



CONTABILITA' AMBIENTALE NELLE AREE MARINE PROTETTE ITALIANE: SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE NELL'AREA MARINA PROTETTA DI TORRE GUACETO (FASI 0-1-2)



Responsabile scientifico: Prof. Giovanni Fulvio Russo¹
Coordinatore della fase 0: Prof. ssa S. Fraschetti²

Gruppo di lavoro:

Dott.ssa E. Buonocore¹, Dott. S. Bevilacqua², Dott. L. Appolloni¹, Dott. ssa A.L. Delos², Dott. G. Alfonso²,
Dott.ssa D. De Vito², Prof. P.P. Franzese¹

¹CoNISMa, URL Università degli Studi di Napoli Parthenope, Napoli

²CoNISMa, URL Università del Salento, Lecce

INDICE

1	Introduzione	3
1.1	Area di studio	4
2	Fase 0: attività svolte e metodologie usate	5
2.1	Indagine bibliografica e raccolta dei dati disponibili	6
2.2	Cartografia bionomica dell'area di studio	6
2.3	Indagini di campo integrative	8
2.4	Indagine di laboratorio	10
3	Fase 1: metodologie e risultati	11
3.1	Metodologia	11
3.2	Risultati e discussione	26
	3.2.1 <i>Valore ecologico ed economico del capitale naturale</i>	27
	3.2.2 <i>Valore ecologico ed economico dei flussi naturali</i>	30
4	Fase 2. Individuazione delle funzioni e dei servizi ecosistemici	32
5	Conclusioni	37
6	Bibliografia	38

1 Introduzione

La presente relazione riguarda le attività realizzate dall' Area Marina Protetta di "Torre Guaceto" in collaborazione con i gruppi di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" e dell'Università del Salento, nell'ambito del progetto finanziato dal Ministero dell'Ambiente "Contabilità ambientale nelle Aree Marine Protette Italiane".

La realizzazione della contabilità ambientale nelle Aree Marine Protette (AMP) italiane segue un protocollo standardizzato articolato in diversi passaggi (Franzese et al., 2015) che riprendono quelli delineati nel documento redatto da Federparchi "Contabilità ambientale nelle Aree Marine Protette Italiane" e proposto nel 2014. Il documento di Federparchi descriveva sinteticamente i fondamenti e le procedure necessarie per realizzare una contabilità ambientale basata sulla quantificazione del valore, ecologico ed economico, del patrimonio ambientale nelle AMP italiane. A tale scopo venivano individuati alcuni passaggi fondamentali (Fasi) che sono riassunti in Tabella 1.

Tabella 1. Fasi per la realizzazione della contabilità ambientale delle AMP.

Fase	Descrizione
Fase 0	Fotografia della disponibilità di dati relativi al rendiconto naturalistico delle AMP
Fase 1	Contabilizzazione del valore ecologico ed economico del patrimonio ambientale dell'AMP
Fase 2	Individuazione delle funzioni e dei servizi ecosistemici
Fase 3	Contabilizzazione dei costi ambientali ed economici
Fase 4	Contabilizzazione dei benefici ambientali ed economici
Fase 5	Contabilizzazione dei flussi ambientali e del beneficio netto dell'AMP
Fase 6	Informatizzazione gestione dei dati e sviluppo sistema contabilità

L'approccio metodologico per la contabilità ambientale, articolato in diverse fasi operative, richiede la raccolta e l'analisi di dati specifici per ogni AMP quali cartografia batimetrica e biocenotica, caratterizzazione delle biocenosi presenti, estensione delle diverse biocenosi all'interno dell'area marina protetta, quantificazione e degli organismi bentonici e della fauna ittica. La creazione di un database contenente tali dati è strettamente propedeutica allo sviluppo di tutte le fasi previste dal progetto di contabilità ambientale.

Lo scopo del presente lavoro è, dunque, quello di presentare:

- a) le metodologie usate e le attività svolte nella Fase 0 del progetto e, inoltre, il database generato per l'implementazione del sistema di contabilità ambientale;
- b) la metodologia impiegata per la realizzazione della Fase 1 del progetto e i risultati ottenuti tramite la sua applicazione;

- c) l'approccio metodologico usato per l'avvio della Fase 2 del progetto.

1.1 Area di studio

L'Area Marina Protetta di Torre Guaceto è stata istituita con decreto interministeriale il 4 Dicembre 1991. L'AMP si estende per circa 2.200 ha fino alla linea batimetrica dei 50 m, interessando un tratto di costa di 8 Km, compreso tra Punta Penna Grossa e gli scogli di Apani.

L'area marina protetta è suddivisa in tre zone con diverso grado di tutela (Fig. 1):

- **ZONA A, di RISERVA INTEGRALE**, in cui è proibita la navigazione, l'accesso, l'approdo e la sosta di navi e natanti di qualsiasi genere e tipo, ad eccezione di quelli debitamente autorizzati dall'Ente gestore per motivi di servizio nonché per eventuali attività di ricerca scientifica e di visite guidate, precedentemente autorizzate dallo stesso ente gestore. Nell'AMP di Torre Guaceto sono presenti due zone A dove, dunque, è proibita qualsiasi attività antropica, che possa arrecare danno o disturbo all'ambiente marino perché tale zona rappresenta la "core area" dell'AMP.
- **ZONA B, di RISERVA GENERALE**, dove sono consentite, spesso regolamentate e autorizzate dall'Ente gestore, oltre alle attività previste per la Zona A, una serie di attività che permettono la fruizione e l'uso sostenibile dell'ambiente. Nella zona B la balneazione è consentita la balneazione dall'alba al tramonto.
- **ZONA C, di RISERVA PARZIALE**, rappresenta la fascia tampone (buffer) tra le zone di maggior valore naturalistico e i settori esterni all'AMP; in tale zona ricade la maggior parte dell'estensione dell'AMP. In tale zona è possibile svolgere, oltre alle attività possibili nella zona A e B, anche le attività di pesca e la navigazione. Le attività sopraelencate sono normate dal decreto istitutivo e dal disciplinare provvisorio. La presenza di una zona buffer permette che tale area di transizione faccia da filtro e da mitigatore dei processi di disturbo.

2.1 Indagine bibliografica e raccolta dei dati disponibili

In questa fase è stata condotta una raccolta ed un'analisi della bibliografica esistente sull'area di studio al fine di avere un quadro completo delle caratteristiche e delle peculiarità dell'AMP e una base di dati preliminari funzionali alle successive valutazioni di contabilità ambientale.

2.2 Cartografia bionomica dell'area di studio

La figura 2 mostra la mappa di distribuzione delle principali biocenosi bentoniche dell'AMP Torre Guaceto. In tale carta bionomica gli habitat sono descritti sulla base degli organismi presenti, in accordo con il codice del Regional Activity Centre for Specially Protected Areas- RAC/SPA dell'UNEP (Tabella 2). La mappa di distribuzione delle principali biocenosi bentoniche include anche le 3 zone di protezione A, B e C dell'AMP Torre Guaceto.

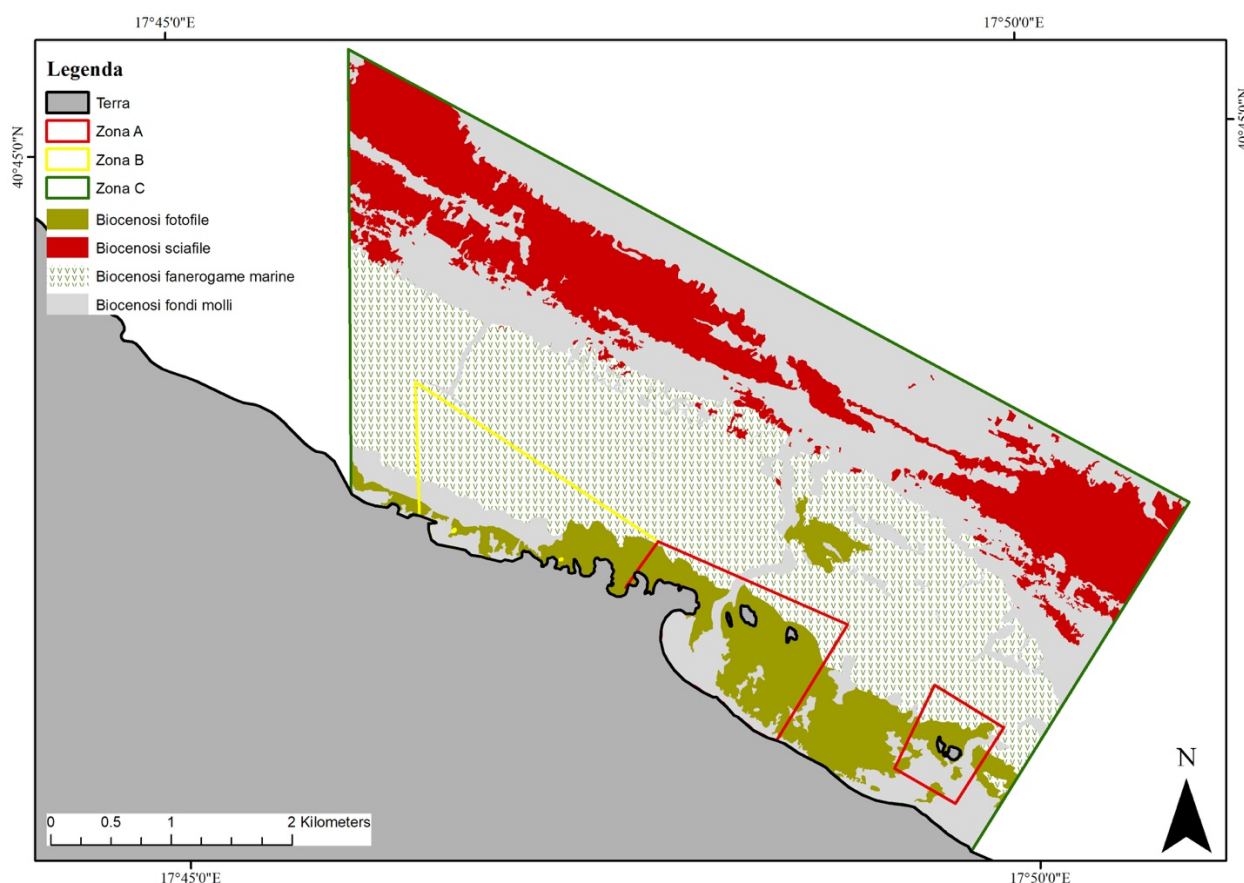


Figura 2. Mappa di distribuzione delle principali biocenosi bentoniche nell'AMP Torre Guaceto.

Tabella 2. Simboli per la rappresentazione delle associazioni bentoniche; le biocenosi prioritarie per la protezione sono indicate con un asterisco accanto al codice RAC-SPA (da Russo et al.,2008).

Simbolo	Codice Pantone	Habitat	Acronimo	Codice RAC-SPA	Descrizione
	DE1-3C	Biocenosi delle sabbie fini ben calibrate	SFBC	III.2.2.	Popolamento costituito da specie che vivono su sabbie fini a granulometria omogenea e di origine prevalentemente terrigena, in genere tra i 2.5 m e i 25 m di profondità.
	DE272-C	Prateria a <i>Cymodocea nodosa</i>	HCn	III.2.2.1. III.2.3.4.	Praterie della fanerogama marina <i>Cymodocea nodosa</i> presente su sabbie infangate superficiali in acque riparate o su sabbie fini ben calibrate.
	DE325-8C	Biocenosi delle sabbie grossolane e ghiaie fini sotto l'influenza di correnti di fondo	SGCF	III.3.2. e IV.2.4.	Popolamento costituito da specie che vivono tra sabbie grossolane e ghiaie fini, dominate da elementi organogeni (gusci calcarei) trasportati da correnti di fondo. E' presente tra i 20 m e i 50 m di profondità.
	DE272-1C	Prateria a <i>Posidonia oceanica</i>	HP	III.5.1.*	Praterie della fanerogama marina endemica del Mediterraneo <i>Posidonia oceanica</i> .
	DE272-1C	Prateria a chiazze di <i>Posidonia oceanica</i>	THP		Praterie della fanerogama marina endemica del Mediterraneo <i>Posidonia oceanica</i> con copertura a chiazze.
	DE4-4C	Biocenosi delle alghe infralitorali	AP	III.6.1.	Popolamento costituito da specie fotofile di fondo duro, in prevalenza vegetali, presenti nei livelli più superficiali di zone riparate o esposte alle mareggiate.
	DE12-3C	Biocenosi dei fanghi terrigeni costieri	VTC	IV.1.1.	Popolamento costituito da specie di fondo molle a granulometria fine presenti in profondità. I fanghi possono derivare dalla decantazione delle frazioni più fini del materiale terrigeno scaricato in mare dai corsi d'acqua.
	DE14-6C	Biocenosi dei fondi detritici infangati	DE	IV.2.1.	Popolamento costituito da specie che vivono su fondo molle caratterizzato da una maggiore quantità di sedimento fine rispetto a quelli del DC, in quanto presente a profondità maggiori.
	DE330-4C	Biocenosi del detritico costiero	DC	IV.2.2.	Popolamento costituito da specie che vivono su fondo molle costituito sia da ghiaia e sabbia, derivanti dalla degradazione delle rocce in loco, che da bioclasti (frammenti di organismi) provenienti da formazioni coralligene.
	DE88-1C	Biocenosi del coralligeno	C	IV.3.1.*	Popolamento costituito da specie sciafile di fondo duro, in prevalenza animali sessili, presenti sia lungo le pareti rocciose (coralligeno di falesia) sia al largo come bioconcrezionamenti isolati (coralligeno di piattaforma).

