



UNIVERSITÀ
DI SIENA
1240

**DIPARTIMENTO DI ECONOMIA POLITICA E STATISTICA
SCUOLA DI ECONOMIA E MANAGEMENT**

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ECONOMIA
Curriculum in Economia dell'Ambiente e dello Sviluppo

Valutazione dei servizi ecosistemici e valorizzazione commerciale della biomassa algale: il caso della Laguna di Orbetello

Relatore:

Chiar.ma Prof.ssa Silvia Ferrini

Correlatore:

Chiar.mo Prof. Federico Maria Pulselli

Tesi di laurea di:

Valentina Di Gennaro

Anno accademico 2017/18

Sommario

L'argomento del seguente elaborato è la valutazione dei servizi ecosistemici e la valorizzazione commerciale della biomassa algale applicata al caso studio della Laguna di Orbetello (LO), zona umida nel sud-ovest della Toscana in provincia di Grosseto.

L'indagine, condotta al fine di identificare il VET e integrarlo nelle politiche di gestione per massimizzare il benessere sociale, parte dalla considerazione che le aree costiere lagunari sono ecosistemi delicati soggetti alla pressione di agenti naturali e antropici che minacciano la capacità stessa dell'ecosistema di fornire beni e servizi e contribuire al benessere umano.

L'ausilio della letteratura e dei database disponibili inerenti alla valutazione dei servizi ecosistemici delle aree umide a livello europeo ha permesso di identificare gli studi primari per l'applicazione del metodo del Benefit Transfer. Successivamente, il valore ottenuto è stato integrato nell'analisi costi benefici di vari scenari di riferimento. Inoltre, si è proceduto all'indagine dei vari utilizzi commerciali della biomassa algale a livello globale per poi focalizzarsi sull'utilizzo di macroalghe provenienti dalla LO, attualmente definite "rifiuto" come materia prima per il settore cartario.

Dall'analisi emerge che il valore dei beni e servizi forniti dalla LO varia in un intervallo di 1.315 e 16.909 €/ha/anno e un valore medio di 9.963 €/ha/anno. L'analisi costi benefici dello scenario attuale ha evidenziato uno *status quo* non finanziariamente vantaggioso con un VANF pari a -11.395.809 €; al contrario, il VANE risulta essere pari a 24.861.848, dovuto alla contabilizzazione economica dei benefici derivanti dai servizi ecosistemici dell'ambiente lagunare. Dall'analisi costi-benefici applicata allo scenario cartario base risulta un VANF di -5.057.822 € e un VANE di 26.614.739 €; quindi, si può definire il progetto non finanziariamente vantaggioso ma sostenibile con risultati migliori dal punto di vista finanziario ed economico rispetto allo scenario attuale. Dallo scenario cartario pessimistico si ottiene un VANF pari a -14.408.301 € e un VANE di 16.357.960 € e dallo scenario cartario ottimistico si ha un VANF pari a 34.369.718 € e un VANE di 305.478.116 €. Dal confronto dello scenario attuale con lo scenario pessimistico e quello ottimistico risulta nel primo caso un peggioramento della situazione che comporterebbe perdite comunque minori rispetto ai possibili benefici.

Abstract

The aim of this study is to conduct an assessment of the ecosystem services of the Orbetello Lagoon, an important wetland in the south-west of Tuscany, and to evaluate the commercial applications of algae in order to identify the VET and integrate it in the decision maker policies. The starting point is the general assumption that coastal areas are exposed to a variety of threats due to natural features and human behaviors; this affects human welfare and nature's capacity to provide ecosystem goods and services. After drawing on previous literature and databases regarding wetlands' ecosystem evaluation, some EU study sites were selected and applied to this study case. The theoretical approach adopted is based on the Benefit Transfer Method, which was integrated with a cost-benefit analysis to value the commercial use of seaweeds.

