



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECOLOGICHE E BIOLOGICHE

Corso di Dottorato di Ricerca in

Ecologia e gestione delle risorse biologiche

XXVI Ciclo

**Stima dei servizi ecosistemici mediterranei, sulla base della classificazione delle
biocenosi bentoniche, e loro utilizzo in una carta di uso del mare, come
strumento a supporto della gestione della costa**

Settore Scientifico Disciplinare – BIO/07

Tesi di dottorato di:

Dott. Filippo Maria Carli

Coordinatore del corso

Prof. Daniele Canestrelli

Tutore

Prof. Marco Marcelli

INDICE

1. Introduzione e obiettivi
 - 1.1 La gestione della costa nella normativa europea
 - 1.2 Area di studio
 - 1.3 Obiettivo del lavoro

2. Il benthos
 - 2.1 Scelta della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento
 - 2.1.1 Approccio alla zonazione del benthos
 - 2.1.2 Biocenosi bentonica come strumento di lavoro
 - 2.1.3 La biocenosi come unità spaziale di riferimento
 - 2.2 Studi effettuati e dati disponibili
 - 2.3 Dati raccolti
 - 2.4 Biocenosi bentoniche nell'area di studio

3. I servizi ecosistemici
 - 3.1 Servizi ecosistemici in letteratura
 - 3.1.1 *The value of the world's ecosystem services and natural capital*
 - 3.1.2 L'evoluzione del concetto di servizi ecosistemici
 - 3.1.3 La difficoltà di effettuare valutazioni economiche corrette
 - 3.2 Definizione operativa utilizzata in questo lavoro
 - 3.3 Identificazione benefit ecosistemici da ecosistemi marini costieri mediterranei
 - 3.3.1 Distribuzione spaziale dei benefit ecosistemici nell'area di studio
 - 3.5 Valutazione economica dei benefit con valore d'uso forniti dalle praterie di *P. Oceanica*
 - 3.5.1 Carbon Sink
 - 3.5.2 Fornitura di ossigeno
 - 3.5.3 Produzione di cibo
 - 3.5.4 Protezione dall'erosione
 - 3.5.5 Bioremediation

4. Carta di Uso del Mare
 - 4.1 Livelli informativi
 - 4.1.1 Morfotipi
 - 4.1.2 Regime idrodinamico
 - 4.1.3 Ecosistemi
 - 4.1.4 Usi e vincoli
 - 4.1.5 Servizi ecosistemici
 - 4.1.6 Altri livelli
 - 4.2 Ranking informazioni

5. Utilizzo dello strumento in un caso di studio reale. Produzione di energia dal moto ondoso:
un nuovo uso di spazi e risorse costiere

5.1 Introduzione all'energia da moto ondoso

5.1.1. Barriere non tecnologiche alla diffusione delle tecnologie

5.2 Progetto pilota per l'installazione sperimentale di una stazione di produzione di energia da moto ondoso

5.3 Metodologia per la valutazione del potenziale sfruttabile

5.4 Selezione del sito più idoneo attraverso la Carta di Uso del Mare

6. Conclusioni

1. INTRODUZIONE ED OBIETTIVI

La fascia costiera è solitamente definita come l'area di transizione tra terra e mare, ovvero tra gli ambienti perennemente occupati dalle masse d'acqua e gli ambienti che da tali masse non vengono mai coperti. Ovviamente tale definizione generale non è che la suggestione di un ambiente incredibilmente più complesso e differenziato. Le tipologie di costa che si possono riconoscere sono innumerevoli, a causa dell'elevato numero di fattori che contribuiscono a caratterizzare tale area. La tipologia di substrato, l'orientamento e la ripidità sono alcuni dei principali descrittori morfologici che definiscono un tratto di costa; il clima, l'esposizione alle onde ed alle maree, l'irraggiamento solare, sono alcuni dei descrittori fisici; i popolamenti che colonizzano la superficie sommersa ed emersa, la diversità di specie e la loro abbondanza sono tra i principali descrittori biologici. La presenza di fiumi, il loro trasporto solido e liquido e la tipologia di foce sono altri fattori determinanti. Solo tenendo in considerazione i pochissimi fattori citati, si possono immaginare e descrivere centinaia di diverse combinazioni, in grado di dare vita a tipologie praticamente infinite di fascia costiera lungo le coste di tutti i continenti ed a tutte le latitudini. Ed ancora non sono stati neanche presi in considerazione gli effetti, o le profonde modificazioni, dovuti alle attività umane basate o dipendenti di sistemi costieri.

Tali possibilità di combinazione rendono lo studio della costa un processo estremamente delicato che, per alcuni aspetti, può essere affrontato a livello generale, ma che, quando si tratta di affrontare temi specifici, necessita di una vasta conoscenza particolare dell'area in oggetto.

A livello globale esistono alcune tendenze che possono essere considerate significative per molte parti del mondo. Ad esempio la tendenza della popolazione mondiale lungo la costa: attualmente circa il 44% della popolazione mondiale vive entro 150 km chilometri dalla linea di riva (UN Atlas of the Oceans), e tale dato è in rapido aumento. In aggiunta, la fascia costiera ospita alcune attività umane tra le più strategiche, dall'approvvigionamento di cibo e materiali alla produzione di energia, fino alle attività culturali e ricreative. Inoltre, accanto agli usi tradizionali di spazi e risorse costiere, stanno emergendo nuove tipologie di uso, come lo sfruttamento delle risorse biologiche a fini commerciali e le energie rinnovabili marine.

Nel 1992, la Convenzione sulla Diversità Biologica delle Nazioni Unite stabilisce a livello internazionale che la conservazione della diversità biologica deve essere parte integrante del processo di sviluppo. Il Trattato è oggi firmato da 195 parti, e ratificato da tutti i membri delle

Nazioni Unite tranne gli Stati Uniti. La convenzione stabilisce tre obiettivi strategici: 1) la conservazione della biodiversità, 2) l'uso sostenibile delle componenti della diversità biologica, 3) la equa condivisione dei benefici derivanti dall'utilizzo delle risorse genetiche.

La Convenzione indica anche il percorso attraverso il quale raggiungere gli obiettivi, ovvero attraverso l'adozione di un Approccio Ecosistemico all'utilizzo delle risorse condivise. L'Approccio Ecosistemico va considerato come una “strategia per la gestione integrata delle terre, delle acque e delle risorse viventi, che ne promuove la conservazione e l'uso sostenibile in maniera equa. L'applicazione dell'Approccio Ecosistemico aiuterà a raggiungere l'equilibrio tra i tre obiettivi della Convenzione. L'Approccio è basato sull'applicazione di appropriate metodologie scientifiche focalizzate sui livelli di organizzazione biologica che contengono i processi essenziali, le funzioni e le interazioni tra gli organismi ed il loro ambiente. Riconosce che gli uomini, con la loro diversità culturale, sono una componente integrale degli ecosistemi”.

La conservazione dei sistemi naturali viene quindi messa in primo piano, così come il loro sfruttamento sostenibile. In questo modo si integrano i pilastri della sviluppo sostenibile, promuovendo una politica di gestione degli spazi e delle risorse naturali, basata sulla conoscenza della capacità degli ecosistemi di produrre benefit per l'uomo, almeno in teoria. Nella pratica, l'implementazione di questo approccio rimane ancora materia di discussione. Il livello di analisi a cui l'Approccio Ecosistemico è soggetti a livello concettuale sta distraendo l'attenzione dallo sviluppo di azioni pratiche. Le attuali soluzioni di gestione nel mondo non stanno ottenendo il successo necessario ad arginare le perdite di biodiversità ed il deterioramento degli ecosistemi, ed a supportare l'effettivo conseguimento di uno sviluppo sostenibile. Sono stati assunti impegni globali, ma il successo dipenderà dai nuovi approcci alle questioni sociali, economiche ed ambientali. Per tener fede agli impegni presi occorre dunque superare le barriere all'adozione concreta di un Approccio Ecosistemico. Un elemento cruciale è la traduzione dei principi generali della Convenzione sulla Diversità Biologica in soluzioni pratiche a livello regionale, dei singoli stati ed a livello locale (Laffoley 2004).

C'è quindi grande necessità di innovativi strumenti a supporto della gestione sostenibile. È proprio in quest'ottica che in questo lavoro viene presentato uno strumento a supporto della gestione degli spazi e delle risorse costiere, che tenga in primaria considerazione gli ecosistemi e la loro complessità come driver di uno sviluppo economico durevole e compatibile con la capacità degli ecosistemi di preservarsi nel tempo.

1.1 La gestione della costa nella normativa europea

In ambito marittimo, e costiero in particolare, a livello europeo sono stati fatti dei consistenti passi avanti, all'interno della Politica Marittima Integrata (PMI), in particolar modo con l'adozione della Direttiva Quadro per una Strategia Marina (MSFD) e della Direttiva sulla Pianificazione degli Spazi Marittimi (MSP), oltre che con la Raccomandazione del Consiglio Europeo sulla Gestione Integrata della Fascia Costiera. La prima, sulla stessa linea della Water Framework Directive, sancisce l'obbligo per gli Stati Membri di adottare le “misure necessarie per conseguire o mantenere un buono stato ambientale dell'ambiente marino entro il 2020”, mentre la seconda “istituisce un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo nell'intento di promuovere la crescita sostenibile delle economie marittime, lo sviluppo sostenibile delle zone marine e l'uso sostenibile delle risorse marine”. Vengono qui descritte le due Direttive europee verranno descritte in maggior dettaglio, allo scopo di rendere chiaro il contesto in cui il presente lavoro prende l'avvio e per delineare le esigenze ambientali, economiche e legislative a cui lo strumento proposto in questa tesi cerca di fornire supporto.

Politica Marittima Integrata e Blue Growth

La Politica Marittima Integrata si propone di definire un approccio più coerente alle questioni marittime, rafforzando il coordinamento tra i diversi settori interessati. Si occupa di questioni che non rientrano nell'ambito di un'unica politica settoriale, ad esempio "crescita blu" (crescita economica basata su diversi settori marittimi), e di questioni che *richiedono il coordinamento di settori e interlocutori diversi, ad esempio le conoscenze oceanografiche*.

La PMI è stata disegnata in particolare allo scopo di tener conto dell'interconnessione delle industrie e delle attività dell'uomo incentrate sul mare. Quando si discute di trasporti marittimi e porti, energia eolica, ricerca sui mari, pesca o turismo, una decisione in un settore può incidere su tutti gli altri settori. Ad esempio, un parco eolico offshore può perturbare i trasporti marittimi, con conseguenze anche sulle attività portuali.

In questo ambito svolge un ruolo di primo piano la Blue Growth, ovvero la strategia dell'Unione Europea per promuovere uno sviluppo legato alle risorse marittime, che sia sostenibile dal punto di vista ambientale, economico e sociale. La strategia riconosce che i mari e gli oceani rappresentano un motore per l'economia europea, con enormi potenzialità per l'innovazione e la

crescita, e rappresenta il contributo della politica marittima integrata al conseguimento degli obiettivi della strategia Europa 2020 per una crescita intelligente, sostenibile e solidale. In questo senso, vengono delineati alcuni settori chiave, su cui investire per ottenere un incremento della capacità di produrre ricchezza e posti di lavoro dei mari europei:

- energie rinnovabili marine
- acquacoltura
- turismo marittimo, costiero e di crociera
- risorse minerali marine
- biotecnologia blu

Marine Strategy Framework Directive (MSFD)

Come accennato precedentemente, la Marine Strategy persegue l'obiettivo di raggiungere e mantenere il buono stato ambientale per i mari comunitari entro il 2020. Il concetto di “Buono Stato Ambientale” viene codificato attraverso l'utilizzo di 11 descrittori di qualità (Tabella 1-1), ovvero 11 aspetti dei sistemi biologici marini che permettano sia di verificare lo stato attuale, sia di monitorare i progressi nel perseguimento dell'obiettivo.

Descrittori nella MSFD	
Descrittore 1	La biodiversità è mantenuta. La qualità e la presenza di habitat nonché la distribuzione e l'abbondanza delle specie sono in linea con le prevalenti condizioni fisiografiche, geografiche e climatiche.
Descrittore 2	Le specie non indigene introdotte dalle attività umane restano a livelli che non alterano negativamente gli ecosistemi.
Descrittore 3	Le popolazioni di tutti i pesci, molluschi e crostacei sfruttati a fini commerciali restano entro limiti biologicamente sicuri, presentando una ripartizione della popolazione per età e dimensioni indicativa della buona salute dello stock.
Descrittore 4	Tutti gli elementi della rete trofica marina, nella misura in cui siano noti, sono presenti con normale abbondanza e diversità e con livelli in grado di assicurare l'abbondanza a lungo termine delle specie e la conservazione della loro piena capacità riproduttiva.
Descrittore 5	È ridotta al minimo l'eutrofizzazione di origine umana, in particolare i suoi effetti negativi, come perdite di biodiversità, degrado dell'ecosistema, fioriture algali nocive e carenza di ossigeno nelle acque di fondo.
Descrittore 6	L'integrità del fondo marino è ad un livello tale da garantire che la struttura e le funzioni degli ecosistemi siano salvaguardate e gli ecosistemi bentonici, in particolare, non abbiano subito effetti negativi.
Descrittore 7	La modifica permanente delle condizioni idrografiche non influisce negativamente sugli ecosistemi marini.
Descrittore 8	Le concentrazioni dei contaminanti presentano livelli che non danno origine a effetti inquinanti.
Descrittore 9	I contaminanti presenti nei pesci e in altri prodotti della pesca in mare destinati al consumo umano non eccedono i livelli stabiliti dalla legislazione comunitaria o da altre norme pertinenti.
Descrittore 10	Le proprietà e le quantità di rifiuti marini non provocano danni all'ambiente costiero e marino.
Descrittore 11	L'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine, è a livelli che non hanno effetti negativi sull'ambiente marino.

Tabella 1-1. Descrittori di qualità nella *Marine Strategy Framework Directive*

Oltre ai descrittori, la MSFD fissa anche le misure necessarie per promuovere il raggiungimento del buono stato ambientale. In particolare, l'Articolo 13, comma 1, indica che “*gli Stati membri identificano, per ogni regione o sottoregione marina interessata, le misure necessarie al fine di conseguire o mantenere nelle loro acque marine un buono stato ecologico*”. Tali misure devono essere messe a punto “*tenendo conto dei tipi di misure elencati nell'Allegato VI*”. I programmi di misure indicati in allegato VI della Direttiva, e riportati in Tabella 1-2, costituiscono una parte importante del contesto normativo ed ambientale che fissa le esigenze da cui nasce il presente lavoro.

MSFD: Allegato VI – Programmi di Misure	
1	Controlli input: misure di gestione che influenzano l'entità consentita di un'attività umana
2	Controlli output: misure di gestione che influenzano il grado di perturbazione consentito di un elemento di un ecosistema.
3	Controlli della distribuzione territoriale e temporale: misure di gestione che influenzano il luogo e il momento nei quali può avvenire l'attività.
4	Misure di coordinamento della gestione: strumenti volti a garantire il coordinamento della gestione.
5	Misure atte a migliorare la tracciabilità, ove possibile, dell'inquinamento marino.
6	Incentivi economici: misure di gestione che rendano economicamente interessante per gli utilizzatori degli ecosistemi marini agire in modo da contribuire al conseguimento dell'obiettivo di buono stato ecologico.
7	Strumenti di attenuazione e bonifica: strumenti di gestione che orientano le attività umane a bonificare i componenti danneggiati degli ecosistemi marini.
8	Comunicazione, coinvolgimento degli interessati e sensibilizzazione.

Tabella 1-2. Programmi di misure indicati in Allegato VI della *Marine Strategy Framework Directive*

Ciò che emerge dagli elementi appena presentati è che l'ottenimento di risultati tangibili passa attraverso l'implementazione di misure e di azioni in grado di sostenere una gestione di spazi e risorse costiere, così come il loro utilizzo per le attività umane, più razionale e sostenibile, basata sulla conoscenza scientifica e sui nuovi strumenti di gestione che la ricerca scientifica sarà in grado di offrire.

Maritime Spatial Planning (MSP)

La Direttiva sulla Pianificazione dello Spazio Marittimo, nasce con l'obiettivo di promuovere la crescita sostenibile delle economie marittime attraverso l'uso sostenibile degli spazi e delle risorse marine. È un perfetto ambito di applicazione di quell'Approccio Ecosistemico che guida le politiche economiche ed ambientali dell'Unione. La MSP è quindi uno strumento fondamentale nell'attuazione della Politica Marittima Integrata europea, nella sua azione di coordinamento delle politiche dei settori marittimi specifici.

Gli obiettivi della Direttiva, così come le necessità che ne emergono al fine di promuoverne un'attuazione concreta, sono delineati all'Articolo 5:

Articolo 5:

1. In sede di elaborazione e attuazione della pianificazione dello spazio marittimo, gli

Stati membri tengono in considerazione gli aspetti economici, sociali e ambientali al fine di sostenere uno sviluppo e una crescita sostenibili nel settore marittimo, applicando un approccio ecosistemico, e di promuovere la coesistenza delle pertinenti attività e dei pertinenti usi.

2. Mediante i rispettivi piani di gestione dello spazio marittimo, gli Stati membri mirano a contribuire allo sviluppo sostenibile dei settori energetici del mare, dei trasporti marittimi e del settore della pesca e dell'acquacoltura, per la conservazione, la tutela e il miglioramento dell'ambiente, compresa la resilienza all'impatto del cambiamento climatico. Gli Stati membri possono inoltre perseguire altri obiettivi, quali la promozione del turismo sostenibile e l'estrazione sostenibile delle materie prime.

3. La presente direttiva non pregiudica la competenza degli Stati membri quanto alla determinazione del modo in cui i diversi obiettivi si riflettono e trovano riscontro nel rispettivo piano o nei rispettivi piani di gestione dello spazio marittimo.

Per raggiungere tali obiettivi le amministrazioni pubbliche devono istituire dei Piani di Gestione delle aree marine in modo da identificare ed eventualmente gestire con approccio ecosistemico gli usi del mare, come sancito dall'Articolo 8:

Articolo 8:

In sede di elaborazione e attuazione della pianificazione dello spazio marittimo, gli Stati membri elaborano piani di gestione dello spazio marittimo che individuano la distribuzione spaziale e temporale delle pertinenti attività e dei pertinenti usi delle loro acque marine attuali e futuri, al fine di contribuire al conseguimento degli obiettivi di cui all'articolo 5.

1.2 Area di Studio

L'area di studio presa in esame per questo lavoro è la fascia costiera del Tirreno centrale compresa tra Tarquinia a nord e Santa Severa a sud. La scelta dell'area è basata su una serie di considerazioni di carattere ecologico ed operativo. L'elevata eterogeneità dei fondali, consente lo sviluppo di numerose biocenosi di diversa tipologia; poiché questo lavoro è basato sull'utilizzo del sistema di classificazione delle biocenosi bentoniche come strumento di lavoro, la possibilità di avere a disposizione un'elevata diversità tipologica risulta particolarmente interessante, sia dal

punto di vista ecologico che operativo. Un secondo motivo a supporto della scelta è la possibilità di disporre di una importante serie storica di dati ambientali sui popolamenti biologici, sul regime idrodinamico, sul tasso di sedimentazione, sulle portate dei fiumi e sulle caratteristiche della colonna d'acqua. In aggiunta, sono in corso dei monitoraggi ecologici effettuati dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina su tutti i comparti ambientali (colonna d'acqua, sedimenti, popolamenti bentonici e praterie di *P. oceanica*) per valutare gli effetti dei lavori di ampliamento infrastrutturale del Porto di Civitavecchia. Tali monitoraggi hanno permesso di aggiungere dati originali ed estremamente attuali ai dati storici disponibili. Infine, non meno importante, quest'area rappresenta un perfetto esempio della necessità di implementare le direttive europee e renderle operative, poiché è caratterizzata da una grande ricchezza ecologica, in termini di diversità di ambienti, ospita tre Siti di Interesse Comunitario, ma ospita anche una importante serie di usi antropici del mare, come spazi e risorse costiere, infrastrutture strategiche e siti di interesse archeologico. In questo contesto, lo scontro tra le esigenze di sviluppo socio-economico e le necessità di conservazione del patrimonio natura sono all'ordine del giorno e la necessità di nuovi strumenti a supporto della gestione sostenibile ormai un'urgenza.

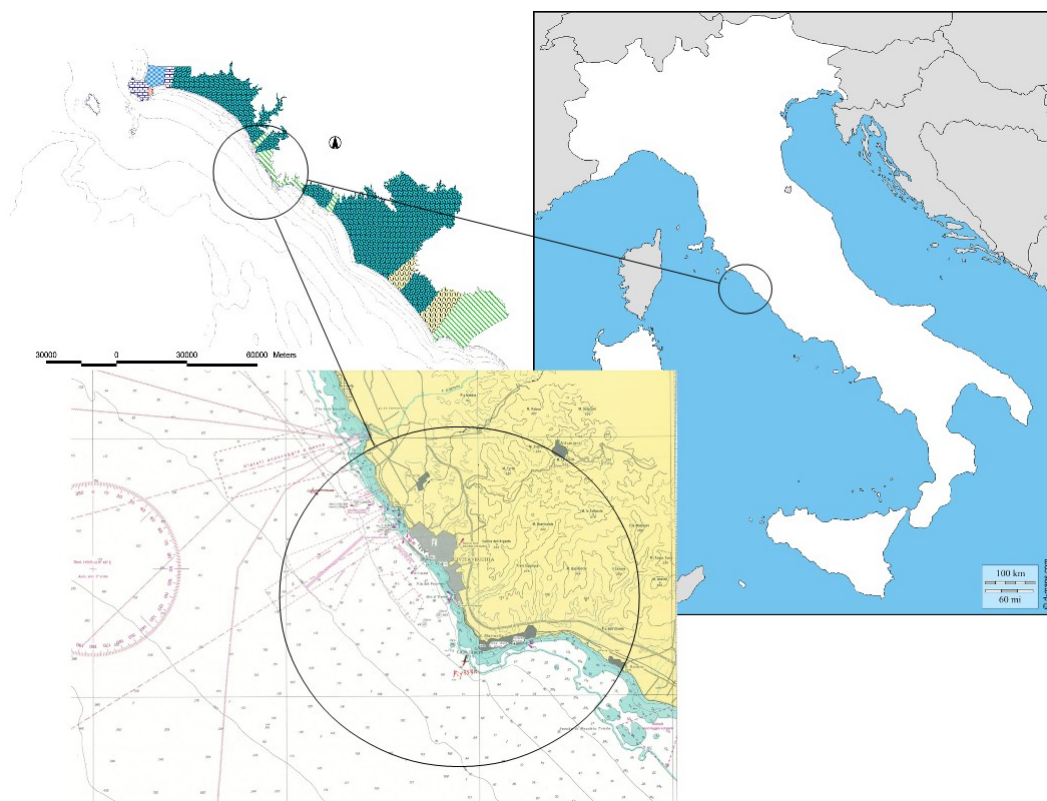


Figura 1-1. Inquadramento geografico dell'area di studio

Nell'area, il principale elemento morfologico, che influenza in maniera consistente il regime idrodinamico e di conseguenza il regime sedimentario e la distribuzione dei popolamenti bentonici, è il promontorio di Capo Linaro. Sono presenti 4 fiumi che incidono sulla sedimentologia e sulla distribuzione dei contaminanti nella zona, Fiora, Arrone, Marta e Mignone, più una numerosa serie di fossi e canali minori.

Dal punto di vista morfologico si possono individuare nell'area 2 morfotipi costieri, *Terrazzi* in corrispondenza di Capo Linaro, il più importante elemento morfologico presente, e *Pianura alluvionale* lungo gli estremi meridionali e settentrionali, e con costa di litorale stretto e costa terrazzata intervallati nelle porzioni immediatamente a nord ed a sud di Capo Linaro.

In conseguenza dell'eterogeneità dei fondali, anche la distribuzione delle frazioni granulometriche ha pattern non uniformi e la tendenza sedimentaria nella direzione costa largo può presentare delle anomalie, soprattutto nella distribuzione della frazione pelitica (Figura 1-2)

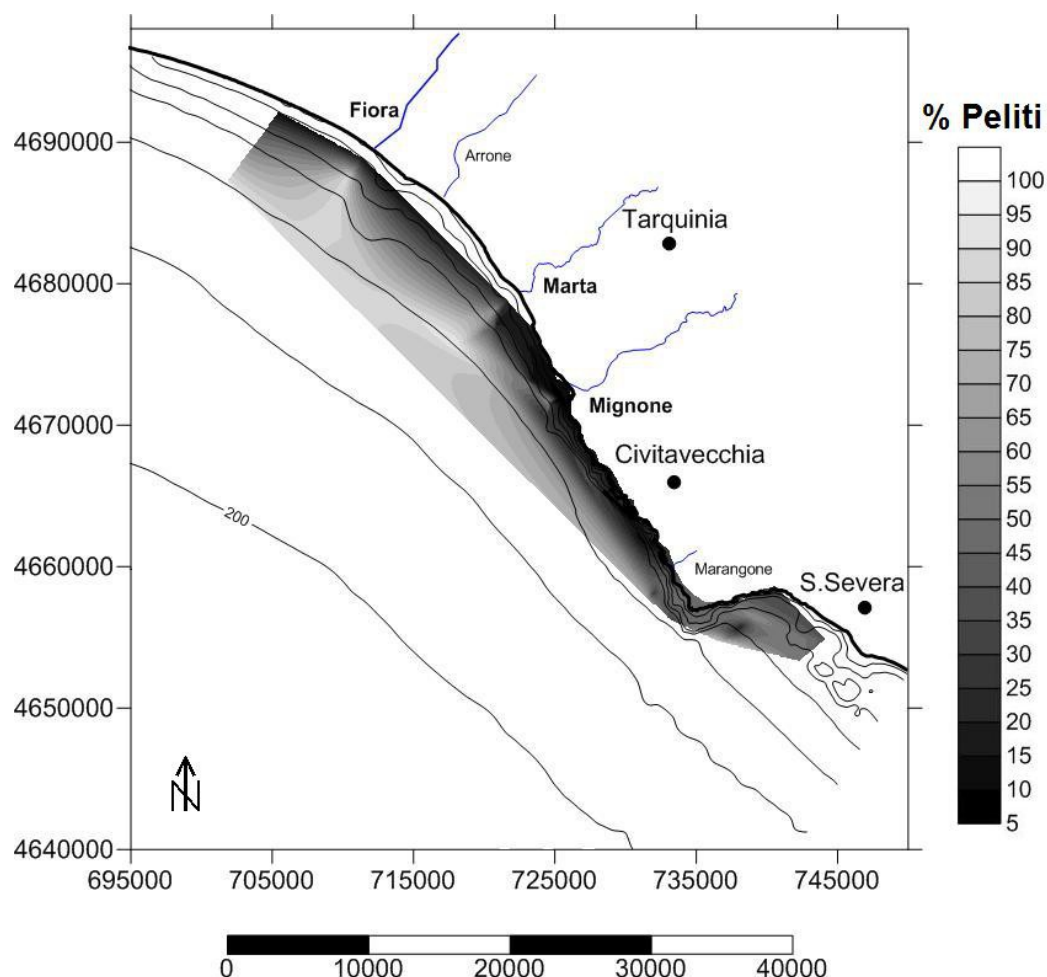


Figura 1-2. Distribuzione della frazione sedimentaria pelitica nell'area di studio

L'idrodinamismo nell'area è in linea con le tendenze descritte per il Tirreno centrale, sia in termini di circolazione generale che di clima d'onda. La circolazione generale è diretta parallelamente alla costa da sud-est verso nord-ovest, con inversione della direzione dominante solo nei casi di venti diretti dal quarto quadrante.

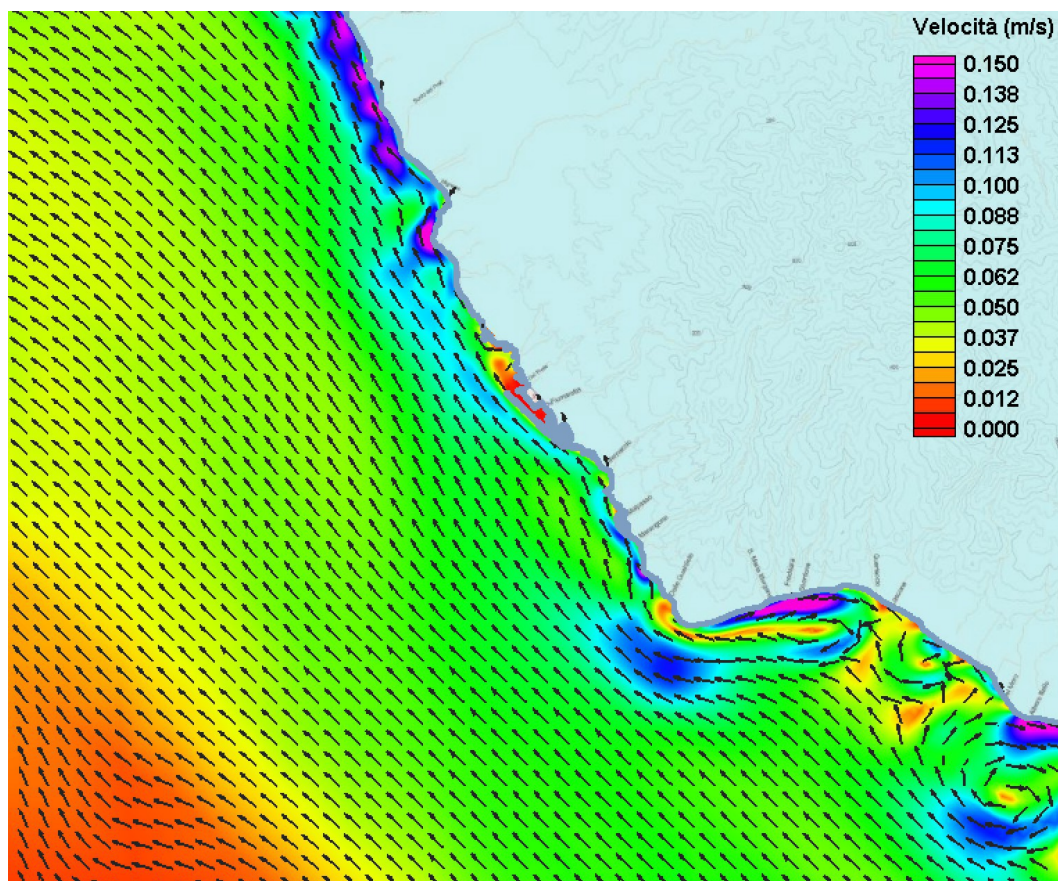


Figura 1-3. Circolazione generale nell'area di studio, intensificata da un vento di Sirocco

Per quanto riguarda il regime del moto ondoso, la fascia costiera considerata è caratterizzata da un'esposizione del paraggio al mare aperto per un ampio settore di traversia, delimitato a Nord-Ovest dal promontorio del Monte Argentario (300°N), a Ovest dall'isola della Corsica e dall'isola di Giannutri (270°N), a Sud-Ovest dall'isola della Sardegna ($240^\circ\text{-}210^\circ \text{N}$), a Sud dall'isola di Sicilia (170°N) a una distanza di circa 500 Km e a Sud-Est da Capo Linaro ($145^\circ\text{-}150^\circ \text{N}$). Questo tipo di esposizione è caratterizzato da un fetch geografico massimo di 500 Km, in direzione sud ($170^\circ - 190^\circ$). L'interazione del moto ondoso proveniente da sud con il profilo della costa laziale, determina un consistente effetto di rifrazione, provocando una traslazione della direzione di provenienza delle onde principali, le quali risultano raggiungere la costa da sud-ovest.