2.3 Indagini di campo integrative

I campionamenti sono stati effettuati all'interno dell'AMP nell'arco di due campagne di campionamento effettuate nel mese di dicembre (2017) dall' ULR Università del Salento con il coordinamento della Prof. ssa Frascetti. Sulla base delle cartografie biocenotiche esistenti, sono stati identificati 4 siti di immersione nell'area individuata, uno in corrispondenza di ciascun habitat indagato. I campionamenti sono stati effettuati in immersione con autorespiratore ad aria. I popolamenti del coralligeno sono stati campionati in un'area di 50 m di raggio, approssimativamente in corrispondenza delle coordinate 40°43'21.74"N – 17°49'8.56"E (zona C), alla profondità di circa 30 m. I popolamenti di fondo molle sono stati campionati in un'area di 50 m di raggio, approssimativamente in corrispondenza delle coordinate 40°42'51.18"N – 17°49'38.56"E (zona C), alla profondità di circa 20 m. I popolamenti di prateria di *P. oceanica* sono stati campionati in un'area di 50 m di raggio, approssimativamente in corrispondenza delle coordinate 40°42'31.08"N – 17°49'51.31"E (zona C), alla profondità di circa 15 m. Nella stessa area sono state effettuate anche delle stime di densità dei fasci fogliari. I popolamenti del fotofilo roccioso sono stati campionati in un'area di 50 m di raggio, approssimativamente in corrispondenza delle coordinate 40°42'18.34"N – 17°49'32.67"E (zona A), alla profondità di circa 5 m.

Per il campionamento della macrofauna bentonica di fondo duro fotofilo (Fig. 3), i campioni sono stati prelevati integrando le tecniche di grattaggio e sorbona. All'interno di una superficie quadrata delimitata da un frame metallico di 30x30 cm è effettuato prima un trattamento con sorbona per aspirare tutto il sedimento e gli organismi presenti. Il materiale è stato fatto confluire in un retino con maglia 1 mm, per consentire la fuoriuscita del sedimento fine, trattenendo gli organismi macrobentici e il sedimento grossolano. In seguito, si è proceduto ad asportare meccanicamente la componente sessile del popolamento mediante l'uso di martello e scalpello e, infine, ad un ulteriore trattamento con sorbona, per catturare eventuali organismi sfuggiti ai precedenti trattamenti e il detrito residuo. In totale, sono stati prelevati tre campioni secondo la procedura descritta. La stessa tecnica di campionamento è stata utilizzata per la raccolta dei campioni di macrofauna su fondo duro sciafile (coralligeno), procedendo ad un campionamento di tipo sorbona-grattaggio-sorbona su una superficie di 30x30 cm (Fig. 3). Anche in questo caso sono stati prelevati in tutto tre campioni.

Per quanto riguarda il campionamento della macrofauna di fondo fondo molle, il sedimento presente (sabbia, detritico) insieme agli organismi macrozoobentici associati sono stati prelevati tramite sorbona e convogliati all'interno di un retino con maglia 1 mm. Il prelievo è stato effettuato all'interno di una superficie pari a 50x50 cm, eseguendo un totale di 3 prelievi. Il campionamento della macrofauna bentonica associata a praterie di *P. oceanica*, è stato effettuato tramite uso di

sorbona su una superficie 100x100 cm, applicando l'aspirazione al sedimento, foglie e rizomi, ed eseguendo 3 prelievi in totale. Inoltre, sono state effettuate tre stime della densità dei fasci fogliari della fanerogama marina, ognuna su una superficie di 40x40 cm.

Tutti i campioni raccolti sono stati trasferiti immediatamente dopo il prelievo all'interno di contenitori in PE a tenuta e fissati in una soluzione di etanolo e acqua di mare al 70%. I campioni conservati in ambiente refrigerato sono stati trasportati in laboratorio per le successive analisi.

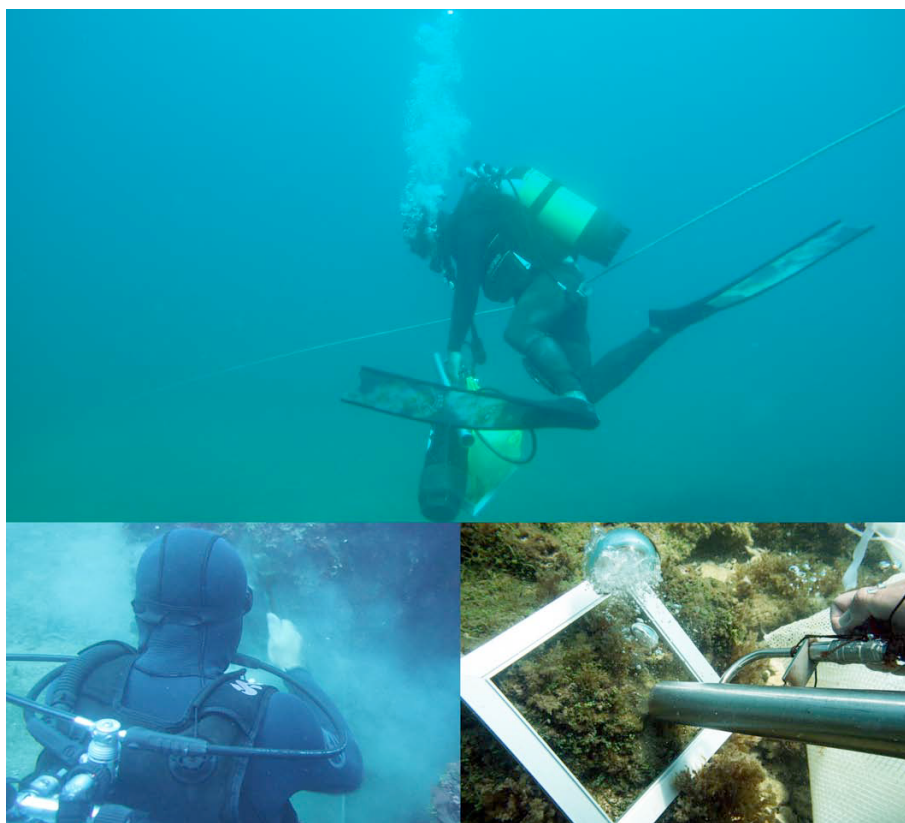


Figura 3. Alcuni passaggi del campionamento. In alto: discesa su fondi molli a 20 m di profondità. In basso a destra: trattamento con sorbona su fotofilo roccioso. In basso a sinistra: grattaggio su coralligeno.

Per quanto riguarda il campionamento degli stock ittici, in fase di programmazione delle attività si è ritenuto utile prevedere l'acquisizione di informazioni circa la presenza di stock ittici sui seguenti tipi di fondale:

- fondo duro, con copertura di popolamenti algali fotofili
- fondo duro con copertura di popolamenti sciafili
- fondo molle, con substrato incoerente a varia granulometria
- prateria di *Posidonia oceanica*

Sono state effettuate immersioni subacquee di campionamento, effettuando in immersione rilevamenti con la tecnica del visual census (Fig. 4).

Questa tecnica consiste nell'effettuare osservazioni nell'area da investigare con l'ausilio di una cima metrata e zavorrata utile a definire la striscia di fondale da indagare. Durante il tempo di

osservazione, nello specifico 10 minuti, vengono identificate le specie presenti nell'ambiente circostante e poiché il numero di individui censiti corrisponde ad una area ben definita, il campionamento è utile alla raccolta di informazioni quantitative che consentono di stimare la densità delle singole specie presenti.

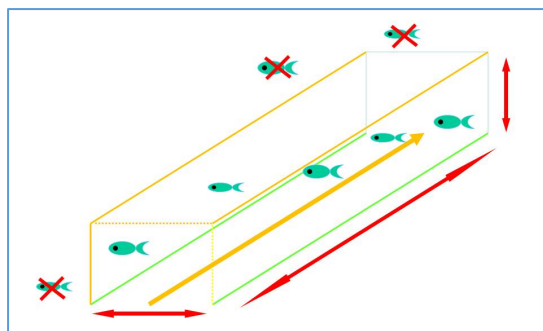


Figura 4. Visual census degli stock ittici mediante tecnica del transetto.

È fondamentale che l'osservatore sia esperto nel riconoscimento delle specie ed addestrato a stimare la taglia delle stesse tempestivamente. Le informazioni vengono riportate su un log di campo specificando le informazioni di carattere più generale (data luogo, condimeteo. etc) le specifiche dell'immersione (profondità, tempi, tipo di fondale) e ovviamente le specie censite, il rango di abbondanza e la taglia stimata. Gli individui vengono pertanto suddivisi per classi di abbondanza nello specifico definita da 8 classi ottenute da una progressione in base 2 (1, 2-5, 6-10, 11-30, 31-50, 51-100, 101-200, 201-500). La classe di taglia è stata definita con S/M/L ad indicare individui small, medium e large, utilizzando dei riferimenti specifici a seconda della specie di appartenenza.

2.4 Indagine di laboratorio

I 12 campioni raccolti, tre per ciascun habitat, sono stati processati procedendo al sorting degli organismi, cioè la separazione manuale degli organismi dal sedimento/detrito attraverso l'attento esame allo stereoscopio del materiale raccolto. Gli organismi sono stati classificati a livello di classe/phylum e conservati in soluzione di acqua di mare e alcool etilico al 70% all'interno di fiale in vetro. Per ogni campione, si è poi proceduto alla stima della biomassa totale, in termini di peso secco senza ceneri, separatamente per ciascun gruppo tassonomico identificato (Fig. 5). La componente macroalgale, essendo non inclusa nell'oggetto delle analisi, specificatamente indirizzate sulla macrofauna, è stata comunque valutata in termini di peso umido e peso secco.

Per la determinazione della biomassa si è proceduto inizialmente a disidratare gli organismi sottoponendoli ad un'asciugatura in stufa a 80°C per 24-48 h, fino al raggiungimento di un peso stabile. Il peso secco totale per ciascun taxon è stato determinato usando una bilancia analitica con

precisione 0,1 mg. Successivamente, si è proceduto all'incenerimento del materiale organico in muffola a 450 °C per circa 4-5 h. Le ceneri ottenute sono state poi pesate, e il peso secco senza ceneri ottenuto per sottrazione. Le procedure di determinazione della biomassa adottate sono riassunte nel "Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo" APAT-ICRAM (2003).



Figura 5. Misurazione della biomassa per i diversi gruppi tassonomici in ciascun habitat campionato.

3 Fase 1: metodologie e risultati

Come già evidenziato nella “Introduzione”, la Fase 1 del progetto prevede la Contabilizzazione del valore ecologico ed economico del patrimonio ambientale dell’AMP, condotta presso i Laboratori di Ecodinamica e di Ecologia marina dell’ ULR Università di Napoli Parthenope. Qui di seguito vengono esposti le metodologie di analisi dei dati raccolti (criteri, fasi e algoritmi di calcolo) ed i risultati ottenuti.

3.1 Metodologia

La metodologia descritta consiste in un protocollo di contabilità ambientale standardizzato e formulato *ad hoc* in collaborazione tra il gruppo di ricerca del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV) dell'Università degli Studi di Genova e il gruppo di ricerca dei suddetti Laboratori ecologici afferenti al Dipartimento di Scienze e Tecnologie (DiST) dell'Università degli Studi di Napoli “Parthenope”. Il protocollo messo a punto consente di: 1) stimare il valore intrinseco del patrimonio ambientale delle AMP (ovvero capitale naturale e flussi ambientali) come costo sostenuto dall'ambiente in termini di risorse impiegate per mantenere la struttura e le funzioni delle biocenosi in essa presenti e 2) esprimere il valore così ottenuto in

termini ecologici (valore “emergetico”) e monetari, in modo da rendere maggiormente comprensibile i risultati e l’utilità della valutazione per i manager locali e per i decisori politici (Vassallo et al., 2017; Franzese et al., 2017; Picone et al, 2017).

In particolare la **Fase 1** è stata articolata nei seguenti principali passaggi:

- A. **Validazione informazioni e dati** raccolti durante la Fase 0;
- B. **Analisi trofodinamica**: stima della produttività primaria alla base della rete trofica che sostiene le diverse biocenosi;
- C. **Valutazione dell’area di supporto**: stima dell’area bioproduttiva su cui si genera la produttività primaria calcolata nella fase precedente;
- D. **Valutazione del capitale naturale e dei flussi ambientali che supportano le diverse biocenosi**: valutazione in termini emergetici dei flussi naturali (ad esempio, nutrienti, sole, pioggia, etc.) che consentono la formazione del capitale naturale ed il mantenimento delle diverse biocenosi;
- E. **Valutazione monetaria**: conversione dei valori emergetici calcolati per il capitale naturale e per i flussi ambientali di supporto alle diverse biocenosi in termini monetari.

I suddetti passaggi e le relative procedure di calcolo sono descritti di seguito in dettaglio.

A. Validazione informazioni e dati

Secondo il documento presentato da Federparchi, la fase 1 prevede:

- a) L’individuazione delle comunità bentoniche presenti nell’AMP (mediante la consultazione di cartografie biocenotiche) e della fauna ittica ad esse associata (tramite consultazione di dati da campagne di censimento visivo);
- b) L’attribuzione di un valore ecologico ed economico alle diverse biocenosi e all’AMP tramite la modellizzazione della rete trofica di ogni biocenosi e l’applicazione della metodica di contabilità Emergetica.