The practical analysis consisted in identifying and valuing the ecosystem services provided by the Orbetello Lagoon and carrying out an extensive examination to investigate whether the abundance of macroalgae, usually considered as waste, can be used as an alternative source for new productive processes, especially in the paper sector. Some particularly relevant results were obtained. Firstly, the value of the ecosystem services is between 1,315 and 16,909 €/ha/year and the mean value of 9,963 €/ha/year. Secondly, the CBA demonstrated that the current scenario is not financially profitable since the FNPV is -11,395,809 €; furthermore, the ENPV is 24,861,848 € due to the value of the economic benefits of the wetland's ecosystem services. In the paper sector, the CBA pinpoints the comparison among the basic, pessimistic and optimistic scenario; on the one hand, the FNPV is respectively -5,057,822 €, -14,408,301€ and 34,369,718 € and the ENPV is 26,614,739 €, 16,357,960 € and 305,478,116 €. On the other hand, the comparisons among the current scenario and the three scenarios of commercial uses allowed me to draw the conclusions that the financial and economic asset in the alternative scenarios is preferable to the current scenario and that the potential losses would be less significant than the possible benefits.

Keywords: Coastal habitats, wetland, ecosystem services, commercial applications, cost benefit analysis, macro algae harvest, eutrophication issue

Indice

Sommario	2
Abstract	3
Introduzione	6
Capitolo 1: Inquadramento teorico	9
1.1. Classificazione biomasse marine	9
1.2. Problematicità relative alle alghe e considerazioni economiche	10
1.3. Riferimenti normativi	11
1.4. Gestione biomasse spiaggiate e macroalghe	15
1.5. Approccio ai Servizi Ecosistemici (SE)	18
<i>1.5.1. Definizione dei SE</i>	18
<i>1.5.2. Classificazione dei SE</i>	21
1.6. Valore Economico Totale (VET)	23
1.7. Metodi di valutazione economica	25
<i>1.7.1. Metodi di stima di Prezzo</i>	25
<i>1.7.2. Metodi di stima di Valore</i>	26
1.8. Benefit transfert	27
<i>1.8.1. Definizione e tecniche</i>	27
<i>1.8.2. Fasi di applicazione</i>	28
Capitolo 2: Inquadramento metodologico	29
2.1. Work plan	29
2.2. Origine del progetto e osservazioni preliminari	30
2.3. Identificazione dell'area di studio	31
<i>2.3.1. La Laguna di Orbetello</i>	31
<i>2.3.2. Problematicità</i>	34
<i>2.3.3. La gestione della LO: dal passato ad oggi e i relativi costi</i>	36
2.4. Approccio economico per la valutazione dei SE	41
<i>2.4.1. Identificazione SE e studi primari</i>	43
<i>2.4.2. Pesca ed Acquacoltura</i>	48
<i>2.4.3. Rimozione azoto e fosforo da parte delle alghe</i>	48
<i>2.4.4. Assorbimento CO₂ da parte delle macroalghe</i>	49
<i>2.4.5. Condizioni ambientali ottimali per i pesci</i>	53
<i>2.4.6. Rimozione sostanze inquinanti</i>	54
<i>2.4.7. Attenuazione di eventi estremi</i>	54
<i>2.4.8. Attività ricreativa e qualità ambientale</i>	55
<i>2.4.9. Valore di non uso</i>	55
2.5. Stima del valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello	56

2.5.1. Criteri e trattamento dei dati	56
2.5.2. Stima del valore totale della LO	57
2.6. Osservazioni e analisi di sensibilità	60
Capitolo 3: Focus sugli utilizzi commerciali delle alghe	61
3.1. Composizione della biomassa algale e i vari impieghi	61
3.2. Panoramica dei prodotti e applicazioni	61
3.2.1. I Classificazione: prodotti energetici e prodotti non-energetici	61
3.2.1.1. Prodotti energetici	61
3.2.1.2. Prodotti non-energetici	66
3.2.2. II classificazione: il valore di mercato	73
3.2.3. Il valore potenziale	76
Capitolo 4: Analisi Costi-Benefici	77
4.1. Scenario attuale	77
4.2. Settore cartario	80
4.3. Settore farmaceutico e alimentare	85
4.4. Settore agricolo	86
Conclusioni	87
Bibliografia	90
Sitografia	94
Tabelle	95
Figure	96
Appendice 1	97
Ringraziamenti	99

Introduzione

L'argomento del seguente progetto di tesi è la valutazione dei servizi ecosistemici e la valorizzazione commerciale della biomassa algale applicata al caso studio della Laguna di Orbetello, zona umida nel sud-ovest della Toscana in provincia di Grosseto.