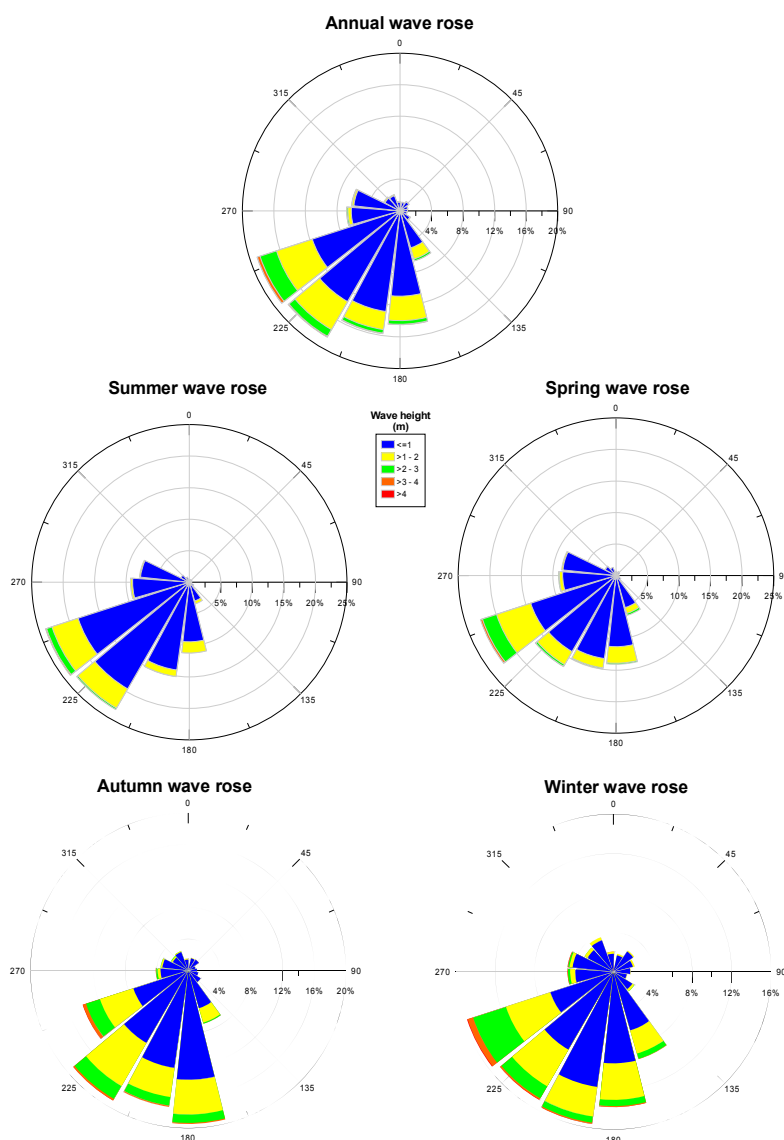


Figura 1-4. Clima d'onda nell'area di studio. Rosa annuale e rose stagionali

Osservando il clima d'onda, si può notare come soltanto piccole componenti dello spettro provengano da direzioni al di fuori del terzo quadrante, e come queste siano in ogni caso poco significative, sia dal punto di vista dell'altezza, sia dal punto di vista della frequenza durante l'anno.

Le comunità biologiche risentono dei fattori descritti, soprattutto i popolamenti bentonici che presentano una elevata diversità in funzione della diversità morfologica dei fondali. Una descrizione più approfondita delle biocenosi bentoniche presenti è fornita nel capitolo seguente.

Dal punto di vista ecologico, le aree di maggiore interesse sono quelle occupate da *Posidonia oceanica*, le cui distese rappresentano il climax ecologico degli ambienti costieri mediterranei. La presenza diffusa di *P. oceanica*, habitat protetto ai sensi della Direttiva Habitat, ha portato alla delimitazione di 6 Siti di Interesse Comunitario.

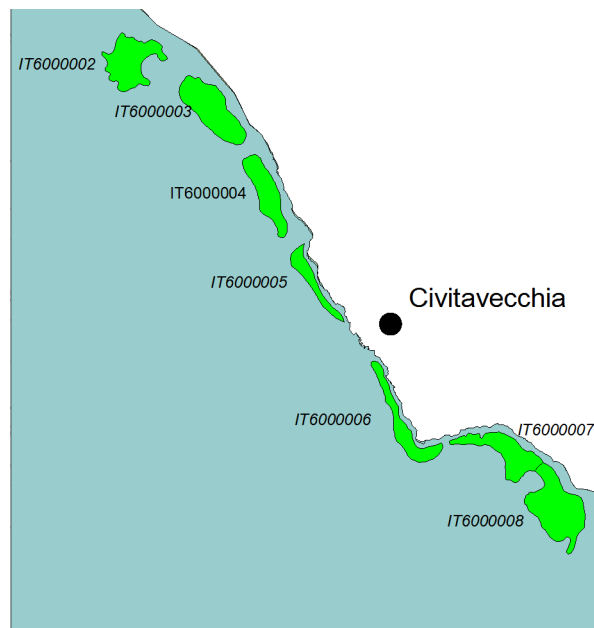


Figura 1-5. I 7 Siti di Interesse Comunitario nell'area estesa. 5 ricadono interamente nell'area di studio

Dal punto di vista socio-economico, l'area è permanentemente abitata sin dall'Era del Bronzo, anche se sono stati ritrovati strumenti realizzati in periodi ancora più antichi. Oggi, attraverso la realizzazione di una serie di infrastrutture, è diventata un'area strategica per l'Italia e per il Mediterraneo ed ospita una vasta gamma di usi del mare e degli spazi costieri. Il principale centro abitato è quello di Civitavecchia, seguito da Tarquinia e Santa Marinella, e sono presenti centri minori, come Santa Severa, Tolfa ed Allumiere. La copertura abitativa del territorio è anche caratterizzata da una distribuzione diffusa anche poco agglomerata, soprattutto nelle aree a forte carattere agricolo.

Il Porto di Civitavecchia è recentemente diventato il principale porto del Mediterraneo per quanto riguarda il traffico turistico crocieristico, superando con oltre due milioni di passeggeri all'anno il porto di Barcellona, ed è uno dei nodi chiave delle cosiddette “Autostrade del mare”. In aggiunta è uno dei principali attracchi per le linee traghetti in servizio tra l'Italia e la Sardegna. Oltre al Porto di Civitavecchia, l'area ospita anche una serie di approdi minori distribuiti lungo la fascia costiera ed un porto turistico di buone dimensioni (Riva di Traiano). Questi approdi sono dedicati principalmente alla nautica da diporto ed alla piccola pesca.

Per quanto riguarda la produzione di energia, Torrevaldaliga, immediatamente a nord del porto e del centro abitato di Civitavecchia, ospita uno degli hub elettrici più importanti d'Europa, con la centrale ENEL a carbone di Torrevaldaliga Nord e la centrale Tirreno Power a gas di

Torrevaldaliga Sud. Il totale dei Megawatt di potenza nominale installata sfiora i 3000.

In aggiunta alle infrastrutture citate, l'area ospita anche una consistente flotta di pescherecci a strascico (16 più due polivalenti) e 4 marinerie di piccola pesca, dislocate lungo la fascia costiera a Tarquinia, Civitavecchia, Santa Marinella e Santa Severa. È presente inoltre un impianto intensivo di acquacoltura con vasche a terra. Le colline ed i territori che si affacciano sulla costa hanno una lunga tradizione di agricoltura (ad esempio la quasi totalità del comune di Tarquinia) e allevamento zootecnico (es. Tolfa), con un impatto sui sistemi marini costieri che deve essere tenuto in alta considerazione.

La zona ha anche una lunga tradizione di turismo, anche in considerazione della vicinanza con Roma. Oltre al classico turismo balneare, in quest'area è molto forte la presenza di imbarcazioni da diporto nautico che spesso, anche per via della distanza dalle isole toscane e laziali, sostano lungo la costa in acque poco profonde. Una forte attrattiva è anche il ricco patrimonio archeologico, sia per il retaggio etrusco visibile nel sito Patrimonio dell'Umanità UNESCO delle necropoli di Tarquinia e Cerveteri, sia per i numerosissimi siti minori diffusi lungo tutta la costa. Infine sono molto diffuse sia tra i visitatori sia tra la popolazione locale anche le attività di pesca subacquea, immersione ricreativa e surf.

1.3 Obiettivo del lavoro

Come risulta dalla breve analisi della strategia europea per i mari comunitari, l'obiettivo principale della UE, anche in considerazione del momento di difficoltà economica internazionale, è lo sviluppo di nuove attività produttive che garantiscano nuove forme di sostentamento per le comunità rivierasche, promuovendo al tempo stesso un utilizzo degli spazi e delle risorse che permetta di raggiungere e mantenere un “buono stato ambientale”. In questo contesto emerge la necessità di azioni ispirate allo stesso Approccio Ecosistemico che guida l'azione comunitaria, e che supportino la gestione della costa, sia in termini di promozione di nuovi usi a basso impatto ambientale, sia in termini di protezione del capitale naturale costiero.

In particolare, i programmi di misure da applicare all'interno della MSFD, fanno riferimento alla possibilità di coordinare e promuovere le attività produttive che occupano spazi ed utilizzano risorse, al fine di supportare gli usi che più degli altri facilitano, o non interferiscono, con il percorso per il raggiungimento del “buono stato ambientale”.

In aggiunta, la Direttiva sulla MSP indica in maniera precisa che i mari e gli oceani sono un motore per l'economia europea, con enormi potenzialità per l'innovazione e la crescita, e per sfruttarli in maniera compatibile, vanno redatti dei piani di gestione dello spazio marittimo, che individuino la distribuzione spaziale e temporale delle pertinenti attività e dei pertinenti usi delle loro acque marine attuali e futuri, al fine di contribuire al conseguimento degli obiettivi.

In sostanza è necessario mettere a punto nuovi strumenti di gestione degli spazi e delle risorse marittime che promuovano la protezione del capitale naturale e la creazione di nuova ricchezza e posti di lavoro.

In considerazione di quanto detto, il presente lavoro ha lo scopo di mettere a punto una Carta di Uso del Mare, come strumento cartografico a supporto della gestione sostenibile della fascia costiera nell'area di studio, unendo le informazioni sulla distribuzione degli ecosistemi bentonici che insistono nella zona all'utilizzo economico che viene fatto degli spazi. Tale obiettivo è perseguito utilizzando la biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento e valutando la distribuzione spaziale dei servizi ecosistemici che questi sono in grado di fornire. Tale strumento è concepito come base per l'implementazione di misure di gestione effettive (es. piani di gestione della pesca a strascico), ad esempio per la selezione dei migliori siti per l'introduzione dei nuovi usi, sia come piattaforma per ulteriori studi di carattere ecologico e di valutazione economica dei servizi ecosistemici. A questo scopo viene dunque presentato un caso di studio realistico di selezione del sito più idoneo, dal punto di vista ambientale ed economico, per l'installazione di dispositivi per la produzione di energia dal moto ondoso.

Nell'ambito della collaborazione tra l'Università della Tuscia e RSE – Ricerca sul Sistema Energetico, è in fase di sperimentazione un innovativo convertitore di energia del moto ondoso, studiato per le caratteristiche ondametrichhe dell'area di studio. Le possibilità di successo di questo progetto sperimentale sono legate da una parte allo sviluppo tecnologico del dispositivo in senso stretto, i cui dettagli non verranno trattati in questo lavoro, dall'altra all'abbattimento delle barriere non tecnologiche, di carattere prevalentemente ambientale. Tali barriere sono costituite dalla definizione accurata del potenziale energetico sfruttabile e dalla necessità di integrare i nuovi usi delle aree costiere nell'ottica della gestione sostenibile degli spazi e delle risorse della fascia costiera. In questo lavoro, tali barriere non tecnologiche sono affrontate attraverso la messa a punto e l'utilizzo della Carta di Uso del Mare, come strumento per l'identificazione dei siti più idonei.

2. IL BENTHOS

“L'importanza di un sistema di zonazione è di natura essenzialmente pratica, di comodità di classificazione, che non per questo ha un puntuale riscontro nella realtà. Un sistema di zonazione deve pertanto essere considerato come uno strumento di lavoro, non come una finalità.”

Charles Boudouresque & Eugenio Fresi

Introduzione ed obiettivi

Il benthos, in funzione della sua intima relazione con il fondale, è l'associazione biologica che più di tutte risente delle condizioni ambientali e delle loro variazioni. Per questo motivo, come viene descritto in seguito, la conoscenza delle biocenosi bentoniche può essere utilizzato come un eccellente strumento di sintesi nella descrizione ecologica di una data area, soprattutto in ambiente costiero. In questo capitolo si gettano le basi a supporto dell'utilizzo del sistema di classificazione delle biocenosi bentoniche come strumento di lavoro (Boudouresque & Fresi, 1976) e della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento per la costruzione della Carta di Uso del Mare. L'obiettivo di questa fase di lavoro è l'identificazione del corretto approccio ecologico alla gestione sostenibile degli spazi e delle risorse costiere, utilizzando la biocenosi bentonica come elemento di riferimento, e la descrizione delle biocenosi esistenti nell'area di studio, attraverso una rassegna degli studi effettuati nell'area fino ad ora, integrati dai dati originali prodotti dal Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina dell'Università della Tuscia. Il risultato finale sarà una carta della distribuzione delle biocenosi bentoniche nell'area di studio.

2.1 Scelta della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento

Secondo la suddivisione tipica dell'ecologia marina, le comunità biologiche possono essere divise in pelagiche e bentoniche. Le comunità pelagiche sono composte dalle specie che, per la maggior parte del ciclo vitale, non vivono in stretta relazione con il fondale e che possono

facilmente essere trovati in mare aperto (es. tonni). Le specie pelagiche possono nuovamente essere suddivise in base alla capacità di nuotare attivamente, *necton*, o di essere trasportate passivamente insieme alla massa d'acqua in cui sono immerse. Le comunità bentoniche, invece, sono le strutture biologiche che si sviluppano in stretta e vincolata associazione con il fondale. Vi si individuano tutti gli organismi sessili (es. coralli) e gli organismi dotati di scarsa mobilità e forte territorialità sia in riferimento a caratteristiche fisiche (es. Echinoidei), sia in riferimento a caratteristiche etologiche (Blennidi).

Tali definizioni hanno finalità principalmente descrittive, in quanto molti organismi, ad esempio, entrano a far parte di una o dell'altra comunità a seconda della fase del ciclo vitale. Inoltre, per diverse specie, l'identificazione di un comportamento tipicamente bentonico o tipicamente nectonico non è per nulla intuitiva. A tal proposito, nella letteratura più recente si utilizza la categoria del necto-benthos, a cui si ascrivono organismi che, pur essendo intimamente legati al fondale, sono dotati di ottime abilità natatorie, come ad esempio molti cefalopodi (es. polpi) e molti pesci (es. Labridi). Tale definizione può a volte essere sostituita con il termine demersale, comunemente utilizzato, ad esempio, nella letteratura legata alle risorse alieutiche.

Al di là delle suddivisioni formali tra le comunità biologiche, utili agli ecologi per rendere più accessibile la materia da studiare, ciò che interessa, da un punto di vista più operativo, è l'informazione che può fornire lo studio di quelle comunità biologiche.

In questo lavoro, seguendo una precisa scuola di pensiero che verrà brevemente delineata, la biocenosi bentonica viene utilizzata come strumento per produrre informazioni ecologiche di grande rilievo ed affidabilità. Non solo, la biocenosi bentonica viene anche utilizzata come elemento base per la costruzione della cartografia rilevante, come unità spaziale di riferimento sulla base della quale le informazioni generali diventano esplicite per un'area specifica. Tale concetto di specificità dell'informazione spaziale sarà ripreso in seguito, in quanto alla base della scelta del sistema di classificazione delle comunità bentoniche.

2.1.1 Approccio alla zonazione del benthos

Innanzitutto occorre chiarire che i principali schemi di classificazione del benthos sono basati su qualche forma di zonazione del fondale marino. In generale, nell'ecologia del benthos mediterraneo esistono due principali filosofie alla base dei tentativi di modellizzare la distribuzione selettiva degli organismi bentonici, ovvero la zonazione, distinte in base a ciò che viene considerato il fattore determinante. Tali filosofie vengono descritte come la scuola francese e la scuola austriaca (Balduzzi, 2011).

La scuola francese, legata alla Stazione Marina di Endoume, ha prodotto il sistema di zonazione del benthos descritta da Pérès e Picard (1958), mentre la scuola austriaca ha prodotto la zonazione proposta da Riedl nel (1970). I due fattori determinanti per la distribuzione delle specie e delle associazioni bentoniche sono dunque la luce (e l'umettazione nei piani più esposti) per la scuola francese e l'idrodinamismo per la scuola austriaca. In entrambi i casi, non è la

I piani del benthos fitale nella zonazione di
Pérès e Picard

Piano Sopralitorale: è raggiunto solo dagli spruzzi del moto ondoso e dalle onde più alte. È sottoposto quindi alla massima intensità luminosa e ad una emersione continuativa, di conseguenza mantenere l'umidità è il principale problema. Per questo motivo, sui fondali rocciosi molti organismi hanno conchiglie protettive, mentre sui fondali sabbiosi molte specie sono in grado di infossarsi per trovare condizioni più stabili.

profondità a determinare le specie che è possibile trovare, ma le condizioni caratteristiche dell'area. Ciò significa che, se consideriamo la luce come fattore determinante, in aree ad alta torbidità è possibile identificare associazioni bentoniche a profondità anche molto minori di quanto non ci si aspetti in aree a bassa torbidità. Allo stesso modo, se prendiamo in considerazione l'idrodinamismo, è possibile aspettarsi che, in aree sottoposte a clima ondoso intenso, specie altrove superficiali vengano rinvenute a profondità maggiori.

Ovviamente, non sembra realistico considerare un sistema di zonazione infallibile ed uno scorretto, poiché l'osservazione delle biocenosi bentoniche dimostra che la composizione specifica, e la relativa abbondanza, sono determinate da una combinazione dei due fattori, ai quali, per altro, sarebbe corretto aggiungere anche altri parametri, come ad esempio il tasso di sedimentazione.

I piani del benthos fitale nella zonazione di
Pérès e Picard

Piano Mesolitorale: a questo piano corrisponde la zona intertidale. Tale piano è popolato di organismi in grado di tollerare le maggiori escursioni nelle condizioni ambientali, poiché sono sommersi o emersi in base ai cicli delle maree. In questa fascia, inoltre, gli organismi associati devono aver sviluppato anche soluzioni evolutive che li rendono adattati all'azione consistente delle onde, particolarmente intensa in questa zona.

Se si osserva la successione delle biocenosi e delle loro facies lungo un gradiente verticale, si osserva come, su uno stesso substrato e a parità di radiazione luminosa incidente, sia proprio il regime idrodinamico a determinare la tipologia di associazione che è possibile rinvenire. L'ultima frase può essere facilmente invertita per affermare che, su uno stesso substrato sottoposto allo stesso regime idrodinamico, si osserva come sia la luce a determinare la tipologia di associazione che è possibile rinvenire. In

conclusione, è importante sottolineare come i due schemi siano spesso sovrapponibili, anche perché sviluppati sulla base dell'osservazione sperimentale delle associazioni biologiche a cui si fa riferimento, alla loro composizione ed alla loro distribuzione in natura, prima che in un modello. Inoltre, aiuta tenere presente che, per quanto diversi possano sembrare, i due approcci sono basati sulla distribuzione di due forme diverse dello stesso motore: l'energia.

Sarà dunque la finalità dello studio, le condizioni specifiche di un'area o perfino i dati a disposizione a determinare la scelta del sistema di zonazione.

L'approccio seguito in questo lavoro si rifa alla scuola francese di Pérès e Picard, alimentata negli anni da ecologi come Charles François Boudouresque ed Eugenio Fresi. Riprendendo il lavoro di questi ultimi (Boudouresque e Fresi 1976) I motivi del successo del sistema di zonazione di Pérès e Picard, sono essenzialmente tre:

I piani del benthos fitale nella zonazione di
Pérès e Picard

Piano Circalitorale: si estende dal limite inferiore del piano infralitorale fino al limite fissato dalla completa scomparsa di tutti gli organismi fotosintetici per il progressivo estinguersi della luce. Il substrato disponibile è solitamente fangoso o costituito da roccia organogena.

- la natura dichiaratamente biologica del criterio di classificazione
- l'indipendenza nei confronti delle situazioni locali
- la chiarezza e la semplicità della terminologia

A tali considerazioni generali, va aggiunto il motivo specificamente alla base della scelta per il presente lavoro. Il motivo principale

I piani del benthos fitale nella zonazione di
Pérès e Picard

Piano Infralitorale: tale piano si estende dal limite inferiore del mesolitorale, in cui si trovano le specie vegetali che non possono tollerare emersioni prolungate, fino alla profondità di compensazione di fanerogame ed alghe fotofile. È il piano più eterogeneo della piattaforma continentale ed ospita di conseguenza il più alto numero di biocenosi tra tutti i piani.

consiste nel fatto che in questo lavoro si tratta di sistemi costieri e dei relativi servizi ecosistemici. È sembrato impossibile affrontare tale discorso senza mettere alla base le osservazioni sulla produzione primaria bentonica, cardine diretto o indiretto, come si vedrà in seguito, di molti dei servizi ecosistemici effettivamente forniti dagli ecosistemi. Risulta evidente che, se si tiene in tale considerazione il

ruolo della produzione primaria a livello di sistema, lo schema di zonazione basato sulla penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua soddisfa maggiormente le necessità operative di questo lavoro.

Per gli scopi di questa tesi, e poiché l'argomento è stato trattato altrove in maniera estremamente approfondita, non verrà fatta in questa sede una trattazione complessiva della suddivisione dei piani bentonici di Pérès e Picard. Un quadro di riferimento dei piani bentonici viene comunque fornito nei Box precedenti. Quello che qui interessa maggiormente è l'uso pratico che è possibile fare di tale sistema, ovvero l'utilizzo della biocenosi bentonica come strumento di lavoro.

2.1.2 Sistema di classificazione delle biocenosi bentoniche come strumento di lavoro

Al di là della scelta del sistema di zonazione più adatto allo specifico caso di studio, una classificazione di questo tipo non è né una speculazione intellettuale fine a sé stessa, né tanto meno un esercizio di stile per ecologi. *L'importanza di un sistema di zonazione è di natura essenzialmente pratica, di comodità di classificazione, che non per questo ha un puntuale riscontro nella realtà. Un sistema di zonazione deve pertanto essere considerato come uno strumento di lavoro, non come una finalità.*

L'ultima frase è una citazione integrale da Boudouresque e Fresi (1976) che spiega, con grande sintesi e grande significato, l'utilità effettiva di un sistema di zonazione del benthos.

I sistemi naturali, in quanto integrazione tra la componente abiotica e la componente biotica dell'ambiente, sono il risultato di numerose forzanti, i cui effetti possono essere sommati, moltiplicati, annullati o perfino mascherati. Tale complessità è ancora più marcata quanto si arriva allo studio dei sistemi costieri, punto di incontro tra ambienti terrestri e marini, in cui i gradienti fisici tendono ad essere particolarmente intensi. In questa situazione si osserva una grande diversità di ambienti che, solitamente, corrisponde ad una grande ricchezza in termini di risorse e capitale naturale. In questo contesto, la conoscenza e lo studio dei sistemi naturali costieri risulta avere un'importanza decisiva, sia quando si tratta di conservazione sia quando si tratta di sfruttamento delle risorse per il benefit dell'uomo.

Tenendo a mente tali considerazioni, qual è dunque l'importanza di un sistema di zonazione del benthos? La vita bentonica è quella che, più di ogni altra, è intimamente legata alle condizioni

specifiche di un'area e che, quindi, più di tutte può fornire informazioni sullo stato ecologico e sull'evoluzione delle condizioni ambientali specifiche. La comunità bentonica di un'area specifica è sottoposta a specifici range delle forzanti principali come, ad esempio, la penetrazione di luce, l'idrodinamismo, il tasso di sedimentazione, la disponibilità di nutrienti e sostanza organica. L'insieme delle specie che si insediano in quel preciso ambiente, la biocenosi bentonica, è dunque il frutto della combinazione di tali fattori (biotopo). Quando tali fattori mutano, nel lungo o nel breve periodo, determinano delle modificazioni, più o meno consistenti, nella composizione delle specie presenti e nella loro relativa abbondanza.

Tale diversità di condizioni nel determinare la presenza di una biocenosi rispetto ad un'altra fa sì che risulti difficile stabilire delle regole di classificazione univoche ed indipendenti dalle condizioni locali. Ciò, di conseguenza, rischierebbe di rendere ogni lavoro di valutazione degli ecosistemi marini costieri isolato rispetto agli altri. La zonazione del benthos, così come descritta in precedenza, fornisce invece la possibilità di stabilire delle regole generali che non siano dipendenti dalle specifiche condizioni locali. Fornisce la possibilità di astrarre i concetti basati sull'osservazione di alcune specificità ed applicarli a situazioni apparentemente diverse. Se consideriamo ad esempio la zonazione basata sulla penetrazione della luce, le condizioni base per l'instaurarsi di una biocenosi rispetto ad un'altra sono punti fermi, nel senso che una biocenosi delle alghe fotofile, ad esempio, si instaura solamente in determinate condizioni di luce e di substrato. In Adriatico, determinate condizioni di luce e di substrato possono presentarsi ad un'elevata distanza dalla costa e ad una bassa profondità, mentre in prossimità di un'isola del Tirreno, le stesse condizioni possono essere osservabili a profondità molto maggiori ed a distanza minima dalla linea di riva. Quindi, sarà possibile che una stessa biocenosi sarà ritrovata in posizioni diverse, pur mantenendo alla base gli stessi equilibri e gli stessi processi.

Riprendendo il discorso iniziale sulla complessità dei sistemi costieri, appare necessario un sistema che, con le dovute approssimazioni, permetta di descrivere un ambiente e confrontarlo con altri, così da ottenere informazioni anche senza iniziarne lo studio ogni volta dalle basi. Il sistema di zonazione del benthos, e quello di Pérès e Picard in particolare, permette appunto di effettuare studi ecologici partendo da costruzioni valide a livello di processi, dunque indipendenti dalle condizioni specifiche di un sito rispetto ad un altro. I processi e le condizioni ecologiche alla base della presenza di una biocenosi rispetto ad un'altra sono validi indipendentemente dalla sua posizione geografica, profondità o distanza dalla costa.

È in questo senso che la biocenosi bentonica viene definita dagli autori come uno strumento di lavoro, ovvero per la sua capacità di produrre informazioni a prescindere dalla sua posizione: se è

presente una biocenosi sono inevitabilmente presenti determinate condizioni ambientali. Quindi, se è possibile individuare le specie caratteristiche di una biocenosi, è possibile conoscere alcune delle condizioni specifiche del sito.

In aggiunta, poiché, come detto, le condizioni ambientali possono variare grandemente con le caratteristiche del sito in cui si trovano, le biocenosi sono suddivise in diverse facies, a seconda delle specie di riferimento del popolamento, il quale può risultare dominato da alcune specie rispetto ad altre. Dunque l'abbondanza e la composizione in specie di una biocenosi può variare a seconda delle condizioni ambientali, non solo tra sito e sito, ma anche, ed è questa la grande utilità operativa, tra momenti diversi nello stesso sito.

Facciamo un esempio specifico. Supponiamo che, all'interno di un'unità fisiografica, in una zona vengano costruite delle opere di protezione costiera, come dei pennelli perpendicolari. Il trasporto sedimentario nella zona adiacente potrà subire delle modificazioni e, con esso, il tasso di sedimentazione dell'area, che potrebbe risultare inferiore. Se tale variazione non è tale da modificare sensibilmente il tasso di penetrazione della luce, il tasso di sedimentazione sarà la variabile principale. In questo caso, pur rimanendo invariata la biocenosi, sarà probabile che vari la dominanza delle specie al suo interno e, con essa, la loro relativa abbondanza. Gli organismi in grado di tollerare meglio la deposizione di sedimento saranno favoriti dalle condizioni ambientali sugli organismi che hanno bisogno di maggiore ossigenazione. Quindi, se la qualità e l'abbondanza delle specie che compongono una biocenosi bentonica di un sito specifico sono osservate dopo un intervallo di tempo, la loro variazione fornirà informazioni sulle modifiche dei fattori ambientali che si sono verificate in quella zona.

Dunque la biocenosi bentonica è correttamente considerata uno strumento di lavoro, sia perché permette di conoscere molte delle informazioni ambientali specifiche delle diverse zone a partire dalla lista di specie, sia perché permette di valutare nel tempo le variazioni dei parametri ambientali di un sito particolare.

2.1.3 La biocenosi come unità spaziale di riferimento

Stabilita l'importanza della biocenosi bentonica come strumento di lavoro negli studi sugli ambienti marini costieri, si definisce ora nello specifico il suo ruolo nel presente lavoro.

Quando si realizza una carta, l'obiettivo è descrivere un'area sulla base dell'informazione disponibile ed è quindi necessario trovare il criterio con il quale suddividere la superficie che deve essere rappresentata. Si deve identificare una “tipologia” che, pur con le relative differenze nei valori, copra tutta la superficie interessata. La variazione dei valori assoluti della variabile presa in esame, deve poter essere cartografabile ed esplicita per ogni punto dell'area in questione. Nel presente lavoro, il livello informativo principale che viene prodotto, ovvero la fornitura di benefit ecosistemici da parte degli ecosistemi marini costieri, non è espresso per variazione graduale, gradiente, lungo l'intero territorio. Viene invece identificata una unità spaziale di riferimento che possiede in sé stessa informazioni precise. Tale approccio può risultare a volte un po' schematico, ma permette di mostrare una grande quantità di informazione per aree specifiche, senza rischio di rendere troppo complesso il lavoro cartografico. Inoltre, determinati benefit ecosistemici sono forniti solamente da determinate biocenosi e, in questo caso, è necessario che l'informazione non abbia confini sfumati o interpolati, ma che sia netta e precisa. Molti confini tra biocenosi, soprattutto nell'area in questione, sono confini netti, rigorosi, spesso legati a variazioni di substrato (es. roccia-sabbia) o di profondità. La separazione tra le due condizioni deve essere univoca e l'informazione fornita deve esserlo di conseguenza.

Per gli scopi di questo lavoro è stata scelta come unità territoriale di riferimento la biocenosi bentonica. Per usare un termine della geografia terrestre, la biocenosi bentonica è la *copertura del suolo* del fondale marino, ovvero l'unità spaziale che porta l'informazione rilevante per questo studio. In questo senso, è stata utilizzata come elemento cardine nella costruzione della carta

La biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento

La biocenosi bentonica è stata scelta come elemento base nella costruzione della carta per motivi ecologici e cartografici:

- intima relazione con il fondale dell'area
- importanza ecologica per le comunità pelagiche e demersali
- eccellente indicatore delle condizioni ambientali
- eccellente registratore delle variazioni ambientali
- unità rilevante di copertura del “suolo”
- stabilità nel tempo (variazione di facies)

2.2 Studi effettuati e dati disponibili

Nel corso degli ultimi 35 anni gli studi sulla diversità biologica nell'area di studio sono stati numerosi. Sono state svolte indagini ambientali sia di caratterizzazione ecologica dell'area, sia come monitoraggio pre e post-operam relativo ai numerosi lavori infrastrutturali relativi alle opere portuali ed energetiche. Il porto di Civitavecchia ha subito diversi lavori di espansione, allungamento della diga foranea e costruzione di nuove banchine, mentre per la centrale ENEL sono stati effettuati lavori di riconversione a carbone e costruzione del molo carbone all'interno della Darsena Energetica Grandi Masse (tutt'ora incompiuta, ma con studi ambientali già effettuati). Tutte queste opere hanno comportato studi di impatto ambientale che hanno incluso una caratterizzazione dei popolamenti bentonici dell'area. In aggiunta sono stati effettuati lavori di caratterizzazione anche a scopo conoscitivo e per la delimitazione a valutazione dei Siti di Interesse Comunitario, generalmente commissionati da, o in collaborazione con la Regione Lazio.

