos, the Royal Harbour of Herod at Caesarea Maritima. 20 Years of Underwater Research, in Volpe G. (a cura di), *Come opera l'archeologo sott'acqua. Storie dalle acque*, VIII Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia, Certosa di Pontignano (Siena), 9-15 dicembre 1996, Firenze, Edizioni all'insegna del Giglio, 217-273.
- Raban A., Holum K. (1996), *Caesarea Maritima: A Retrospective after Two Millennia*, Leiden, Brill, 359-381.
- Rampino M.R. (2005), Erosion Processes, in Schwartz M. (ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*, Springer, Dordrecht, 432-434.
- Reinhardt E.G., Goodman B.N., Boyce J.I., Lopez G., van Hengstum P., Rink W.R., Mart Y., Raban A. (2006), The tsunami of 13 December A.D. 115 and the destruction of Herod the Great's harbor at Caesarea Maritima, Israel, in *Geology* 34 (12), 1061-1064.
- Ricci Lucchi F. (1980), *Sedimentologia*, Bologna, 98-115.

Rick T.C., Erlandson J.M., eds. (2008), *Human impacts on ancient marine ecosystems: A global perspective*, Berkeley, University of California Press.

Ringer R.J. (2003), Underwater archaeology at Canso: Investigating the underwater component of a 17th- to 19th-century Nova Scotia fishing community, in Roy C. (éd.), *Mer et monde: Questions d'archéologie maritime*, Quebec City, Association des archéologues du Québec, 188-211.

Rönby J. (2007), Maritime durées: Long-term structure in a coastal landscape, in *Journal of Maritime Archaeology* 2, 65-82.

Rooke D., Curtis B. (2010), The Coastal Handbook. A guide for all those working on the coast, Environment Agency, 79-82.

Rovere A., Stocchi P., Vacchi M. (2016), Eustatic and Relative Sea Level Changes, in *Current Climate Change Reports* 2 (4), 221-231.

Sakellariou D., Rousakis G., Maroulakis S., Georgiou P., Kalogirou S., Henderson J., Gallou C., Spondylis I., Pizzaro O., Hogarth P., Flemming N. (2011), The submerged city of Pavlopetri, in *Poseidons Reich XVI*, (DEGUWA 2011), Heidelberg, February 18-20, 2011.

Salamon A., Rockwell T., Ward S.N., Guidoboni E., Comastri A. (2007), Tsunami hazard evaluation of the eastern Mediterranean: Historical analysis and selected modelling, in *Bulletin of the Seismological Society of America* 97 (3), 705-724.

Salvatori M. (2010), *Archeologia sommersa nel Mediterraneo. Tutela, restauro, valorizzazione*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane.

Sbeinati M.R., Darawcheh R., Mouty M. (2005), The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D., in *Annals of Geophysics* 48 (3), 347-435.

Schiffer M.B. (1996), *Formation Processes of the Archaeological Record*, University of Utah Press, Salt Lake City, 1-13, 235-261.

Sesli F.A., Karsli F., Colkesen I., Akyol N. (2009), Monitoring the changing position of coastlines using aerial and satellite image data: an example from the eastern coast of Trabzon, Turkey, in *Environmental Monitoring and Assessment* 153, 391-403.

Shah-Hosseini M., Saleem A., Mahmoud A.-M.A., Morhange C. (2016), Coastal boulder deposits attesting to large wave impacts on the Mediterranean coast of Egypt, in *Natural Hazards* vol. 83 (2), 849-865.

Silenzi S. (2012), *Le variazioni del livello del Mare Mediterraneo durante gli ultimi 3000 anni*. Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Scienze della Terra, Tesi di Dottorato.

Simeone S., De Falco G. (2012), Morphology and composition of beach-coast Posidonia oceanica litter on beaches with different exposures, in *Geomorphology* 151-152, 224-233.

Sintès C. (2010), Les neosoikoi d'Apollonia de Cyrénaïque, in Blackman D.J., Lentini M.C.

(a cura di), *Ricoveri per Navi Militari Nei Porti del Mediterraneo Antico e Medievale*, Bari, 83–96.

Sivan D., Wdowinski S., Lambeck K., Galili E., Raban A. (2001), Holocene sea-level changes along the Mediterranean coast of Israel, based on archaeological observations and numerical model, in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 167, 101–117.