La modellizzazione della rete trofica nelle biocenosi dell’AMP richiede la quantificazione della biomassa di ogni gruppo tassonomico che insiste su un metro quadrato di superficie delle biocenosi. I dati di biomassa sono gestiti attraverso fogli di calcolo che rappresentano il database di riferimento per lo sviluppo della contabilità ambientale.

I valori di biomassa (espressa in grammi di carbonio) per ogni gruppo presente su ciascuna biocenosi sono stati calcolati a partire dai dati raccolti mediante campionamenti e *visual census* condotti nell’AMP Torre Guaceto.

Inoltre, tramite il confronto e la collaborazione tra i due gruppi di ricerca di Genova e Napoli, sono stati perfezionati i criteri per il reperimento da letteratura di eventuali dati mancanti relativi alle

biomasse e dei fattori per la conversione delle biomasse (bentoniche e ittiche) in un'unica unità di misura (grammi di carbonio).

Il primo passaggio della Fase 1 consiste quindi in una attività di riordino, validazione ed eventuale integrazione delle informazioni ottenute e/o ancora mancanti a seguito della Fase 0.

In particolare si realizzano le seguenti attività:

- a) verifica e validazione dei dati di biomassa per le comunità bentoniche ricavati da campionamenti o da fonti bibliografiche;
- b) calcolo delle biomasse associate alla fauna ittica;
- c) verifica e validazione dei fattori di conversione usati per le biomasse bentoniche e per la fauna ittica.

A1. Verifica e validazione dei dati di biomassa per le comunità bentoniche calcolati nella Fase 0.

I dati necessari per la creazione del database di biomasse possono essere ottenuti tramite campionamenti diretti, realizzati nel contesto del progetto di Contabilità o di altri progetti condotti nella AMP. In alternativa, è possibile ricavare i dati tramite ricerche bibliografiche.

In particolare, per quanto concerne le fonti bibliografiche sono da preferirsi:

- pubblicazioni riferite all'area in cui è collocata l'AMP o aree limitrofe;
- lavori riportanti dati di biomassa per unità di area piuttosto che dati di abbondanza.

In assenza di informazioni specifiche sulla AMP, si estende quindi la ricerca a livello regionale, di bacino secondario (ad esempio Tirrenico), o al bacino Mediterraneo.

Calcolo delle biomasse associate alla fauna ittica.

Per quanto concerne il computo delle biomasse associate alla fauna ittica, sono stati utilizzati dati ottenuti tramite campagne di *visual census*.

Nello specifico, la biomassa viene ottenuta a partire da dati di abbondanza. Gli individui censiti per ciascuna specie vengono classificati sulla base della classe di taglia come appartenenti alle categorie di taglia *small* (S), *medium* (M) e *large* (L). I criteri per l'attribuzione della categoria sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3. Criteri per l'attribuzione della categoria di taglia. I valori di lunghezza massima per specie sono reperiti dal sito www.fishbase.org.

Categoria di taglia	Criterio
S	$L \leq 55\% L_{\max}$
M	$55\% < L \leq 75\% L_{\max}$
L	$L > 75\% L_{\max}$

L=classe di taglia; $L_{\max}$ = taglia di lunghezza massima

Ad ogni categoria di taglia viene attribuito un peso medio tramite l'applicazione della seguente relazione lunghezza-peso (Baker et al., 1993):

$$P = a \cdot L^b$$

dove:

P = peso in grammi

L = lunghezza in centimetri (lunghezza corrispondente al 45% della lunghezza massima per la categoria S, 65% per la categoria M e 85% per la categoria L)

a e b = costanti specie-specifiche ottenute dal sito www.fishbase.com

A2. Verifica e validazione dei fattori di conversione usati per le biomasse bentoniche e per la fauna ittica.

I dati di biomassa bentonica e ittica devono essere uniformati all'unità di misura dei grammi di carbonio per unità di area (g/m²). Questa trasformazione richiede la conversione dei pesi umidi o secchi in peso secco senza ceneri (AFDW, *Ash Free Dry Weight*) che viene ulteriormente trasformato in corrispondente contenuto di carbonio.

A tale scopo vengono impiegati i fattori di conversione pubblicati da Brey (2016) sia per il benthos sia per la fauna ittica. Per quanto concerne la fauna ittica, i fattori di conversione vengono ricercati per singola specie all'interno della matrice proposta da Brey; se la specie non è presente si procede alla ricerca per i *taxa* superiori a partire dal genere.

Sulla base di questi criteri, le tabelle ottenute per le diverse biocenosi nella Fase 0 sono state verificate ed aggiornate durante la Fase 1, ottenendo un'unica matrice relativa a tutte le biocenosi e le relative biomasse bentoniche e ittiche.

Il database delle biomasse rappresenta la base di dati di partenza per l'implementazione dei successivi passaggi della Fase 1. La fase 1 è basata sullo schema rappresentato in Figura 6.

Il database è stato anche inserito in appositi sistemi informativi propedeutici alla realizzazione della Fase 6 del progetto.

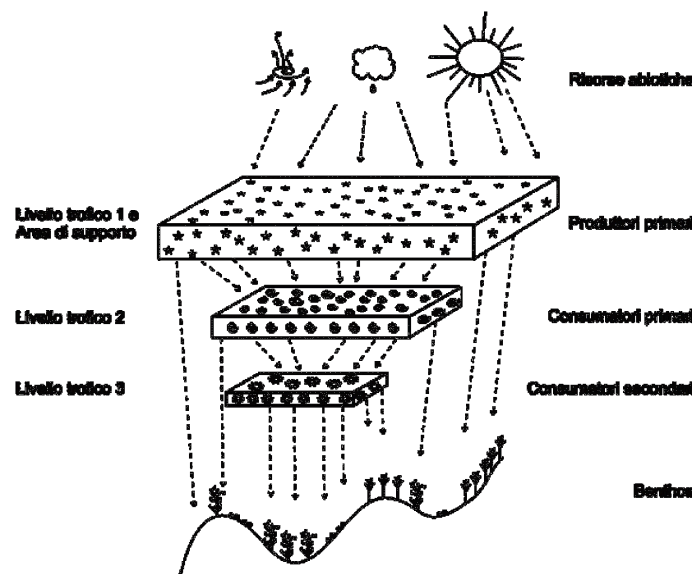


Figura 6. Schema concettuale della metodologia applicata.

B. Analisi trofodinamica

Dopo aver identificato i gruppi tassonomici e i corrispondenti valori di biomassa si procede all'attribuzione di un livello trofico ad ogni gruppo. I livelli trofici dei gruppi bentonici sono calcolati tramite simulazioni realizzate con il software Matlab o reperiti in bibliografia, mentre i livelli trofici delle specie ittiche sono stati reperiti dal sito www.fishbase.org.

Il concetto di livello trofico è stato introdotto da Lindeman (1942) il quale associava ai livelli trofici un numero intero. Odum e Heald (1975) proponevano invece dei numeri decimali per i livelli trofici. Un metodo per la valutazione del livello trofico è stato proposto da Christensen et al. (2000). Tale metodo assegna il valore 1 ai produttori e agli organismi detritivori e un valore maggiore di 1 ai consumatori.

Secondo quest'approccio un consumatore che si ciba del 40% di piante (aventi livello trofico = 1) e del 60% di erbivori (con livello trofico = 2) avrà un livello trofico pari a: $1 + (0.4 \times 1 + 0.6 \times 2) = 2.6$.

B.1 Valutazione della produttività primaria di supporto

La produttività primaria che sostiene la rete trofica può essere calcolata tramite l'applicazione del metodo sviluppato da Pauly e Christensen (1995). Tale metodo valuta la produttività primaria richiesta per mantenere la produzione ittica mondiale secondo due parametri:

- il livello trofico delle specie prelevate,
- il tasso di trasferimento dell'energia da un livello trofico al successivo assunto pari al 10%.

Noti questi fattori la produttività primaria può essere calcolata con la seguente formula:

$$P = B \cdot 10^{(T-1)}$$

dove:

P = produttività primaria

B = biomassa di ogni gruppo trofico presente all'interno della biocenosi

T = livello trofico

Nello specifico caso delle AMP, il tasso di efficienza di trasferimento tra i vari livelli trofici è stato assunto pari al 15% trattandosi di sistemi costieri (Pauly e Christensen, 1995).

La formula del calcolo per la produttività primaria che sostiene la biocenosi diviene quindi:

$$P = B \cdot 7^{(T-1)}$$

In questo modo, partendo dai valori di biomassa è possibile calcolare tutta la produttività primaria che è stata necessaria per ottenere la biomassa stoccata in ogni gruppo trofico e, successivamente, quella che sostiene annualmente le biocenosi. Tali valori di biomassa sono stati rispettivamente utilizzati per il computo del valore del capitale naturale e per il calcolo dei flussi annui.

B.2 Calcolo della quantità di nutrienti associati al capitale naturale

Dopo aver trasformato la biomassa di ogni gruppo trofico nella corrispondente quantità di produttività primaria che la ha sostenuta, è possibile calcolare la produttività primaria totale (P_{tot} , espressa in grammi di C) che ha sostenuto la formazione del capitale naturale nel tempo e nello spazio:

$$P_{tot} = PE + PA$$

dove:

PE è la somma tra le produttività primarie associate ai diversi gruppi di eterotrofi e PA è la biomassa degli autotrofi presente all'interno di ogni biocenosi.

La biomassa degli autotrofi è stata calcolata come la somma di: mycrofitobenthos, fitoplancton, fanerogame, macrofite ed eventuali epifiti.

La biomassa di fitoplancton (B_{fito}) per unità di area è stata considerata costante in tutte le biocenosi e pari a 0.69 gC / m². Questo valore è stato ottenuto dalla seguente formula:

$$B_{fito} = P_{fito} / (P/B)_{fito}$$

dove:

P_{fito} = produttività primaria residua del fitoplancton al netto del consumo.

$(P/B)_{fito}$ = rapporto produzione su biomassa pari a 161.72 (Corrales et al., 2015).

La produttività primaria fitoplanctonica per unità di area (P_{fito}) è stata stimata secondo Charpy-Roubaud e Sournia (1990) i quali propongono valori compresi tra 50 e 300 gCm⁻²y⁻¹. Si è quindi assunto un valore medio pari a 175 gCm⁻²y⁻¹ a cui è stata sottratta la parte relativa al consumo zooplanctonico pari al 36.7% (Corrales et al., 2015). Anche la biomassa di mycrofitobenthos per

unità di area (B_{micro}) è stata considerata costante in tutte le biocenosi aventi dei produttori e pari a circa 24 gC/m^2 . Questo valore è stato calcolato mediante la seguente formula:

$$B_{\text{micro}} = P_{\text{micro}} / (P/B)_{\text{micro}}$$

dove:

P_{micro} = produttività primaria del microfitobenthos pari a $100 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ calcolata come valore medio in accordo con Charpy-Roubaud e Sournia (1990).

$(P/B)_{\text{micro}}$ = rapporto produzione su biomassa pari a 4.2 (Corrales et al., 2015).

A partire dal calcolo della quantità di carbonio è possibile stimare le quantità di altri nutrienti (azoto e fosforo) che hanno consentito la generazione della produttività primaria totale. Le quantità di azoto e fosforo associate alla produttività primaria totale sono state calcolate utilizzando il rapporto di massa proposto da Redfield et al. (1963) secondo il quale azoto e fosforo sono contenuti negli organismi nella seguente proporzione:

$$\text{C:N:P} \rightarrow 41:7:1 \text{ (rapporto di massa)}$$

B.3 Valutazione della produttività primaria annua

Note le biomasse di produttori e consumatori all'interno delle singole biocenosi è possibile realizzare un bilancio tra i flussi annui di produzione e consumo. A tale scopo, è necessario reperire in bibliografia i fattori di produzione su biomassa (P/B) per i produttori e di consumo su biomassa (Q/B) per i consumatori. I fattori utilizzati per il benthos ed i relativi riferimenti bibliografici sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4. Fattori di P/B e Q/B impiegati nell'analisi e riferimenti bibliografici.