Nella Tabella 2-1 vengono riportati i principali studi di caratterizzazione ecologica effettuati nell'area

Studio	Anno
Chimenz C., Contessini A. Benthic population of Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Mollusca. - Descriptive analysis. Nova Thalassia, 8:21-35.	1986
Chimenez C. Benthic population of Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Sipuncula. Nova Thalassia, 10: 45-51.	1993
Chimenz C., Gusso C., Gravina MF, Maggiore F.R. Temporal variations in soft bottom benthic communities in Central Tyrrhenian Sea (Italy). Archivio di Oceanografia e Limnologia 22:175–182.	2001
Rivosecchi Taramelli E., Chimenz C., Ardizzone G.D., Fornaseri A.V., Gioia L. – Caratteristiche delle biocenosi macrobentoniche delle coste laziali. In: Il Mare del Lazio: Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti ed apporti continentali. Università degli Studi di Roma “La Sapienza” – Regione Lazio, Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità, 147-217.	1996

Fresi E., Gambi M.C., Focardi S., Bargagli R., Baldi F., Falcai L. Benthic community and sediment types: a structural analysis. P.S.Z.N.I.: Mar. Ecol., 4(2): 101-121.	1983
La Porta B., Targusi M., Lattanzi L., La Valle P., Paganelli D., Nicoletti L. Relict sand dredging for beach nourishment in the central tyrrhenian sea (Italy): effects on benthic assemblages. Marine Ecology, 30 (Suppl. 1):97-104.	2009
Taramelli E., Chimenez C. Effects of thermal pollution on the benthic population at Torvaldaliga (Civitavecchia, Roma). MAP Technical Reports Series n. 40: 63-82.	1990
Taramelli E., Venanzangeli L. Benthic population in Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Crustacea Amphipoda. Oebalia, XVI, N.S.:49-67.	1990
Compagnia del Porto di Civitavecchia. Quadro di Riferimento Ambientale – SIA Darsena Energetico-Grandi Masse (Dec./VIA/2935 del 22/12/1997)	2000
A.T.I. Quadro di Riferimento Ambientale – SIA Piano Regolatore Portuale 2004 – Opere Strategiche	2004
Università degli Studi della Tuscia - Nuova Indago S.r.l. - Opere strategiche per il Porto di Civitavecchia - 1° Lotto funzionale: Prolungamento Antemurale Colombo, Darsena Servizi e Darsena Traghetti. Monitoraggi pre-operam e lavori in corso.	2011 - <i>in corso</i>

Tabella 1-1. Sintesi dei principali lavori di caratterizzazione del benthos nell'area di studio

2.3 Dati raccolti

Oggi è dunque possibile disporre di una serie di dati biologici consistente e di grande utilità e ciò permette di effettuare misure *in situ* principalmente per confermare gli studi e per verificare eventuali modifiche nella composizione e nell'abbondanza delle specie. Alcune delle condizioni ecologiche che selezionano le biocenosi non cambiano nel tempo, o comunque vanno incontro a modificazioni di minore entità, mentre altre possono subire variazioni più consistenti. Ad esempio, la tipologia di substrato non varia in maniera consistente nel tempo, quello che può succedere è una variazione della granulometria del materiale nelle zone di fondo mobile. Tali modifiche possono non essere tanto consistenti da far variare la biocenosi che popola un'area (anche se non è un

processo da escludere a priori), ma sono sicuramente in grado di generare modifiche nella dominanza del popolamento, ovvero possono portare ad un'alternanza delle facies. D'altro canto, un parametro come la penetrazione della luce può variare localmente in maniera anche molto consistente, se in presenza di attività antropiche per opere costiere. In questo caso, verificatosi numerose volte nell'area, per determinati periodi di tempo e per aree precise, le condizioni che influenzano l'estinzione della luce lungo la colonna d'acqua possono variare in maniera anche molto consistente. Questa situazione può determinare episodi di sofferenza di alcune biocenosi ed innescare fenomeni regressivi, a volte difficilmente contrastabili (es. praterie di Posidonia).

Nel caso specifico della nostra area di studio, la variazione nel bilancio sedimentario è il fattore che, nell'area, può aver determinato le maggiori variazioni nella composizione ed abbondanza specifica. Tale fenomeno è dovuto sia alla variazione degli apporti solidi dai fiumi, sia alla realizzazione di opere di diversa entità all'interno dell'area. In entrambi i casi si fa riferimento principalmente a fattori antropici. La portata solida dei fiumi è cambiata sia in termini qualitativi che quantitativi (Scanu, 2012). Alla foce del Fiume Arno, il principale fiume dell'area per apporto, si è osservata una consistente riduzione dell'apporto sabbioso ($>63\mu\text{m}$), parzialmente sostituito da un incremento nella frazione fine (silt e argille). In generale si è comunque osservata una leggera riduzione dell'apporto complessivo. Al tempo stesso, nell'area sono stati effettuati diversi lavori che hanno contribuito ad una variazione del tasso di sedimentazione, soprattutto dragaggi e ripascimenti. Solo negli ultimi 15 anni sono stati effettuati lavori per l'espansione del Porto di Civitavecchia, la riconversione a carbone della centrale ENEL con costruzione delle relative darsene, il ripascimento di vaste aree sabbiose e la costruzione di opere di difesa costiera. Tutti questi lavori, ed in particolare i consistenti lavori di dragaggio per il porto e per la centrale, hanno comportato la movimentazione di enormi quantità di materiale di differenti granulometrie, che si è rideposto in conseguenza del regime idrodinamico agente. Questi hanno portato alla variazione temporanea, ma spesso consistente di alcuni parametri chiave a livello ecologico:

- tasso di sedimentazione: modifica sia della qualità del sedimento superficiale, con una generale riduzione della frazione sabbiosa, soprattutto nella parte settentrionale dell'area, ed un leggero ma osservabile spostamento nella frazione fine dalle argille al silt
- penetrazione della luce: alcuni periodi sono stati caratterizzati da considerevoli incrementi del materiale in sospensione, soprattutto fine, con conseguente riduzione, localmente, della penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua

- regime idrodinamico: è variato consistentemente in prossimità della costruzione delle opere, darsene o opere di difesa costiera. Tuttavia, se consideriamo come periodo di riferimento gli ultimi 35 anni, ovvero il periodo in cui è stata effettuata la maggior parte degli studi a disposizione, è possibile osservare anche un incremento dell'altezza media delle mareggiate estive e degli eventi estremi estivi su scala di bacino.
- urbanizzazione della costa: nell'area si è osservata una consistente urbanizzazione della costa, con conseguente cementificazione, che ha portato ad una modifica degli equilibri costieri. In particolare sono le praterie di *Posidonia oceanica* a subire maggiormente le conseguenze di questa azione antropica.

In considerazione di ciò, e visti i numerosi lavori effettuati nell'area, è necessario mantenere aggiornate le informazioni sui popolamenti bentonici, anche per monitorare quali siano gli effetti di tali lavori sulla diversità ecologica ed il relativo capitale naturale. Per questo motivo, il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina ha effettuato lavori di campionamento e monitoraggio delle comunità biologiche nell'area, sia a scopo scientifico, sia come monitoraggio ante-operam e post operam in relazione ai lavori di ampliamento del porto di Civitavecchia nell'ambito delle “Opere strategiche per il Porto di Civitavecchia”- 1° Lotto funzionale: *Prolungamento Antemurale Colombo, Darsena Servizi e Darsena Traghetti*.

A tale proposito è stato effettuato un campionamento strategico del benthos di fondo mobile e delle praterie di *Posidonia oceanica*. I dati raccolti sono stati utilizzati per validare gli studi precedenti ed aggiornare, quando necessario, la biogeografia dei fondali dell'area.

I dati originali utilizzati in questo lavoro si riferiscono al benthos dei fondi mobili ed alle praterie di *Posidonia oceanica*. Si riportano di seguito i piani di campionamento per le indagini *in situ*.

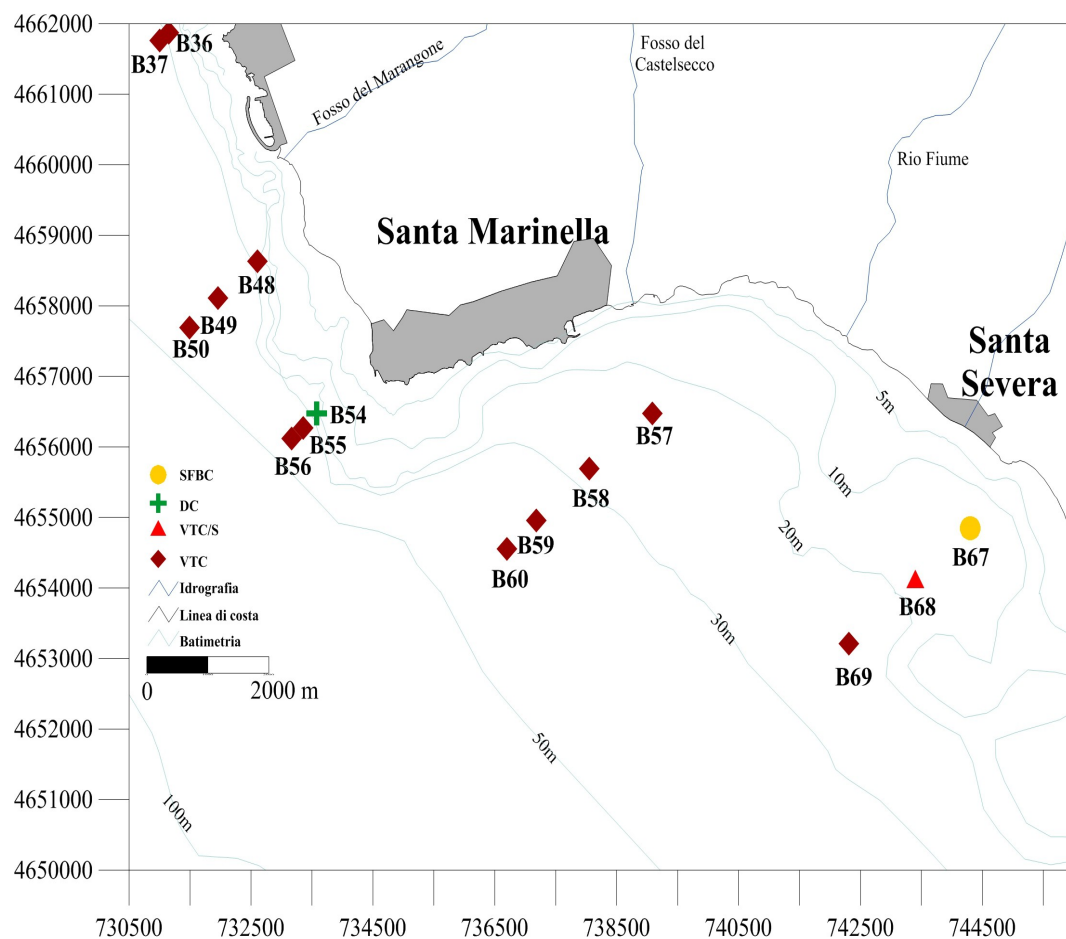


Figura 2-1. Piano di campionamento del benthos di fondo mobile

Per quanto riguarda invece la *Posidonia oceanica*, è stato effettuato un monitoraggio in diverse stagioni ed in diversi anni. Il monitoraggio è ancora in corso per valutare l'andamento dello stato di salute nel tempo, ma le condizioni generali delle aree monitorate sono ormai note.

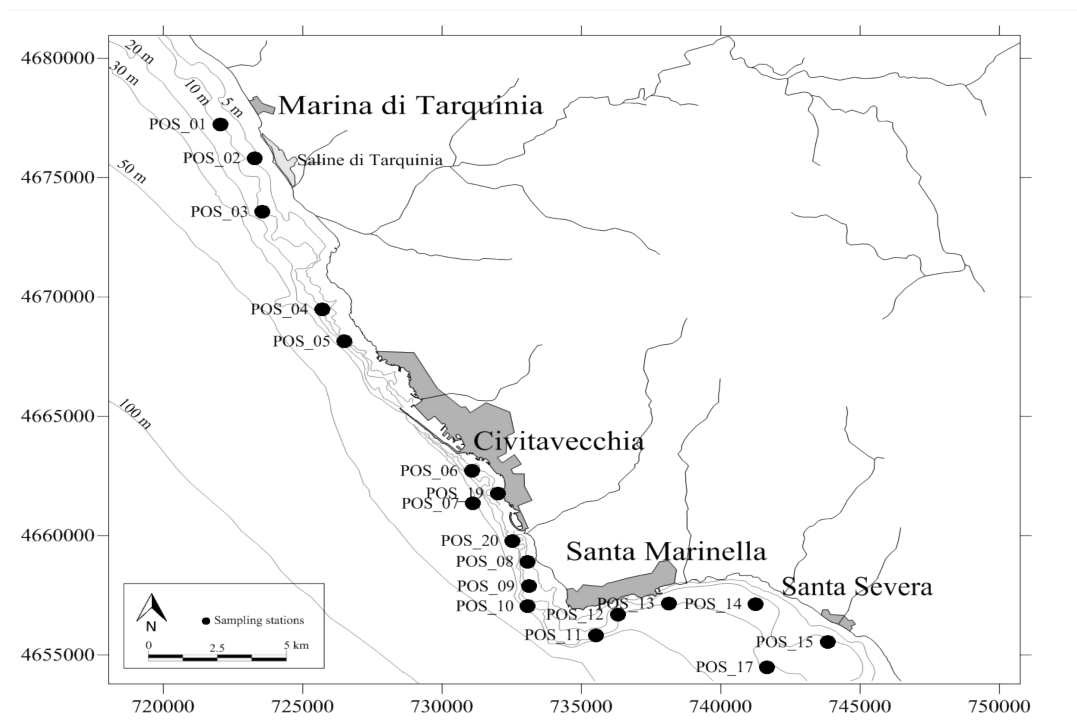


Figura 2-2. Piano di campionamento della *Posidonia oceanica*

2.4 Biocenosi bentoniche nell'area di studio

Sulla base delle informazioni raccolte, nell'area sono state identificate le biocenosi bentoniche che sono descritte di seguito. In associazione ad ogni biocenosi viene presentata la lista di specie caratteristiche ed accessorie

Il dominio bentonico dell'area è caratterizzato da una elevata eterogeneità dei fondali e dei substrati, spesso molto evidente anche a livello locale. In alcune aree risulta difficile identificare biocenosi rigorosamente definite, in quanto il substrato di riferimento è costituito da un fitto mosaico tipologico. È quindi comune incontrare mosaici composti da sabbia e roccia, a volte in associazione con matte morte e fasci isolati di *P. oceanica*, o substrati duri intervallati da catini di sabbia. Tale eterogeneità della componente abiotica comporta una diversità biologica notevole, soprattutto per quanto riguarda i popolamenti delle aree miste a bassa profondità.

Distribuzione delle biocenosi bentoniche nell'area di studio.

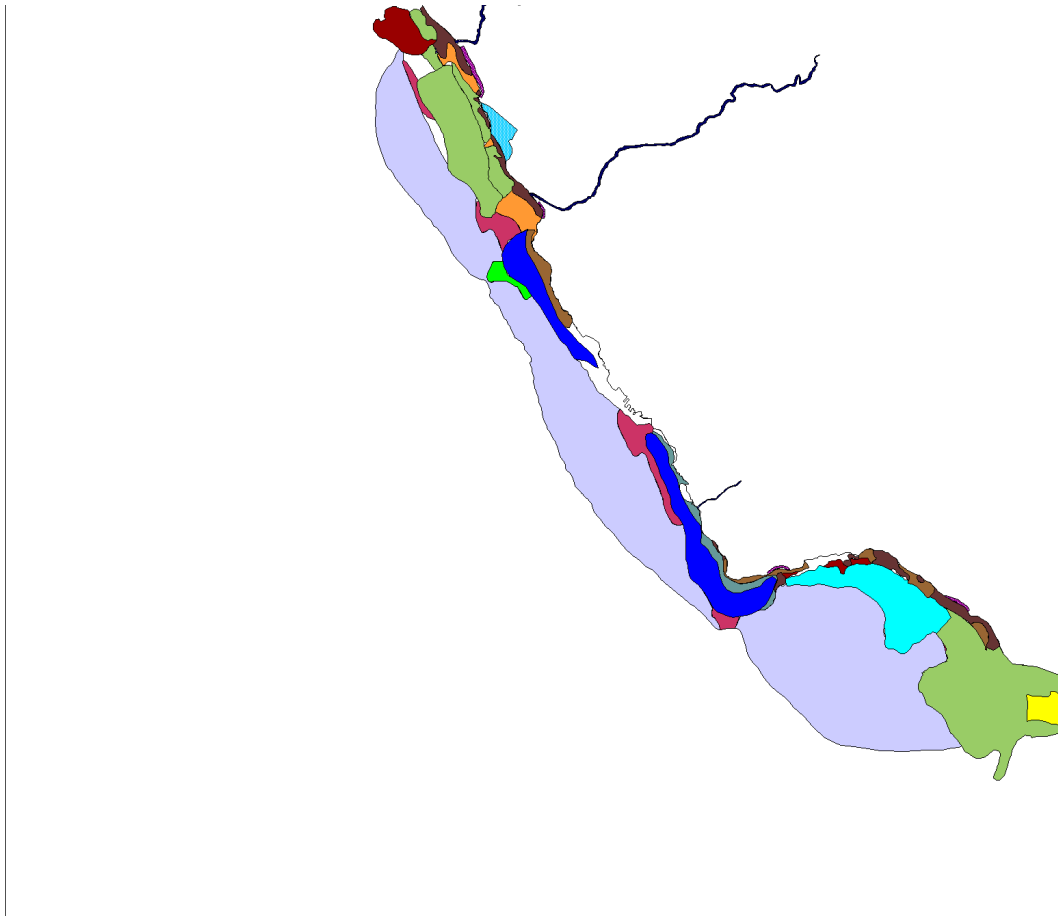


Figura 2-3. Distribuzione spaziale delle biocenosi bentoniche

Biocenosi	Legenda
Sabbie Grossolane	Dark Brown
Sabbie Fini Ben Calibrate	Orange
Vasi Terrigeni Costieri	Light Grey
Transizione tra Sabbie Fini e Vasi Terrigeni Costieri	Pink
Praterie di <i>P. oceanica</i>	Yellow
Detrito Costiero	Green
Alghe Fotofile Infralitorali	Brown
Posidonia su roccia (copertura: 44-53%)	Blue
Matte morta e Posidonia (copertura: 40%)	Cyan
Mosaico di Sabbia, Matte morta, Rocce organiche e Posidonia (copertura <30%)	Light Green
Mosaico di Sabbia, Matte morta e Posidonia (copertura <30%)	Red

Tabella 2-2. Principali biocenosi bentoniche individuate

Conclusioni

Attraverso una rassegna dell'evoluzione dell'approccio ecologico allo studio del benthos costiero mediterraneo è stato fornito il fondamento logico alla base della scelta della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento nella costruzione della Carta di Uso del Mare. Oggi è possibile disporre di oltre 50 anni di letteratura sui popolamenti bentonici del Mediterraneo, ciò garantisce una grande accuratezza nell'identificazione delle biocenosi presenti. Il sistema di classificazione selezionato qui è quello di Pérès e Picard, che considerano la penetrazione della luce come principale elemento di selezione. La approfondita conoscenza del dominio bentonico mediterraneo rende quindi il sistema di classificazione uno strumento potente nella gestione e nella programmazione della costa. Il sistema di classificazione del dominio bentonico, infatti, permette di identificare l'ecosistema di una data area attraverso l'identificazione di specie caratteristiche ed accessorie. Ciò consente di desumere la vasta serie di informazioni sui parametri ambientali come idrodinamismo, penetrazione della luce, tasso di sedimentazione o potenziali sorgenti di disturbo, nonché la loro variazione nel tempo, in maniera efficace ed accurata. Il sistema di classificazione delle biocenosi bentoniche, dunque, risulta ancora più utile quando lo scopo con cui si raccolgono le informazioni è guidare una gestione sostenibile degli spazi e delle risorse costiere, poiché permette di pianificare gli usi del mare ed eventuali interventi di conservazione, tenendo nella maggiore considerazione gli effetti diretti ed indiretti delle perturbazioni ambientali.

Per l'area di studio, in particolare, sono stati riassunti i dati prodotti dai principali studi effettuati nell'area ed è stato descritto il lavoro di verifica della biogeografia bentonica attraverso la produzione di dati originali sul benthos di fondo mobile e sulla distribuzione e lo stato di salute della *Posidonia oceanica*. In questo modo è stato possibile aggiornare le carte disponibili in letteratura, ottenendo la base informativa per le valutazioni sui servizi ecosistemici forniti per ogni area lungo la fascia costiera identificata. In conclusione si riporta la carta della distribuzione delle biocenosi bentoniche.

3. I SERVIZI ECOSISTEMICI ED IL CAPITALE NATURALE

Unfortunately, relative to other forms of capital, ecosystems are poorly understood, scarcely monitored, and (in many cases) undergoing rapid degradation and depletion. Often the importance of ecosystem services is widely appreciated only upon their loss

*Gretchen C. Daily
The Value of Nature and the Nature of Value*

Introduzione

L'economia ecologica, la disciplina scientifica che cerca di calcolare il valore economico dei sistemi naturali, nel corso degli anni ha prodotto poche valutazioni concrete e complessive, che includano cioè tutti gli aspetti degli ecosistemi che effettivamente svolgono un ruolo nel produrre benefit per l'uomo. Tuttavia, tale disciplina ha avuto un grande impatto sul mondo dell'ecologica applicata concentrando l'attenzione sui servizi ecosistemici forniti dagli ecosistemi al benessere dell'uomo. L'approccio che utilizza i beni e servizi forniti dagli ecosistemi sta riscuotendo crescente successo nel guidare politiche di gestione degli spazi e delle risorse naturali, tuttavia ancora non c'è uniformità nella definizione di cosa si intenda concretamente per servizio ecosistemico. L'obiettivo di questo capitolo è la selezione di una definizione utile allo specifico lavoro di valutazione di ecosistemi marini costieri qui presentato, e la descrizione spaziale dei servizi ecosistemici forniti nell'area di studio. Nell'ultimo paragrafo viene presentata una valutazione economica dei alcuni dei benefit ecosistemici forniti in quest'area.

3. Economia ecologica

L'economia ecologica è una scienza interdisciplinare che si occupa di quantificare il valore degli ecosistemi da un punto di vista economico, a partire da principi ecologici. In pratica è uno strumento che permette valutare l'importanza ed il pregio di un ecosistema attraverso un parametro immediatamente comprensibile al di fuori del mondo scientifico. Tuttavia non deve essere considerata una branca dell'economia convenzionale (Martinez et al. 1987) .

“L'economia convenzionale non riesce a comprendere a fondo l'importanza delle scale,

ovvero il fatto che viviamo su un pianeta finito o che l'economia, in quanto sub-sistema, non può crescere indefinitamente all'interno di un sistema contenitore più grande. Esistono dei limiti biofisici. La visione mainstream non riconosce questi limiti, o comunque crede che la tecnologia possa risolvere problema di vincolo delle risorse. La questione non è che noi non possiamo continuare la condizione umana. Ma dobbiamo riconoscere che l'ambiente crea limiti e vincoli e che noi possiamo definire uno spazio operativo sicuro, all'interno del quale possiamo fare il meglio che possiamo.” L'economia ecologica ha, dunque. Tre obiettivi interconnessi: *“una scala sostenibile, una distribuzione equa ed una allocazione efficiente”* (Robert Costanza in un'intervista del 2010 rilasciata a Yale Insight)

L'economia ecologica è, quindi, una disciplina che, partendo dalla conoscenza dei processi ecologici, cerca di dare un valore monetario agli ecosistemi. Esiste un punto di unione tra le due scienze, che permette uno scambio di informazioni offrendo un terreno comune su cui dialogare: i servizi ecosistemici.

Per introdurre brevemente il concetto di servizi ecosistemici, viene qui utilizzata la definizione prodotta all'interno del Millennium Ecosystem Assessment del 2005, che è la più sintetica, immediata ed in parte semplicistica che ne è stata data: *i servizi ecosistemici sono i benefit che le persone ottengono dagli ecosistemi*. Gli ecosistemi sono un complesso sistema costituito da piante, animali, microorganismi e l'insieme dei fattori abiotici che ne selezionano le specie. Da un punto di vista antropocentrico, l'uomo dipende, per il proprio benessere, dalla possibilità di sfruttare alcuni processi ed alcune risorse che queste associazioni ecologiche forniscono. Tali processi e risorse, servizi ecosistemici, uniti ai valori intrinseci, come la biodiversità, costituiscono nell'insieme il Capitale Naturale.

Un esempio è l'ossigeno che respiriamo. Gli organismi fotosintetici producono l'ossigeno necessario alla vita di tutti gli organismi, quindi anche l'uomo. Allo stesso tempo, il processo che termina con il rilascio di ossigeno implica la sottrazione di anidride carbonica al sistema in cui avviene. Quando la CO₂ viene immobilizzata in strutture biologiche a lungo termine se ne osserva un sequestro netto che, in accordo con la conoscenza delle dinamiche climatiche globali, costituisce un beneficio (*benefit*) netto per il benessere dell'uomo.

Questo è solo l'esempio più ovvio di quale è il ruolo degli ecosistemi nella vita degli organismi e dell'uomo. Tuttavia, esistono complesse relazioni che ne regolano gli equilibri e che, alla fine, determinano la tipologia, la qualità ed i flussi delle risorse che l'uomo può sfruttare. È anche per questo motivo che l'economia ecologica non è una branca dell'economia tradizionale: le complesse relazioni e gli equilibri che determinano le risorse sono processi prettamente ecologici. I servizi ecosistemici ed il loro studio sono la valutazione antropocentrica di processi che sono

esclusivamente ecologici. La loro importanza sta nel convertire una complessa informazione ecologica in una informazione accessibile a tutti, pur mantenendone il carico di complessità e significatività. Questa disciplina ha dunque due obiettivi: diffondere la conoscenza sull'importanza dei sistemi naturali ed indirizzare l'azione politica ed amministrativa di gestione delle risorse e degli spazi naturali. Gli ecosistemi naturali non sono importanti per il loro valore intrinseco o perché stanno regredendo in molte parti del mondo, sono importanti perché permettono all'uomo di vivere e di promuovere il proprio benessere.

Nelle prossime sezioni verrà presentata l'evoluzione del concetto di servizio ecosistemico attraverso i vari autori, verranno descritti nel dettaglio i servizi riconosciuti e, infine, verrà presentata la definizione operativa utilizzata come strumento nel presente lavoro.

3.1 Servizi ecosistemici in letteratura

La definizione di servizi ecosistemici fornita nella sezione precedente è, come detto, una definizione molto immediata ed intuitiva. Tuttavia, quando si passa da una definizione teorica sulla carta a casi reali di valutazione del capitale naturale, tale definizione risulta troppo generica e poco utile ai fini operativi. Per ovviare a ciò, nel corso degli anni sono state date diverse interpretazioni degli stessi concetti, così da facilitare l'applicazione della teoria a fini pratici. In questo paragrafo i concetti più affermati verranno passati in rassegna, così che sia possibile spiegare in seguito la definizione utilizzata in questo lavoro.

3.1.1 The value of the world's ecosystem services and natural capital

Il principale punto di riferimento della lettura in merito ad economia ecologica e servizi ecosistemici è l'articolo pubblicato su Nature da Robert Costanza e un'equipe di 13 ricercatori da 12 diversi istituti di ricerca nel 1997: *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. In questo lavoro viene fatta una raccolta di dati in letteratura e viene assegnato un valore economico alle principali tipologie di ecosistemi a scala globale. I valori sono espressi sia in dollari per ettaro all'anno, sia in senso assoluto, ovvero moltiplicando il precedente valore per gli ettari effettivamente stimati, per ogni tipologia, sul pianeta. L'equipe arriva a calcolare i valori economici degli ecosistemi sulla base di una lista di servizi ecosistemici, che viene riportata in Tabella 3-1

Servizio Ecosistemico	Esempio
Regolazione dei gas	Bilancio di CO ₂ /O ₂
Regolazione del clima	Regolazione gas serra
Regolazione dei disturbi	Protezione da tempeste/piene/siccità
Regolazione dell'acqua	Fornitura di acqua per agricoltura o industria
Fornitura di acqua	Fornitura da specchi d'acqua, riserve ed acquiferi
Controllo dell'erosione e ritenzione dei sedimenti	Prevenzione dalla perdita di suolo
Formazione del suolo	Erosione di rocce da agenti atmosferici ed accumulo dei materiali
Ciclo dei nutrienti	Fissazione di azoto e fosforo
Trattamento dei rifiuti	Trattamento dei rifiuti, controllo degli inquinanti
Impollinazione	Fornitura di organismi impollinatori
Controllo biologico	Controllo delle specie preda da parte dei predatori
Rifugio	Nursery, habitat per specie migratorie
Produzione di cibo	Produzione di pesce, raccolti agricoli
Materiali grezzi	Produzione di legname/foraggio/combustibile
Risorse genetiche	Farmaci, geni resistenti a patogeni
Servizi ricreativi	Eco-turismo, pesca sportiva
Servizi culturali	Valore estetico, artistico, pedagogico, spirituale

Tabella 3-1. Servizi ecosistemici individuati dal gruppo di R. Costanza nel 1997

Raccogliendo grandi quantità di documentazione, gli autori provano a fornire dati sul valore economico degli ecosistemi presi in considerazione. È necessario sottolineare che i diversi ecosistemi non sono stati valutati nel loro complesso, ma solo per i dati reperibili in letteratura. Per esempio, le praterie di fanerogame marine vengono valutate solamente per il loro ruolo nel ciclo dei nutrienti, mentre non viene considerato il loro ruolo nella regolazione del clima o nella protezione dall'erosione. Tuttavia, i valori presentati in questo studio hanno assunto un ruolo talmente importante da essere considerati una pietra miliare dell'economia ecologica. Nel 2014 Costanza pubblica una riedizione del lavoro del '97 aggiornando i dati sul valore economico. Questi valori, presentati in Tabella 3-2, sono stati e sono tuttora utilizzati nella maggior parte degli studi effettuati sul tema. Ciò significa che, ad oggi, la maggior parte dei lavori di valutazione economica degli ecosistemi e del capitale naturale utilizzano i numeri forniti da Costanza.

Biome			Total value per ha (\$/ha/yr)
Marine			1368
	Open Ocean		660
	Coastal		8944
		Estuaries	28916
		Seagrass/ Algae beds	28916
		Coral reefs	352249
		Shelf	2222
Terrestrial			4901
	Forest		3800
		Tropical	5382
		Temperate/ Boreal	3137
	Grass/ Rangelands		4166
	Wetlands		140174
		Tidal marsh/ Mangroves	193843
		Swamp/ Floodplains	25681
	Lakes/Rivers		12512
	Deserts		
	Tundra		
	Ice/Rock		
	Cropland		5567
	Urban		6661

Tabella 3-2. Valore economico degli ecosistemi aggiornato nel lavoro del 2014

3.1.2 L'evoluzione del concetto di servizi ecosistemici

Dal 1997 in poi, si è molto dibattuto sulla corretta definizione del concetto di servizi ecosistemici e, tuttora, non esiste una definizione univoca, che possa essere utilizzata in maniera omogenea nei diversi studi di valutazione. In questa sezione verranno descritti i lavori di definizione presi in maggior considerazione nell'ambito di questo lavoro.

2005 Millennium Ecosystem Assessment

Il Millennium Ecosystem Assessment è un progetto di ricerca promosso dalle Nazioni Unite che ha coinvolto più di 1300 esperti a livello mondiale. Il progetto è stato lanciato con lo scopo di valutare le conseguenze del cambiamento degli ecosistemi, e del loro stato di salute, sul benessere dell'uomo e per costituire le basi scientifiche a supporto delle azioni che è necessario intraprendere

per incrementare la conservazione e l'uso sostenibile dei sistemi naturali e del loro contributo al benessere dell'uomo.

In questo studio viene fornita una delle definizioni di servizi ecosistemici più generale e, per questo, più utilizzata: i servizi ecosistemici sono in benefit che l'uomo riceve dagli ecosistemi.

La precedente affermazione viene definita in maggior dettaglio suddividendo i servizi in 4 categorie: servizi di supporto, servizi di fornitura, servizi di regolazione e servizi culturali. I rapporti tra questi servizi sono descritti in Figura 3-1, tratta dal report di sintesi del progetto

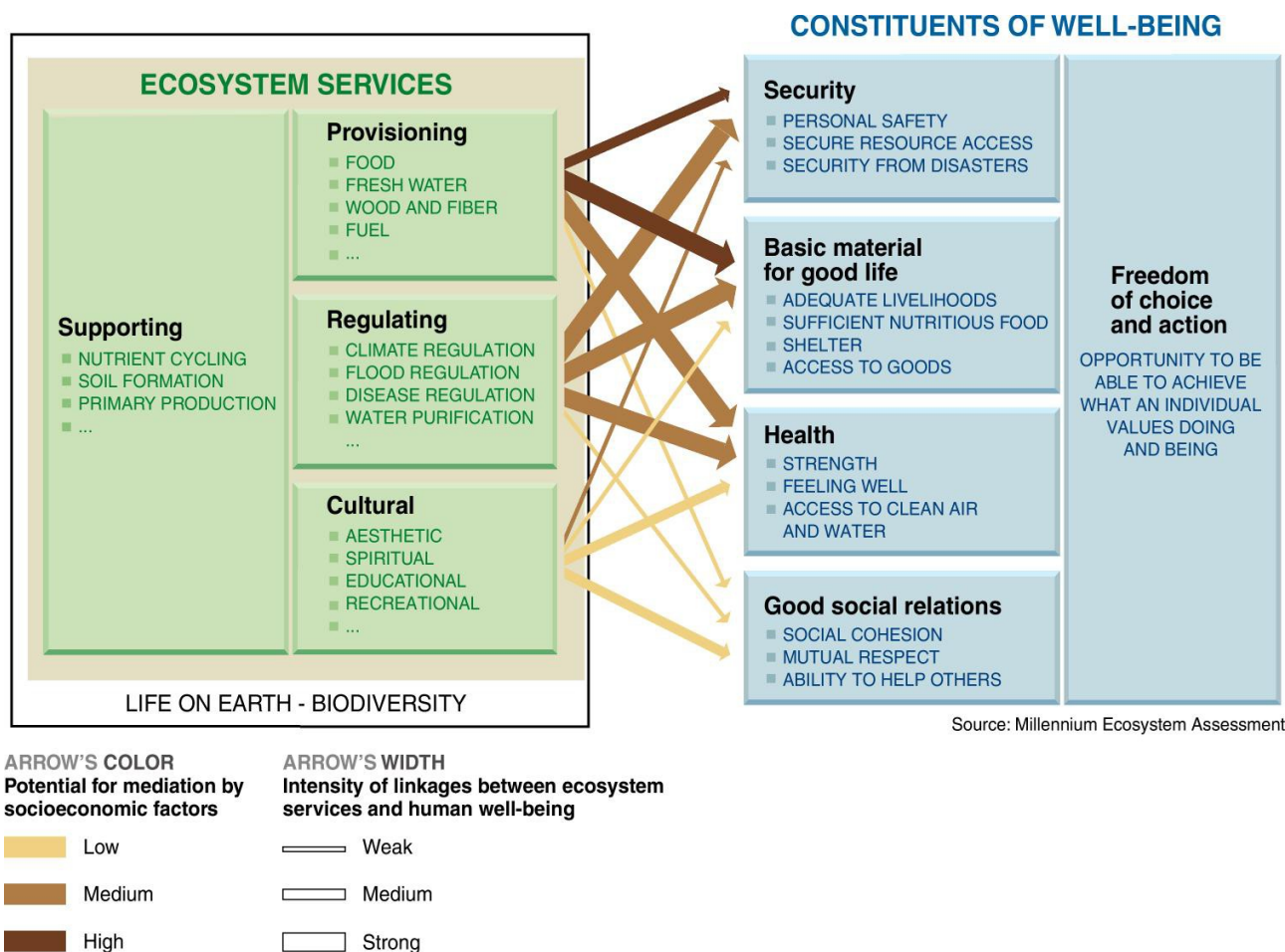


Figura 3-1. Schema teorico per l'identificazione dei servizi ecosistemici in *Millennium Ecosystem Assessment*

Nel 2007 Ken Wallace pubblica un articolo su *Biological Conservation* dal titolo *Classification of ecosystem services: Problems and solutions*, in cui utilizza la stessa suddivisione di servizi utilizzata nel Millennium Ecosystem Assessment, ma muove un passo ulteriore nello sviluppo del concetto. Servizi come l'impollinazione, la regolazione dell'acqua, la fotosintesi e la formazione del suolo “non sono il fine, che il gestore identificherà nella loro giusta posizione. Questi piuttosto sono tutti mezzi (processi) per ottenere il fine (servizi), come la produzione di cibo o di acqua potabile. Ciò significa che il gestore cercherà la gestione dei processi nella misura in cui questi forniscono cibo, fibre o esperienze spirituali etc. in accordo con gli obiettivi generali della sua gestione”.