Staniforth M. (2006), *In Situ Site Stabilization: The William Salthouse Case Study*, in Grenier R., Nutley D., Cochran I. (ed.), *Underwater Cultural Heritage at Risk: Managing Natural and Human Impacts*, 52-54.

Staniforth M., Shefi D. (2010), *Protecting Underwater Cultural Heritage: A review of In situ preservation approaches to underwater cultural heritage and some directions for the future*, World Universities Congress Proceedings vol. II, Canakkale Onseklz Mart University, Turkey, 1546-1552.

Stanley J.D. (2005), Submergence and burial of ancient coastal sites on the subsiding Nile delta margin, Egypt, in *Méditerranée* 104, 65-73.

Stanley D.J., Bernasconi M.P. (2006), Holocene depositional patterns and evolution in Alexandria's eastern harbor, Egypt, in *Journal of Coastal Research* 22 (2), 283-297.

Stanley D.J., Goddio F., Jorstad T.F., Schnepf G. (2004), Submergence of Ancient Greek Cities off Egypt's Nile Delta: A Cautionary Tale, in *Geological Society of America Today* 14, 4-10.

Stanley D. J., Warne A.G. (1994), Worldwide initiation of holocene marine deltas by deceleration of sea-level rise, in *Science* 265, 228–231.

Stanley D.J., Warne A.G. (1997), Holocene sea-level change and early human utilisation of deltas, in *Geological Society of America Today* 7 (12), 1-7.

Stefanile M. (2012), Baia, Portus Julius and surrounding: diving in the underwater cultural heritage in the bay of Naples (Italy), in *The proceeding of 6th International Symposium on "Underwater Research"*, 17-19 maggio, Kemer/Antalya, Turchia, 28-47.

Steffen W., Sanderson A., Tyson P. D., Jager J., Matson P. A., Moore B. (2004), *Global change and the earth system: A planet under pressure*, Heidelberg, Germany, Springer, 11-80.

Stewart I.S., Morhange C. (2009), Coastal geomorphology and sea-level change, in Woodward J. (ed.), *The Physical Geography of the Mediterranean*, Oxford University Press, Oxford, 385–414.

Stiros S. (2010), The 8.5+ magnitude, AD365 earthquake in Crete: Coastal uplift, topography changes, archaeological and historical signature, in *Quaternary International* 216 (1-2), 54-63.

Sunamura T. (1992), *Geomorphology of Rock Coasts*, Oxford University Press, Oxford, 184-229.

- Tomalin D. (2000), Stress at the seams: Assessing the terrestrial and submerged archaeological landscape in the shore of the Magnus Portus, in Aberg A., Lewis C (ed.) *The rising tide: Archaeology and coastal landscapes*, Oxford, Oxbow, 85-98.
- Torben R., Erlandson J. M., Vellanoweth R. (2001), Paleocoastal marine fishing on the Pacific coast of the America: Perspectives from Daisy Cave, California, in *American Antiquity* 66 (4), 595-613.
- Van der Noort R., O'Sullivan A. (2006), *Rethinking wetland archaeology*, London, Gerald Duckworth, 32-65, 89-151.
- van Rijn L.C. (2010), *Coastal erosion control based on the concept of sediment cells*, European Commission.
- Varriale I. (2004), Costa flegrea e attività bradisismica dall'antichità ad oggi, in De Maria L., Turchetti R. (a cura di), *Rotte e porti del Mediterraneo dopo la caduta dell'impero romano d'occidente. Continuità e innovazioni tecnologiche e funzionali*, IV seminario, 18-19 giugno, Genova, 291-310.
- Véron A., Goiran J.P., Morhange C., Marriner N., Empereur J.Y. (2006), Pollutant Lead Reveals the Pre-hellenistic Occupation and Antique Growth of Alexandria, Egypt, in *Geophysical Research Letters* 33, 1-4.
- Véron A.J., Flaux C., Marriner N., Poirier A., Rigaud S., Morhange C., Empereur J.-Y. (2013), A 6000-year geochemical record of human activities from Alexandria (Egypt), in *Quaternary Science Reviews* 81, 138-147.
- Votruba G.F. (2007), Imported building materials of Sebastos Harbour, Israel, in *International Journal of Nautical Archaeology* 36, 325-335.
- Walker H.J. (1975), Coastal morphology, in *Soil Science* 119, 3-19.
- Walker H.J. (1981), Man and shoreline modification, in Bird E.C.F., Koile K. (ed.), *Coastal Dynamics and Scientific Sites*, Komazawa University, Tokyo, 55-90.
- Walker H.J. (1985), The shoreline: realities and perspectives, in Vallega A., DaPozzo C., Fabbri P. (eds.), *Coastal Planning: Realities and Perspectives*, Genoa, 59-90.
- Walker H.J. (1988), *Artificial Structures and Shorelines*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers 1-8.
- Walker H. J. (1990), The coastal zone, in Turner B. L. I., Clark W. C., Kates R. W., Richards J. F., Mathews J. T., Meyers W. B. (ed.) *The Earth as transformed by human action: Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*, New York, Cambridge University Press, 271-294.
- Walsh K. (2014), *The archaeology of Mediterranean landscapes. Human- environment interaction from the Neolithic to the Roman period.*, Cambridge University Press, Cambridge, 30-68.