Gruppo	P/B (y^{-1})	Q/B (y^{-1})	Riferimenti bibliografici
Algae	1.08	0	Corrales et al., 2015
<i>Cymodocea nodosa</i>	2.35	0	Corrales et al., 2015
<i>Posidonia oceanica</i>	2.35	0	Corrales et al., 2015
Foraminifera	5.81	29.05	Opitz 1996; Kroon et al. 1993
Porifera	0.9	4.5	Opitz 1996; Palomares et al. 2005; Pinkerton et al. 2008
Cnidaria	1.17	5.85	Opitz 1996; Okey et al. 2004a, b; Palomares et al. 2005; Ortiz et al. 2013
Mollusca	2.18	10.9	Christensen and Pauly 1993; Opitz 1996; Okey et al. 2004a, b; Hotchkiss 2007; Selleslagh et al. 2012; Bănară et al. 2013
Annelida	2.17	10.85	Wolff and Wolff 1977; Ménard et al. 1989; Ambrogi 1990; Gillet 1993; Palomares et al. 2005; Ait Alla et al. 2006; Coll et al. 2006, 2008, 2009; de Souza and Borzone 2007; Rouhi et al. 2008; Daas et al. 2011; Selleslagh et al. 2012; Ortiz et al. 2013

Sipuncula	2.47	12.35	Okey et al. 2004a, b; Palomares et al. 2005; Bănară et al. 2013; Ortiz et al. 2013
Crustacea	2.73	13.65	Opitz 1996; Vetter 1996; Palomares et al. 2005; Tecchio et al. 2013
Bryozoa	2.3	11.5	Opitz 1996
Echinodermata	1.12	5.6	Christensen and Pauly 1993; Opitz 1996; Okey et al. 2004a, b; Palomares et al. 2005; Pedersen et al. 2008; Bănară et al. 2013
Tunicata	1.3	6.5	Opitz 1996; Palomares et al. 2005
Others	3.6	18	Christensen and Pauly 1993; Okey et al. 2004a, b; Coll et al. 2006, 2008, 2009; Pedersen et al. 2008; Pinkerton et al. 2008; Liu et al. 2009; Bănară et al. 2013; Tecchio et al. 2013

I fattori di Q/B per le specie ittiche considerate sono invece stati calcolati come media, per ogni specie dei fattori riportati in letteratura (Prado et al., 2013; Bayle-Sempere et al., 2013; Heymans et al 2009; Coll et al., 2006 a e b; Coll et al 2008; Piroddi et al 2010; Corrales et al 2015; Pinnegar and Polounin 2004; Lercari et al., 2007; Torres et al 2013; Coll et al 2007). Moltiplicando la biomassa di produttori nelle biocenosi per il corrispondente P/B si ottiene il totale di produttività annua generato all'interno della biocenosi. Analogamente, moltiplicando le biomasse degli eterotrofi per i corrispondenti Q/B si ottiene la biomassa consumata (C) da ogni gruppo funzionale.

Successivamente, la produttività primaria (P), necessaria per sostenere il consumo di prede di un determinato gruppo trofico, è calcolata tramite la seguente formula:

$$P = C \cdot 7^{(T-2)}$$

dove:

P = produttività primaria

C = consumo di prede

T = livello trofico

Il massimo tra i valori di produttività (in termini di grammi di carbonio) calcolati per ciascun gruppo fornisce la richiesta di produttività primaria annua della biocenosi. Tale valore è confrontato con la produzione primaria reale per valutare se la biocenosi genera una quantità di autotrofi sufficiente a sostenere i consumi degli eterotrofi.

B.4 Calcolo della quantità di nutrienti associati ai flussi

Analogamente a quanto detto per il capitale, i valori di produttività annua calcolati come grammi di carbonio sono utilizzati per stimare le quantità di altri nutrienti (azoto e fosforo) che hanno consentito la generazione della produttività primaria totale annua. Le quantità di azoto e fosforo associate alla produttività primaria annua sono state calcolate utilizzando lo stesso rapporto di massa C:N:P → 41:7:1 (Redfield et al., 1963).

C. Valutazione dell'Area di supporto

In questa fase, i valori di produttività primaria calcolati per il capitale e per i flussi sono associati alla superficie che ha consentito la generazione di tali produttività. Questa superficie, definita “di supporto” rappresenta, idealmente, l'area sulla quale hanno insistito i flussi naturali che hanno consentito la formazione della produttività primaria calcolata ed associata al capitale ed ai flussi.

C.1 Calcolo dell'area di supporto per il capitale

Nel caso del capitale, l'area di supporto coincide con l'area fisica che ha consentito la formazione degli stock autotrofi ed eterotrofi nelle diverse biocenosi. Per i due comparti (autotrofo ed eterotrofo) viene inoltre calcolato il tempo minimo di formazione dello stock di biomassa presente. Per il comparto autotrofo il tempo minimo viene stimato come reciproco del rapporto P/B dei diversi autotrofi presenti in ciascuna biocenosi. Tale rapporto può essere considerato una stima dell'età media della popolazione (Allen, 1971). Il tempo necessario totale è dato dalla somma dei tempi così ottenuti.

Per il comparto eterotrofo il tempo di formazione viene calcolato come rapporto tra la somma della produttività primaria che ha sostenuto gli stock eterotrofi (espressa in gC m^{-2}) e un tasso di produttività media degli ambienti marini bentonici (espressa in $\text{gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$).

Il tasso di produttività media è pari a $650 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ ed è stato calcolato come somma della produttività media di macrofite, fanerogame e fitoplancton (Charpy-Roubaud e Sournia, 1990).

C.2 Calcolo dell'area di supporto per i flussi

Per quanto concerne il calcolo della superficie su cui si genera la produttività primaria che mantiene i consumi annui delle biocenosi è in primo luogo necessario eseguire un bilancio tra la produttività interna degli autotrofi (p_a) e la produttività primaria richiesta dagli eterotrofi (p_e) a livello di AMP e di singola biocenosi.

A livello di AMP si possono verificare i due seguenti casi:

- $p_{a\text{AMP}} \geq p_{e\text{AMP}}$: l'AMP genera una produttività primaria superiore o uguale alla richiesta eterotrofa; in particolare, l'AMP si trova in bilancio se i due flussi annui sono uguali, oppure si trova in surplus se si ha un eccesso di produttività che viene quindi esportato a sistemi esterni.
- $p_{a\text{AMP}} < p_{e\text{AMP}}$: l'AMP genera una produttività primaria inferiore alla richiesta eterotrofa e si trova in deficit, necessitando di contributi da biocenosi esterne per potere mantenere i propri eterotrofi.

Viene riportata di seguito la descrizione in dettaglio delle procedure adottate per il calcolo delle aree di supporto nei due suddetti casi.

Caso 1: AMP in surplus

Per calcolare le aree di supporto delle diverse biocenosi si esegue un bilancio sui flussi analogo a quello effettuato a livello di AMP da cui possono derivare i seguenti casi:

- $p_{bioc} \geq p_{e_{bioc}}$: la biocenosi genera una produttività primaria uguale o superiore alla richiesta eterotrofa e si trova in bilancio o surplus;
- $p_{bioc} < p_{e_{bioc}}$: la biocenosi genera una produttività primaria inferiore alla richiesta eterotrofa e si trova in deficit.

Nel caso in cui la biocenosi si trovi in surplus (o in bilancio) si considera come area di supporto la superficie in grado di generare l'aliquota di produttività necessaria agli eterotrofi della biocenosi stessa.

Nel caso in cui la biocenosi si trovi in deficit, si considera che tale deficit venga colmato dalle altre biocenosi in surplus presenti nella AMP. Il surplus totale viene allocato rispetto alla richiesta della biocenosi non soddisfatta dagli autotrofi della stessa biocenosi e la superficie di supporto assegnata alle biocenosi in deficit è calcolata in funzione della produttività mancante e supportata dal surplus interno all'AMP.

A tal fine si procede nel seguente modo:

1. si calcola il surplus totale (S) dell'AMP come differenza tra la produttività primaria totale generata dagli autotrofi della AMP e quella consumata dagli eterotrofi: $S = p_{a_{AMP}} - p_{e_{AMP}}$;
2. si ottiene per ogni biocenosi in surplus la superficie che mantiene gli eterotrofi come rapporto (per unità di area) tra $p_{e_{bioc}}$ e $p_{a_{bioc}}$;
3. si ottiene, per differenza, la superficie fornita da ogni biocenosi in surplus e messa a disposizione per altre biocenosi in deficit;
4. si ottiene, sommando questi valori, il totale, a livello di AMP, di superficie fornita dalle biocenosi in surplus e messa a disposizione delle biocenosi in deficit;
5. si calcola la produttività mancante per ogni biocenosi in deficit come: $p_{e_{res}} = p_{e_{bioc}} - p_{a_{bioc}}$;
6. si ricava la percentuale di superficie in surplus da attribuire a ciascuna biocenosi in deficit:
7. $p_{e_{res}} / \text{surplus}$.

Un eventuale surplus rimanente viene considerato come esportato verso sistemi esterni.

Caso 2: AMP in deficit

In questo caso, si suppone che il deficit interno di determinate biocenosi sia colmato da surplus interno all'AMP e da una produzione importata dall'esterno dell'AMP. Dunque, in primo luogo, è necessario determinare in quali biocenosi il deficit può essere colmato dal surplus interno all'AMP. Per fare ciò, nell'ipotesi che il surplus interno venga distribuito omogeneamente a tutte le biocenosi, si determina un tasso di fornitura di surplus (TF) calcolato come rapporto tra il surplus totale interno S e la superficie totale di biocenosi in deficit.

Se per una biocenosi, TF supera la richiesta ulteriore di produttività pe_{res} per unità di area il deficit può essere colmato. In questo caso, si procede analogamente al caso 1. Nel caso in cui TF è invece minore della richiesta di produttività pe_{res} per unità di area, il deficit non può essere colmato internamente e dunque è necessario un supporto esterno.

Nel caso in cui una biocenosi viene saturata internamente e resta un surplus residuo interno non utilizzato, questo viene ripartito omogeneamente alle biocenosi in deficit rimanenti che non possono essere saturate con il TF.

Infine, per colmare l'ulteriore deficit di biocenosi non saturate internamente si considera una produttività primaria importata da biocenosi esterne. Il tasso di produttività importato viene assunto pari a $650 \text{ gCm}^{-2}\text{y}^{-1}$ (Charpy-Roubaud e Sournia, 1990). Le aree di supporto esterne associate alle biocenosi in deficit sono calcolate come rapporto tra l'ulteriore deficit ed il tasso di produttività esterno.

Caso 3: Realizzazione di scenari

La procedura finora descritta per la valutazione delle aree di supporto e delle biocenosi in deficit e/o surplus potrà essere eventualmente modificata nel caso in cui siano presenti nell'AMP investigata particolari caratteristiche (ad esempio, livello idrodinamico, morfologia, impatto antropico) che inducano a individuare una compartimentazione delle aree o particolari configurazioni riguardanti i flussi di risorse scambiati tra le biocenosi. Tali modifiche potranno essere apportate all'interno di scenari i cui risultati dovranno essere presentati in parallelo a quelli della metodologia di base.

D. Valutazione del capitale naturale e dei flussi ambientali che supportano le diverse biocenosi: la contabilità Emergetica

Le procedure del precedente paragrafo consentono il calcolo della superficie totale sulla quale insistono nel tempo i flussi di risorse naturali necessari a generare e mantenere la biomassa nelle biocenosi dell'AMP.

Le risorse naturali che supportano le biocenosi dell'AMP sono valutate mediante la contabilità Emergetica.

La contabilità Emergetica è una metodologia di valutazione ambientale sviluppata da Howard T. Odum presso l'Università della Florida negli anni '80. Essa trova le sue radici nelle scienze termodinamiche e nell'ecologia teorica, con particolare riferimento alla teoria generale dei sistemi di von Bertalanffy (1968) ed alla teoria delle strutture dissipative di Prigogine (1947). Questa metodologia è in grado di mettere in luce i rapporti di dipendenza tra ecosistema naturale ed economia umana e consente il calcolo di un set di indicatori per la valutazione della performance e della sostenibilità ambientale di un sistema naturale o di un processo produttivo (Franzese et al., 2009). I concetti di emergenza solare e *solar transformity* (Odum, 1988, 1996) sono alla base di questa

metodologia volta a determinare il rendimento, l'impatto e la sostenibilità ambientale di un sistema investigato.

Generalmente, ogni sistema riceve in *input* diversi tipi di energia di minor qualità per realizzare un tipo di energia di livello più elevato, in grado di realizzare una funzione di controllo sull'intero sistema. Ad esempio, un joule di energia solare, un joule di carbone e un joule di energia elettrica rappresentano la stessa quantità di energia ma hanno diversa qualità, nel senso che le loro potenzialità sono diverse. In altre parole, le diverse forme di energia non hanno la stessa capacità di compiere lavoro e possono pertanto sostenere lavori molto diversi per unità di *input*. Alla luce di questa riflessione, appare evidente l'impossibilità di esprimere il valore energetico della radiazione solare e quello di altre tipologie energetiche (combustibili fossili, elettrica, ecc.) in joule di calore e poi sostenere che ciascun joule sia uguale nella sua capacità di produrre lavoro.

Poiché molti joule di energia di bassa qualità sono necessari per ottenere pochi joule di energia di qualità più elevata, è stato introdotto il concetto di *transformity* per dare una possibile misura alla posizione gerarchica delle diverse tipologie energetiche (Odum, 1996).

La *transformity*, grandezza intensiva, rappresenta quindi la quantità di energia di un tipo necessaria per ottenere un joule di un altro tipo (Odum, 1996). Per poter confrontare tutti i vari tipi di energia secondo un comune denominatore, è stata definita la *solar transformity*, ovvero *la quantità di energia solare che è, direttamente o indirettamente, necessaria per produrre un joule del prodotto in questione* (Odum, 1996). L'emergia solare è definita come *la quantità di energia solare che è necessaria (direttamente o indirettamente) per ottenere un prodotto o un flusso di energia in un dato processo* (Odum, 1996).

L'emergia, al contrario della *transformity*, è una grandezza estensiva e la sua unità di misura è il *solar emergy joule* o *solar equivalent joule* (sej). La *solar transformity*, che rappresenta l'emergia di un prodotto rapportata al suo contenuto energetico, è espressa in sej/J, mentre l'emergia specifica è espressa in sej/g. Genericamente, la quantità di emergia investita per generare un'unità di prodotto viene definita *UEV* (Unit Emergy Value) espressa come sej/J, sej/g, sej/€. Evidentemente, più grande risulta il flusso emergetico necessario a supportare un processo o un sistema, maggiore è la quantità di energia solare che lo supporta, ovvero maggiore è il costo ambientale presente e passato necessario per mantenerlo (Franzese et al., 2009).