L'importanza di questa distinzione sta nel fatto che si identifica la trasposizione dell'informazione dal processo ecologico alla base di un servizio al servizio stesso. Chi si occupa della gestione solitamente non ha la competenza ecologica necessaria a comprendere i processi naturali alla base dei benefit ottenuti dai sistemi ambientali. Con la precisazione di Wallace, l'informazione sui processi naturali viene spostata dal processo in sé al benefit derivante. In questo modo si fa sì che i processi, in quanto mezzi, siano tenuti in considerazione anche se, per il gestore, sono “nascosti” all'interno dei fini.

2007 Boyd and Banzhaf

Nel 2007 la rivista *Ecological Economics* pubblica l'articolo *What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units*, scritto da James Boyd e Spencer Banzhaf. In questo lavoro, di approccio molto più economico, gli autori sottolineano che, nella loro visione, i servizi ecosistemici sono delle componenti degli ecosistemi, non processi o funzioni ecologiche. A supporto di ciò, introducono un aspetto che sarà poi la base delle definizioni successive, ovvero la distinzione in servizi intermedi e servizi finali. L'acqua potabile pulita, che viene consumata da una famiglia, che è un servizio finale, è dipendente da una serie di servizi intermedi, come la ritenzione dei sedimenti o il controllo biologico, ma questi servizi intermedi non dovrebbero essere considerati in una valutazione di servizi ecosistemici. La maggior parte delle componenti e delle funzioni di un ecosistema sono prodotti intermedi, nel senso che sono necessari alla produzione dei servizi finali, ma non sono essi stessi servizi finali. In questo modo è possibile evitare di conteggiare più volte uno stesso componente che contribuisce a più benefici finali.

Boyd e Banzhaf, infine, definiscono un altro punto chiave per questo lavoro, ovvero sottolineano che i servizi ecosistemici sono espliciti per aree specifiche. I servizi non sono semplici concetti generali. Ogni area della superficie terrestre ha una copertura caratterizzata da specifici

valori in termini di biotopi e biocenosi, in virtù degli ecosistemi presenti. In base a ciò ogni specifica area fornirà servizi specifici.

È seguendo questo principio generale che, nel presente lavoro di valutazione, viene selezionata la biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento, come descritto nel Capitolo 2

2008 Fisher and Turner

Brendan Fisher e Kerry Turner della University of East Anglia, adattano il lavoro di Boyd and Banzhaf in una lettera all'editore di Biological Conservation del 2008. Gli autori definiscono i servizi ecosistemici come gli aspetti degli ecosistemi che vengono utilizzati (direttamente o indirettamente) per produrre benessere per l'uomo. Sulla base di ciò, individuano in questa definizione tre importanti caratteristiche:

1. i servizi non sono benefit. Un benefit è qualcosa che ha un impatto esplicito sul benessere dell'uomo, come cibo protezione dalle inondazioni etc.
2. i servizi ecosistemici sono ecologici in natura. Le funzioni o i processi degli ecosistemi sono servizi ecosistemici fintanto che l'uomo ne trae beneficio. Questo aspetto è importante perché connette il benessere umano alla natura attraverso gli ecosistemi nel loro complesso, non solo attraverso gli aspetti che hanno diretto impatto
3. i servizi ecosistemici non devono essere utilizzati direttamente. Secondo gli autori, finché dei processi o delle funzioni ecosistemiche hanno un effetto sul benessere dell'uomo, devono essere considerati servizi. L'impollinazione è un servizio ecosistemico poiché è un fenomeno ecologico che noi utilizziamo (indirettamente) per ottenere cibo come benefit.

2008 Costanza

Nel 2008, di nuovo Robert Costanza, della Rubenstein School of Environment and Natural Resources, scrivendo una risposta a Wallace su Biological Conservation del 2008, cerca di fare ulteriore chiarezza al riguardo. Secondo l'autore, a causa della complessità del mondo reale, non possiamo dare una definizione univoca dei servizi ecosistemici. A seconda del caso specifico alcuni servizi possono essere intermedi e/o finali, ma in ogni caso sono tutti mezzi per il benessere dell'uomo. In relazione al caso specifico, deve essere stabilito un framework originale di classificazione.

Nello stesso lavoro, Costanza presenta anche una lista, riportata in Tabella X di quelli che lui

considera i servizi ecosistemici in senso generale.

Regolazione del clima
Sequestro di anidride carbonica
Valore culturale
Regolazione ei disturbi/protezione dallle tempeste
Trattamento dei rifiuti
Impollinazione
Controllo biologico
Habitat/rifugio
Regolazione dell'acqua/proezione dalle inondazioni
Fornitura di acqua
Reolazione dei sedimenti/controllo dell'erosione
Regolazione dei nutrienti
Formazione del suolo
Produzione di cibo
Materiali grezzi
Risorse genetiche
Potenziale ricreativo
Valore culturale/estetico

Tabella 3-3. Servizi ecosistemici identificati da Costanza nel 2008. Questi sono i servizi di riferimento utilizzati per la valutazione effettuata in questo lavoro

I servizi presentati in Tabella 3-3 sono quelli che, dopo un minore lavoro di adattamento, vengono utilizzati nel presente lavoro per la valutazione dei servizi ecosistemici nell'area di studio.

MEA 2005	Wallace 2007	Boyd & Banzhaf 2007	Fisher & Turner 2008	Costanza 2008
Services are benefits people obtain from ecosystem	The definition of services is the one provided in MEA, but there is a distinction: ecological processes are means while ecosystem services are ends	Ecosystem services are ecological characteristics , not ecological functions or processes. To avoid double counting, services are divided into intermediate and final services . Final ecosystem services are components of nature directly enjoyed, consumed or used to yield human well-being. In addition, services are spatially explicit	1) Services are not benefits . 2) Services are ecological in nature . 3) services do not have to be utilized directly . An ecological process can be an intermediate or final service, depending on the typology of resulting benefit	Because of the complexity of the real world, we cannot give a unique definition of services. Some services can be intermediate and/or final, but they all are means to human well-being . Depending on the specific case an original framework has to be set-up

Tabella 3-4. Schema riassuntivo delle definizioni di servizi ecosistemici a cui questo lavoro fa riferimento

3.1.3 La difficoltà di effettuare valutazioni economiche corrette

L'articolo di Costanza del 1997, è stato la vera e propria pietra angolare dei lavori di valutazione in economia ecologica ed i risultati raggiunti, ovvero una quantificazione numerica del valore economico degli ecosistemi, sono stati utilizzati e diffusi senza sosta negli ultimi 18 anni.

Tuttavia si è detto che la quantificazione economica del gruppo di Costanza è basata sui dati reperibili, nel senso che non sono stati prodotti dati originali. In aggiunta, per raggiungere risultati di carattere così generale, è stato necessario effettuare delle approssimazioni. Questo sicuramente non diminuisce il valore di quel lavoro, in quanto l'obiettivo era proprio dimostrare che è effettivamente possibile associare un valore economico agli ecosistemi naturali. La generalità di alcune valutazioni indica semplicemente come sia necessario effettuare valutazioni di maggior dettaglio, indirizzate a precisi ecosistemi e che siano basate sulla raccolta di dati *ad hoc*.

Eppure, al momento la maggior parte degli studi che sono stati effettuati fino ad oggi continua ad utilizzare gli stessi risultati, mentre sono molto pochi gli esperimenti di valutazioni concrete che hanno prodotto nuovi numeri e nuove computazioni numeriche.

Per comprendere la difficoltà nell'affrontare una reale quantificazione economica del valore

degli ecosistemi viene proposto di seguito uno studio comparativo effettuato per 7 diversi siti da un'equipe di 14 ricercatori europei guidati da Beaumont. In questo lavoro si cerca di effettuare una valutazione economica degli ecosistemi marini nelle aree di studio attraverso l'identificazione dei relativi servizi ecosistemici. Come mostrato in Tabella 3-5, il risultato è che è stato possibile valutare i servizi solamente in termini di presenza/assenza, mentre solo in tre casi è stato possibile fornire una effettiva valutazione economica. Inoltre le valutazioni effettive sono tutte relative alla fornitura di cibo o materiali grezzi, ovvero la componente dei servizi con la maggiore facilità di trovare riscontro in valori di mercato.

Questo esempio, sul quale il giudizio qualitativo è assolutamente positivo, serve a spiegare le oggettive difficoltà di valutazione economica. Infatti, nella maggior parte dei casi, valutare servizi complessi come la regolazione del clima o il ciclo dei nutrienti può risultare un lavoro eccessivamente complesso, a meno di non basare la valutazione su un eccessivo livello di approssimazione della realtà. Come si vedrà in seguito, l'approccio utilizzato nel presente lavoro cerca di aggirare tale difficoltà limitando l'oggetto della valutazione esclusivamente ai benefit che l'uomo può ottenere dagli ecosistemi, tenendo in considerazione, ma non quantificando direttamente, i complessi processi ecologici che danno vita a a questi benefit, ovvero quelli che nel nostro framework sono i servizi ecosistemici.

Overview of provision of goods and services at case study areas							
Good/Service	Case study areas						
	Atlantic Frontier	Banco D. João de Castro	Isle of Scilly	Belgian part of the North Sea	Flamborough Head	Gulf of Gdańsk	Lister Deep
Food provision	+	€	+	€	+	+	+
Raw materials	+	?	+	?	+	€	?
Gas and climate regulation	+	?	+	+	+	+	+
Disturbance prevention	0	0	0	0	0	+	?
Bioremediation of waste	+	?	+	+	+	+	+
Cultural heritage and identity	?	?	?	+	+	+	+
Cognitive benefits	+	+	+	+	+	+	+
Leisure and recreation	+	0	+	+	+	+	+
Feel good or warm glow	+	+	+	?	+	?	+
Future or speculative values	+	+	?	?	?	+	?
Resilience and resistance	?	+	+	?	?	?	?
Biologically mediated habitat	+	?	+	+	+	+	+
Nutrient cycling	+	+	+	+	+	+	+

Tabella 3-5. Risultati dei tentativi di valutazione economica effettuati dall'equipe di Beaumont

Il lavoro di Beaumont dimostra tuttavia anche un'altra cosa: l'importanza della identificazione dei servizi ecosistemici forniti in una data area. Infatti, per gli scopi della gestione e della protezione del capitale naturale, ivi compreso lo sfruttamento dello stesso per produrre benessere per l'uomo, l'individuazione dei servizi fornisce già informazioni di grande pregio e riassumono l'informazione ecologica in concetti che diventano fruibili anche dai non addetti ai lavori. È per questo motivo che la discussione sui servizi ecosistemici, così come il loro utilizzo nei processi di valutazione, ha raggiunto e superato la discussione sul reale valore economico degli ecosistemi. La fornitura di servizi ha dunque assunto un'importanza, tanto nella teoria che nella pratica, anche maggiore di quella assunta dalla quantificazione economica del capitale naturale.

Ciò che manca al lavoro di Beaumont è che i servizi sono indicati in generale per un'area, senza che siano definiti in maniera esplicita dal punto di vista spaziale. Questo aspetto viene invece messo in primo piano nel presente lavoro.

La valutazione economica dei benefit forniti dagli ecosistemi, in definitiva, ha una valenza oggettiva, soprattutto nel caso della quantificazione dei danni prodotti sui sistemi naturali, ma non

deve essere costituire un parametro oggettivo di per sé. In quest'ottica, l'effettiva utilità dei risultati di valutazione economica è probabilmente quella di pesare l'effettiva importanza del benefit fornito da una precisa area. In definitiva, la valutazione economica del capitale naturale dovrebbe essere utilizzata più per permettere un confronto quantitativo dei benefit ecosistemici, che non per un confronto tra il valore prodotto dagli usi ed il valore del capitale naturale.

3.2 Definizione operativa sviluppata in questo lavoro

Si riprenda ora l'ultima definizione di servizi ecosistemici citata dalla letteratura, ovvero quella di Costanza: “esistono molti modi utili di classificare i beni e servizi ecosistemici ed il nostro obiettivo non è costituire un singolo e coerente sistema, come implica Wallace, ma piuttosto una pluralità di tipologie, che potranno essere utili per scopi diversi”.

Lo scopo di questo lavoro non è quello di effettuare una valutazione assoluta della qualità degli ecosistemi marini costieri nell'area di studio, che descriva tutti i servizi ecosistemici presenti e ne fornisca una valutazione economica. Lo scopo di questo lavoro è produrre uno strumento che sia efficace nel guidare una gestione sostenibile degli spazi e delle risorse marine costiere, tramite la descrizione del beneficio che ogni singola area apporta al benessere della popolazione.

I complessi processi ecologici che regolano gli equilibri degli ecosistemi non hanno un grande impatto sulle politiche di gestione degli spazi e delle risorse. Quando le attività antropiche causano un deterioramento dei sistemi naturali (es. variazioni di uso del suolo) ma non hanno un effetto diretto sulla salute (es. peggioramento della qualità dell'area), la preoccupazione per le conseguenze di tali attività si focalizza solitamente su questioni ambientali, generando spesso un impatto limitato sull'opinione pubblica e le politiche di gestione. Tuttavia, quando gli impatti sui sistemi naturali sono tradotti in impatti sui benefit che ne derivano per l'uomo, si crea un mezzo di comunicazione tra scienza e gestione che soddisfa entrambe le parti. È per questo motivo che questo lavoro concentra l'attenzione sulla capacità dei sistemi naturali di fornire benefit ecosistemici, piuttosto che sui relativi servizi, attraverso una procedura che sia esplicita per ogni area presa in considerazione.

Quando si affrontano casi reali di mappatura di benefit ecosistemici, è molto utile individuare i processi elementari da cui i benefit derivano. Tali processi elementari, come ad esempio fotosintesi o decomposizione, sono considerati in questo sistema come i servizi intermedi. Infatti, mappare la trasformazione di materia o energia in forme ecologicamente disponibili è un

passo fondamentale nell'individuazione dei benefit forniti da un'area. Se siamo in grado di descrivere i processi elementari in maniera spazialmente esplicita all'interno del dominio di indagine, abbiamo già informazioni importanti sui benefit che possiamo trovare in quell'area specifica.

Quando i processi elementari (servizi intermedi) sono combinati con fattori ambientali ed inseriti nel sistema ecologico, si ottengono i processi complessi che, nella struttura del presente studio, costituiscono i servizi ecosistemici finali, come ad esempio la regolazione del ciclo dei nutrienti o del regime idrodinamico. Per definizione, i servizi finali possono dipendere da diversi servizi intermedi, quindi il conteggio multiplo dei servizi è inevitabile e necessario. Tuttavia tale conteggio multiplo non produce confusione o difficoltà di valutazione in quanto viene annullato al momento di considerare i benefit. I benefit che vengono forniti dagli ecosistemi sono unici e producono impatti diversi sul benessere umano, anche se prodotti dall'integrazione di diversi servizi intermedi e finali.

Da un punto di vista prettamente operativo, con il sistema di riferimento descritto, possiamo identificare i benefit solo quando conosciamo i processi che ne sono alla base, quindi abbiamo la necessità di verifica che determinati processi siano effettivamente attivi in ogni specifica area. Nel sistema di valutazione descritto finora possiamo ottenere questo risultato attraverso l'identificazione delle specie coinvolte nei processi. Come esempio, se delle specie di molluschi bivalvi vengono identificate come caratteristiche di un'area, significa che in quell'area la fissazione dell'anidride carbonica è un processo attivo (**servizio intermedio**). Se la fissazione è un processo attivo, e CO₂ viene sequestrata sul lungo termine, il processo ha un effetto sul bilancio di un gas ad effetto serra ed ha quindi un impatto sulla regolazione del clima (**servizio finale**). Poiché gli amministratori pubblici, a più livelli, stanno implementando politiche per la riduzione delle emissioni di CO₂ e quote di emissione vengono perfino commerciate su mercati internazionali, il sequestro di CO₂ ha un effettivo impatto sul benessere dell'uomo (**benefit**). In aggiunta, un benefit di questo tipo può anche essere valutato in maniera molto agevole da un punto di vista economico; in questo senso, lo schema di valutazione descritto può avere un'utilità sia nell'ottenere una distribuzione esplicita dei benefit forniti da un'area, sia nel tentativo di dare una valutazione economica dei benefit descritti.

In conclusione, per evitare confusione, la definizione operativa adottata in questo lavoro è la seguente:

- **servizi ecosistemici intermedi:** processi ecologici elementari che contribuiscono alla costruzione ed al mantenimento di un ecosistema. I servizi intermedi forniscono materia o energia agli ecosistemi (es. fotosintesi)
- **servizi ecosistemici finali:** effetti ambientali dell'integrazione di uno o più servizi intermedi

con le condizioni ambientali. I servizi finali non forniscono materia o energia, ma contribuiscono a regolare gli equilibri naturali a differenti scale (es. ciclo dei nutrienti)

- **benefit ecosistemici:** caratteristiche di un processo ecologico che è possibile misurare. I benefit, e soltanto i benefit, hanno un effetto sul benessere umano che è possibile quantificare precisamente (es. fornitura di materiali grezzi)

I servizi intermedi e finali, così come i benefit ecosistemici, sono adattati dal lavoro di Costanza, sulla base delle considerazioni fatte e dei sistemi ecologici affrontati. In questo modo i risultati di questo lavoro saranno comunque confrontabili con altri lavori in letteratura.

Intermediate services

photosynthesis, decomposition, remineralisation, fixation, reproduction, respiration

Literature services (Costanza, 2008)

Services & Benefits adapted

Intermediate Services

Climate regulation

Climate regulation

Disturbance regulation/storm protection

Hydrodynamic regime regulation

Water regulation/flood protection

Water regulation

Soil formation

Sedimentation rate regulation

Nutrient regulation

Nutrient regulation

Pollination

Pollination

Biological control

Biological control

Habitat/refugia

Habitat/Refugia

Benefits

Carbon sequestration

Carbon sequestration

Water supply

Water cleaning

Sediment regulation/erosion control

Erosion control

Waste treatment

Bioremediation

Food production/non-timber forest products

Food production

Raw materials	Raw materials
Genetic resources	Genetic resources
Recreation potential	Recreational potential
Cultural/aesthetic	Cultural/aesthetic
	O ₂ Provision

Tabella 3-6. Risultati dei tentativi di valutazione economica effettuati dall'equipe di Beaumont

Il punto precedente chiarisce il contesto teorico in cui la definizione adottata in questo studio prende forma. Tuttavia, non siamo interessati ad affermare una nuova definizione di servizi ecosistemici ma, in accordo con Costanza, utilizziamo un contesto di valutazione sviluppato specificamente per l'obiettivo del lavoro e la scala spaziale dell'area di studio. In accordo con gli autori presentati sopra, si accetta la divisione tra servizi ecosistemici e benefit, così che sia possibile focalizzare l'attenzione su questi ultimi. Si accetta inoltre la distinzione tra servizi intermedi e servizi finali; se l'informazione che viene fornita alla fine del processo è la fornitura di benefit, questa distinzione serve a creare il contesto concettuale in cui la valutazione viene effettuata e permette di prendere in considerazione i processi ecologici attribuendo ad essi il giusto peso. In questo modo, se si vuole preservare un benefit, è subito possibile conoscere quali sono i processi ecologici che ne regolano la fornitura, e sapere di conseguenza su quali comparti ambientali intervenire.

L'utilizzo della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento garantisce le considerazioni sulla fornitura di benefit siano esplicite per aree specifiche e specifiche tipologie di copertura del fondale. Inoltre, per le ragioni spiegate nel capitolo precedente, l'utilizzo della biocenosi bentonica garantisce che i processi ecologici, anche quando non vengono esplicitati chiaramente, siano comunque tenuti in considerazione come base del processo di valutazione.

Per le diverse biocenosi, dunque, verranno discussi solamente i benefit ecosistemici, perché l'informazione ecologica è già dentro il concetto di biocenosi bentonica. La biocenosi ci permette di tradurre tutta la complessità del sistema ambientale/ecologico in informazioni semplici, di conseguenza ci possiamo anche occupare solamente dei benefit che fornisce, pur mantenendo in primo piano i processi ecologici e, di conseguenza, i servizi ecosistemici.

3.3 Identificazione benefit ecosistemici da ecosistemi marini costieri mediterranei

Gli ecosistemi marini costieri spesso si differenziano dagli ecosistemi terrestri nella tipologia e nella modalità di fornitura dei benefit. Di seguito vengono descritti i benefit adattati dalla letteratura al caso specifico di valutazione di benefit da biocenosi bentoniche costiere.

Carbon sink: viene fornito quando tra le specie caratteristiche sono presenti organismi in grado di fissare anidride carbonica in forme resistenti a lungo termine. Ciò può avvenire per fotosintesi e stoccaggio del carbonio in forme refrattarie, come nel caso della *matte*, di Posidonia oppure per fissazione del carbonio in forme resistenti nel tempo, come la conchiglia di molti molluschi (es. *Cardium spp*). Il benefit per l'uomo derivante da questa funzione è legato alle necessità di riduzione delle emissioni di CO₂ ed è dimostrato dall'esistenza di un mercato internazionale per le quote emissibili. Si parla oggi diffusamente di *Blue Carbon*, proprio in relazione alla capacità degli ecosistemi marini di stoccare anidride carbonica sul lungo periodo, con conseguenze positive sul clima.

Water cleaning: Quando una biocenosi produce strutture biologiche epigee o comunque in grado di intrappolare con le particelle in sospensione, come ad esempio sedimento fine e materia organica, determina una riduzione del solido sospeso, con conseguente aumento della penetrazione della luce e una maggiore trasparenza delle acque. Il benefit per l'uomo deriva dalla possibilità di godere di un ambiente di maggior pregio, come dimostrato dall'andamento dei prezzi delle case, per aree simili, che risultano maggiori quando situate in aree dall'elevato pregio estetico e paesaggistico. Strutture come le foglie di Posidonia o le ramificazioni delle Gorgonie interagiscono per loro natura con il flusso idrodinamico, intrappolando significative quantità di solido sospeso.

Protezione dall'erosione: Quando una biocenosi produce strutture biologiche epigee o comunque in grado di intrappolare con le particelle in sospensione, come ad esempio sedimento fine e materia organica, determina una riduzione del solido sospeso, con conseguente aumento della penetrazione della luce e una maggiore trasparenza delle acque. Il benefit per l'uomo deriva dalla possibilità di godere di un ambiente di maggior pregio, come dimostrato dall'andamento dei prezzi delle case, per aree simili, che risultano maggiori quando situate in aree dall'elevato pregio estetico e

paesaggistico. Strutture come le foglie di Posidonia o le ramificazioni delle Gorgonie interagiscono per loro natura con il flusso idrodinamico, intrappolando significative quantità di solido sospeso.

Bioremediation: La capacità di diversi organismi e comunità biologiche di assorbire e processare sostanze potenzialmente nocive svolge un ruolo di prima importanza nel mantenimento degli equilibri ecologici costieri e, di conseguenza, nella possibilità per l'uomo di fruirne ed utilizzarne le risorse. Ad esempio, la capacità di alcune associazioni biologiche di assorbire e processare grandi quantità di nutrienti permette di esercitare un controllo biologico sulla proliferazione di specie algali invasive, una delle principali cause di aumento dell'eutrofizzazione ed impoverimento della biodiversità. Altro esempio, in una lunga serie possibile, è dato dalla capacità di alcune formazioni biologiche di immobilizzare i metalli pesanti in strutture resistenti, riducendone il bioaccumulo nella rete trofica e, di conseguenza, riducendone la possibilità di contaminazione per l'uomo.

Produzione di cibo: In ambiente marino costiero questo benefit è chiaramente legato alla pesca, che sia professionale, artigianale o sportiva. Non solamente la biocenosi da cui viene prelevata la risorsa fornisce tale benefit; alcune biocenosi sono utilizzate dagli organismi come zona di nursery, deposizione di uova o accoppiamento. Biocenosi come quelle del Coralligeno ad esempio, offrono ripari sicuri per la deposizione delle uova, spesso anche per organismi pelagici o profondi (es. *Loligo vulgaris*), di conseguenza svolgono un ruolo fondamentale nella possibilità per l'uomo di sfruttare la risorsa ittica.

Materie Prime: Sono diverse le possibilità di prelievo di materie prime non ittiche dagli ecosistemi marini costieri. Gli ambienti sabbiosi, come le Sabbie Fini Ben Calibrate, sono spesso oggetto di interesse per la produzione di sabbie da ripascimento o per utilizzo industriale. In aggiunta, le strutture di alcuni organismi possono essere utilizzate come concimi o nella preparazione di farine animali, nonché a scopo puramente estetico/collezionistico, come il *Corallium rubrum* o i molluschi del genere *Haliotis*. Spesso tali risorse non sono rinnovabili, o comunque non lo sono rispetto ai tempi di sfruttamento antropico, ed il loro utilizzo come benefit deve essere fortemente regolamentato.

Risorse genetiche: Per risorse genetiche, nell'ambito dei servizi ecosistemici, si intende generalmente la capacità di alcuni ecosistemi di conservare e proteggere parte del patrimonio genetico di diverse popolazioni biologiche costiere. La diversità biologica e genetica degli ambienti marini costieri si sta rapidamente trasformando in una risorsa vera e propria, di pari passo con l'avanzamento della ricerca biotecnologica. Esistono diverse possibilità di sfruttamento di molte

biomolecole o processi biologici, come ad esempio l'utilizzo della Plitidepsina, derivata dall'ascidia mediterranea *Aplidium albicans* ed in fase di sperimentazione come sostanza antitumorale. Tale settore è ancora in fase fortemente sperimentale, anche se alcuni composti sono già regolarmente utilizzati a livello industriale, per questo motivo può ancora essere considerato come un benefit potenziale in zone costiere mediterranee, diversamente da quanto avviene per alcune regioni del mare antartico, che già fornisce numerosi composti chimici di origine biologica. Tale benefit è potenzialmente tanto maggiore quanto maggiore è la diversità ecologica e microbiologica associata alla biocenosi.

Potenziale ricreativo: Esistono numerose possibilità di sfruttamento delle biocenosi bentoniche a scopi ricreativi, dalla pesca all'immersione sportiva, al semplice benefit di fruizione. Tale benefit è tenuto in alta considerazione nella letteratura di settore, sia per l'importanza intrinseca sia per le consistenti quantità di denaro speso in attività ricreative. Tra i vari esempi possibili, le biocenosi del coralligeno ben conservate sono spesso importanti punti di immersione, così come le praterie di Posidonia che, tra le altre cose, attirano anche molti pescatori sportivi subacquei. La presenza di biocenosi di particolare pregio estetico svolge un ruolo importante nei flussi della nautica da diporto, mentre la diffusione della fotografia subacquea sta crescendo a ritmi molto elevati.

Potenziale culturale/estetico: il Millennium Ecosystem Assessment definisce i servizi culturali come benefit immateriali che l'uomo ottiene dagli ecosistemi, indicando esplicitamente “diversità culturale, valori spirituali e religiosi, sistemi di conoscenza, valori educativi, ispirazione, valore estetico, relazioni sociali, senso di pace, retaggio culturale [...]”. È un benefit maggiormente associato ad ambienti terrestri piuttosto che acquatici, ma vengono sempre più spesso riconosciuti anche in aree marine costiere. Un esempio sono le biocenosi che determinano l'istituzione di aree marine protette o SIC, che entrano poi spesso nella considerazione collettiva del patrimonio comune delle comunità costiere. Un altro esempio sono le grotte marine, a cui sono spesso associati importanti elementi di cultura popolare o retaggio storico. Alcune biocenosi forniscono organismi che, oltre ad essere utilizzati come cibo, entrano a far parte delle tradizioni locali.

Fornitura O₂: Le biocenosi basate su organismi fotosintetici, nei loro processi metabolici di comunità, producono spesso un surplus di ossigeno, al netto di tutti i processi di respirazione ed ossidativi. Tale ossigeno viene immediatamente reso disponibile al di fuori della biocenosi, ossigenando le acque limitrofe favorendo la fornitura degli altri benefit. Nel caso in cui questo benefit venisse a mancare, le comunità costiere sarebbero costrette a supplire con l'ossigenazione

artificiale di determinate aree, allo scopo di: permettere la fornitura della maggior parte degli altri benefit, inibire la proliferazione di patogeni, ridurre il peggioramento di numerosi parametri ambientali. A scopo esemplificativo, di seguito viene descritto nel dettaglio il modo in cui la biocenosi a prateria di *Posidonia oceanica* fornisce ciascun benefit.

Benefits

Carbon sink	Alcune strutture prodotte con la fotosintesi sono immobilizzate nella matre sul lungo periodo. In aggiunta alla prateria sono associate anche alcune specie di bivalvi che fissano CO ₂ per la costruzione delle valve
Water cleaning	Gli apparati epigei intrappolano parte del sedimento e del materiale in sospensione, aumenta così la penetrazione della luce e la trasparenza dell'acqua
Protezione dall'erosione	La copertura fogliare della prateria, che può anche superare un metro di altezza al di sopra del fondale, riesce ad assorbire l'energia del moto ondata e ne dissipa una parte riducendo l'altezza delle onde più alte, che comportano la maggiore sottrazione di sedimento alla spiaggia
Bioremediation	La matre è sede di continui processi di degradazione del materiale organico ad opera della comunità microbica che la caratterizza
Produzione di cibo	Molte specie di interesse per la pesca dipendono dalla prateria in almeno una fase del ciclo vitale
Materie prime	Attualmente le praterie non vengono sfruttate per la produzione di materiali grezzi ed è quindi considerabile un benefit solo potenziale (es. concime, repellente, isolante)
Risorse genetiche	Benefit potenziale
Potenziale ricreativo	Molti usi ricreativi: pesca sportiva, diving e snorkeling, diporto etc
Potenziale culturale/estetico	Valore di esistenza, es. Inserimento nella Direttiva Habitat

Fornitura O₂

Grandi quantità di ossigeno sono liberate dalla prateria, anche al netto della respirazione della comunità

Tabella 3-2. Benefit ecosistemici forniti dalle praterie di *P. oceanica*

3.3.1 Distribuzione spaziale dei benefit ecosistemici nell'area di studio

Come descritto per la prateria di Posidonia, la combinazione di informazioni ecologiche e liste di specie caratteristiche permette di identificare quali benefit ecosistemici siano forniti dalle diverse biocenosi. Quando la distribuzione spaziale delle biocenosi è nota, diviene possibile conoscere in maniera esplicita quali benefit vengono forniti per ogni area marina costiera, supportando così la pianificazione delle attività antropiche e della protezione del capitale naturale. In questo paragrafo ad ogni biocenosi identificata viene associata la relativa fornitura di benefit ecosistemici.