Ward I.A.K. (1999), A New Process-based Model for Wreck Site Formation, in *Journal of Archaeological Science* 26, 561-570.

Wazny T., Kuniholm P., Griggs C., Perinçek, D. (2010), Trade, earthquakes and tsunami – tree-ring study on Yenikapi harbor in Istanbul, in Mielikäinen K., Mäkinen H., Timonen M. (eds.), *World Dendro, the 8th International Conference on Dendrochronology*, 194.

Weggel J.R. (1972), Water motion and process of sediment entrainment, in Swift D.J.P., Duane D.B., Pilkey O.H. (ed.), *Shelf Sediment Transport*, Dowden, Stroudsburg, Hutchinson & Ross Publishing Company, 1-20.

Westerdahl C. (1992), The maritime cultural landscape, in *International Journal of Nautical Archaeology* 21 (1), 5-14.

Westerdahl C. (2006), *The relationship between land roads and sea routes in the past – some reflections*, 59-114.

Westley K., Dix J. (2006), Coastal environments and their role in prehistoric migrations, in *Journal of Maritime Archaeology* 1, 9-28.

Woodroffe C.D. (2002), *Coasts: form, process and evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1-36.

Wright J. (2016), Maritime Archaeology and Climate Change: An Invitation, in *Journal of Maritime Archaeology* 11, 255-270.

Yalciner A.C., Alpar B., Altinok Y., Özbay I., Imamura F. (2002), Tsunamis in the Sea of Marmara, Historical documents for the past, models for the future, in *Marine Geology* 190, 445-463.

Yorke R.A., Davidson D.P. (2017), The Harbour at Ptolemais: Hellenistic City of the Libyan Pentapolis, in *The International Journal of Nautical Archaeology*, 1-24.

Sitografia

<http://www.ayalatours.co.il/english/Article.aspx?Item=650&Section=611>.

<http://www.centrosubcampiflegrei.it/le-immersioni/parco-sommerso-di-baia/villa-protiro>.

<https://ferrelljenkins.wordpress.com/category/church-history/page/2/>.

<https://www.ideegreen.it/parco-archeologico-sommerso-baia-76346.html>.

http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/tematiche2011/05_%20Mar_e_e_ambiente_costiero_2011.pdf/view.

<http://www.franckgoddio.org/projects/sunken-civilizations/alexandria.html>.

<http://www.franckgoddio.org/projects/sunken-civilizations/heracleion.html>.

<http://www.franckgoddio.org/projects/sunken-civilizations/canopus.html>.

<http://www.isprambiente.gov.it/files/tematiche2010/09-ambito-costiero.pdf/view>.

<http://www.natgeocreative.com/photography/2281851>.

<http://www.nauticareport.it/dettnews.php?idx=3723&pg=3818>.

<http://subaia.com/it/fotogallerydivingcampania.php>.

<https://www.theatlantic.com/photo/2013/05/over-libyas-coast/100523/>.

<http://www.thisworldrocks.com/destinations/middle-east/israel/exploring-israels-ancient-roman-ruins/>.