D.1 L'Algebra dell'Emergia

Formalmente possiamo scrivere che l'emergia U di un flusso o di un prodotto K vale:

$$U_K = \sum_i Tr_i * E_i$$

dove:

E_i è il contenuto energetico dell' i -esimo input e Tr_i è la sua transformity, definita dalla relazione:

$$Tr_i = U_i / E_i$$

La valutazione emergetica viene condotta secondo una serie di regole di base che consentono di calcolare correttamente il valore emergetico dei flussi di materia, energia e denaro che supportano il sistema investigato. L'insieme di queste regole è stato denominato "Algebra Emergetica" (Odum, 1996). In sintesi, le principali regole da seguire sono:

1. tutta l'emergia fornita ad un processo è assegnata al prodotto o ai prodotti del processo;
2. a tutti i co-prodotti di un processo si assegna la stessa emergia, pari a quella fornita dagli input;
3. quando un flusso si divide (split), mantenendo costanti le proprie caratteristiche chimico-fisiche, a ciascun flusso risultante viene assegnata una quantità di emergia proporzionale all'energia su ciascun percorso (o ad un'altra proprietà caratteristica, come ad esempio la massa o l'exergia);
4. l'emergia non può essere contata due volte in un sistema.

L'emergia dei flussi di retroazione non deve essere contata nuovamente come input. L'emergia dei co-prodotti i cui flussi convergono nuovamente non deve essere sommata. Si conterà solo il più grande dei flussi convergenti (Franzese et al., 2009).

D.2 Principali fasi della contabilità emergetica

Una dettagliata contabilità biofisica su base emergetica è realizzata mediante le seguenti fasi principali:

1. Individuazione dei confini spaziali e temporali per il sistema investigato.
2. Modellazione del sistema attraverso un diagramma di flusso emergetico.
3. Calcolo dei principali flussi di materia, energia e denaro.
4. Conversione dei suddetti flussi in energia solare equivalente (o emergia).
5. Calcolo dell'emergia totale utilizzata.
6. Calcolo degli indicatori emergetici.

D.3 La contabilità emergetica delle AMP

Nello specifico caso delle AMP vengono individuati e contabilizzati tutti i flussi che supportano la formazione ed il mantenimento della biomassa nelle diverse biocenosi: Carbonio, Azoto, Fosforo, Radiazione solare, Vento, Pioggia, Correnti, Calore geotermico, Maree e Runoff.

Carbonio, azoto e fosforo vengono prelevati dall'ambiente e fissati all'interno della materia organica. L'energia solare è indispensabile per il processo fotosintetico, mentre il vento e le correnti contribuiscono all'ossigenazione delle acque. Pioggia, runoff, calore geotermico e maree vengono considerati in termini di energia fornita alle biocenosi in quanto contribuiscono, anche

indirettamente, al loro mantenimento. Le formule di calcolo utilizzate per la valutazione quantitativa di questi input sono riportate in Tabella 5.

Tabella 5. Formule impiegate per il calcolo degli input energetici.

Elemento	Formula utilizzata	Unità	Rif.
Carbonio	Quantità associata alla produttività primaria di mantenimento e/o generata nella biocenosi	g	Questo studio
Azoto	$(\text{Carbonio}/41) \cdot 7$	g	Redfield et al., 1963
Fosforo	$\text{Carbonio}/41$	g	Redfield et al., 1963
Radiazione solare	Radiazione solare per unità di area $\cdot$ (1-albedo su mare) $\cdot$ area di supporto	J	Odum, 1996
Pioggia (potenziale chimico)	Altezza pioggia caduta $\cdot$ numero Gibbs $\cdot$ densità acqua $\cdot$ area di supporto	J	Odum, 1996
Vento	Energia del vento per unità di area $\cdot$ area di supporto	J	Odum, 1996
Correnti (energia cinetica)	$\frac{1}{2} \cdot$ altezza evaporata per unità di area $\cdot$ densità acqua di mare $\cdot$ (velocità corrente) ² $\cdot$ area di supporto	J	Odum, 2000
Caloregeotermico	Flusso di calore geotermico per unità di area $\cdot$ area di supporto	J	Brown e Bardi, 2001
Maree	$\frac{1}{2} \cdot$ Numero maree anno $\cdot$ (altezza escursione mareale) ² $\cdot$ densità acqua di mare $\cdot$ gravità $\cdot$ area di supporto	J	Odum, 1996
Runoff	(Volume pioggia caduta nel bacino idrografico-volume pioggia evaporata-volume acqua alla falda) $\cdot$ densità acqua $\cdot$ numero Gibbs $\cdot$ area di supporto	J	Brown e Bardi, 2001

Dopo aver valutato quantitativamente gli input che alimentano il sistema si procede alla costruzione delle tabelle energetiche per il calcolo del valore ecologico ed economico del capitale naturale e dei flussi ambientali. A tale scopo viene utilizzato un foglio di calcolo come indicato da Odum (1996) e riportato in Tabella 6.

Tabella 6. Esempio di tabella per la contabilità energetica.

1	2	3	4	5
Input	Valore	Unità di misura	UEV	Energia solare

Colonna 1: lista degli input individuati

Colonna 2: valori quantitativi dei flussi energetici o materiali elencati in colonna 1

Colonna 3: unità di misura degli input (J, g)

Colonna 4: valori delle UEV specifiche per gli input considerati

Colonna 5: valori di energia solare ottenuti per moltiplicazione dei valori riportati in colonna 2 e colonna 4.

Nel caso specifico delle AMP, le tabelle indicano il dettaglio relativo alle diverse biocenosi considerate per ognuna delle quali vengono riportati i valori relativi ai diversi input ed il corrispondente valore energetico.

I valori di UEV dei diversi input sono stati reperiti dalla letteratura. Il calcolo delle UEV relative ai processi che avvengono a livello globale è basato sulla quantità annuale di energia che sostiene la biosfera (emergy baseline). Le UEV usate in questo studio sono riferite al più recente emergy baseline pari a $15.2E+24$ sej (Brown e Ulgiati, 2010). Tutte le UEV usate in questo studio sono elencate in Tabella 7.

Tabella 7. Elenco delle UEV utilizzate in questo studio.

INPUT	UEV (sej/unità)	RIF
C	1.02E+08	Campbell et al., 2014
N	7.40E+09	After Odum, 1996
P	2.86E+10	After Odum, 1996
Sole	1.00E+00	By definition
Pioggia	2.93E+04	After Odum, 1996
Vento	2.41E+03	After Odum, 1996
Calore geotermico	2.00E+04	Brown and Ulgiati, 2010
Maree	7.20E+04	Brown and Ulgiati, 2010
Correnti	3.80E+04	After Odum, 1996
Runoff	6.61E+04	After Odum, 1996

Dopo aver calcolato il valore in termini energetici (o materiali) dei differenti input si procede con il computo dell'energia totale che supporta la formazione del capitale naturale e il mantenimento delle biocenosi dell'AMP.

In particolare, sono considerati co-prodotti: a) Carbonio, Azoto e Fosforo; b) Sole, Pioggia, Vento e Correnti.

Per questo motivo, per ciascuno di questi due gruppi di input viene considerato solo il valore energetico maggiore. I due risultati sono sommati agli altri input per il calcolo del valore energetico totale.

E. Valutazione monetaria

La fase 1 del progetto prevede come ultimo step la conversione dei valori energetici calcolati per le diverse biocenosi in valore monetario. A tal fine, viene usato un fattore di conversione definito “*emergy-to-money ratio*” (Lou e Ulgiati, 2013). Questo fattore di conversione rappresenta l'energia investita per generare una unità di denaro ed è calcolato dividendo il valore di Energia totale che supporta una nazione per il suo Prodotto Interno Lordo (PIL). In questo studio, viene

usato l'energy-to-money ratio calcolato per l'Italia per l'anno 2009 e pari a $9.6 \cdot 10^{11}$ sej/€ (Pereira et al., 2013). Il valore monetario di un flusso energetico viene calcolato dal rapporto tra il valore energetico del flusso e l'energy-to-money ratio.

3.2 Risultati e discussione

Una dettagliata contabilità biofisica su base energetica è stata realizzata al fine di valutare quantitativamente i principali flussi di materia ed energia che supportano le dinamiche ecologiche nelle biocenosi dell'AMP. In figura 6 viene riportato il diagramma sistemico, sviluppato attraverso il linguaggio energetico-simbolico di Odum (1996), che schematizza le dinamiche dei principali flussi di emergia nell' AMP. In particolare, esso rappresenta: a) le principali forzanti energetiche esterne che supportano le dinamiche ecologiche nelle biocenosi dell'AMP; b) i produttori, i consumatori ed i principali stock; c) le interazioni tra le componenti del sistema. Tutti i flussi di materia ed energia rappresentati nel diagramma sistemico (Figura 7) sono stati convertiti in unità di emergia mediante specifici fattori di conversione (UEV).

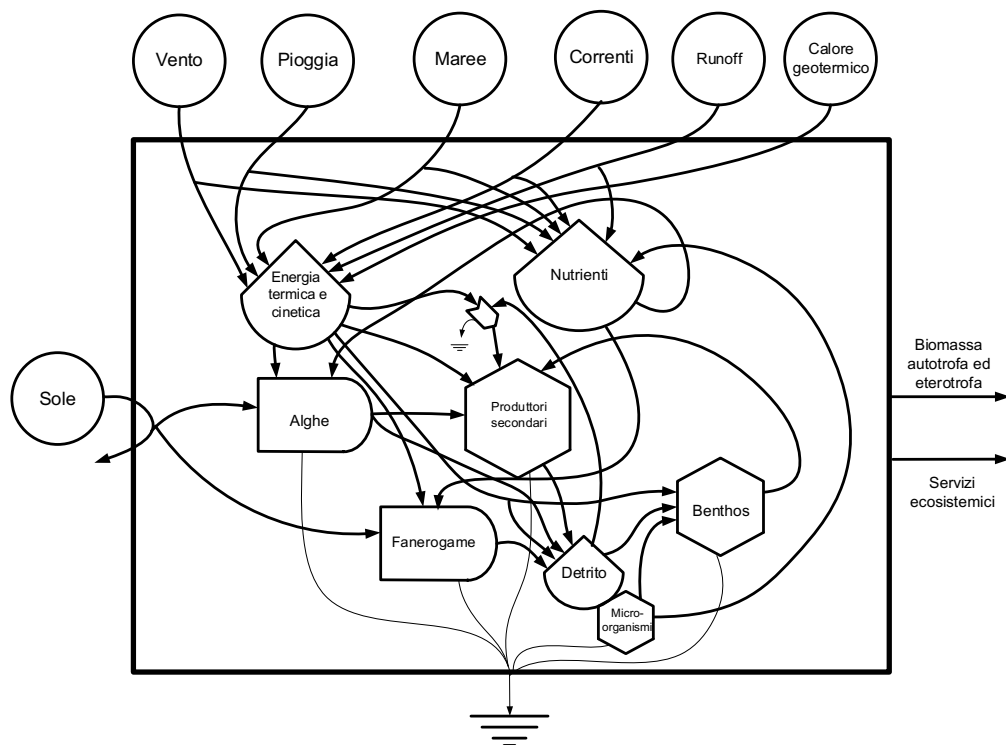


Figura 7. Diagramma sistemico dell'AMP Torre Guaceto.

3.2.1 Valore ecologico ed economico del capitale naturale

La Tabella 8 mostra le biomasse (esprese in gC/m²) calcolate per i principali gruppi tassonomici identificati nei campioni prelevati nelle biocenosi dell'AMP. Tali valori sono stati utilizzati per il calcolo delle quantità di nutrienti (C, N, P) che hanno supportato la produzione di biomassa autotrofa ed eterotrofa nelle biocenosi dell'AMP.

Tabella 8. Biomassa dei principali gruppi tassonomici presenti nelle biocenosi dell'AMP Torre Guaceto.

GRUPPI	BIOMASSA (gC/m ²)			
	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
MICROPHYTOBENTHOS	23.81	23.81	23.81	23.81
MACROPHYTOBENTHOS	152.65	264.82	0.00	3.89
POSIDONIA	0.00	0.00	0.00	209.05
EPIFITI	0.00	7.73	0.00	1.25
PHYTOPLANKTON	0.65	0.65	0.65	0.65
MOLLUSCHI	0.96	6.09	0.71	0.74
BRIOZOI	25.80	14.36	0.00	5.81
ANELLIDI	0.33	0.83	0.00	0.01
CELEENTERATI	0.18	1.03	0.00	0.15
CROSTACEI	0.20	0.28	0.01	0.01
ECHINODERMI	0.73	0.03	0.00	0.33
ASCIDIE	0.02	0.03	0.00	0.00
SPUGNE	32.35	3.35	0.00	0.04
ITTIOFAUNA	1.08	2.72	0.05	2.67

Le tabelle 9 e 10 mostrano i flussi energetici di supporto alla formazione degli stock autotrofi ed eterotrofi nelle biocenosi dell'AMP. Gli input naturali alle biocenosi includono i nutrienti (C, N, P) e i flussi naturali (radiazione solare, vento, pioggia, calore geotermico, maree, correnti e *runoff*) che hanno consentito la formazione degli stock autotrofi ed eterotrofi nel tempo e nello spazio.