Ecosystem		Benefit									
		FP	GR	RM	o ₂	∞ ₂	EC	WC	Brm	A/C	RP
Sabbie Grossolane	5	X		X		X				X	X
Sabbie Fini Ben Calibrate	6	X		X		X			X	X	X
Transizione tra Sabbie Fini e Vasi Terrigeni Costieri	4	X				X			X	X	
Vasi Terrigeni Costieri	4	X				X			X	X	
Praterie di <i>P. oceanica</i>	9	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Detrito Costiero	5	X			X	X			X		X
Alghe Fotofile Infralitorali	5	X			X	X			X		X
Posidonia su roccia (copertura: 44-53%)	6	X			X		X	X	X		X
Matte morta e Posidonia (copertura: 40%)	7	X			X	X		X	X		X
Mosaico di Sabbia, Matte morta, Rocce organiche e Posidonia (copertura <30%)	5	X			X	X			X		X
Mosaico di Sabbia, Matte morta e Posidonia (copertura <30%)	3	X				X			X		

Tabella 3-3. Presenza assenza di benefit ecosistemici per ogni biocenosi identificata.

Quando ad ogni area marina costiera è associata una biocenosi caratteristica, e ad ogni biocenosi è associata la caratteristica fornitura di benefit ecosistemici, è possibile conoscere il valore ed il ruolo di ogni area marina per il benessere dell'uomo. In questo modo i complessi equilibri ecosistemici, così come i processi che li costituiscono, possono essere presi in considerazione nel processo di pianificazione costiera attraverso i relativi benefit, di gran lunga più utili, sia per gli amministratori sia nel processo di inclusione dell'opinione pubblica, alla base delle

politiche di gestione integrata dei sistemi costieri.

Il risultato della descrizione spaziale della fornitura di benefit è mostrato in Figura 3-2.

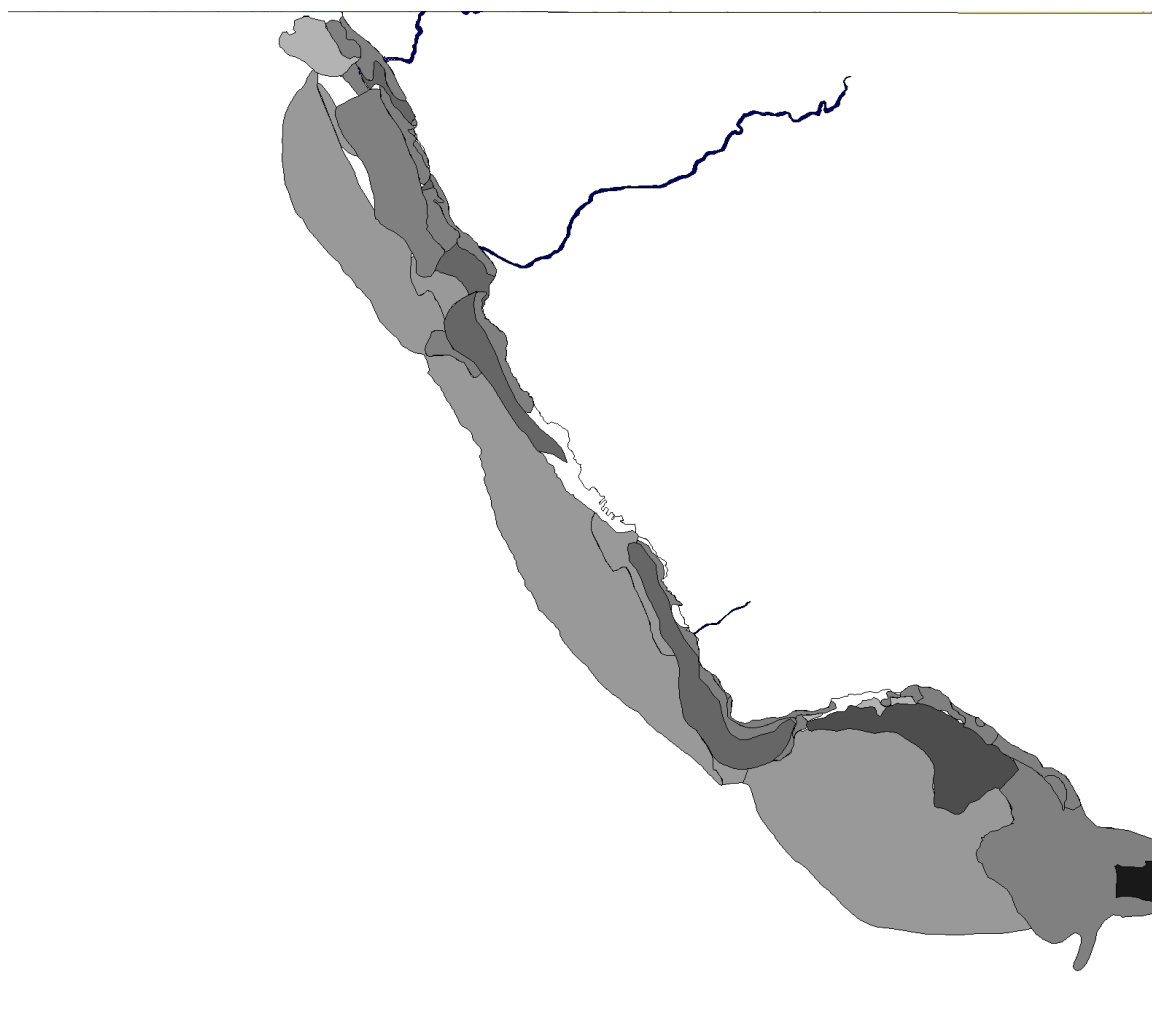


Figura 3-2. Carta della fornitura di benefit ecosistemici in ambiente marino costiero. Distribuzione esplicita per ogni area

3.5 Valutazione economica dei benefit con valore d'uso forniti dalle praterie di *Posidonia oceanica*

Per produrre una valutazione economica degli ecosistemi è necessario effettuare una valutazione delle funzioni e dei servizi ecosistemici che un determinato habitat può fornire. Tale valutazione deve tenere in considerazione tutta la lunga serie di vantaggi che l'uomo può derivare da un sistema naturale. Per quanto risulti evidente come tale approccio sia basato su una visione

antropocentrica dell'ambiente, ciò non significa che il vantaggio economico di una comunità debba necessariamente essere posto in primo piano rispetto alle esigenze di tutela e conservazione dei sistemi naturali. È proprio in questa precisazione che si può trovare l'effettiva utilità dell'approccio proposto negli ultimi anni dall'economia ecologica. Ovviamente, nel momento in cui si sceglie di affrontare il tema degli ecosistemi da un punto di vista economico si deve far riferimento alle attività produttive ed alle possibilità di sviluppo economico di quelle comunità che vivono in relazione ad un preciso ecosistema. Tuttavia parlare di approccio antropocentrico può risultare riduttivo. Infatti, la valutazione economica delle funzioni ecosistemiche deve essere considerata come uno strumento a supporto degli operatori della conservazione ambientale. Un esempio di grande attualità è quello legato alle energie rinnovabili; nonostante tale settore sia ampiamente considerato un esempio di tecnologia applicata nel rispetto dell'ambiente, si deve tener conto del fatto che anche gli impianti di produzione di energia rinnovabile possono avere un considerevole impatto sui sistemi naturali. Se si prende ad esempio un impianto di produzione di energia dal moto ondoso percorribile in Mediterraneo, ovvero un progetto che, al momento, può essere portato avanti solo in zone costiere, si deve inevitabilmente tener conto dell'impatto che tale impianto avrà sul sistema costiero. L'economia ecologica assume una funzione regolatrice per gli interventi che si vogliono eseguire. Gli ecosistemi costieri sono estremamente complesso, in virtù del distintivo incontro tra ambiente marino e ambiente terrestre. Tale caratteristica produce una grande abbondanza di risorse e, di conseguenza di interessi economici ed ecologici allo stesso tempo. Poiché tale abbondanza comporta una inevitabile competizione per le risorse e per gli spazi marittimi, qualunque nuova attività, commerciale e non, deve essere sottoposta ad un'attenta valutazione. È questo il caso della produzione di energia da moto ondoso. Per capire se l'installazione di un impianto di questo tipo può portare vantaggi reali, sia alla componente ambientale, sia alla componente socio-economica del sistema, l'economia ecologica può fornire strumenti di grande utilità. L'installazione di un impianto ad energia rinnovabile da moto ondoso comporta un impatto sulla costa. I vantaggi derivanti da tale impianto sono effettivamente superiori a quelli che porta il sistema, così come si trova prima dell'intervento. Se ad esempio per installare generatori di energia da onde si deve danneggiare una prateria di Posidonia, si deve essere sicuri che tali generatori comportino un vantaggio superiore a quello derivante dalla semplice presenza della prateria. È proprio qui che entra in gioco l'economia ecologica: tale disciplina sta tentando di calcolare i benefici, economici ed ambientali, derivanti dalla prateria e, di conseguenza, di confrontarli con quelli derivanti dal nuovo impianto. Ad esempio una prateria matura produce un'enorme serie di benefici, quali l'ossigenazione delle acque, la remineralizzazione di nutrienti e microelementi, la funzione di nursery, rifugio e produzione di cibo per un'ampia serie di specie

animali ed algali, con evidenti conseguenze sia sui comparti ambientali (es. biodiversità) sia sui comparti economici (es. pesca). L'insieme di queste funzioni è superiore o inferiore a quelli apportati al sistema da un impianto di produzione di energia rinnovabile. Per rispondere a questa domanda si deve inevitabilmente effettuare una valutazione che comprenda sia gli aspetti ambientali sia quelli economici. È qui che gli strumenti dell'economia ecologica possono fare la differenza. Di seguito vengono descritti i parametri che permettono di valutare dal punto di vista economico il valore dei sistemi naturali costieri.

Per arrivare ad una descrizione del valore economico totale (TEV) di un ecosistema è necessario individuare le singole caratteristiche che apportano valore al sistema, tali caratteristiche sono i beni ed i servizi che tale ambiente è in grado di fornire, definite solitamente come funzioni ecosistemiche. In generale è possibile dividere le funzioni in due categorie (TEEB 2010): funzioni con valore legato all'uso (UV) e funzioni con valore non legato all'uso (NUV), a seconda che il beneficio derivante dalla funzione sia dato da un uso diretto della risorsa o dalla stessa esistenza della funzione. I due gruppi possono essere a loro volta suddivisi; le funzioni con valore legato all'uso possono essere classificate in: uso diretto (DUV, ovvero benefici derivanti dall'utilizzo diretto di risorse o spazi marittimi), uso indiretto (IUV, benefici legati al funzionamento dell'ecosistema ed alla sua sopravvivenza) e opzione d'uso (OUV, benefici derivanti dalla possibilità di utilizzi futuri delle risorse). Le funzioni con valore non legato all'uso possono essere divise in: valore di lascito (BV, benefici derivanti dalla possibilità di mantenere intatto il valore di un ecosistema per le generazioni future) e valore di esistenza (EV, benefici derivanti dal valore intrinseco di un ecosistema anche a prescindere dai valori legati all'uso)

VALORE LEGATO ALL'USO	Esempi	VALORE NON LEGATO ALL'USO	Esempi
Uso Diretto	Pesca; attività marittime	Valore di lascito	Stato di conservazione delle risorse
Uso indiretto	Ossigenazione delle acque; nursery; remineralizzazione nutrienti	Valore di esistenza	Ricchezza in diversità di ecosistemi e specie
Opzione d'uso	Energie rinnovabili marine		

Tabella 3-4. Tipologie di servizi ecosistemici calcolabili in termini economici. Classificazione generale

Riassumendo, il valore economico totale di un ecosistema è dato dalla seguente formula:

$$TEV = UV + NUV = (DUV + IUV + OUV) + (BV + EV)$$

Se si prende in considerazione il valore economico totale di un tipico ambiente marino costiero mediterraneo, riassumendo i lavori realizzati da Nunes, Martinez, Remoundou de Groot, i principali parametri che devono essere presi in considerazione per la valutazione sono i seguenti

VALORE LEGATO ALL'USO		VALORE NON LEGATO ALL'USO	Esempi
Uso Diretto	Produzione di cibo	Valore di lascito	Variazione nel tempo degli usi diretti
	Attività marittime		Variazione nel tempo degli usi indiretti
	Turismo ed attività ricreative	Valore di esistenza	Ricchezza di specie
	Produzione di materiali con utilizzo commerciale		Abbondanza di esemplari per specie
	Capacità di assorbimento dei rifiuti		Valore culturale/estetico
	Medicinali		
Uso indiretto	Produzione di cibo per il comparto biologico		Ricerca scientifica
	Funzione di rifugio		Educazione ambientale
	Funzione di nursery		
	Regolazione gas		
	Regolazione dei		

	nutrienti		
	Protezione dall'erosione costiera		
Opzione d'uso	Energie rinnovabili marine		
	Produzione di nuove sostanze e processi biologici con valore commerciale		

Tabella 3-5. Tipologie di servizi ecosistemici calcolabili in termini economici. Classificazione per ecosistemi marini costieri mediterranei.

Dell'importanza del valore economico del capitale naturale si è parlato nel paragrafo 3.1. Si è detto che il metodo attraverso cui tale valore viene valutato è l'analisi dei servizi ecosistemici, ovvero delle funzioni degli ecosistemi che hanno un effetto positivo sulla vita dell'uomo. Ciò che cambia in questo contesto è l'interpretazione data al concetto di servizio ecosistemico.

In questo lavoro, il processo di valutazione è focalizzato sui benefit, considerati l'unica parte del contesto di servizi ecosistemici, che può effettivamente essere quantificata, anche da un punto di vista economico. Vengono qui presentati i risultati della valutazione economica dei benefit con Valore d'Uso forniti dalle praterie di *Posidonia oceanica*.

Carbon sequestration

Erosion control

Bioremediation

Food production

Recreational potential

O₂ Provision

3.5.1 Carbon Sink:

Le praterie di fanerogame marine, le mangrovie, le barriere coralline e le zone salmastre sono considerati ecosistemi di importanza strategica per la conservazione delle risorse costiere e non solo. Negli ultimi anni, inoltre, questi ambienti hanno assunto crescente importanza anche per il

loro ruolo chiave nel ciclo del carbonio, in particolare per la loro capacità di seppellire, o sequestrare, anidride carbonica ed immagazzinarla in forma organica a lungo termine. Tale ruolo è conosciuto globalmente come “Blue Carbon”. Si stima (Duarte, 2005) che le aree vegetate costiere ricoprono circa il 2% dei fondali oceanici, ma che rappresentino circa il 50% del carbonio organico totale seppellito negli oceani. Inoltre, la loro capacità di immagazzinamento è dieci volte quella delle foreste temperate e cinquanta volte quella delle foreste tropicali. In particolare, per il Mediterraneo, il ruolo primario in questa forma di sequestro di anidride carbonica è svolto dalle distese di *Posidonia oceanica*, in grado di seppellire considerevoli quantità di carbonio organico, in forma di foglie, e soprattutto rizomi, nella matre e nelle strutture ipogee.

Secondo Mateo (Mateo et al. 2011, IUCN) della produzione totale di biomassa della pianta il 24-44% è remineralizzato o riciclato in vari modi, il 6-50% viene esportato al di fuori del posidonieto, ed il 6-20% viene utilizzato da organismi erbivori. Il restante 11-47% può essere considerato una stima indiretta del flusso di carbonio verso il sequestro a breve e lungo termine. In maggior dettaglio, sempre secondo Mateo, la stima del carbonio sequestrato a lungo termine attraverso i processi metabolici ed ecologici in *P. Oceanica* è del 10-25% della produzione totale.

Per effettuare una stima del valore di questo benefit sono stati utilizzati i dati di produzione di biomassa prodotti attraverso le analisi fenologiche di laboratorio sui campioni presi durante il campionamento descritto nel capitolo 2. Nella tabella seguente sono riportati i valori per tutte le stazioni di campionamento su cui sono state effettuate le stime di produzione:

Stazione	Produzione TOT (g/m ² /anno) – Mag-Giu	Produzione TOT (g/m ² /anno) – Nov
POS01	117,56	108,96
POS02	147,88	148,39
POS03	136,03	254,64
POS04	141,56	261,18
POS08	316,26	424,50
POS10	147,28	216,03
POS11	78,64	124,25
POS13	207,74	246,43
POS14	63,42	70,31

Tabella 3-6. Valori di produzione, in grammi di biomassa, totale per ogni stazione di campionamento di *Posidonia oceanica*

I valori si riferiscono a grammi di biomassa totale prodotta. Per questa pianta, il carbonio rappresenta il 57% della biomassa totale (Ott, 1980). Se si considera inoltre il rapporto stechiometrico tra carbonio ed anidride carbonica è possibile effettuare una stima del carbonio organico sequestrato nelle stazioni di riferimento.

<i>Produzione totale mediana</i>	147,28	g/m ² /anno
<i>Produzione mediana</i>	1472810	g/ha/anno
	1,47	Ton/ha/anno
<i>Produzione mediana carbonio</i>	0,84	Ton/ha/anno
<i>CO2 sequestrata</i>	3,08	Tonnellate
<i>Sink lungo termine</i>		
<i>Ton sink minimo (10%)</i>	0,31	Tonnellate
<i>Ton sink massimo (25%)</i>	0,77	Tonnellate
<i>Media EUA 12 Apr14-Mar15</i>	6,24	€/Ton
<i>Prezzo sink 10%</i>	1,92	€
<i>Prezzo sink 25%</i>	4,8	€

Tabella 3-7. Stime del valore del sequestro di anidride carbonica a lungo termine

Per calcolare il valore economico di una tonnellata di CO₂ sottratta in questo modo è stato considerato il valore a cui viene scambiata la quota di CO₂, denominata EUA (EU Allowance) all'interno di ETS – Emission Trading Scheme, il mercato di scambio delle quote di emissione dell'Unione Europea. Il calcolo è stato effettuato utilizzando il valore medio a cui è stata scambiata la quota nei 12 mesi Aprile 14 – Marzo 15: 6,24 €/tonnellata.

Utilizzando per la stima i due valori estremi per il sequestro a lungo termine, 10-25%, si ottiene un range di valore economico del carbon sink da P. Oceanica nell'area di studio pari a 1,9 – 4,8 €/ha all'anno.

3.5.2 Fornitura di ossigeno

La produzione di ossigeno in aree costiere è un servizio ecosistemico dal valore fondamentale. Favorisce il mantenimento di condizioni ecologiche produttive e limita l'insorgenza di zone anossiche, con conseguenze dirette anche per la salute dell'uomo.

Le stime di produzione organica utilizzate per valutare il sequestro di anidride carbonica possono essere utilizzate anche in questo contesto per valutare il benefit della produzione di ossigeno.

È stato misurato (Duarte, 2010) che nei cicli metabolici di *Posidonia oceanica* la produzione

di ossigeno, al netto della respirazione, corrisponde a 0,25 mmol per grammo in peso secco di biomassa prodotta

	Mag-Giu	nov	
<i>Produzione totale mediana</i>	141,56	182,21	g/m2/anno
<i>Produzione totale mediana</i>	0,388	0,499	g/m2/giorno
<i>Ossigeno prodotto</i>	0,097	0,125	mmol/m2/giorno
<i>Ossigeno prodotto</i>	969,62	1248,01	mmol/ha/giorno
<i>Ossigeno prodotto</i>	353910	455525	mmol/ha/anno
<i>Ossigeno prodotto</i>	353,91	455,53	mol/ha/anno
<i>Ossigeno prodotto</i>	7927,58	10203,76	litri/ha/anno
<i>Valore ossigeno prodotto</i>	76,66	98,67	€

Tabella 3-8. Stime del valore economico della produzione di ossigeno

3.5.3 Produzione di cibo

La fornitura di cibo è uno dei benefit ecosistemici maggiormente riconosciuto, in quanto uno dei benefit più facilmente associabile ad un ecosistema e calcolabile in maniera immediata. Per questo motivo è anche uno dei benefit più spesso valutati nei lavori di valutazione economica degli ecosistemi, come si è visto anche nel paragrafo 3.1.3. Inevitabilmente, la fornitura di cibo da ecosistemi costieri consiste nella risorsa ittica sfruttabile attraverso la pesca.

Per effettuare una stima del valore economico del benefit fornito dalle praterie di *P. oceanica* viene stimato il valore commerciale del pescato prodotto nell'area di studio, tenendo in considerazione solo le specie legate, con vincoli più o meno stretti, alla prateria e definendo un valore economico per ettaro per anno. Vengono presentate due casi di valutazione. Nel primo si considerano esclusivamente le specie che trascorrono almeno una fase del ciclo vitale in associazione con la prateria o che, nell'area di studio, sono visitatori assidui della prateria, utilizzando come valore di superficie per ottenere una stima per ettaro la superficie occupata dalle praterie vere e proprie, in termini di densità e copertura. Nel secondo caso vengono inclusi anche gli organismi che visitano la prateria in maniera occasionale ma regolare, come ad esempio i cacciatori notturni, e quelli che abitano abitualmente zone di semi-prateria, come le radure sabbiose, i canali intermatte o i limiti della copertura vegetale, mentre come superficie si includono anche gli ambienti di semiprateria (Kalogirou 2010, Del Pilar Ruso, 2006)

I dati sul pescato utilizzati in questo studio sono forniti dalla Cooperativa Marinai e Caratisti, che gestisce l'asta del pesce di Civitavecchia e riunisce 13 dei 16 pescherecci a strascico che compongono la flotta di Civitavecchia, la quale opera in maniera regolare in corrispondenza dell'area di studio. Il computo presentato è riportato proporzionalmente al totale dei 16 pescherecci

che compongono la flotta. Tuttavia, il valore finale risulta ancora sottostimato, poiché manca il volume del pescato prodotto dalla piccola pesca, rappresentata in maniera consistente nell'area dalle marinerie di Tarquinia, Civitavecchia, Santa Marinella e Santa Severa. Questa importante frazione degli operatori del settore ittico, tra l'altro, avendo la possibilità di pescare a profondità molto inferiori rispetto allo strascico, utilizza probabilmente il benefit fornito dalle praterie in maniera ancora più diretta.

In Tabella 3-9 ed in Tabella 3-10 vengono presentate le due stime, effettuate sulla base della quantità media pescata per ogni specie negli anni 2012, 2013, 2014 e la media del prezzo di vendita all'asta nei tre anni di riferimento.

Specie	Q (Ton)	R (€)
<i>Alici</i>	6,37	18763
<i>Dentici</i>	1,72	17204
<i>Moscardini</i>	40,11	200663
<i>Orate</i>	5,23	54892
<i>Pagelli</i>	1,01	5733
<i>Polpi</i>	36,45	250311
<i>Saraghi</i>	1,54	10101
<i>Scorfani</i>	1,59	15853
<i>Seppie</i>	4,55	53197
<i>Triglie</i>	23,57	107724
Totale	122,15	734441
Mediana Q		111,22
Mediana R		637046
Tot Q 16 pescherecci		136,88
Tot R 16 pescherecci		784057

Tabella 3-9. Stime del valore economico della produzione di cibo, tenendo in considerazione solo le praterie vere e proprie e solo le specie ad esse strettamente legate

Specie	Q (Ton)	R (€)
<i>Alici</i>	6,37	18763
<i>Calamaretti</i>	2,93	33587
<i>Cefali</i>	0,49	1215
<i>Cernie</i>	0,14	2612
<i>Dentici</i>	1,72	17204
<i>Gattucci</i>	2,49	8970
<i>Gronghi</i>	0,59	566
<i>Lucerne</i>	0,82	4123
<i>Moscardini</i>	40,11	200663
<i>Olate</i>	5,23	54892
<i>Pagelli</i>	1,01	5733
<i>Pannocchie</i>	12,93	60065
<i>Pesci S. Pietro</i>	0,86	13357
<i>Polpi</i>	36,45	250311
<i>Razze</i>	3,62	12089
<i>Ricciole</i>	0,47	3975
<i>Rombi</i>	0,29	7502
<i>Saraghi</i>	1,54	10101
<i>Sardine</i>	0,08	30
<i>Scorfani</i>	1,59	15853
<i>Seppie</i>	4,55	53197
<i>Sogliole</i>	1,06	17914
<i>Spigole</i>	0,13	2952
<i>Suri</i>	0,73	524
<i>Triglie</i>	23,57	107724
Totale	149,76	903922,86
Mediana Q		139,31
Mediana R		795704
Tot Q 16 pescherecci		171,46
Tot R 16 pescherecci		979328

Tabella 3-10. Stime del valore economico della produzione di cibo, tenendo in considerazione tutte le aree vegetate a Posidonia ed includendo anche le specie visitano la prateria in maniera occasionale ma regolare

Dalla carta della distribuzione delle biocenosi è possibile conoscere la superficie occupata dagli ecosistemi considerati nelle due valutazioni:

Caso 1	Prateria	197 ettari
Caso 2	Prateria + semiprateria	2384 ettari

Utilizzando i dati riportati si può quindi facilmente effettuare una stima della risorsa alieutica legata alla Posidonia *oceanica*.

Caso 1	3980 €/ha/anno
Caso 2	411 €/ha/anno

3.5.4 Protezione dall'erosione

In precedenti lavori (Salvini, 2013), è stato misurato l'effetto delle praterie di *Posidonia* nell'area di studio sul moto ondoso che raggiunge la costa. La stima è stata effettuata attraverso l'uso di modelli numerici di propagazione del moto ondoso in acque basse, prendendo in considerazione la profondità, la densità e la copertura vegetale della prateria ed utilizzando un coefficiente di attrito al fondo desunto in letteratura. Nei profili in cui sono state inserite le praterie di *Posidonia oceanica*, si evidenzia come in prossimità delle stesse si verifichi una drastica diminuzione dell'altezza dell'onda, con la conseguente riduzione dell'energia che oscilla tra il 20%, nei casi a maggiore profondità e minore copertura, ed il 30 % nei casi a minor profondità e maggiore copertura.

Per ottenere una stima di quanto questo benefit possa valere in termini economici sul mercato si calcola ora quanto costerebbe ottenere lo stesso risultato in dissipazione di energia attraverso la costruzione di una barriera soffolta, comunemente utilizzata come opera di difesa costiera. La prateria di *Posidonia* può essere ben assimilata ad una barriera soffolta, nel suo ruolo di protezione dall'erosione, sia perché interagendo con la componente orbitale del moto ondoso ne determina una riduzione di energia per attrito e ne stimola il frangimento, sia perché, quasi come la barriera soffolta, contribuisce ad intrappolare il sedimento che, con le onde più alte, verrebbe trasportato verso largo oltre la profondità di compensazione.

Una barriera soffolta, della tipologia comunemente utilizzata in Italia ed in Mediterraneo, è costituita da una serie di massi, di dimensioni note, disposti in maniera calcolata per ottenere un prefissato effetto dissipativo sul moto ondoso. Sono generalmente realizzate in due strutture distinte, ovvero una fondazione, che ne assicura la stabilità e la durata nel tempo, ed una mantellata che, in base al disegno ed alla dimensione che ne viene data in fase di progetto, permette di trovare il giusto equilibrio tra l'effetto dissipativo, il trasporto di materiale sedimentario e la circolazione idrodinamica. Per le due tipologie di struttura vengono utilizzati massi di diversa dimensione, cosicché, come per i ripascimenti delle spiagge, le strutture sovrastanti sono composte di materiali con granulometria maggiore. La quantità di massi necessaria per ottenere il preciso effetto dissipativo richiesto viene calcolata di seguito, sulla base dei dati di riferimento, idrodinamici ed ingegneristici, utilizzati in un lavoro di progettazione di opere di difesa costiera, eseguito dal

Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina, per la zona costiera delle “Murelle”, Montalto Marina (*Progetto delle opere di difesa costiera nell'area compresa tra la foce del Fiume Fiora e Punta delle Murelle: studio meteomarinico e applicazione di modelli numerici per l'ottimizzazione delle opere e lo studio dell'interazione con la dinamica costiera*).

In questo lavoro vengono proposti dei moduli di barriera sommersa delle stesse dimensioni, da installare in maniera non continuativa in modo da permettere un costante ricambio di acqua, come mostrato in Figura X

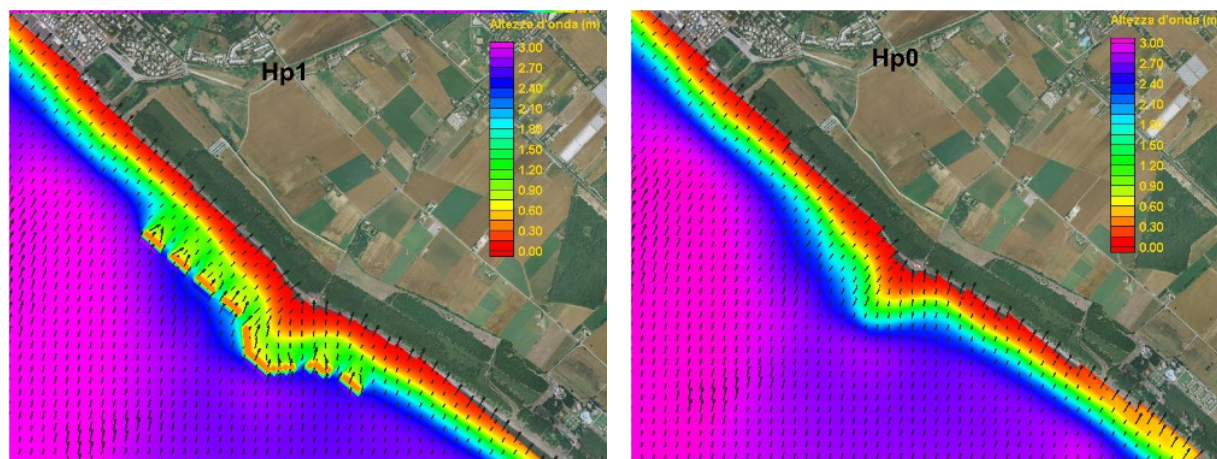


Figura 3-3. Effetto di una barriera soffolta sulle mareggiate incidenti lungo la linea di costa.

Stimando i costi per la realizzazione di un modulo, normalizzandoli per ottenere una dissipazione di energia paragonabile a quella determinata dalle praterie dell'area di studio, è possibile arrivare a determinare il valore per la realizzazione di tale benefit. Per ottenere un valore confrontabile con quello di altri benefit forniti è infine necessario introdurre la dimensione temporale ed ottenere il valore annuo di tale servizio. Per fare ciò il costo di installazione viene suddiviso per gli anni per i quali l'efficienza dell'opera è garantita, utilizzando le stime sul tempo di vita delle opere di difesa riportate in bibliografia (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 1996).

Un modulo come quelli progettati ha una lunghezza di 150 metri, con una fondazione costituita da 2100 m³ di materiale ed una mantellata costituita da 4050 m³ di massi. Il peso rappresentativo dei massi da utilizzare è stato calcolato in 2600 Kg/m³. I massi utilizzati per la fondazione hanno un costo di 19,50 €/t, simile al costo dei massi utilizzati per la mantellata: 20,40 €/t. È possibile considerare i costi per la fondazione come costi fissi, nel senso che questa componente di spesa varia molto poco in relazione all'attenuazione di moto ondoso che si vuole ottenere. Ciò che varia in maniera più consistente è la dimensione della mantellata, in cui la quantità di materiale utilizzato è proporzionale alla quantità di energia che si progetta di dissipare. L'effetto calcolato per le opere

descritte varia in considerazione della direzione di provenienza dell'onda e della sua altezza significativa. I casi che ne rappresentano i due estremi, per i quali sono state condotte simulazioni numeriche ad alta risoluzione, sono un'onda significativa di 1.1 metri proveniente da 245°, sulla quale si osserva una riduzione dell'energia associata all'altezza d'onda incidente pari al 25%, ed un'onda significativa di 1 m proveniente da 190°, sulla quale si osserva una riduzione energia incidente pari al 15%, media 20%. Queste percentuali dimostrano che l'intervento progettato è un'opera studiata per interferire con i treni d'onda incidenti, ma senza modificare in maniera drastica l'equilibrio idrodinamico generale del tratto di costa, che è il principale motivo di fallimento di numerose opere di difesa costiera. Per ottenere dunque una stima economica del benefit di protezione dall'erosione si rapporta la dissipazione indotta dalle opere descritte a quella indotta dalle praterie, tenendo fermi i costi fissi della fondazione e adattando i costi variabili della mantellata, il cui costo è legato ai m³ di massi depositati, dipendente dalla quantità di energia che si intende dissipare.

Da progetto, per la fondazione sono necessari 2100 m³ di massi del peso di 2600 Kg/m³, per un totale di 5460 tonnellate che, al costo dei massi per la fondazione di 19,50 €/t, comporta una spesa finale di 106470 €, costo al metro: 709,8 €.

Per la mantellata sono necessari 4050 m³ di massi, sempre del peso di 2600 Kg/m³, totale 10530 tonnellate al costo di 20,40 €, totale: 214812 €, costo al metro: 1432,08 €.

Il costo al metro della mantellata permette una dissipazione di energia media del 20 %. Se si rapporta il costo alla dissipazione indotta da Posidonia (25%) risulta essere 1790,1 €/m.

Se infine si estende tale costo ad un ettaro, ipotizzando un quadrato di 100 m di lato, e si distribuisce il costo sull'arco di tempo per il quale è garantita la struttura, circa 20 anni, il risultato, 8950,5 € è una stima del benefit di protezione dall'erosione fornito da un ettaro di prateria ogni anno.

3.5.5 Bioremediation

Per il calcolo del valore del benefit di bioremediation, si quantifica quanto costerebbe processare con metodi biologici l'eccesso di nutrienti che la prateria è in grado di assorbire. Conseguentemente, poiché si considerano solo i servizi legati a fosforo ed azoto, il risultato finale sottostima considerevolmente il valore complessivo di tale benefit

La capacità delle praterie di Posidonia di rimuovere considerevoli quantità di azoto e fosforo dalle acque e dai sedimenti costieri, è una caratteristica chiave nella conservazione degli equilibri ecosistemici costieri e nel mantenimento della resilienza del sistema. Sia le stesse piante di Posidonia, sia il complesso degli organismi ad esse associati, attuano un processo di rimozione degli eccessi e rendono parte di questi nuovamente disponibili per le comunità biologiche costiere. In questo ambito, un ruolo di grande rilievo è svolto dalla comunità biocenotica associata alla *matte*, al complesso intreccio di rizomi, radici, sedimenti e materia organica in cui le comunità microbiche svolgono un ruolo ecologico di primo rilievo.

Il controllo degli eccessi nei carichi di nutrienti che si rendono disponibili per gli organismi fotosintetici permette di limitare, tra le altre cose, il proliferare di alghe e batteri, esercitando un controllo sull'insorgenza di processi di eutrofizzazione che, una volta innescati, possono portare alla riduzione della biodiversità specifica, all'impoverimento dello stato ecologico del sistema e, per conseguenza, ad una complessiva riduzione dei benefit forniti all'uomo dagli ecosistemi marini costieri. In aggiunta, la stessa capacità di ridurre le concentrazioni di Azoto e Fosforo, svolge un ruolo importante nella limitazione della proliferazione di specie algali alloctone. Un caso ormai classico è la proliferazione dell'alga verde *Caulerpa*, in competizione con le specie mediterranee dello stesso genere per le risorse disponibili e con le stesse praterie di Posidonia per gli spazi e la radiazione luminosa.

Per arrivare ad una stima del valore economico di questo servizio, sono state prese in considerazione diverse tecniche di rimozione biologica dei nutrienti in eccesso da reflui ricchi in Azoto e Fosforo. Tra le attività che hanno consistenti necessità di abbattimento dei carichi di nutrienti, e per le quali è quindi disponibile una utile letteratura comprensiva di dati, c'è l'allevamento di bestiame con la relativa produzione di reflui ad alto contenuto in N e P. Di conseguenza, il metodo utilizzato per la stima è la valutazione di quanto costerebbe rimuovere la stessa quantità di nutrienti con le tecniche disponibili per questo settore produttivo. Per ottenere tale risultato, i valori di fissazione di nutrienti da parte delle praterie sono stati confrontati con i dati di smaltimento dei nutrienti dai reflui degli impianti di allevamento individuati all'interno del Quaderno di Ricerca della Regione Lombardia, in collaborazione con ERSAF (Ente Regionale PER i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste), "Gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica – Soluzioni tecnologiche ed Impiantistiche". I livelli di assorbimento di nutrienti da parte delle praterie di Posidonia sono desunti da letteratura.

Si consideri un tasso di assorbimento dell'Azoto e del Fosforo (in termini di fissazione), da parte del sistema prateria, intesa come biocenosi, rispettivamente di:

N = 1.90 mol/m² anno, corrispondenti a 34.2 g/m²/anno

P = 0.49 mol/m² anno, corrispondenti a 1.52 g/m²/anno

che, estraendo il valore per ettaro, risulta in

N = 342000 g/ha/anno e P = 15200 g/ha/anno

In media, nell'esempio preso in considerazione di allevamenti di suini o bovini, la concentrazione di azoto nei reflui zootecnici da allevamenti è, rispettivamente, 3-4 kg/m³.

Vengono presi in considerazione 4 differenti metodi di rimozione biologica dei nutrienti dai reflui, per ognuno dei quali viene presentata una stima delle prestazioni, in termini di rimozione percentuale ed effettiva di azoto e fosforo e dei relativi costi.

Allevamento suini – Azoto = 3 kg/m ³		Prestazioni (%)		Rimozione effettiva g/m ³			Rimozione effettiva g/m ³ [media]	
Metodo	media €/m ³	N	P	N	N (4 kg)	P	N	P
<i>Separazione solidi grossolani</i>	0.3	4-7	8-12	120-350	160-280	37,04 – 55,56	165-220	300
	0.9	8-15	30-42	240-450	320-600	138,9-194,46	345-460	1080
	0.9	6-16	28-42	180-480	240-640	129,64-194,46	330-440	1050
<i>Valore di Riferimento</i>	0,7						280	810
<i>Separazione solidi grossolani e fini</i>	0.35	25-35	50-65	750-1050	1000-1400	231-300,95	900-1200	1725
	1.6	30-40	70-90	900-1200	1200-1600	324,1-416,7	1050-1400	2400
	1.6	20-26	73-87	600-780	800-1040	337,99-402,81	690-920	2400
	3.55	20-35	60-80	600-1050	800-1400	277,8-370,4	825-1100	2100
<i>Valore di Riferimento</i>	1,78						866,25	2156,25
<i>Rimozione biologica dell'azoto</i>	3.5	50-70	0	1500-2100	2000-2800	0	1800-2400	0
	4.4	70-90	15-75	2100-2700	2800-3600	69,45-347,25	2400-3200	1350
	6.05	70-95	15-95	2100-2850	2800-3800	69,45-439,85	990-3300	1650
<i>Valore di Riferimento</i>	4,65						1730	1500
<i>Estrazione di azoto come concime minerale</i>	10.5	60-80	30-90	1800-2400	2400-3200	138,9-416,7	2100-2800	1800
	17.5	80	85	2400	3200	393,55	2400-3200	2550
	12	50	85	1500	2000	393,55	1500-2000	2550
<i>Valore di Riferimento</i>	13,33						2000	2300

Tabella 3-11. Calcolo dell'efficienza dei metodi di rimozione dei nutrienti e del loro costo economico.

Per una valutazione quanto più verosimile possibile, vengono prese in considerazione le prestazioni e i costi sono mediati sulle quattro tecniche elencate. Conoscendo le quantità di nutrienti

assorbite da un ettaro di prateria ogni anno, attraverso una proporzione con la quantità di azoto e fosforo sottratti al refluo, in relazione al costo per grammo, è possibile stimare il valore economico del benefit ecosistemico fornito dalla prateria di Posidonia in termini di bioremediation per azoto e fosforo.

Nutriente	Valore economico per tecnica €/ha/anno
Azoto	337,5
	985
	2400
	2250
<i>Valore mediano</i>	<i>1617,5</i>
Fosforo	134,27
	331,05
	208,35
	393,55
<i>Valore mediano</i>	<i>269,7</i>
<i>Valore N + P</i>	<i>1887,2</i>

Tabella 3-12. Sintesi del valore economico del benefit in termini di € per ettaro all'anno

Conclusioni

In questo capitolo è stata presentata una rassegna dei principali lavori che hanno contribuito a formare il quadro di riferimento in cui i servizi ecosistemici vengono descritti e sono stati selezionati i lavori ritenuti più adatti al caso specifico di valutazione di ecosistemi marini costieri. All'interno del contesto definito da alcuni lavori chiave è stato selezionato l'approccio in cui esiste una separazione netta, di carattere principalmente operativo, tra le diverse fasi della fornitura del servizio ecosistemico. In particolare è stata ripresa la separazione tra servizi ecosistemici intermedi o finali, che costituiscono i processi ecologici da cui dipende la produzione di un beneficio netto, e i benefit ecosistemici, ovvero la parte di un processo ecologico che effettivamente produce un beneficio per l'uomo, che può essere concretamente misurato. In sostanza, se si considera, ad esempio, il servizio ecosistemico finale di regolazione del clima, che può svolgere un ecosistema

attraverso meccanismi di regolazione dei gas (servizio intermedio), il suo benefit netto è il sequestro di anidride carbonica, la quale può essere concretamente misurata ed alla quale può facilmente anche essere assegnato un valore economico. Poiché i rischi di errore nella valutazione del processo ecologico altissimi, l'attenzione di questo lavoro si concentra solo sulla fornitura reale dei benefit ecosistemici.

Questo approccio potrebbe sembrare sottostimare l'importanza del processo ecologico rispetto al benefit ecosistemico fornito, tuttavia, nel sistema selezionato per questo lavoro, il processo ecologico è messo in primo piano grazie alla selezione della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento. Infatti, come descritto in precedenza, la presenza di una biocenosi bentonica è il risultato di un processo di selezione ambientale sulle specie presenti, effettuato dalle condizioni dei parametri ecologici biotici ed abiotici.

Attraverso l'identificazione delle specie caratteristiche ed associate alle diverse biocenosi, ed in considerazione dei fattori ambientali descritti, sono stati identificati i benefit ecosistemici forniti per ogni area, in maniera esplicita dal punto di vista spaziale. In questo modo è stato prodotto un ulteriore parametro di valutazione a supporto della gestione sostenibile di spazi e risorse costiere, capace di tradurre le informazioni sulla complessità ecologica delle aree marine considerate in informazioni più facilmente utilizzabili, e divulgabili, sul beneficio che tali aree forniscono all'uomo.

In conclusione, la carta della distribuzione delle biocenosi bentoniche, fornita alla fine del capitolo precedente, viene convertita in una carta della distribuzione dei benefit ecosistemici forniti per ogni tipologia di copertura, nell'area di studio.

4. LA CARTA DI USO DEL MARE

"This Directive establishes a framework for maritime spatial planning aimed at promoting the sustainable growth of maritime economies, the sustainable development of marine areas and the sustainable use of marine resources"

*Directive 2014/89/EU of the European Parliament
and the Council of 23 July 2014
establishing a framework for maritime spatial planning*

Introduzione

Come si è visto nelle fasi iniziali di questo lavoro, la normativa europea, a vari livelli, promuove un approccio ecosistemico allo sfruttamento degli spazi e delle risorse marine costiere. In particolare, l'obiettivo dell'azione comunitaria è guidare la produzione di ricchezza e posti di lavoro, a partire dalle risorse e dagli spazi costieri, attraverso la conservazione del capitale naturale. Per fare ciò è fondamentale mettere a punto strumenti di gestione moderni ed innovativi di questo capitale, in modo da permetterne sia l'utilizzo sia la conservazione.

Le aree marine costiere sono sede di numerosi usi socio-economici di grande importanza, come quelli legati alla navigazione o alla produzione di energia, ed ospitano al tempo stesso alcuni degli ecosistemi di maggior valore al mondo. In questo contesto dunque è fondamentale conoscere la distribuzione spaziale degli usi e degli ecosistemi, così da poter implementare l'approccio ecosistemico alla gestione delle risorse. In questo capitolo viene presentato lo strumento proposto in questo lavoro, ovvero la Carta di uso del Mare, descrivendo i diversi strati informativi che possono essere utilizzati ed il fondamento logico alla base della sovrapposizione delle informazioni.

Carta di Uso del Mare

Nel capitolo introduttivo si è parlato della necessità di implementare politiche di gestione degli spazi e delle risorse marittime attraverso un approccio al loro utilizzo basato sulla comprensione e sulla dinamica degli ecosistemi. Queste considerazioni sono valide in generale, ma hanno un significato imprescindibile soprattutto per le aree costiere. Non è un caso se, all'interno della Direttiva sulla pianificazione degli spazi marittimi, si parla dell'importanza dell'interazione terra-mare sin dal primo articolo. La Direttiva è rivolta agli Stati Membri e specifica anche la necessità della cooperazione transfrontaliera nel perseguimento degli obiettivi, ma la sua implementazione non può prescindere dallo sviluppo di strumenti adeguati alla gestione di aree territoriali specifiche. È una questione di scale. Gli obiettivi generali non possono che essere stabiliti a grande scala, poiché i risultati sono attesi a livello nazionale e comunitario, ma i risultati possono essere raggiunti solo attraverso la pianificazione specifica delle singole aree costiere. Da qui la necessità di fornire alle amministrazioni locali strumenti innovativi che permettano di conoscere la ricchezza in termini di capitale naturale della propria area e l'uso antropico degli spazi, in modo da rendere più agevole la programmazione e coniugare più facilmente le necessità di conservazione del patrimonio ecologico con le opportunità di sviluppo economico legato al mare, la cosiddetta “*Blue Growth*”.

In questo capitolo viene descritto lo strumento proposto a supporto della gestione di spazi e risorse costiere, nonché dell'integrazione di nuovi usi all'interno dei sistemi marini costieri. Tale strumento è un Sea-Use Map, ovvero una carta di uso del mare ispirata agli strumenti di programmazione territoriale terrestre (es. Land-Use Map).

La Sea-Use Map va considerata come un contenitore di informazioni, di diversi livelli informativi che contribuiscono a caratterizzare un'area costiera da un punto di vista naturalistico ed antropico attraverso l'implementazione di un approccio ecosistemico. Non si vuole limitare l'impiego di risorse costiere, magari perché ispirati acriticamente a principi ambientalisti; soprattutto nell'attuale periodo finanziario, non si può impedire lo sviluppo economico e la creazione di posti di lavoro imponendo vincoli a priori, si può invece guidare tale sviluppo promuovendo usi compatibili con gli equilibri dei sistemi costieri e che facciano un uso degli spazi quanto meno esclusivo e più reversibile possibile.

Uno strumento come quello descritto è basato su un cardine imprescindibile: la conoscenza dei sistemi naturali. Innanzitutto conoscenza della componente abiotica del sistema, ovvero l'insieme delle condizioni che selezionano la comunità biologica che vi si sviluppa. Poi conoscenza del mondo vegetale ed animale con la necessaria fitness per colonizzare un determinato ambiente.

Infine, conoscenza dei complessi equilibri che regolano le interazioni all'interno della componente biologica del sistema e tra la componente biotica ed abiotica.

Gli strati informativi integrati nella Sea-use Map qui presentata sono: i morfotipi costieri, il regime idrodinamico, gli ecosistemi bentonici, gli usi ed i vincoli, i servizi ecosistemici ed i livelli aggiuntivi, variabili a seconda dell'obiettivo dello studio o del programma di gestione.

4.1 Livelli informativi

I sistemi informativi geografici prevedono la sovrapposizione di diversi livelli informativi, in cui gli strati inferiori forniscono le informazioni base del sistema, ovvero quelle che descrivono l'area in base ai caratteri più evidenti, e quelle superiori informazioni particolari, selezionate in base agli scopi specifici del progetto.

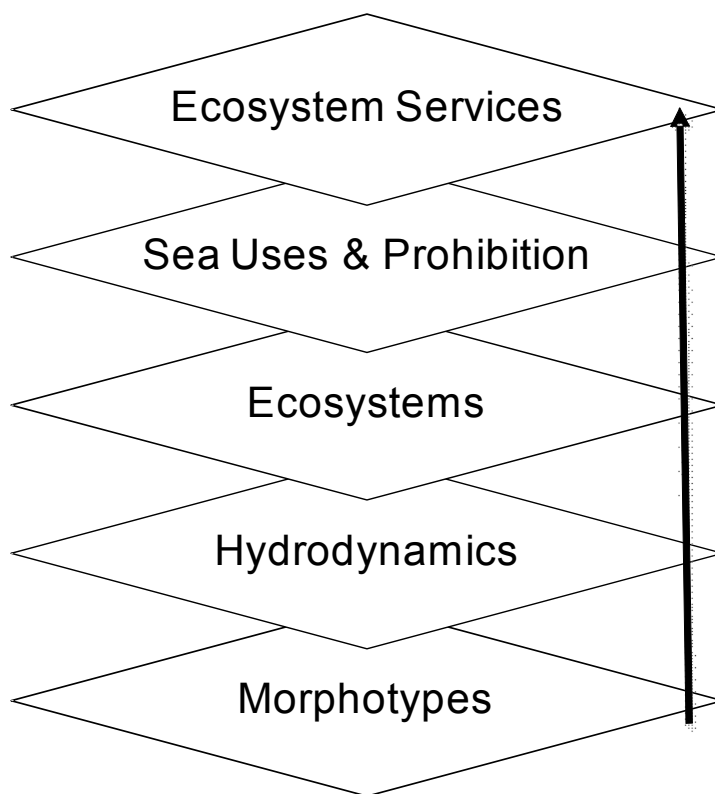


Figura 4-1. Fondamento logico della sovrapposizione di livelli informativi nella Carta di Uso del Mare

I diversi livelli rappresentano la tipologia di copertura degli spazi, sia marittimi che terrestri,

sulla base dell'informazione che si intende rappresentare

4.1.1 Morfotipi costieri

Con il termine morfotipi costieri si fa riferimento al lavoro di Anselmi e Brondi del 1978, “Lineamenti granulometrici e mineralogici generali dei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano. Studio di supporto a ricerche sulla dinamica costiera e sulla contaminazione marina”, che redige una classificazione dei tipi di costa. Attraverso questa forma di classificazione è possibile desumere le informazioni su diversi parametri che definiscono un tratto di costa, sia nella sua fase marina che nella fase terrestre. In questo lavoro vengono delineate 7 tipologie costiere, di cui 2 identificate all'interno dell'area di studio: Pianura alluvionale nei

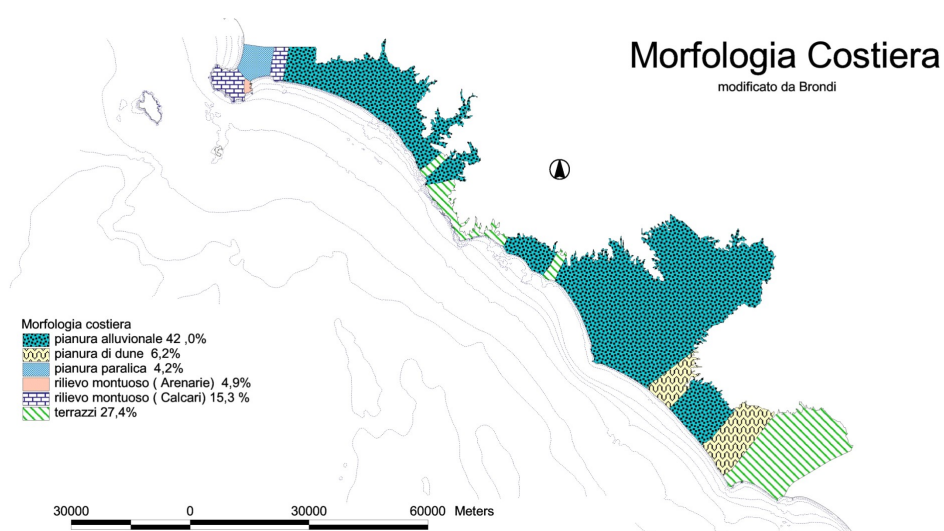


Figura 4-2. Carta dei morfotipi costieri del Lazio

La varietà di tipologie in un'area così delimitata è uno dei motivi principali alla base della scelta dell'area di studio.

4.1.2 Regime idrodinamico

Gli effetti dell'azione combinata di onde, maree e correnti è una delle principali forzanti ecologiche sugli ambienti marini costieri.

Il regime idrodinamico è anche un parametro chiave anche nella valutazione delle possibilità di installazione e manutenzione dei diversi impianti produttivi che possono essere progettati in ambito marittimo, come ad esempio impianti di acquacoltura, energetici, di protezione costiera, estrattivi, etc.

È quindi necessario che l'informazione su onde, maree e correnti sia disponibile, accurata e ad alta risoluzione. In particolare, la scala della risoluzione in cui viene prodotta e presentata l'informazione deve essere adeguata alla scala dell'informazione ecologica necessaria ed alla tipologia di intervento che si vuole progettare.

Nello studio idrodinamico dell'area è importante conoscere anche il regime delle correnti. In particolare, le correnti di maggior importanza, oltre alle correnti indotte da onde, sono le correnti indotte da vento e la circolazione generale.

La circolazione generale è ben conosciuta nel Tirreno centrale e settentrionale. Ha una direzione dominante diretta da sud-est verso nord-ovest, muovendosi parallelamente all'orientamento della costa italiana. Il ruolo della circolazione generale è fondamentale, non tanto per il suo effetto energetico sul fondale, trascurabile, quanto per la sua capacità di trasportare sedimento e materiale in sospensione. Il trasporto di sedimento nell'area di studio è un fattore determinante per via della presenza dei quattro corsi d'acqua che sfociano e della presenza di numerosi altri canali. Le quantità di materiale immesse in mare attraverso le foci, insieme al sedimento locale ed eventualmente a quello mobilitato dalle frequenti opere costiere, vengono distribuite lungo la costa dall'azione principale della circolazione generale, generando spesso, in combinazione con altri fattori, situazioni di ridotta penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua. Non ridotta al punto da impedire la vita delle fanerogame, ma sufficiente, ad esempio, a ridurre considerevolmente la profondità a cui è possibile identificare il limite inferiore delle praterie di Posidonia oceanica. In quest'area, infatti, non si ritrovano praterie al di sotto dei 25 metri mentre la profondità massima raggiungibile in Mediterraneo arriva anche a 45-50 metri.

Il trasporto solido fluviale, inoltre, determina la dispersione di nutrienti, contaminanti e materiale organico, determinando anche zone preferenziali di accumulo che devono essere tenute in considerazione a seconda degli obiettivi per i quali vengono utilizzate le informazioni.

L'effetto di questi input sull'area marina costiera è molto stagionale, ma ha effetti considerevoli, soprattutto sulla dispersione di alcuni metalli pesanti, soprattutto mercurio e arsenico,

per questo motivo è importante ottenere una caratterizzazione idrodinamica legata anche a specifici scenari, come i venti regnanti ed i venti dominanti. Questi infatti possono modificare la distribuzione degli input fluviali lungo la costa ed avere un impatto a livello locale

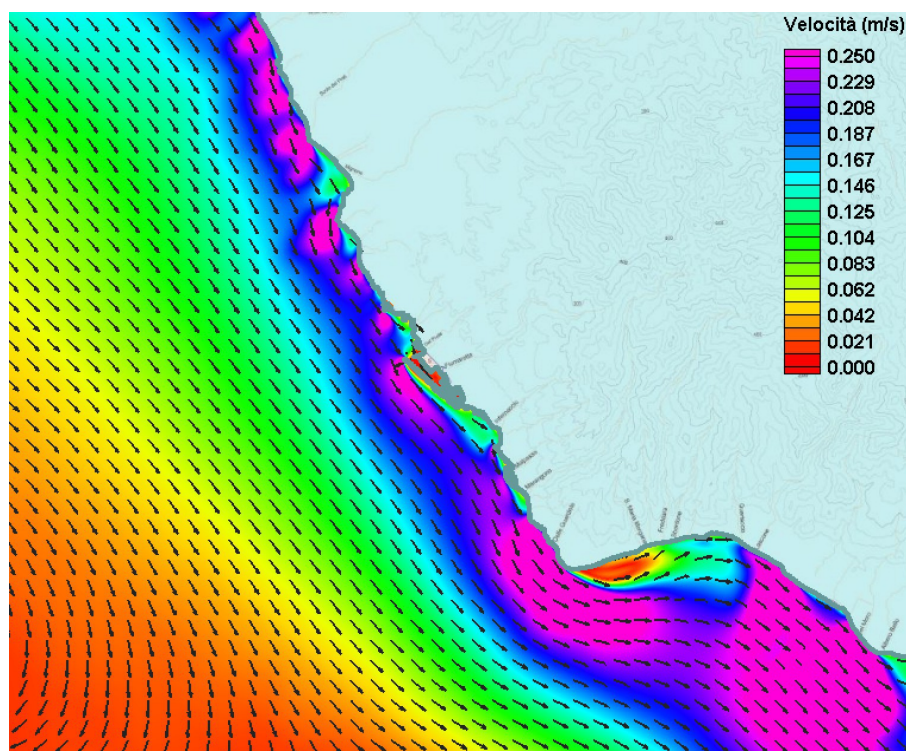


Figura 4-3. Effetto di un vento di Maestrale sulla circolazione generale costiera (Bonamano, 2013)

Anche il regime del moto ondoso deve essere conosciuto nel dettaglio, sia attraverso la descrizione delle condizioni regnanti sia nella descrizione degli eventi estremi. Per l'analisi di dettaglio di determinate aree, finalizzata per esempio al dimensionamento di un'opera costiera, può essere molto utile effettuare simulazioni ad alta risoluzione:

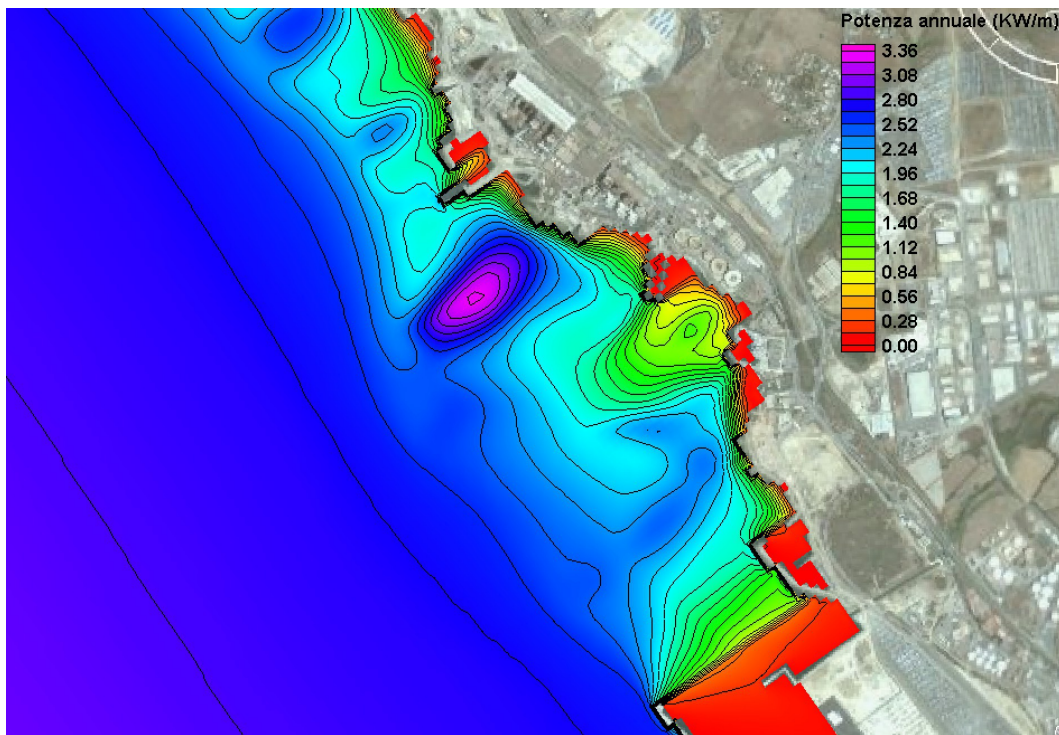


Figura 4-4. Analisi numerica ad alta risoluzione della propagazione del moto ondoso in acque basse (EuroGOOS 2011)

Come descritto nel capitolo 2, il regime idrodinamico che insiste su un'area seleziona consistentemente la composizione in specie e la loro relativa abbondanza, al punto che Riedl vi basò la sua classificazione delle biocenosi bentoniche. Può quindi essere molto utile conoscere anche l'effetto dell'azione idrodinamica sul fondale, in termini di stress sul fondo

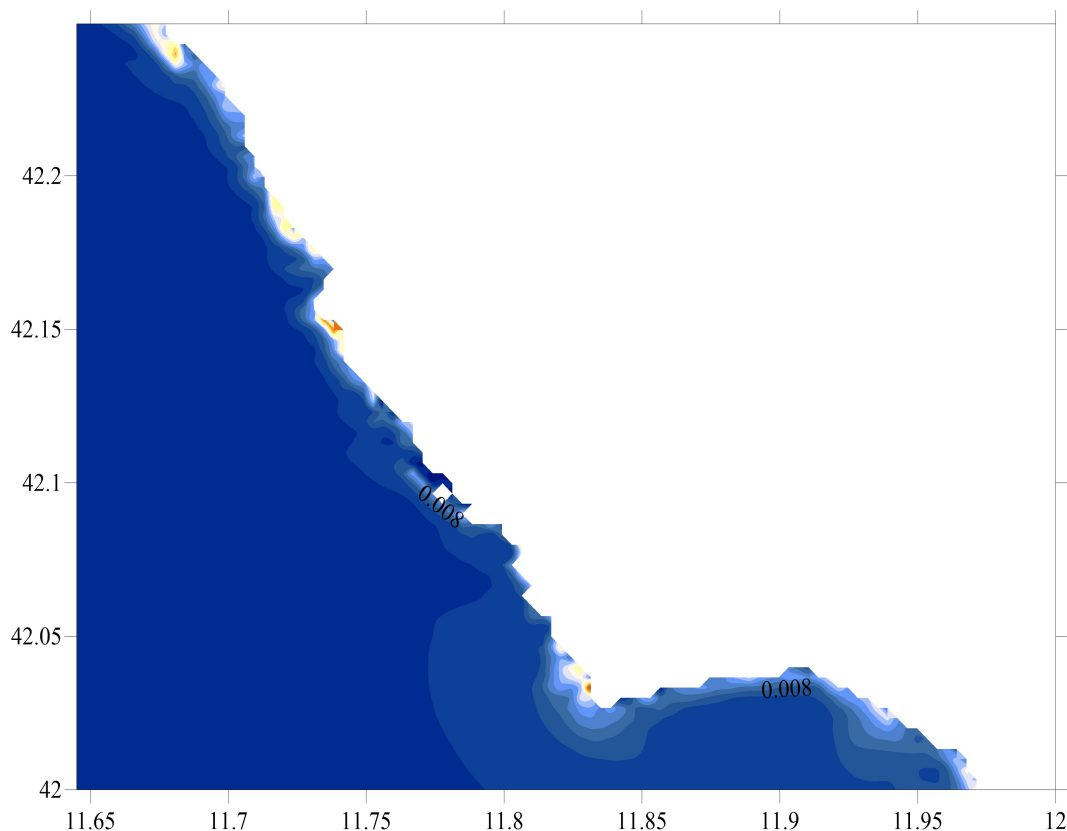


Figura 4-5. Carta dello stress sul fondo indotto dal regime idrodinamico (Gnisci, 2014)

4.1.3 Ecosistemi

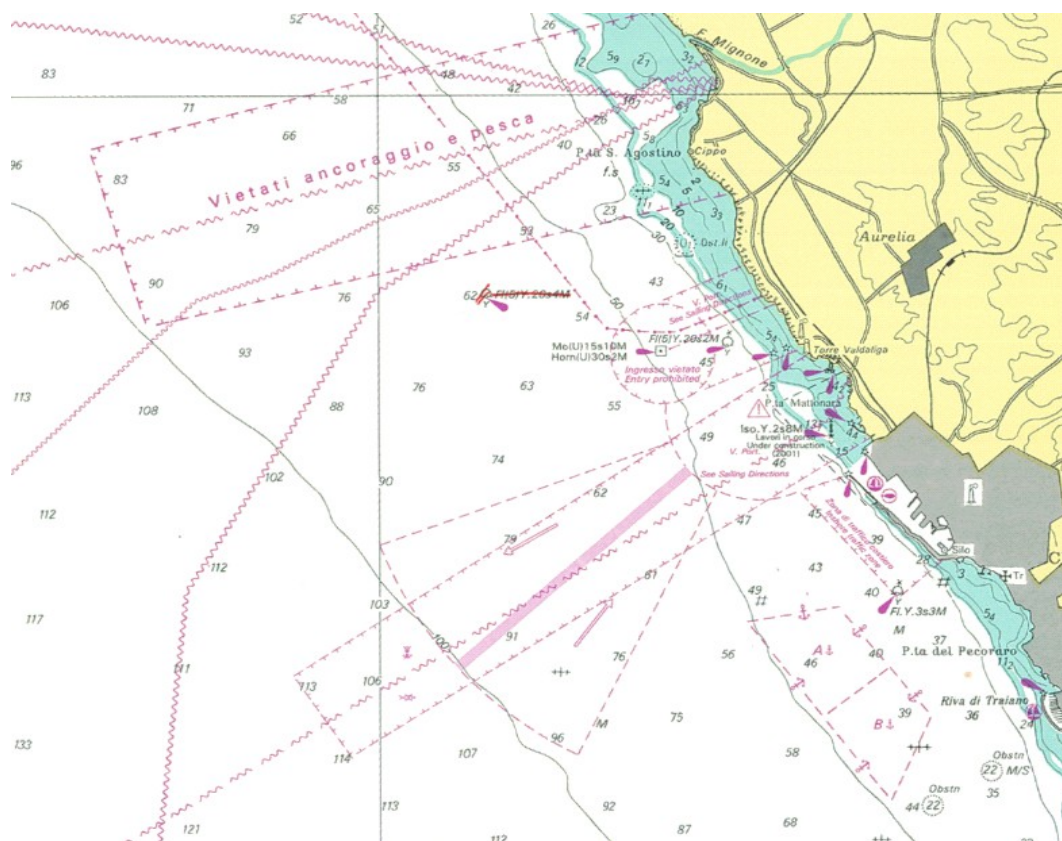
Nel capitolo 2 sono state descritte in dettaglio le biocenosi presenti nella zona. Si è spiegato come la biocenosi sia stata utilizzata sia come unità territoriale di riferimento, sia come vero e proprio strumento di lavoro nella selezione della definizione operativa di servizi ecosistemici. Ulteriori informazioni sono necessarie quando ci si trova in presenza di popolamenti specifici, ad esempio per i pesci, i mammiferi, le specie alieutiche in generale e la fauna avicola.