L'emergia totale che ha consentito la formazione degli stock autotrofi nelle diverse biocenosi varia tra $1.38 \cdot 10^{18}$ sej (per il Fondo Duro Fotofilo) e $7.58 \cdot 10^{18}$ sej (per Posidonia) (Tabella 9). Tali valori rappresentano una misura estensiva del supporto ambientale ricevuto dalle aree occupate dalle diverse biocenosi.

La densità emergetica esprime la quantità di emergia che è stata concentrata per unità di area e dunque rappresenta una misura intensiva del supporto energetico alle biocenosi. La biocenosi *Posidonia* presenta il valore più alto di densità emergetica ($9.40 \cdot 10^{11}$ sej/m², tabella 11). Questo elevato costo emergetico per unità di area evidenzia l'importanza della produzione primaria di questa biocenosi e dell'accumulo di biomassa autotrofa che supporta la produzione eterotrofa sia a livello della stessa biocenosi sia a livello di AMP. I risultati di questo studio confermano dunque l'importanza della protezione e della corretta gestione delle praterie di *Posidonia*.

Tabella 9. Valutazione emergetica del capitale autotrofo nelle biocenosi dell'AMP Torre Guaceto.

Input	EMERGIA (sej)			
	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
C	7.93E+16	6.82E+16	1.87E+16	1.97E+17
N	9.79E+17	8.43E+17	2.31E+17	2.43E+18
P	5.41E+17	4.65E+17	1.28E+17	1.34E+18
SOLE	7.45E+16	3.92E+16	1.24E+17	3.74E+17
PIOGGIA	5.91E+16	3.11E+16	9.86E+16	2.97E+17
VENTO	2.32E+16	1.22E+16	3.88E+16	1.17E+17
CALORE GEOTERMICO	4.84E+16	2.54E+16	8.07E+16	2.43E+17
MAREE	2.58E+16	1.36E+16	4.30E+16	1.30E+17
CORRENTI	4.13E+14	2.17E+14	6.89E+14	2.07E+15
RUNOFF	8.76E+17	4.61E+17	1.46E+18	4.40E+18
Emergia totale (sej)	2.00E+18	1.38E+18	1.94E+18	7.58E+18
Densità emergetica (sej/m2)	4.58E+11	6.15E+11	2.59E+11	9.40E+11

L'emergeria totale che ha consentito la formazione degli stock eterotrofi nelle diverse biocenosi varia tra $2.42 \cdot 10^{17}$ sej (per il Fondo Molle) e $8.28 \cdot 10^{18}$ sej (per il Fondo Duro Sciafilo) (Tabella 10). La biocenosi Fondo Duro Sciafilo (Coralligeno) presenta il valore più alto di densità emergetica ($1.89 \cdot 10^{12}$ sej/m²) che indica un maggiore supporto ambientale per la formazione dei suoi stock eterotrofi. L'elevato costo ambientale conferma la notevole importanza che la biocenosi coralligena riveste nel sistema ecologico dell'AMP. Infatti, il coralligeno presenta un'eccezionale ricchezza specifica e un'estrema varietà di forme biologiche e di stock che meritano notevole attenzione e considerazione all'interno delle politiche di conservazione della biodiversità e di gestione del patrimonio biologico marino.

Tabella 10. Valutazione emergetica del capitale eterotrofo nelle biocenosi dell'AMP Torre Guaceto.

Input	EMERGIA (sej)			
	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
C	3.13E+17	1.31E+17	9.15E+15	2.95E+17
N	3.87E+18	1.62E+18	1.13E+17	3.65E+18
P	2.14E+18	8.95E+17	6.24E+16	2.01E+18
SOLE	3.20E+17	1.34E+17	9.36E+15	3.02E+17
PIOGGIA	2.54E+17	1.07E+17	7.43E+15	2.40E+17
VENTO	9.99E+16	4.19E+16	2.92E+15	9.41E+16
CALORE GEOTERMICO	2.08E+17	8.72E+16	6.08E+15	1.96E+17
MAREE	1.11E+17	4.65E+16	3.24E+15	1.05E+17
CORRENTI	1.78E+15	7.45E+14	5.19E+13	1.67E+15
RUNOFF	3.77E+18	1.58E+18	1.10E+17	3.55E+18
Emergia totale (sej)	8.28E+18	3.47E+18	2.42E+17	7.80E+18
Densità emergetica (sej/m2)	1.89E+12	1.54E+12	3.23E+10	9.67E+11

I valori energetici totali e per unità di area calcolati per i due capitali (autotrofo ed eterotrofo) sono stati sommati e, successivamente, convertiti in unità economiche (euro e euro/m²) utilizzando il valore medio dell'energia per unità di denaro dell'Italia di $9.06 \cdot 10^{11}$ sej/euro (Pereira et al., 2011). I valori economici totali e per unità di area calcolati per le diverse biocenosi sono riportati in Tabella 11. La biocenosi Posidonia presenta il valore economico totale più alto (**circa 17 milioni di euro**) mentre la biocenosi Fondo Duro Sciafilo ha il più alto valore per unità di area (**2.59 euro/m²**). Il valore economico totale del capitale naturale calcolato sull'intera estensione dell'AMP è risultato pari a circa **36 milioni di euro**. Tali valori rappresentano una misura economica del costo ambientale sostenuto dalla natura per la formazione degli stock. Il costo energetico convertito in unità di denaro include tutti i costi ambientali sostenuti per la formazione del capitale naturale nelle biocenosi. L'espressione dei risultati in unità di denaro facilita la comprensione dell'importanza del capitale naturale in ambito politico ed economico.

Tabella 11. Valore economico del capitale naturale nelle biocenosi dell'AMP.

Valore economico	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
Valore economico totale (euro)	1.13E+07	5.35E+06	2.41E+06	1.70E+07
Valore economico per m ² (euro/m ²)	2.59	2.38	0.32	2.10

I valori economici per unità di area sono stati combinati con la cartografia bionomica dell'AMP per la generazione di mappe di distribuzione del valore del capitale naturale in funzione della presenza delle diverse biocenosi dell'AMP (Fig. 8). La mappa in figura 8 include anche l'attuale zonazione dell'AMP. Dalla mappa si evince che aree ad elevato valore di capitale naturale non sono incluse in zona A, ma risultano principalmente nelle zone B e C. Pertanto, si potrebbe anche considerare l'ipotesi di rivedere la zonazione dell'AMP tenendo in considerazione la distribuzione spaziale del valore ecologico ed economico del capitale naturale nelle biocenosi dell'AMP.



Figura 8. Distribuzione spaziale del valore del capitale naturale delle biocenosi nell'AMP.

3.2.2 Valore ecologico ed economico dei flussi naturali

La Tabella 12 mostra i flussi emergentici che annualmente supportano la produzione primaria e secondaria nelle biocenosi dell'AMP. Gli input naturali alle biocenosi includono nutrienti e flussi naturali che supportano la produzione annua di autotrofi ed eterotrofi in ciascuna biocenosi. L'emergia totale annua che supporta le produzioni nelle diverse biocenosi varia tra $4 \cdot 10^{17}$ sej/anno (per il Fondo Molle) e $4.41 \cdot 10^{18}$ sej/anno (per Posidonia). Il flusso emergentico per unità di area varia tra $5.48 \cdot 10^{10}$ (per il Fondo Molle) e $5.47 \cdot 10^{11}$ (per Posidonia) sej/m²/anno (tabella 12).

I valori emergentici più bassi calcolati per alcune biocenosi (Fondo molle e Fondo duro fotofilo) sono dovuti ad un'elevata produzione primaria ed una più bassa produzione secondaria. Il surplus di produzione primaria che non viene utilizzata internamente sostiene altre biocenosi per cui il costo emergentico per la produzione di tale surplus si associa ad altre biocenosi in deficit che importano produzione primaria a sostegno di quella secondaria. Pertanto, va evidenziato che le biocenosi in surplus hanno il ruolo fondamentale di esportare produzione primaria a sostegno delle biocenosi caratterizzate da una maggiore produzione secondaria. Inoltre, il bilancio netto a scala di AMP, calcolato come differenza tra produzione primaria lorda e produzione primaria consumata su tutta l'area, risulta positivo per tutte le biocenosi (Tabella 13). Tale risultato indica che l'AMP Torre

Guaceto si autosostiene attraverso scambi sinergici tra le biocenosi e, inoltre, genera un surplus di produzione primaria che viene esportata oltre i confini dell'AMP, confermando il suo ruolo di supporto alle aree limitrofe.

Tabella 12. Valutazione emergetica dei flussi annuali che supportano le biocenosi dell'AMP.

Input	EMERGIA (sej/anno)			
	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
C	1.81E+17	5.69E+16	7.19E+15	2.01E+17
N	2.24E+18	7.03E+17	8.89E+16	2.48E+18
P	1.24E+18	3.88E+17	4.91E+16	1.37E+18
SOLE	4.86E+15	8.54E+14	2.33E+16	1.40E+17
PIOGGIA	3.86E+15	6.78E+14	1.85E+16	1.11E+17
VENTO	1.52E+15	2.67E+14	7.28E+15	4.38E+16
CALORE GEOTERMICO	3.16E+15	5.55E+14	1.52E+16	9.11E+16
MAREE	1.68E+15	2.96E+14	8.08E+15	4.86E+16
CORRENTI	2.70E+13	4.74E+12	1.29E+14	7.79E+14
RUNOFF	5.72E+16	1.00E+16	2.74E+17	1.65E+18
Emergia totale (sej/anno)	2.31E+18	7.15E+17	4.10E+17	4.41E+18
Densità emergetica (sej/m²/anno)	5.27E+11	3.18E+11	5.48E+10	5.47E+11

Tabella 13. Produzione primaria e consumo nelle biocenosi dell'AMP Torre Guaceto.

Produzione-Consumo	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
Produzione primaria Pa (gC/anno)	1.08E+11	9.94E+10	1.53E+09	1.23E+10
Consumo Pe (gC/anno)	1.77E+09	5.56E+08	7.04E+07	1.96E+09
Bilancio Pa – Pe (gC/anno)	+1.07E+11	+9.89E+10	+1.46E+09	+3.67E+10

Come per il capitale naturale, i flussi energetici totali e per unità di area sono stati convertiti in unità di denaro (Tabella 14). La biocenosi Posidonia presenta il valore più elevato per unità di area (0.60 euro/m²/anno). Il valore economico totale dei flussi ambientali, calcolato sull'intera estensione dell'AMP, rappresenta l'investimento annuo della biosfera per il supporto dell'AMP. Tale valore è risultato pari a circa 7 milioni di euro.

Tabella 14. Valore economico dei flussi energetici che supportano le biocenosi dell'AMP.

Valore economico	Fondo duro sciafilo	Fondo duro fotofilo	Fondo molle	Posidonia
Valore economico totale (euro/anno)	2.55E+06	7.89E+05	4.52E+05	4.87E+06
Valore economico per m ² (euro/m ² /anno)	0.58	0.35	0.06	0.60

4 Fase 2. Individuazione delle funzioni e dei servizi ecosistemici

La locuzione funzioni ecosistemiche si riferisce alla capacità potenziale dei processi e dei componenti naturali di fornire beni e servizi che soddisfino il genere umano e le altre specie (De Groot, 1992). La locuzione beni (es. cibo) e servizi (es. capacità di assimilare i rifiuti) ecosistemici si riferisce, invece, ai benefici che le popolazioni traggono, direttamente o indirettamente, dalle funzioni ecosistemiche (Costanza et al., 1997; MA, 2005).

Le funzioni, quindi, esistono indipendentemente dal fatto che qualcuno ne faccia uso mentre i servizi, al contrario, sono definiti dall'utilità che l'essere umano ricava da essi. Possono essere individuate molte funzioni e altrettanti servizi e numerose sono le classificazioni fino ad oggi proposte, principalmente per quanto concerne i servizi ecosistemici. La prima classificazione fu quella proposta da Costanza et al. (1997) che individuò 17 categorie principali. Questa prima categorizzazione delle funzioni e dei servizi ecosistemici è stata successivamente ripresa da De Groot et al. (2002) che, riscontrando una certa elusività nella letteratura riguardante i servizi ecosistemici e la loro caratterizzazione, hanno proposto una metodologia organica e completa per l'individuazione e classificazione delle funzioni ecosistemiche e dei servizi che derivano da esse.

Il primo passo, quindi, consiste nel tradurre la complessità delle strutture e dei processi ecologici in un insieme più limitato di funzioni ecosistemiche. A tale scopo le funzioni ecosistemiche sono raggruppate in quattro categorie principali:

1. Funzioni di regolazione: questo gruppo di funzioni si riferisce alla capacità dei sistemi naturali o semi-naturali di regolare i processi ecologici essenziali e i sistemi di supporto della vita tramite i cicli bio-geochimici e altri processi della biosfera. Oltre a mantenere gli ecosistemi queste funzioni di regolazione forniscono molti servizi che hanno benefici diretti e indiretti per l'uomo (come la purificazione dell'aria, dell'acqua e del suolo e servizi di controllo biologico).
2. Funzioni di habitat: gli ecosistemi forniscono rifugi e luoghi di riproduzione alle piante ed agli animali che contribuiscono alla conservazione della diversità genetica e biologica ed ai processi evolutivi.
3. Funzioni di produzione: La fotosintesi e il prelievo di nutrienti da parte degli organismi autotrofi convertono energia, biossido di carbonio, acqua e nutrienti in un'ampia varietà di strutture a carboidrati che possono essere usate dai produttori secondari per creare una perfino maggiore varietà di biomassa vivente. Quest'ampia diversità fornisce molti beni per l'uomo che vanno dal cibo, ai materiali grezzi, ai combustibili e alla diversità genetica.