4.1.4 Usi e vincoli

Poiché lo strumento presentato è finalizzato alla programmazione sostenibile degli spazi costieri, è indispensabile conoscere quali sono le attività umane che fanno già uso degli sia marini che terrestri.

L'area di studio, ha una lunghissima storia di civilizzazione ed è quindi stata sede di attività antropiche per diversi millenni. Tuttora esiste un'ampia varietà di usi, soprattutto terrestri, che hanno effetti sui sistemi naturali e che potrebbero entrare in conflitto tra loro o con i nuovi usi.

A sud ed a nord dell'area di studio sono anche presenti dei poligoni di tiro militari in cui, durante le esercitazioni, possono essere sparati dei colpi in mare. In questo caso, su ordinanza della Capitaneria di Porto, gli spazi marittimi antistanti sono interdetti alla pesca, ancoraggio e perfino navigazione.



4.1.5 Servizi ecosistemici

Il livello informativo sui servizi ecosistemici è descritto nel Capitolo 3. Cartografare l'informazione sui benefit ecosistemici contestualmente con le attività antropiche permette di fare confronti immediati tra le tipologie d'uso degli spazi. Un ecosistema ben strutturato e tendente al climax ecologico è basato su relazioni complesse, sia all'interno dell'associazione biologica, sia tra questa e la componente abiotica del sistema. Come si è visto precedentemente, tale complessità ecologica determina, solitamente, un'elevata fornitura di benefit ecosistemici per l'uomo, di conseguenza, quando in un sistema informativo cartografico vengono mostrati contemporaneamente sia i benefit (economici ed occupazionali) delle attività antropiche, sia i benefit derivanti dagli ecosistemi, si sta in realtà dando risalto al valore ecologico di determinate tipologie di copertura naturale.

Lo scopo di questo approccio, e di questo livello informativo in particolare, non è confrontare copertura naturale e copertura socio-economica. Lo scopo è, piuttosto, evidenziare come la conservazione degli equilibri ecologici significhi conservazione del patrimonio naturale. È l'uomo il gestore di tale patrimonio, perché può deciderne le sorti modificando la copertura degli spazi. Le amministrazioni, e chi si occupa di programmazione territoriale costiera, possono disporre sia del capitale naturale sia del capitale socio-economico ed è quindi importante che abbiano gli strumenti necessari per tenere in considerazione l'insieme di condizioni e fattori che generano le risorse.

4.1.6 Altri livelli

Quando l'area in oggetto è ben descritta attraverso i livelli informativi di base della Sea-Use Map, è possibile finalizzare lo strumento in accordo con scopi specifici aggiungendo livelli informativi dedicati.

Se l'oggetto dello studio è, ad esempio, la conservazione degli ecosistemi e del capitale naturale, è possibile aggiungere le aree protette ed i Siti di Importanza Comunitaria, come mostrato in figura 1-5, e sovrapporre a questi degli indici di pressione antropica.

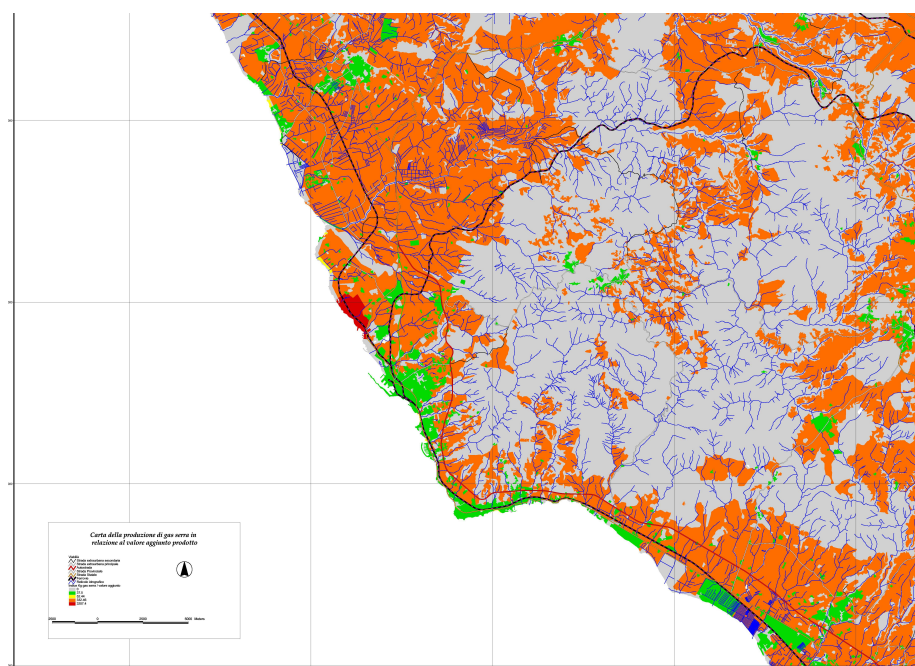


Figura 4-7. Carta della produzione di gas serra in relazione al valore aggiunto prodotto per uso del suolo costiero (Tofani, non pubblicata)

Se ci sono esigenze di conservazione di specie target, come nel caso di specie prioritarie nella Direttiva Habitat, può essere estremamente utile mappare la presenza della specie attraverso campionamenti specifici. In questo caso, la Carta di Uso del Mare è anche funzionale alla redazione dei programmi di gestione e dei piani di monitoraggio.

Passando agli usi ed alle possibilità di sfruttamento delle risorse, la carta della distribuzione

Altri livello informativi	
Ecologici	Usi
Aree protette & SIC	Risorse estrattive
Aree di nursery	Collegamenti reti (elettriche, idriche, etc)
Granulometria	Piani gestione pesca
Contaminabilità	Tematismi naturalistici
Distribuzione contaminanti	Tematismi archeologici
Distribuzione specie	

percentuale delle peliti di Figura 1-2 diventa strumento indispensabile per studiare le potenziali cave sottomarine con finalità di ripascimento delle spiagge. Al tempo stesso si possono individuare le aree di deposito di sedimento della corretta granulometria, tenendo presente da subito i rischi di contaminazione da metalli per gli ecosistemi limitrofi. Lo stesso approccio potrebbe quindi essere utilizzato anche per garantire maggiore sostenibilità ed efficienza alle attività di estrazione mineraria.

Nel mondo della pesca, nel contesto normativo e dell'erogazione di fondi europei, si sta ponendo crescente attenzione alla redazione di piani di gestione sostenibile della pesca. Attualmente, in Italia ed Europa, il principale strumento di gestione della risorsa ittica è il fermo biologico, ovvero una interruzione trasversale della pesca, tramite il quale viene vietata indistintamente l'attività per circa un mese, allo scopo di permettere una ricostituzione degli stock. Tuttavia, sebbene il principio di ispirazione di questa misura sia corretto, da un punto di vista strettamente ecologico non è invece corretto fermare la pesca in un periodo ed una zona geografica in modo acritico. È necessario invece conoscere, con rigore ecologico, i cicli vitali delle specie alieutiche e le relative aree di riproduzione e nursery, in modo da programmare un'interruzione delle attività di pesca dinamica, che interdica determinate aree in determinati periodi, che possono variare grandemente da specie a specie, permettendo una ricostituzione dello stock molto più efficiente. Raccogliendo i dati del pescato, come sta facendo il Laboratorio in collaborazione con le cooperative dei pescatori locali, è possibile costituire un database, collegando ad esempio i dati sulle taglie ai dati sulle aree di pesca. Questa informazione può essere raccolta ed aggiunta come livello alla Carta di Uso del Mare, sovrapposta alle informazioni sugli ecosistemi bentonici e sulla tipologia di fondale. In questo modo, conoscendo il ciclo vitale delle specie di interesse, diventa possibile fermare la pesca solo in certe aree a seconda del periodo dell'anno, garantendo una conservazione più efficiente degli stock e permettendo alle cooperative di continuare l'attività produttiva per l'intero anno.

Se si pensa ai nuovi usi del mare, le microalghe rivestono un ruolo di primo piano. L'avanzamento della conoscenza sulle popolazioni fitoplanctoniche sta attraendo grandi risorse economiche, in virtù della possibilità di derivare da esse molecole di interesse commerciale. Solo per fare un esempio, il contenuto in grassi insaturi di alcune microalghe è molto ricercato nell'industria dei biocombustibili (es. biodiesel) e della nutraceutica (es. omega 3). Con lo stesso approccio, la Carta di Uso del Mare permette di mappare la circolazione delle correnti e la conseguente distribuzione dei nutrienti in aree costiere, così da programmare in maniera più efficiente i piani di campionamento conoscitivo, promuovendo sia le finalità scientifiche sia quelle produttive del progetto.

Infine, un livello di grande utilità sarebbe la valutazione economica dei servizi ecosistemici, come descritto nel paragrafo 3.5. Al momento i pochi lavori concreti di valutazione sono soprattutto di carattere generale, riferiti ad ecosistemi generici, tuttavia, per rendere questa informazione

utilizzabile è fondamentale che sia prodotta in maniera esplicita dal punto di vista spaziale. Una valutazione economica dei servizi ecosistemici di un'area costiera permetterebbe di pesare l'informazione sui benefit forniti e renderla ancor più efficace nella redazione di programmi di gestione.

In conclusione, la Carta di Uso del Mare comprensiva delle informazioni descritte:

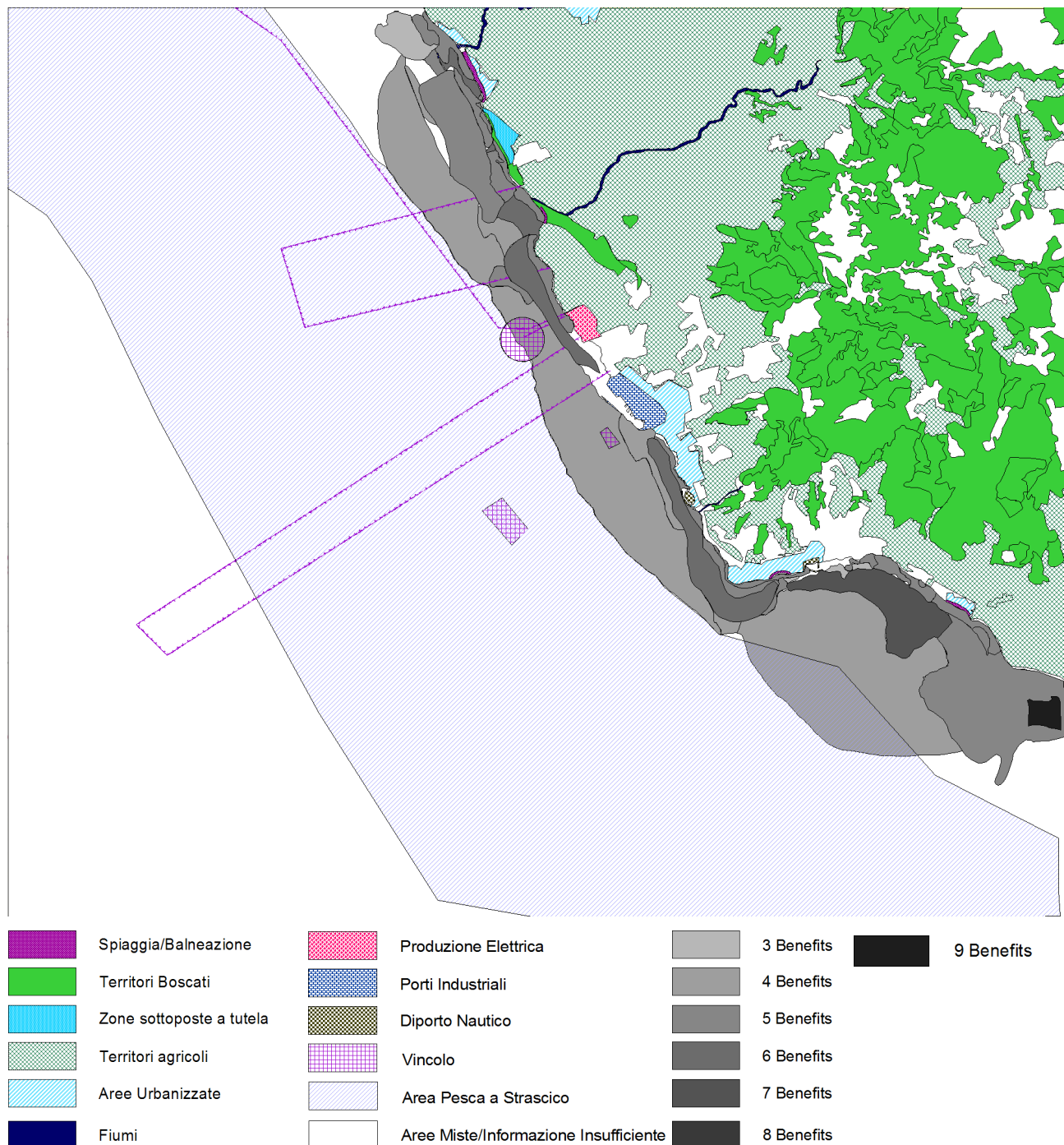


Figura 4-8. Carta di Uso del Mare, con benefit ecosistemici, usi e vincoli, copertura del suolo.

4.2 Ranking informazioni

Lo strumento presentato finora è uno strumento puramente qualitativo. Per poter essere efficace, tale strumento deve anche fornire informazioni che permettano confronti tra aree diverse, a seconda delle finalità specifiche. Se, ad esempio, si vuole pianificare a lungo termine lo sviluppo economico di un'area costiera, sarà probabilmente necessario individuare gli usi del mare su cui si intende investire maggiormente. Nel contesto europeo, gli usi che vengono promossi maggiormente sono quelli che producano più posti di lavoro esercitando al tempo stesso i minori impatti sugli ecosistemi. È esattamente a questo scopo che si parla di approccio ecosistemico allo sviluppo, come descritto nel capitolo introduttivo. In questo caso, le amministrazioni dovranno effettuare una pianificazione degli spazi marittimi, in modo da valutare più agevolmente le richieste di spazi e risorse dei diversi usi. In questo caso, può dover essere necessario effettuare dei confronti tra le aree su basi scientifiche e portare il confronto ad un livello quantitativo. Se si vuole introdurre un nuovo uso nel sistema ecologico e socio-economico della costa, sarà necessario redigere una carta della distribuzione della risorsa utilizzata, supportando quindi stime di producibilità, mappare gli usi già esistenti, i relativi vincoli e gli ecosistemi bentonici presenti aggiungendo, per maggiore efficacia, i relativi servizi ecosistemici. In aggiunta, dove possibile, sarebbe estremamente utile anche mappare il valore economico del capitale naturale dell'area.

Il passo successivo nella finalizzazione della Carta di Uso del Mare è, dunque, assegnare un valore numerico alle informazioni disponibili, così da classificare le aree sulla base delle esigenze specifiche. Se si vuole inserire un nuovo uso marittimo lungo un tratto di costa, sarà necessario evitare aree sottoposte a vincolo, assegnando un valore 0/1 in base a presenza assenza. Un valore 1/0 deve anche essere assegnato alla presenza o meno di un precedente uso degli spazi, a meno che questo non sia integrabile con l'attività target. In questo caso, poiché l'integrazione tra gli usi permette un'occupazione più sostenibile degli spazi, quell'area potrebbe avere un valore 2. Gli ecosistemi che sono coinvolti nelle operazioni di installazione e nell'attività ordinaria devono necessariamente essere messi in primo piano in un approccio ecosistemico. Come illustrato precedentemente, viene qui utilizzata la biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento. Il valore numerico da assegnare alla biocenosi è, in questo lavoro, il valore relativo alla fornitura di benefit ecosistemici. In questo contesto, tale valore varia tra 1 e 9, come riassunto in Tabella 4-1.

Livello informativo	Valore	Descrizione
Presenza vincoli da AMP	1 – 0	Presenza/assenza
Presenza di vincoli da usi	0 – 1 – 2	Presenza/assenza. Valore maggiore se c'è la possibilità di integrazione con altri usi
Servizi ecosistemici	Da 1 a 9	Numero di benefit ecosistemici forniti in una data area
Valore economico CN	Valore in €	Quando possibile, espresso in euro
Valore risorsa specifica	Da stabilire in base alle esigenze	es. energia moto ondoso. Valore in kW/m
Mappatura output ambientali	Da stabilire in base alle esigenze	Valore crescente in base alla pericolosità e persistenza degli output
Substrato per ancoraggio	Da stabilire in base alle esigenze	Alcuni usi possono preferire un substrato roccioso, altri un substrato sabbioso, quindi non univoco
Informazioni da stakeholder	Da stabilire in base alle esigenze	Specifico per le esigenze del progetto. es.: visibilità di un'opera dalla costa o la facilità di accesso alla rete elettrica

Tabella 4-1. Possibili punteggi assegnabili alle informazioni disponibili.

Il valore di altri livelli deve invece essere assegnato in base alla tipologia specifica del nuovo uso.

- a seconda del tipo di ancoraggio: substrato e granulometria
- valore della risorsa specifica
- a seconda degli output ambientali: regime idrodinamico (es. verso SIC)

Se ad esempio si vuole istituire una AMP si devono scegliere le aree di rispetto A B C. serve dare punteggio a distribuzione delle specie o ecosistemi target, stato di salute nelle diverse aree, presenza di usi, presenza di facilities, rotte di navigazione, aree di pesca, informazioni da confronti con stakeholder.

Per descrivere meglio sia l'utilità della Sea-Use Map nella pianificazione costiera, sia per descrivere un esempio concreto di ranking delle informazioni, nel paragrafo seguente viene presentato un esempio concreto di utilizzo. Tale esempio è legato all'installazione di dispositivi per la produzione di energia elettrica da moto ondoso

Conclusioni

In questo capitolo sono stati presentati gli starti informativi sulla base dei quali si compone lo strumento di gestione proposto. Attraverso l'utilizzo di dati originali e di letteratura vengono presentati alcuni livelli fondamentali per la gestione di un qualunque intervento in aree marine costiere. In aggiunta, vengono proposti i possibili starti che possono essere aggiunti a seconda dello specifico caso di valutazione. In conclusione viene presentata la Carta di Uso del Mare, incluse le informazioni sugli ecosistemi presenti, i benefit ecosistemici che questi forniscono, gli usi antropici degli spazi costieri ed i relativi vincoli. Lo strumento che ne deriva è la base per la conduzione di esperimenti di gestione sostenibile degli usi e degli spazi. Perché tale strumento sia effettivamente utilizzabile, è necessario che il confronto tra le diverse aree, indipendentemente dalle finalità specifiche dell'azione di gestione, possano essere confrontate tra di loro su base numerica. Viene quindi descritta la necessità di assegnare un ranking alle informazioni raccolte, che varierà naturalmente sulla base delle diverse finalità con cui si utilizza lo strumento, che siano l'introduzione di un novo uso, la destinazione di un'area specifica o la messa a punto di un piano di gestione o di conservazione.

Nel capitolo seguente tale strumento viene utilizzato per guidare l'inserimento di un nuovo uso della costa nei sistemi costieri descritti, già ricchi di ecosistemi di pregio ed usi del mare.

5. UTILIZZO DELLA CARTA D'USO DEL MARE IN UN CASO DI STUDIO REALE. PRODUZIONE DI ENERGIA DA MOTO ONDOSI: UN NUOVO USO DI SPAZI E RISORSE COSTIERE

If 0.1% of the renewable energy available within the oceans could be converted into electricity it would satisfy the present world demand for energy more than five times over”

UK Marine Foresight Panel

Introduzione

In questo capitolo viene presentato un caso reale di utilizzo dello strumento fin qui descritto, ovvero l'installazione di convertitori di energia da moto ondoso in zone costiere.

L'Italia, con quasi 8000 km di costa, ha un potenziale energetico associato al moto ondoso degno della massima considerazione. Tuttavia al momento, in considerazione del limitato clima d'onda a cui è sottoposto il Mediterraneo rispetto agli oceani aperti, l'installazione di grandi impianti offshore non sembra un investimento remunerativo. Per questo motivo, in Italia, l'attenzione si sta concentrando soprattutto sui dispositivi concepiti per installazione in aree costiere, dove, a scapito di una consistente riduzione dell'energia sfruttabile, si ottiene una forte riduzione dei costi di installazione e manutenzione. In aree costiere le barriere non tecnologiche alla diffusione di questa fonte di energia rinnovabile sono dunque principalmente due: la valutazione dell'energia effettivamente disponibile lungo la costa, al netto degli effetti di interazione delle onde con la morfologia costiera, e l'inserimento dei dispositivi nei sistemi costieri, dove esistono già ecosistemi tra i più prestigiosi al mondo ed una serie di usi antropici difficilmente sostituibili. Queste barriere vengono affrontate attraverso la messa a punto della Carta di Uso del Mare.

5.1 Introduzione all'energia da moto ondoso

Tra i nuovi usi del mare, uno dei settori che sta ricevendo sempre maggiore riconoscimento internazionale, in termini di ricerca ed investimenti, è quello delle energie rinnovabili marine. Secondo la European Ocean Energy Association, in accordo con la Roadmap della UE sulle energie rinnovabili, nel 2020 in Europa ci saranno 3,6 MW di potenza installata da fonti marine, che è prevista crescere fino a raggiungere 188 MW installati nel 2050. Su questo stanno lavorando centri di sviluppo tecnologico in tutto il mondo, e le barriere tecnologiche alla diffusione dei dispositivi vengono superate continuamente. È altrettanto importante però, per non ripetere errori del passato con la diffusione di nuove possibilità di sviluppo economico, che si tengano in primo piano anche le barriere non tecnologiche, soprattutto di carattere ambientale ed amministrativo.

In Italia la risorsa associata alle maree non è tale da consentire la pianificazione di investimenti strutturali, se non in aree ben precise, come lo Stretto di Messina. La risorsa che sta attraendo sempre più attenzione è dunque quella legata al moto ondoso, su cui sempre più gruppi di ricerca ed investitori pubblici e privati si stanno concentrando.

Da un punto di vista tecnologico esistono ormai decine di tipologie di convertitori, che si differenziano tra loro sulla base del metodo di trasmissione dell'energia dalle onde alla turbina. Esistono sistemi idraulici o ad induzione elettromagnetica, dispositivi flottanti o fissati sul fondale, installati su strutture già esistenti lungo la costa o in grandi parchi offshore. Per questo motivo, risulta ormai più semplice descrivere i dispositivi sulla base della zona di installazione per cui sono concepiti:

- shoreline
- nearshore
- offshore

I primi sono concepiti per essere installati lungo la linea di costa, generalmente in zone di costa alta o su strutture preesistenti come le opere di difesa costiera.

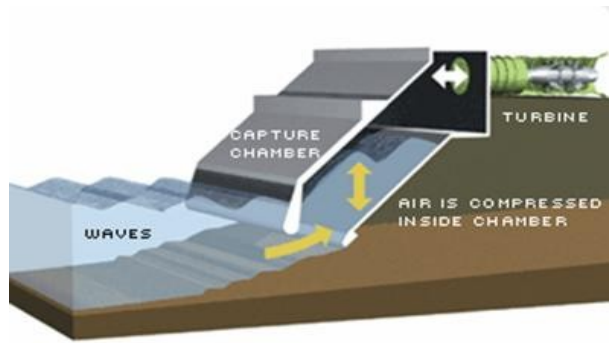


Figura 5-1. A sinistra installazione sperimentale del primo dispositivo Limpet. A destra il suo schema di funzionamento

I dispositivi nearshore sono disegnati solitamente per essere fissati al fondale ed interagire con il moto ondoso lungo tutta la colonna d'acqua

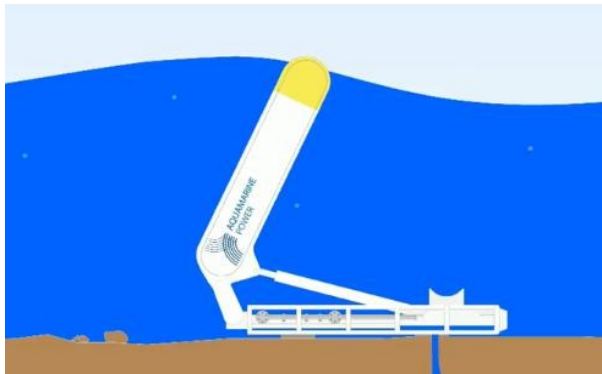


Figura 5-2. A sinistra dispositivo Aquamarine Power. A destra descrizione sintetica del sistema CETO, Carnegie Wave Energy

Le soluzioni offshore sono invece dispositivi galleggianti ancorati al fondale, di grandi dimensioni ed in grado di sfruttare i regimi d'onda più intensi.

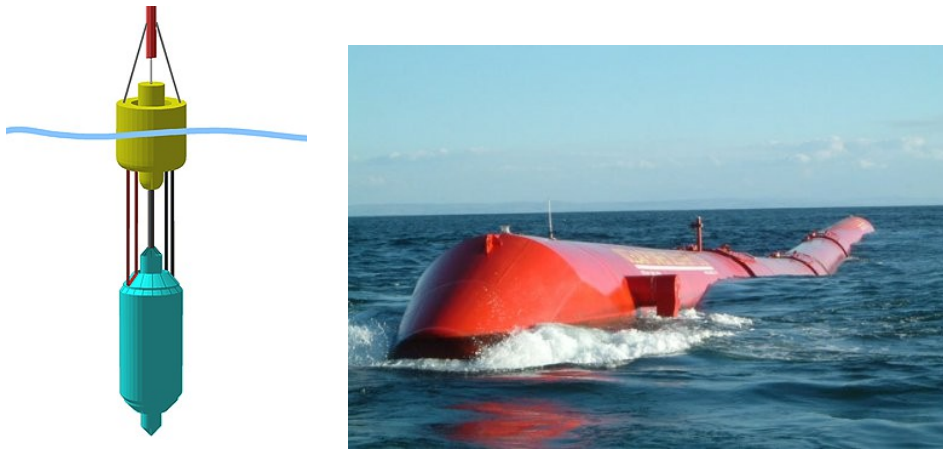


Figura 5-3. A sinistra Schema di funzionamento di un dispositivo *point absorber*. A destra test in mare del convertitore *Pelamis*

Al momento, solo pochi progetti hanno concluso la fase più propriamente sperimentale ed hanno raggiunto la fase matura. Attualmente sono probabilmente tre i progetti più riusciti, che stanno operando centrali connesse alle reti elettriche nazionali, una per ogni tipologia.

Per la tipologia *shoreline*, a Mutriku, nei Paesi Baschi, è stata realizzata una nuova diga foranea, per la protezione del nuovo porto turistico, dotata di 16 piccoli convertitori distribuiti lungo l'antemurale, progettati da Voith Siemens Hydro. Il sistema immette energia nella rete elettrica dal 2011, con una potenza nominale di circa 300 kW.

Per la tipologia *nearshore* è stato recentemente ultimato il progetto per la realizzazione di un impianto connesso alla rete elettrica a Perth, Australia (Figura 5-2), ad opera della Carnegie Wave Energy. La potenza nominale installata è di circa 3 MW.

Infine, per quanto riguarda i dispositivi *offshore*, il sistema Pelamis (Pelamis Wave Power) , mostrato in Figura X è probabilmente il sistema meglio noto e più pubblicizzato. Tre dispositivi di questa concezione sono installati, e connessi alla rete elettrica, al largo di Aguçadoura, Portogallo, per una capacità nominale di 2,25 MW

5.1.1. Barriere non tecnologiche alla diffusione delle tecnologie

In Italia, oltre alla questione amministrativa, ancora lenta ed estremamente complessa nel rilascio di autorizzazioni e permessi per gli spazi marittimi, esistono due principali barriere non tecnologiche, come si è accennato nell'introduzione a questo capitolo: la valutazione del potenziale sfruttabile in acque basse e di transizione e l'integrazione sostenibile dei convertitori nei sistemi

costieri.

Il Mediterraneo, in quanto bacino semi-chiuso, non dispone di una risorsa paragonabile a quella delle regioni europee atlantiche, sottoposte a regimi energetici estremamente elevati, dove la maggior parte delle sperimentazioni più importanti è stata realizzata. Tuttavia, questo non esclude l'Italia dalla possibilità di inserire l'energia del moto ondoso tra le fonti efficacemente sfruttabili. Sicuramente, l'installazione di grandi impianti offshore, come in Portogallo o Regno Unito, si tradurrebbe in un investimento in perdita, poiché i grandi costi legati all'installazione ed alla manutenzione dei dispositivi non sarebbero ricompensati da una risorsa tale da permettere il rientro del capitale in tempi adeguati. È necessario dunque trovare soluzioni che permettano una consistente riduzione dei costi operativi degli impianti. È per questo motivo che la maggior parte dei progetti di ricerca in Italia si sono concentrati sullo sfruttamento della risorsa attraverso dispositivi progettati per installazioni in ambiente costiero. La possibilità di lavorare lungo o in prossimità della costa permette infatti una drastica riduzione del costo di produzione per kW/h. Tuttavia, in ambiente costiero in generale, e mediterraneo e italiano in particolare, inserire un nuovo uso nei sistemi costieri è un processo estremamente complesso sotto numerosi aspetti. Le coste italiane sono sede di numerose attività economiche, sia storiche (pesca, portualità, etc.) sia di recente inserimento (es. centrali elettriche) ma, al tempo stesso, ospitano alcuni degli ecosistemi di maggior pregio ecologico del Mediterraneo. Come si è visto precedentemente, gli ecosistemi costieri hanno un valore, in termini di capitale naturale, tra i più alti al mondo. In Mediterraneo in particolare, il climax ecosistemico per le aree costiere è rappresentato dalle praterie di Posidonia oceanica. È facile che in queste aree si inneschino meccanismi di competizione tra le esigenze di sviluppo socio-economico umano e le necessità di protezione del capitale naturale. Inserire un nuovo uso antropico in queste aree, in maniera compatibile con gli equilibri ecosistemici esistenti, risulta dunque un processo molto delicato, che va gestito sulla base di una profonda conoscenza di tali equilibri e, soprattutto, della loro distribuzione spaziale lungo la costa.

Il secondo ostacolo non tecnologico alla diffusione dei convertitori di energia del moto ondoso in aree costiere è che, quando le onde si propagano in acque poco profonde, iniziano ad interagire con la morfologia della costa e con l'andamento batimetrico del fondale. In tal modo, per effetto degli attriti, l'energia associata al moto ondoso viene in parte dissipata e viene al tempo stesso distribuita in maniera non uniforme lungo la costa. È necessario quindi, per pianificare un investimento concreto, che le aree in cui, per motivi idrodinamici e morfologici, l'energia associata al moto ondoso viene dissipata meno, raggiungendo la costa con una quota di energia immagazzinata ancora considerevole, rispetto all'energia associata in acque profonde.

Un utilizzo mirato della Sea-Use Map permette di prendere in considerazione entrambe le

questioni, facilitando di gran lunga il processo di valutazione di costi e benefici nonché di selezione dei siti maggiormente idonei.

5.2 Progetto pilota per l'installazione sperimentale di una stazione di produzione di energia da moto ondoso

La scelta di utilizzare i convertitori di energia dal moto ondoso come caso di studio non è stata fatta per motivi puramente teorici, lo sviluppo di queste tecnologie sta infatti progredendo molto rapidamente e sta diventando una possibilità reale per le coste italiane. Attraverso una collaborazione tra l'Università della Tuscia ed RSE – Ricerca sul Sistema Energetico, sono stati fatti enormi passi avanti in questa direzione ed attualmente è in corso la messa a punto di un dispositivo innovativo da installare all'interno dell'area di studio.