4. Funzioni di informazione: i sistemi naturali contribuiscono al benessere umano fornendo spazi ed opportunità per la riflessione, l'arricchimento spirituale, lo sviluppo cognitivo, gli aspetti ricreativi e la fruizione dei paesaggi.

La categorizzazione delle funzioni ecosistemiche con alcuni esempi dei processi ecosistemici che le generano e dei servizi ecosistemici che si originano è rappresentata in Tabella 15.

Tabella 15. Categorizzazione delle funzioni ecosistemiche (De Groot et al., 2002).

FUNZIONE ECOSISTEMICA	PROCESSO O COMPONENTE DELL'ECOSISTEMA	ESEMPIO DI BENE O SERVIZIO
<i>Funzione di regolazione</i>	<i>Mantenimento di processi ecologici essenziali e supporto dei sistemi viventi.</i>	
Regolazione dei gas atmosferici	Ruolo degli ecosistemi nei processi biogeochimici (regolazione del bilancio CO ₂ /O ₂ , mantenimento dello strato di O ₃)	Prevenzione dei danni causati dall'esposizione ai raggi solari in assenza dei danni alla fascia di ozono, mantenimento di una buona qualità dell'aria
Regolazione del clima	Influenza della copertura del suolo e dei processi biologicamente regolati sul clima	Mantenimento di condizioni climatiche favorevoli alla vita umana e alle attività dell'uomo (es. pratiche agricole)
Prevenzione disturbo	Capacità della struttura eco sistemica di smorzare i disturbi	Protezione dalle tempeste, controllo degli eventi alluvionali e siccitosi
Regolazione delle acque	Ruolo della copertura del suolo nel regolare il runoff e i regimi o le piene fluviali	Drenaggio e irrigazioni naturali, mezzo di trasporto.
Fornitura di acqua	Filtrazione, accumulo e ritenzione delle acque	Fornitura di acqua da parte di bacini imbriferi e falde acquifere per usi antropici.
Conservazione del suolo e controllo dell'erosione	Ruolo degli apparati radicali e delle comunità del suolo nel trattenere il suolo	Mantenimento di terreni coltivabili, prevenzione dei danni dovuti all'erosione
Formazione del suolo	Alterazione delle rocce e accumulo di materia organica	Mantenimento della produttività nelle terre coltivabili, mantenimento di suoli naturali produttivi
Ciclo e regolazione dei nutrienti	Ruolo del biota nell'accumulo, ciclizzazione interna, trasformazione ed acquisizione dei nutrienti	Mantenimento di ecosistemi produttivi
Trattamento dei rifiuti	Ruolo del biota nel rimuovere sostanze alloctone o nocive	Detossificazione, controllo dell'inquinamento
Impollinazione	Ruolo del biota nel movimento di gameti floreali	Impollinazione di specie selvatiche ed agricole
Controllo biologico delle popolazioni	Regolazione trofo-dinamica delle popolazioni	Controllo delle popolazioni tramite dinamiche predatore, controllo di malattie e patogeni
<i>Funzione di habitat</i>	<i>Fornitura di habitat ed ambienti adatti alla vita per specie animali e vegetali</i>	
Rifugio	Fornitura di habitat per specie animali e vegetali	Mantenimento di specie con valore commerciale
Nursery	Fornitura di siti riproduttivi per specie animali e vegetali	Produzione di pesce, grano, noci, frutta, tramite caccia, raccolta, coltivazione o allevamento, sussistenza a piccola scala di acquacoltura e allevamento
<i>Funzione produttiva</i>	<i>Fornitura di risorse</i>	
Produzione di cibo	Trasformazione dell'energia solare in piante ed animali commestibili	
Fornitura di materiali grezzi	Trasformazione dell'energia solare in biomassa utile per gli usi umani	Produzione di legna, combustibili, materiali da costruzione, fibre tessili, fertilizzanti.
Risorse genetiche	Evoluzione di piante ed animali	Miglioramento delle colture, sostanze medicamentose
Risorse medicinali	Varietà delle sostanze biochimiche nel biota	Medicinali e farmaci, modelli e strumenti chimici, organismi per testare le sostanze
Risorse ornamentali	Varietà delle specie animali e vegetali a scopo ornamentale	Risorse per la moda, l'industria manifatturiera, la decorazione, gli animali da compagnia
<i>Funzione d'informazione</i>	<i>Fornitura di opportunità per lo sviluppo cognitivo</i>	
Informazione di tipo estetico	Caratteristiche attrattive dei paesaggi	Godimento di paesaggi
Funzione ricreativa	Varietà di paesaggi con usi ricreativi potenziali	Eco-turismo, sports.
Informazione culturale ed artistica	Varietà delle caratteristiche naturali con valore artistico e culturale	Uso della natura come sfondo di libri, quadri e film o a carattere folcloristico, iconografico, simbolico.
Informazione spirituale e storica	Varietà delle caratteristiche naturali con valore spirituale e storico	Uso della natura per scopi religiosi
Scienza ed educazione	Varietà delle caratteristiche naturali con valore scientifico e didattico	Uso della natura per scopi scientifici o escursioni scolastiche

Tra funzioni e servizi ecosistemici non esiste necessariamente una relazione biunivoca: un servizio può dipendere da differenti funzioni e la stessa funzione può originare differenti servizi per l'uomo. Essi possono essere definiti come i prodotti finali degli ecosistemi.

Numerose classificazioni per i servizi ecosistemici sono state proposte negli ultimi decenni.

La classificazione formulata dal gruppo di lavoro del Millennium Ecosystem Assessment (MA, 2005; <http://www.millenniumassessment.org>) è di notevole rilievo.

L'istituzione del MA fu richiesta nel 2000 dal Segretario Generale delle Nazioni Unite Kofi Annan con l'obiettivo di valutare quale potesse essere la conseguenza delle gravi trasformazioni, subite dagli ecosistemi negli ultimi decenni, sul benessere umano e porre le basi scientifiche per avviare un utilizzo sostenibile di questi ecosistemi. I lavori del MA cominciarono nel 2001 e coinvolsero più di 1360 esperti provenienti da tutto il mondo divisi in quattro gruppi di lavoro. I risultati dei gruppi di lavoro del MA, la cui attività è terminata nel 2005, sono stati raccolti in 6 volumi di sintesi e 5 volumi tecnici. Questi testi rappresentano uno stato dell'arte delle condizioni e degli andamenti futuri degli ecosistemi a livello mondiale: essi tracciano un quadro della condizione dei servizi che gli ecosistemi forniscono e pongono le basi concettuali per un loro utilizzo sostenibile.

La classificazione proposta dai gruppi di lavoro MA divide i servizi ecosistemici in 4 macro-categorie: servizi di fornitura, di regolazione, culturali, e di mantenimento.

Ad essa seguì la classificazione proposta nell'ambito dello studio The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) che si discostava in alcuni punti da quella del Millennium Assessment.

Ad oggi è stata proposta una classificazione internazionale The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), sviluppata nell'ambito delle attività per la contabilità ambientale della European Environment Agency (EEA) proprio allo scopo di uniformare le categorizzazioni esistenti e renderle paragonabili.

La classificazione CICES individua 3 categorie principali: servizi di fornitura, servizi di mantenimento e regolazione, servizi culturali e sociali (Tabella 16).

I servizi di fornitura includono tutti i materiali e le energie prodotte dagli ecosistemi: si tratta di beni tangibili e commerciabili, direttamente consumati dall'uomo. Questa categoria include tre classi:

- 1) Nutrizione (cibo e acqua potabile)
- 2) Materiali biotici e abiotici utilizzati per la produzione di beni
- 3) Fonti di energia rinnovabile abiotiche e biotiche.

I servizi di mantenimento e regolazione includono tutti i meccanismi tramite cui gli ecosistemi controllano e modificano i comparti abiotico e biotico e che creano gli ambienti adatti alla vita delle persone; non sono consumati direttamente ma influenzano la vita di individui, comunità, popolazioni e le loro attività. I servizi di regolazione e mantenimento comprendono 4 classi:

1. Bonifica dei rifiuti
2. Regolazione dei flussi che avvengano tramite mezzi solidi, liquidi, gassosi
3. Regolazione dell'ambiente fisico, compresi i fattori climatici a scala sia locale sia globale

4. Regolazione dell'ambiente biotico, incluso il mantenimento degli habitat, tramite processi come, ad esempio, il controllo di malattie e parassiti.

I servizi culturali e sociali includono tutti gli output non materiali che hanno significato di tipo simbolico, culturale ed intellettuale. Questi servizi comprendono due classi:

- 1) Simbolici
- 2) Intellettuali e esperienziali.

Le classi presenti all'interno di ogni categoria sono poi suddivise in tipi e sottotipi che individuano i servizi in maniera gerarchicamente sempre più specializzata.

Tabella 16. Classificazione CICES dei servizi ecosistemici.

Section	Division	Group
Provisioning	Nutrition	Biomass
		Water
	Materials	Biomass, fibre
		Water
	Energy	Biomass-based energy sources
		Mechanical energy
Regulation &	Mediation of waste, toxics and other nuisances	Mediation by biota
		Mediation by ecosystems
	Mediation of flows	Mass flows
		Liquid flows
		Gaseous / air flows
	Maintenance of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection
		Pest and disease control
		Soil formation and composition
		Water conditions
		Atmospheric composition and climate regulation
Cultural	Physical and intellectual interactions with biota, ecosystems, and land-/seascapes [environmental settings]	Physical and experiential interactions
		Intellectual and representative interactions
	Spiritual, symbolic and other interactions with biota, ecosystems, and land-/seascapes [environmental settings]	Spiritual and/or emblematic
		Other cultural outputs

A partire dalla classificazione CICES è stato identificato un primo set di servizi ecosistemici per le AMP studiate e direttamente influenzati dalla presenza del regime di protezione (Tabella 17). Il proseguo delle attività permetterà di meglio calibrare l'individuazione di funzioni e servizi ecosistemici anche in relazione alle specificità delle AMP.

Tabella 17. Servizi influenzati dalla presenza della AMP.

Sezione	Divisione	Gruppo	Classe	Tipo
Fornitura	Nutrizione	Biomassa	Animali selvatici e loro outputs	<i>Quantità prelevata per specie</i>
Regolazione e mantenimento	Flussi	Flussi di materia	Stabilizzazione e controllo dei tassi di erosione	<i>Riduzione del rischio, estensione della superficie risparmiata o protetta</i>
			Protezione dalle inondazioni	<i>Riduzione del rischio, estensione della superficie risparmiata o protetta</i>
		Mantenimento degli habitat, della vita e del pool genetico	Mantenimento di habitat di nursery e popolazioni	<i>Quantità</i>
		Composizione atmosferica e regolazione del clima	Regolazione climatica attraverso la riduzione dei gas serra	<i>Quantità, concentrazione o parametri climatici</i>
Culturali	Interazioni fisiche o intellettive con il biota, gli ecosistemi ed i paesaggi	Interazioni fisiche o per lo svolgimento di esperienze	Utilizzo di piante, animali, paesaggi terrestri o marini per esperienze	<i>Numero di visite, dati sull'utilizzo di piante, animali ecc</i>
			Utilizzo fisico di paesaggi terrestri o marini	
		Interazioni di tipo intellettuale e rappresentativo	Scientifiche	<i>Numero di citazioni</i>
			Didattiche	<i>Numero di citazioni</i>

5 Conclusioni

I dati di macrobenthos e fauna ittica ottenuti mediante campionamenti *ad hoc* effettuati nei principali habitat presenti nell'AMP Torre Guaceto hanno consentito la stima del valore ecologico ed economico del capitale naturale immagazzinato sotto forma di biomassa presente nei singoli habitat e dei flussi di materia ed energia necessari per mantenere tale capitale naturale. Il valore ecologico totale del capitale naturale dell'AMP Torre Guaceto convertito in unità di denaro è risultato pari a circa 36 milioni di euro.

La contabilità ambientale ha, inoltre, consentito la quantificazione del bilancio tra produzione primaria e consumo sia a scala di ogni singolo habitat sia a scala dell'intera AMP. Il quadro complessivo che emerge è che l'AMP Torre Guaceto è in grado non solo di produrre biomassa sufficiente per mantenere gli habitat presenti al suo interno, ma anche di poter esportare la parte di biomassa prodotta in *surplus* e, quindi, di poter contribuire a sostenere sistemi marini ad essa limitrofi, eventualmente in deficit, confermando il suo rilevante ruolo di area “sorgente” a sostegno del sistema litorale limitrofo.

L'analisi della distribuzione spaziale del valore ecologico-economico del capitale naturale nell'AMP ha evidenziato che l'attuale zonazione non assicura il massimo grado di protezione delle aree di maggior valore ecologico ed economico che risultano infatti incluse principalmente nelle zone B e C.

Infine, l'identificazione di un primo set di servizi ecosistemici per l'AMP Torre Guaceto costituirà la base per la loro valutazione sia biofisica, sia economica, che sarà oggetto degli studi e delle analisi previste nelle fasi successive del progetto.

6 Bibliografia

- Ait Alla A., Gillet P., Deutsch B., Moukrim A., Bergayou H., 2006. Response of *Nereis diversicolor* (Polychaeta, Nereidae) populations to reduced wastewater discharge in the polluted estuary of Oued Souss, Bay of Agadir, Morocco. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 70: 633-642.
- Allen K.R., 1971. Relation between production and biomass. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 28(10): 1573-1581.
- Ambrogi R., 1990. Secondary production of *Prionospio caspersi* (Annelida: Polychaeta: Spionidae). *Marine Biology* 104: 437-442.
- APAT-ICRAM, 2003. Manuale di metodologie di campionamento e studio del bentos marino mediterraneo. Gambi C. & M. Dappiano Editori, Biologia Marina Mediterranea, pp. 604.
- Baker J.P., Olem H., Creager C.S., Marcus M.D. e Parrkhurst B.R., 1993. Fish and Fisheries Management in Lake and Reservoirs. EPA 841 - R - 93 - 002. Terrene Institute and U.S. Environmental protection Agency, Washington D.C.
- Bănaru D., Mellon-Duval C., Roos D., Bigot J.L., Souplet A., Jadaud A., Beaubrun P., Fromentin J.M., 2013. Trophic structure in the Gulf of Lions marine ecosystem (north-western Mediterranean Sea) and fishing impacts. *Journal Of Marine Systems*. 111: 45–68.
- Bayle-Sempere J.T., Arreguín-Sánchez F., Sanchez-Jerez P., Salcido-Guevara L.A., Fernandez-Jover D., Zetina-Rejón M.J., 2013. Trophic structure and energy fluxes around a Mediterranean fish farm. *Ecological Modelling*, 248: 135–147.
- Brey, T., 2016. Population dynamics in benthic invertebrates. A virtual Handbook. <http://www.thomas-brey.de/science/virtualhandbook/>
- Brown M.T., Bardi E., 2001. Emergy of ecosystems, Folio #3. University of Florida Press. Handbook of Emergy Evaluation. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville.
- Brown M.T., Ulgiati S., 2010. Updated evaluation of exergy and emergy driving the geobiosphere: A review and refinement of the emergy baseline. *Ecological Modelling* 221: 2501–2508.
- Campbell D.E., Lu H., Lin B.L., 2014. Emergy evaluations of the global biogeochemical cycles of six biologically active elements and two compounds. *Ecological Modelling* 271: 32-51.
- Charpy-Roubaud C., Sournia A., 1990. The comparative estimation of phytoplanktonic, microphytobenthic and macrophytobenthic primary production in the oceans. *Marine Microbial Food Webs*, 4: 31-57.
- Christensen V., Pauly D., 1993. Trophic models of aquatic ecosystems. *ICLARM Conf. Proc.* 26: 390 p.
- Christensen V., Walters C.J., Pauly D., 2000. Ecopath with Ecosim Version 4, Help system©.
- Coll M., Palomera I., Tudela S., 2009. Decadal changes in a NW Mediterranean Sea food web in relation to fishing exploitation. *Ecological Modelling* 220: 2088-2102.

- Coll M., Palomera I., Tudela S., Dowd M., 2008. Food-web dynamics in the South Catalan Sea ecosystem (NW Mediterranean) for 1978-2003. *Ecological Modeling* 217: 95-116.
- Coll M., Palomera I., Tudela S., Sardà F., 2006a. Trophic flows, ecosystem structure and fishing impacts in the South Catalan Sea, Northwestern Mediterranean. *J. Mar. Syst.* 59, 63–96.
- Coll M., Santojanni A., Arneri E., Palomera I., Tudela, S., 2007. An ecosystem model of the Northern and Central Adriatic Sea: analysis of ecosystem structure and fishing impacts. *J.Mar. Syst.* 67, 119–154.
- Coll M., Shannon L.J., Moloney C.L., Palomera I., Tudela S., 2006b. Comparing trophic flows and fishing impacts of a NW Mediterranean ecosystem with coastal upwellings by means of standardized ecological models and indicators. *Ecol. Model.* 198, 53–70.
- Corrales X., Coll M., Tecchio S., Bellido J. M., Fernández Á.M., Palomera I., 2015. Ecosystem structure and fishing impacts in the northwestern Mediterranean Sea using a food web model within a comparative approach. *Journal of Marine Systems* 148, 183–199.
- Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, Van den Belt M, 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* 387, 253-260.
- Daas T., Younsi M., Daas-Maamcha O., Gillet P., Scaps P., 2011. Reproduction, population dynamics and production of *Nereis falsa* (Nereididae: Polychaeta) on the rocky coast of El Kala National Park, Algeria. *Helgoland Marine Research* 65: 165-173.
- De Groot RS, 1992. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making*. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- De Groot RS, Wilson M, Boumans R, 2002. A typology for the description, classification, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- de Souza J.R.B, Borzone C.A., 2007. Population dynamics and secondary production of *Euzonus furciferus* Ehlers (Polychaeta, Opheliidae) in an exposed sandy beach of Southern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 24: 131-143.
- Franzese P.P., Buonocore E., Mellino S., Ulgiati S., 2009. La contabilità biofisica per la valutazione della sostenibilità ambientale dei comuni italiani. *Biologi Italiani*, 7: 64-74. (ISSN: 0392-2510).
- Franzese P.P., Buonocore E., Paoli C., Massa F., Stefano D., Fanciulli G., Miccio A., Mollica E., Navone A., Russo G.F., Povero P., Vassallo P., 2015. Environmental Accounting in Marine Protected Areas: the EAMPA Project. *Journal of Environmental Accounting and Management* 3(4): 324-332.
- Franzese, P.P., Buonocore, E., Donnarumma, L., Russo, G.F., 2017. Natural capital accounting in marine protected areas: the case of the Islands of Ventotene and S. Stefano (Central Italy). *Ecol. Modell.* 360, 290-299.
- Gillet P., 1993. Impact de l'implantation d'un barrage sur la dynamique des populations de *Nereis diversicolor* (annélide polychète) de l'estuaire du Bou Regreg Maroc. *Journal de Recherche Océanographique* 18: 15-18.

- Heymans, J. J., U. R. Sumaila, and Villy Christensen., 2009. Policy options for the northern Benguela ecosystem using a multispecies, multifleet ecosystem model. *Progress in Oceanography* 83 417–425.
- Hotchkiss E.R., 2007. Linking exotic snails to carbon cycling in Kelly Warm Springs, Grand Teton National Park. ProQuest Information and Learning Company. 52 p.
- Kroon D, Alexander I, and Darling K, 1993. Planktonic and benthic foraminiferal abundances and their ratios (P/B) as expressions of middle-late Quaternary changes in water mass distribution and flow intensity on the northeastern Australian margin. In: McKenzie JA, Davies, PJ, Palmer-Julson, A, et al., Proc. ODP, Sci. Results, 133: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 181-189.
- Lercari D, Arreguín-Sánchez F, Le Quesne W, 2007. INCOFISH ecosystem models: transiting from Ecopath to Ecospace. Fisheries Centre Research Reports.
- Lindeman R.L., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23, 399-418.
- Liu P.J., Shao K.T., Jan R.Q., Fan T.Y., Wong S.L., Hwang J.S., Chen J.P., Chen C.C., Lin H.J., 2009. A trophic model of fringing coral reefs in Nanwan Bay, southern Taiwan suggests overfishing. *Marine Environmental Research* 68: 106-117.
- Lou B., Ulgiati S., 2013. Identifying the environmental support and constraints to the Chinese economic growth—An application of the Emergy Accounting method. *Energy Policy* 55:217-233.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-being. Island Press, Washington, DC.
- Ménard F., Gentil F., Dauvin J.C., 1989. Population dynamics and secondary production of *Owenia fusiformis* Delle Chiaje (Polychaeta) from the Bay of Seine (eastern English Channel). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 133: 151-167.
- Odum H.T. 1996. Environmental accounting. Emergy and environmental decision making. New York, USA: John Wiley & Sons.
- Odum H.T., 1988. Self organization, transformity and information. *Science*, 242: 1132-1139.
- Odum H.T., 2000. Handbook of Emergy Evaluation Folio #2: Emergy of Global Processes. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 30p.
- Odum W.E., Heald E.J., 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In *Estuarine Research*, 1. Ed. by L. E. Cronin. Academic Press, New York.
- Okey T.A., Banks S., Born A.F., Bustamante R.H., Calvopiña M., Edgar G.J., Espinoza E., Fariña J.M., Garske L.E., Reck G.K., Salazar S., Shepherd S., Toral-Granda V., Wallem P., 2004a. A trophic model of a Galápagos subtidal rocky reef for evaluating fisheries and conservation strategies. *Ecological Modelling* 172: 383-401.
- Okey T.A., Vargo G.A., Mackinson S., Vasconcellos M., Mahmoudi B., Meyer C.A., 2004b. Simulating community effects of sea floor shading by plankton blooms over the West Florida Shelf. *Ecological Modelling* 172: 339-359.

- Opitz S., 1996. Trophic interactions in Caribbean Coral Reefs. ICLARM 43° Technical Report 341 p.
- Ortiz M., Campos L., Berrios F., Rodriguez F., Hermosillo B., González J., 2013. Network properties and keystone assessment in different intertidal communities dominated by two ecosystem engineer species (SE Pacific coast): a comparative analysis. *Ecological Modelling* 250: 307-318.
- Palomares M.L., Pruest P., Pitcher T., Pauly D., 2005. Modelling Antarctic marine ecosystems. Fisheries Centre Research Report 13. 98 p.
- Pauly D., Christensen V., 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374, 255-257.
- Pedersen T., Nilsen M., Nilssen E.M., Berg E., Reigstad M., 2008. Trophic model of a lightly exploited cod-dominated ecosystem. *Ecological Modelling* 214: 95-111.
- Pereira L., Zucaro A., Ortega E., Ulgiati S., 2013. Wealth, Trade and the Environment: Carrying Capacity, Economic Performance and Wellbeing in Brazil and Italy. *Journal of Environmental Accounting and Management* 1(2): 159-188.
- Picone, F., Buonocore, E., D'Agostaro, R., Donati, S., Chemello, R., Franzese, P.P., 2017. *Integrating natural capital assessment and marine spatial planning: A case study in the Mediterranean sea*. *Ecol. Modell.* 361, 1–13.
- Pinkerton M.H., Lundquist C.J., Duffy C.A.J., Freeman D.J., 2008. Trophic modelling of a New Zealand rocky reef ecosystem using simultaneous adjustment of diet, biomass and energetic parameters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 367: 189-203.
- Pinnegar, J.K., Polunin, N.V.C., 2004. Predicting indirect effects of fishing in Mediterranean rocky littoral communities using a dynamic simulation model. *Ecological Modelling* 172, 249–267.
- Piroddi C., Bearzi G., Christensen V., 2010. Effects of local fisheries and ocean productivity on the northeastern Ionian Sea ecosystem. *Ecological Modelling* 221 (11):1526-1544.
- Prado, P., Ibáñez, C., Caiola, N., Reyes, E., 2013. Evaluation of seasonal variability in the food-web properties of coastal lagoons subjected to contrasting salinity gradients using network analyses. *Ecological Modelling* 265: 180-193.
- Prigogine I., 1947. Study of thermodynamics of Irreversible Processes, 3rd ed. Wiley, New York.
- Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In Hill, N.M. (ed.), *The sea*, vol. 2, Wiley, London: 27-77.
- Rouhi A., Gillet P., Deutsch B., 2008. Reproduction and population dynamics of *Perinereis cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) of the Atlantic coast, El Jadida, Morocco. *Cahiers de Biologie Marine* 49: 151-160.
- Russo G. F., Di Donato R., Di Stefano F., 2008. Gli habitat sottomarini delle coste della Campania. *Biologi Italiani*, 6: 36-40.

- Selleslagh J., Lobry J., Amara R., Brylinski J.M., Boët P., 2012. Trophic functioning of coastal ecosystems along an anthropogenic pressure gradient: a French case study with emphasis on a small and low impacted estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 112: 73-85.
- Tecchio S., Coll M., Christensen V., Company J.B., Ramírez-Llodra E., Sardà F., 2013. Food web structure and vulnerability of a deep-sea ecosystem in the NW Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 75: 1-15.
- Torres M.A., Coll M., Heymans J.J., Christensen V., Sobrino I., 2013. Food-web structure of and fishing impacts on the Gulf of Cadiz ecosystem (South-western Spain) *Ecol. Model.*, 265, pp. 26–44.
- Vassallo, P., Paoli, C., Buonocore, E., Franzese, P.P., Russo, G.F., Povero, P., 2017. *Assessing the value of natural capital in marine protected areas: A biophysical and trophodynamic environmental accounting model*. *Ecological Modelling* 355, 12-17.
- Vetter E.W., 1996. Secondary production of a Southern California *Nebalia* (Crustacea: Leptostraca). *Marine Ecology Progress Series* 137: 83-93.
- Von Bertalanffy L., 1968. *General System Theory*. George Braziller, New York, NY, 295 pp.
- Wolff W.J., Wolff L., 1977. Biomass and production of zoobenthos in the Grevelingen Estuary, The Netherlands. *Estuarine and Coastal Marine Science* 5: 1-24.