Nonostante molte tipologie di convertitori siano già stati proposti e/o sviluppati, la scarsità di progettazioni mature dal punto di vista tecnologico e l'efficienza, ancora non eccezionale, dei dispositivi verso una fase commerciale, spinge molti gruppi di ricerca a proporre nuove forme e nuovi concetti per conversione dell'energia delle onde. Nell'ambito della collaborazione tra RSE e l'Università della Tuscia si sta sviluppando un nuovo concetto di convertitore, denominato *Wave-Sax*. I dettagli tecnici del convertitore non saranno discussi qui, sia perché al di fuori delle finalità di questa tesi, sia perché protetti da brevetto. Verrà invece descritto l'utilizzo della Carta di Uso del Mare come supporto all'introduzione di un nuovo uso del mare in un sistema costiero ricco di ecosistemi di pregio e di numerosi usi antropici di spazi e risorse.

In una prima fase è stata messa a punto una metodologia per la valutazione dell'energia associata al moto ondoso in acque costiere, dove verrà installato il convertitore. La metodologia ha permesso di valutare la distribuzione dell'energia lungo la costa ad alta risoluzione, identificando i siti sottoposti al miglior clima d'onda e calcolandone la potenza associata in maniera puntuale. Questo ha permesso di fissare uno dei parametri chiave nel disegno del convertitore, ovvero il regime a cui sarà sottoposto quando verrà installato in condizioni reali, informazione necessaria sia per le stime di rendimento della turbina, sia per il dimensionamento del convertitore.

In una seconda fase, la messa a punto della Carta di Uso del Mare ha consentito di valutare gli *hotspot* energetici dal punto di vista ecologico e del conflitto con altri usi. In questo modo è stato possibile utilizzare un approccio ecosistemico all'integrazione del nuovo uso nel sistema costiero esistente, nel pieno rispetto degli obiettivi fissati dalle normative europee per la gestione sostenibile

degli sazi costieri. In aggiunta, la selezione tempestiva del sito è un'informazione importante nella progettazione del dispositivo, sia per la forma strutturale, sia per le eventuali necessità di ancoraggio al substrato.

5.3 Metodologia per la valutazione del potenziale sfruttabile

Innanzitutto è necessario conoscere con precisione la distribuzione spaziale della risorsa energetica lungo la costa. Per fare ciò, in questo esempio vengono utilizzati i risultati dell'implementazione di una metodologia per la valutazione del potenziale associato al moto ondoso in acque costiere (Paladini et al, 2015). Utilizzando misure sperimentali e modellistica numerica, la metodologia permette di quantificare l'altezza d'onda a diverse scale, aumentando gradualmente la risoluzione dell'informazione di pari passo con la sua accuratezza.

I risultati dell'implementazione della metodologia hanno portato ad una caratterizzazione energetica delle coste italiane, del Lazio settentrionale e della costa di Civitavecchia. L'informazione in questa sezione è presentata in termini di potenza ed espressa in kilowatt per metro di fronte d'onda, l'unità di misura utilizzata sia nell'ambito dell'ingegneria costiera, sia nell'ambito delle energie rinnovabili marine.

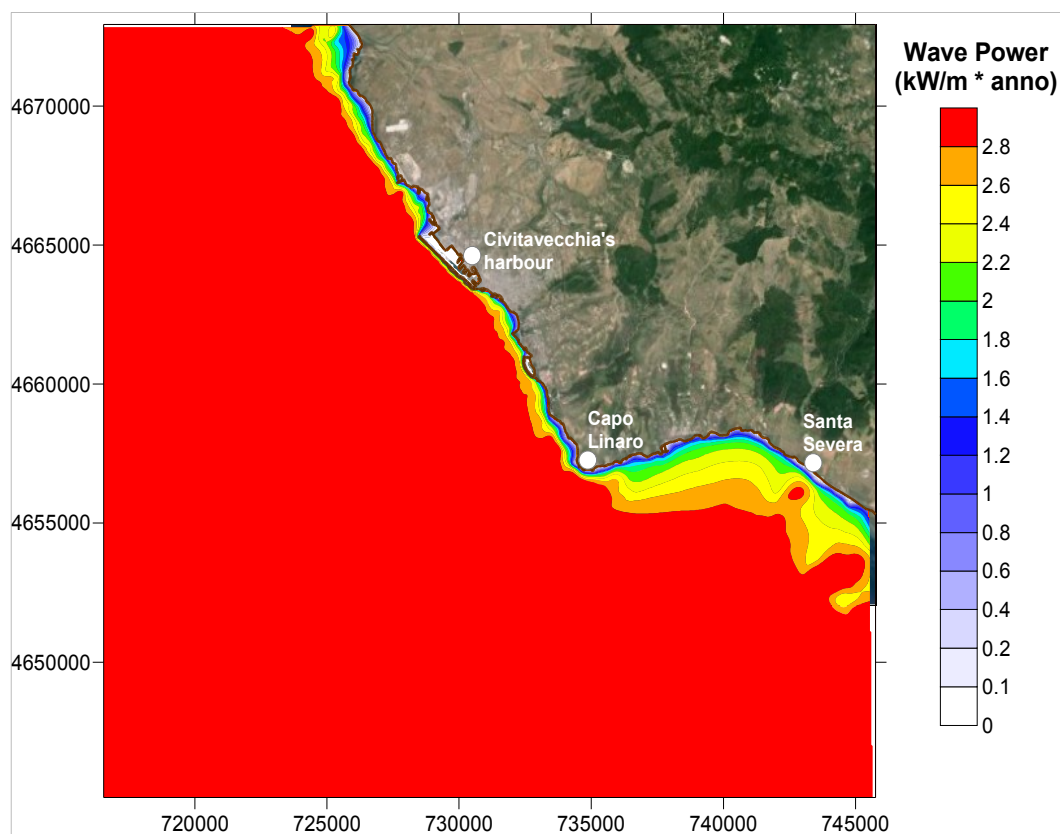


Figura 5-5. Carta della potenza associata al moto ondoso nell'area di studio

Attraverso il processo di downscaling, si riesce a simulare con maggiore accuratezza il comportamento delle onde nella loro interazione con la morfologia costiera (batimetria, orientamento ed tipologia della costa, etc.) . La validazione dei risultati dei modelli numerici ha infatti dimostrato come le simulazioni a scala regionale simulino meglio il comportamento delle onde in acque intermedie, mentre le simulazioni a scala locale simulano meglio le interazioni dei treni d'onda in acque basse. In questo modo è possibile aumentare la risoluzione dell'informazione senza per questo ridurne l'accuratezza.

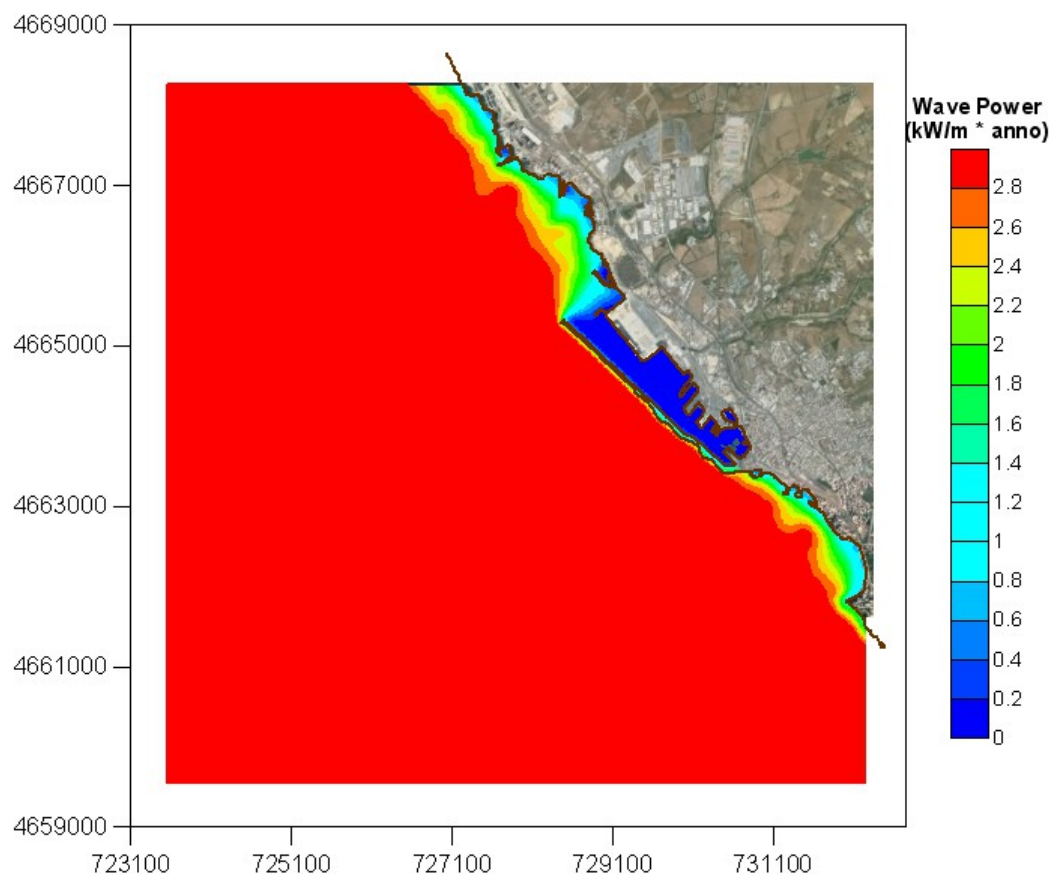


Figura 5-6. Carta della potenza associata al moto ondoso, dettaglio ad alta risoluzione del clima d'onda sul Porto di Civitavecchia

Il livello informativo prodotto con la metodologia descritta ha una grande utilità anche dal punto di vista ecologico. È infatti possibile utilizzare i parametri statistici del moto ondoso (altezza significativa, periodo e direzione) per conoscere gli effetti energetici delle onde sul fondale. Grazie a queste informazioni il LOSEM ha prodotto, per l'area di studio, una carta della distribuzione dello stress sul fondo. La carta permette di conoscere facilmente uno dei parametri che più influiscono sulle associazioni biologiche del fondale, selezionando le biocenosi presenti.

5.4 Selezione del sito più idoneo attraverso la Carta di Uso del Mare

Quando si sovrappone la carta della distribuzione del potenziale energetico alla Sea-Use Map è possibile ottenere un rapido confronto da un punto di vista ecologico e socio-economico delle aree dotate di maggiore risorsa. A questo punto, assegnando un valore alle informazioni necessarie al processo di selezione, è possibile effettuare confronti tra le aree su una base numericamente maggiormente oggettiva. Nel caso specifico, ad ogni area viene assegnato un punteggio relativo al valore della risorsa in termini di kW/m, che viene poi pesato con il valore della fornitura di benefit

ecosistemici delle aree interessate. Può inoltre essere assegnato un punteggio relativo alla vicinanza con le infrastrutture elettriche per l'immissione in rete dell'energia prodotta e alla tipologia di substrato, che in relazione alla tipologia di convertitore che si vuole installare può svolgere un ruolo importante nelle operazioni di ancoraggio ed installazione. In aggiunta, deve essere assegnato un valore 0-1 alla presenza di vincoli ed aree protette, la cui presenza esclude automaticamente la possibilità di installare i dispositivi in quell'area.

Per le informazioni sulla disponibilità di energia si rimanda ai paragrafi 1-2 e 5-3, dai quali viene ripresa la carta della distribuzione della potenza associata al moto ondoso.

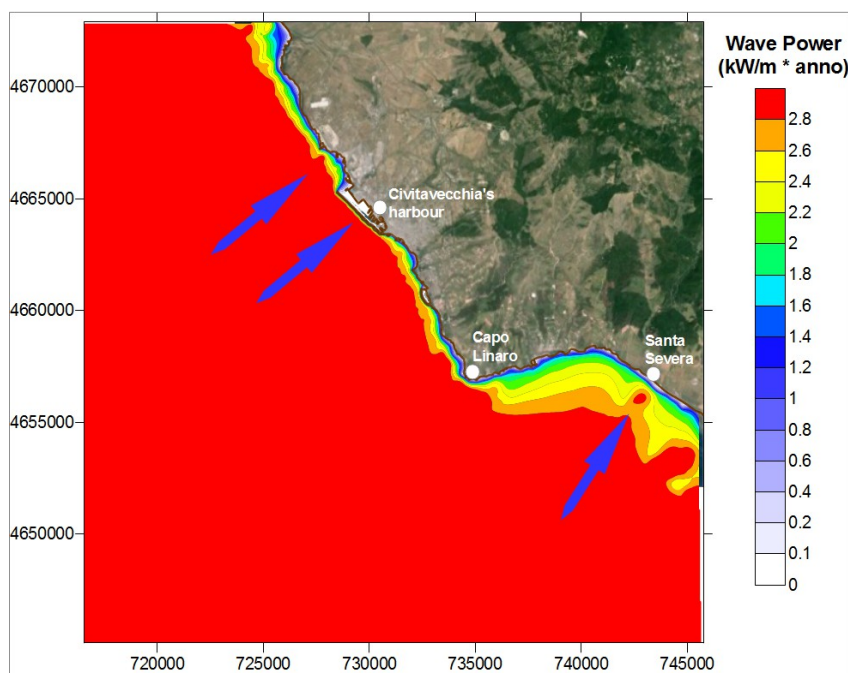


Figura 5-7. Individuazione degli hotspot energetici nell'area di studio

Le aree evidenziate nella carta sono le zone lungo la costa dove l'energia di moto ondoso risulta essere maggiormente conservata. Attraverso la sovrapposizione della carta sulla Carta di Uso del Mare e l'utilizzo di un punteggio assegnato alle informazioni ambientali, si possono confrontare le aree più idonee ad una possibile installazione sperimentale.

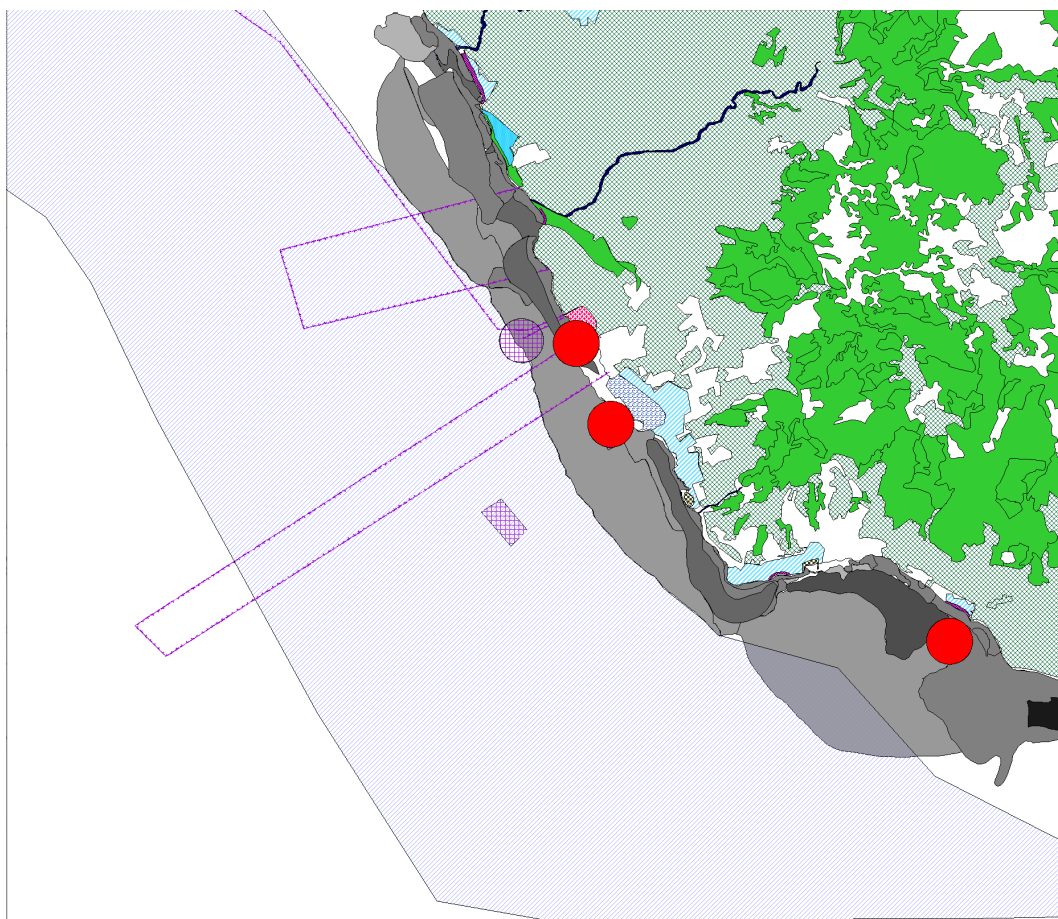


Figura 5-7. Individuazione degli hotspot sulla Carta di Uso del Mare

Il punteggio assegnato alle aree identificate, secondo i parametri presi in considerazione è descritto nella seguente tabella:

Parametro	Area nord	Porto	Area sud
Presenza assenza vincoli	1	1	1
Presenza assenza aree protette	1	1	1
Presenza assenza altri usi	1	2	1
Benefit ecosistemici	1/4	1/4	1/7
Potenza associata	2.8	2.8	2.6
Totale	0.7	1.4	0.37

Dai dati presentati in tabella, l'area situata a nord risulta ottenere un punteggio decisamente migliore dell'area meridionale. Il miglior punteggio deriva in particolare da due parametri, ovvero la possibilità di integrazione con infrastrutture già esistenti e il minor impatto sugli equilibri ecosistemici e sulla loro capacità di sostenere il benessere umano. Attraverso l'approccio ecosistemico qui implementato, il peso maggiore nella selezione del sito è assegnato alla fornitura di benefit ecosistemici, la cui fornitura, come descritto nel capitolo 3, traduce l'informazione sulla complessità ed il pregio degli ecosistemi bentonici in un'informazione che ne rappresenta l'importanza per le comunità costiere, rendendo in questo modo possibile una più accurata analisi costi-benefici.

Conclusione

L'inserimento dei convertitori di energia da moto ondoso è stato utilizzato in questo capitolo come caso di studio per l'inserimento di un nuovo uso nei sistemi costieri. In una prima fase sono stati presentati i risultati di una metodologia per la valutazione del potenziale energetico in acque intermedie e basse, attraverso dati misurati e modelli numerici. Il risultato dell'implementazione di tale metodologia è stato la redazione di una carta della distribuzione dell'energia associata a moto ondoso. Una volta che sono state individuate le aree di maggior interesse dal punto di vista della risorsa, nella seconda fase tale carta è stata sovrapposta alla Carta di Uso del Mare. È stato poi assegnato un ranking alle informazioni presentate così da supportare il confronto numerico tra le aree selezionate. In conclusione, è stato calcolato il valore teorico associato ad ogni area ed è stato identificato il miglior sito dal punto di vista economico ed ecologico.

Lo strumento presentato, nelle sue diverse fasi, è stato utilizzato come supporto per un progetto sperimentale di produzione di energia da moto ondoso nell'area di studio. Il convertitore ideato per la sperimentazione, attualmente in fase di test in scala, è stato progettato per il potenziale sfruttabile così calcolato. Il processo di sitizzazione ha portato alla selezione dell'antemurale del Porto di Civitavecchia come sito ideale per l'installazione, guidando così la messa a punto del dispositivo verso la tipologia *shoreline*, integrabile sulle strutture foranee esistenti del porto.

6. CONCLUSIONI

Il lavoro presentato nasce dalla necessità, sancita anche nella normativa europea, di adottare misure di gestione sostenibile della fascia costiera, in termini di spazi e risorse. A più livelli si chiede di implementare strategie ispirate all'Approccio Ecosistemico per una gestione che metta in primo piano il raggiungimento ed il mantenimento del buono stato ambientale, promuovendo al tempo stesso le possibilità di sviluppo economico legato alle risorse marine. In particolare vengono promossi, anche attraverso il finanziamento in ricerca e sviluppo, i nuovi usi del mare che permettano un utilizzo di spazi e risorse sostenibile a lungo termine, come la ricerca biotecnologica e le energie rinnovabili marine.

In questo lavoro l'approccio teorico viene tradotto in uno strumento pratico, di tipo cartografico, sviluppato con lo scopo di rendere le informazioni sugli ecosistemi costieri un parametro chiave nei processi di pianificazione della costa.

In una prima fase è stato selezionato l'approccio teorico giudicato più idoneo a supportare la messa a punto di una strategia sostenibile per la costa dell'area di studio, ovvero la fascia costiera del Tirreno centrale compresa tra Tarquinia (VT) e Santa Severa (RM). In accordo con l'approccio italo-francese all'ecologia marina, è stata scelta la biocenosi bentonica come elemento chiave nella costruzione della Carta di Uso del Mare. Viene qui utilizzato il sistema di classificazione delle biocenosi bentoniche mediterranee come vero e proprio strumento di lavoro, ovvero come unità spaziale di riferimento, che permette di riassumere i processi ecologici chiave in maniera esplicita per ogni area. In questo modo è possibile conoscere e monitorare i parametri ecologici fondamentali e la loro evoluzione nel tempo.

Tuttavia, le informazioni ecologiche descritte possono risultare di difficile utilizzo pratico nei processi di pianificazione degli spazi marittimi, soprattutto in riferimento al valore ecologico di alcuni ecosistemi. Per questo motivo, utilizzando i mezzi dell'economia ecologica, si è scelto di convertire l'informazione sulla distribuzione delle biocenosi bentoniche in servizi ecosistemici forniti, per ogni area marina costiera, al benessere dell'uomo. In questo modo è possibile riassumere i complessi processi che regolano gli equilibri ecologici in benefici concreti per le comunità costiere. Attraverso una revisione dei diversi approcci alla definizione dei servizi ecosistemici, è stato scelto il quadro che meglio si adatta al caso specifico di valutazione di ecosistemi marini costieri. In particolare, si è scelto di separare i servizi ecosistemici veri e propri, processi ecologici, dai benefit, ovvero dagli aspetti dei processi ecologici che producono un valore aggiunto netto e

quantificabile per l'uomo. L'utilizzo della biocenosi bentonica come unità spaziale di riferimento risulta essere la soluzione ideale, poiché permette appunto di concentrare l'attenzione sui benefit netti, essendo i processi ecologici già alla base dell'individuazione della biocenosi stessa.

A questo punto è stata costruita la Carta di Uso del Mare, attraverso la sovrapposizione di strati informativi sulla componente ambientale (morfologia, regime idrodinamico, biocenosi, etc.) e sulla componente socio-economica dell'area (gli usi del mare esistenti, i relativi vincoli e la copertura del suolo). Con questo strumento è possibile valutare l'utilizzo degli spazi, facilitando l'inclusione della componente ecologica nei processi di pianificazione e gestione sostenibile.

In conclusione è stato presentato un caso reale di utilizzo della Carta di Uso del Mare, ovvero l'inserimento di un nuovo uso degli spazi e delle risorse nel sistema costiero dell'area di studio. Il nuovo uso considerato è la produzione di energia da moto ondoso, uno degli usi promossi con forza nella Politica Marittima Integrata della UE, nonché dalle Roadmap europee sulle energie rinnovabili marine. La scelta di questo uso per l'implementazione dello strumento nasce per un'utilità concreta, poiché sono in corso gli studi, ambientali e tecnologici, per la realizzazione di un progetto sperimentale di produzione di energia da moto ondoso nell'area di studio. In questo caso, la Carta di Uso del Mare serve proprio a supportare la scelta delle soluzioni più sostenibili, sia nella selezione del sito più idoneo, sia nella progettazione dello strumento.

La Carta di Uso del Mare è stata qui utilizzata per affrontare i due ostacoli non tecnologici esistenti: la valutazione di dettaglio del potenziale energetico sfruttabile e l'integrazione compatibile dei dispositivi nei sistemi costieri. A questo scopo è stata dapprima messa a punto una metodologia per il calcolo dell'energia associata al moto ondoso in acque basse, poi è stata utilizzata la carta per valutare i siti maggiormente energetici dal punto di vista ecologico e del potenziale conflitto con altri usi.

BIBLIOGRAFIA

INTRODUZIONE

UN Atlas of the Oceans - <http://www.oceansatlas.org>

United Nations Environmental Program (UNEP). Convention on Biological Diversity. 1760 UNTS 79; 31 ILM 818; 1992 United Nations

Laffoley, D.d'A., Maltby, E., Vincent, M.A., Mee, L., Dunn, E., Gilliland, P., Hamer, J.P., Mortimer, D., and Pound, D. 2004. The Ecosystem Approach. Coherent actions for marine and coastal environments. A report to the UK Government. Peterborough, English Nature. 65pp.

Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Guidelines for an Integrated Approach to Maritime Policy: Towards best practice in integrated maritime governance and stakeholder consultation

Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Official Journal of the European Union L 164/19

Directive 2014/89/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning. Official Journal of the European Union L257/135

Anselmi B, Brondi A, Falchi G, Ferretti O. Lineamenti granulometrici e mineralogici generali ei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano. Studio di supporto a ricerche sulla dinamica costiera e sulla contaminazione marina. Memorie della Società Geologica Italiana; 1978. p. 307-314

Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L206

CAPITOLO 2

Boudouresque, C. F., Fresi, E. 1976. Modelli di zonazione del benthos fitale del Mediterraneo. Boll. Pesca Piscic Idrobiol., 31, 1- 2: 129-143

Balduzzi, A., Boero, F., Pansini, M., Pronzato, R. 2011. Eugenio Fresi e la biologia marina sperimentale. Biol. Mar. Mediterr. (2011), 18 (1): 194-196

Pérès, J.M., Picard, J. 1964. Nouveau manuel de bionomie bentonique de la Méditerranée e Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume 31, 1–137.

Riedl, R. 1971. Water movement: 3. Animals. In: Kinne O. (ed), Marine ecology: a

comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters: 1. Environmental factors, 2: 1123-1149.

Chimenz C., Contessini A. 1986. Benthic population of Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Mollusca. - Descriptive analysis. Nova Thalassia, 8:21-35.

Chimenz C. 1993. Benthic population of Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Sipuncula. Nova Thalassia, 10: 45-51.

Chimenz C., Gusso C., Gravina MF, Maggiore F.R. 2001. Temporal variations in soft bottom benthic communities in Central Tyrrhenian Sea (Italy). Archivio di Oceanografia e Limnologia 22:175–182.

Rivosecchi Taramelli E., Chimenz C., Ardizzone G.D., Fornaseri A.V., Gioia L. 1996. Caratteristiche delle biocenosi macrobentoniche delle coste laziali. In: Il Mare del Lazio: Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarin, dinamica dei sedimenti ed apporti continentali. Università degli Studi di Roma “La Sapienza” – Regione Lazio, Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità, 147-217.

Fresi E., Gambi M.C., Focardi S., Bargagli R., Baldi F., Falcai L. 1983. Benthic community and sediment types: a structural analysis. P.S.Z.N.I.: Mar. Ecol., 4(2): 101-121.

La Porta B., Targusi M., Lattanzi L., La Valle P., Paganelli D., Nicoletti L. 2009. Relict sand dredging for beach nourishment in the central tyrrhenian sea (Italy): effects on benthic assemblages. Marine Ecology, 30 (Suppl. 1):97-104.

Taramelli E., Chimenez C. 1990. Effects of thermal pollution on the benthic population at Torvaldaliga (Civitavecchia, Roma). MAP Technical Reports Series n. 40: 63-82.

Taramelli E., Venanzangeli L. 1990. Benthic population in Torvaldaliga (Civitavecchia, Italy). Crustacea Amphipoda. Oebalia, XVI, N.S.:49-67.

Compagnia del Porto di Civitavecchia. 2000. Quadro di Riferimento Ambientale – SIA Darsena Energetico-Grandi Masse (Dec./VIA/2935 del 22/12/1997)

A.T.I. 2004. Quadro di Riferimento Ambientale – SIA Piano Regolatore Portuale 2004 – Opere Strategiche

Scanu, S. 2010. Geocronologia (^{210}Pb) dei sedimenti recenti della piattaforma costiera del Lazio settentrionale: stima del rateo di accumulo sedimentario e distribuzione spaziale e temporale delle concentrazioni di alcuni metalli in traccia (As, Hg, Pb, Al e Zn). Dottorato di Ricerca in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche. DEB, Università degli Studi della Tuscia

CAPITOLO 3

Daily G.C., Sonderquist T., Aniyar S., Arrow K., Dasgupta P., Ehrlich P.R., Folke C., Jansson A.M., Jansson B.O., Kautsky N., Levin S., Lubchenco J., Mäler K.G., Simpson D., Starrett D., Tilman D., Walker B. The value of nature and the nature of

value. *Science* 2000; 289: 395–6.

Martinez J., Blackwell A. *Ecological economics: Economics, environment and society*. Oxford, 1987, 286 pp. ISBN 0-631-15739-5.

Millennium Ecosystem Assessment *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, 2005. Island Press, Washington, DC.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. 1997; *Nature* 387: 253–260.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R.K. Changes in the global value of ecosystem services. 2014. *Global Environmental Change* 26, 152-158

Wallace K.J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. 2007 *Biological Conservation* 139: 235–246.

Boyd J., Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. 2007 *Ecological Economics* 63: 616-626

Fisher B., Turner R.K. Ecosystem services: Classification for valuation. 2008; *Biological Conservation* 141: 1167-1169

Costanza R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. 2008; *Biological Conservation* 141: 350-352.

TEEB (2010), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington

Nunes, P.A.L.D., van den Bergh, J.C.J.M, Nijkamp, P. *Ecological-economic analysis and valuation of biodiversity*. 2001. The Fondazione Eni Enrico Mattei Note di Lavoro Series Index.

Martínez, M.L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., Landgrave, R. The coasts of our world: ecological, economic and social importance. *Ecological Economics* 63, 254-272

Remoundou, K., Koundari, P., Kontogianni, A., Nunes, P.A.L.D., Skourtos, M. Valuation of natural marine ecosystem: an economic perspective. 2009. *Environmental Science and Policy* 12, 1040-1051

de Groot, R.S., Wilson, M.A., Boummans, R.M.J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. 2002. *Ecological Economics* 41 393-408

Duarte, C.M., Middelburg, J.J., Caraco, N. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. 2005. *Biogeosciences*, 2, 1-8, 2005

Mateo, M.A., Serrano, O. (2011). The carbon sink associated to *Posidonia oceanica*. In: Pergent G., et al. (Eds.) *Mediterranean seagrasses: resilience and contribution to the attenuation of climate change*. IUCN Mediterranean, Malaga.

Ott, J. A. Growth and production in *Posidonia Oceanica* (L.) Delile. 1980. P.S.Z.N.I:

Mar. Ecol., 1:47-64.

Duarte, C.M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean J.W., Beggins, J., Barrón, C., Apostolaki, T. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. 2010. Global Biogeochemistry, Cycles Vol.24, GB4032.

Kalogirou, S., Corsini-Foka, M., Sioulas, A., Wennhage, H., Pihl, L., Diversity, structure and function of fish assemblages associated with *Posidonia oceanica* beds in an area of the eastern Mediterranean Sea and the role of non-indigenous species. 2010. Journal of Fish Biology 77, 2338–2357

Del Pilar Ruso, Y., Bayle-Sempere, J.T. Diel and Vertical movements of preflexion fish larvae assemblages associated with *Posidonia oceanica* beds. 2006. Scientia Marina 70 (3)

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti. 1996

Regione Lombardia, ERSAF (Ente Regionale PER i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste). Quaderno di Ricerca della Regione Lombardia “Gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica – Soluzioni tecnologiche ed Impiantistiche”

CAPITOLO 4

Anselmi B, Brondi A, Falchi G, Ferretti O. Lineamenti granulometrici e mineralogici generali ei sedimenti fluviali e costieri del territorio italiano. Studio di supporto a ricerche sulla dinamica costiera e sulla contaminazione marina. Memorie della Società Geologica Italiana; 1978. p. 307-314

Scanu, S. 2010. Geocronologia (210Pb) dei sedimenti recenti della piattaforma costiera del Lazio settentrionale: stima del rateo di accumulo sedimentario e distribuzione spaziale e temporale delle concentrazioni di alcuni metalli in traccia (As, Hg, Pb, Al e Zn). Dottorato di Ricerca in Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche. DEB, Università degli Studi della Toscana

CAPITOLO 5

European Ocean Energy Association. Oceans of energy. European Ocean Energy Roadmap 2010-2050. Imprimerie Bietlot, Belgium.

Paladini de Mendoza, F., Carli, F.M., Bonamano, S., Burgio, C., Stella, G., Peviani, M.A., Marcelli, M. Evaluation of wave energy potential applying a numerical modelling downscaling methodology in central-est Tyrrhenian Sea. 2015. Journal of Environmental Planning. *In press*