L'esperienza pratica di tirocinio svolto presso Sei Toscana, gestore del servizio integrato dei rifiuti urbani dell'area dell'Ato Toscana, è stata l'occasione per contribuire all'attività di ricerca per promuovere iniziative in ottica di economia circolare dei materiali raccolti dall'azienda; in questo contesto, emerge il caso del conferimento in discarica di biomassa algale proveniente dalla Laguna di Orbetello. Essa ha un'importanza ecologica e un considerevole valore storico e socio-economico; tuttavia, è soggetta da decenni a crisi di eutrofizzazione che hanno causato disastri ambientali ed economici.

Lo scopo della tesi è l'analisi dell'impiego alternativo di biomassa algale, da rifiuto a materia prima per un processo produttivo, contestualizzato al caso oggetto di studio e la promozione di strumenti per la valutazione di investimenti connessi alle funzioni ecosistemiche di fornitura di beni e servizi al fine di supportare i decisori nell'effettuare decisioni politiche coscienti e informate per massimizzare il benessere sociale.

Dopo aver indagato i possibili settori di impiego attraverso interviste e contatti presso aziende private ed enti pubblici, a conclusione del lavoro si è deciso di applicare l'analisi costi benefici del progetto di utilizzo di biomassa algale inerente al settore cartario, grazie alla collaborazione con la Favini s.r.l., azienda di riferimento a livello mondiale nella realizzazione di specialità grafiche innovative a base di materie prime principalmente naturali (cellulosa, alghe, frutta, noci, cuoio ecc.) per il packaging dei prodotti realizzati dai più importanti gruppi internazionali del settore luxury e fashion.

Il seguente elaborato si pone l'obiettivo di integrare la valutazione dei servizi ecosistemici con l'analisi costi benefici. In particolare, si propone di:

- evidenziare il collegamento tra servizi ecosistemici finali e benessere umano;
- contribuire all'accrescimento di informazioni per la conservazione, fruibilità e disponibilità dei servizi ecosistemici legati all'ambiente lagunare;
- misurare il valore dei servizi ecosistemici dell'area lagunare del caso oggetto di studio al fine di esprimere un valore comprensibile per la collettività;
- indagare sull'utilizzo alternativo di biomassa algale per evitarne il conferimento in discarica;
- verificare l'esistenza o meno di convenienza economica dell'investimento nel settore cartario.

Il capitolo 2 contiene lo studio generale delle aree costiere lagunari e dei drivers che incidono sulla

degradazione di tali ecosistemi con un interesse particolare per il problema di eutrofizzazione e per la proliferazione di alghe. In particolare, si è reso necessario lo studio della differenza tra microalghe, macroalghe e Posidonia oceanica per capire la tipologia più adatta al caso studio; un aspetto messo in risalto è la situazione di inefficienza economica dovuta alla gestione attuale della Laguna di Orbetello che cerca di conciliare l'importante funzione ecologica con la fruizione delle coste da parte di abitanti e turisti sottovalutando il valore potenziale delle macroalghe presenti. I paragrafi successivi sono dedicati alla coesione della dispersiva normativa a livello comunitario, nazionale e regionale e all'identificazione dell'interesse da tutelare, alle modalità di classificazione di biomassa spiaggiata in termini di rifiuto e alla schematizzazione delle modalità di gestione di biomassa raccolta. Infine, il capitolo si conclude con la definizione dei servizi ecosistemici e una breve spiegazione del valore economico totale e i metodi di valutazione economica utilizzati per il calcolo di esso esaltando l'aspetto multidisciplinare e di cooperazione tra scienze naturali ed economiche che possa contribuire a mettere in risalto il collegamento tra i beni e servizi forniti e il benessere umano.

Il capitolo 3 espone l'applicazione pratica dell'approccio economico per la valutazione dei servizi ecosistemici contestualizzato al caso specifico della Laguna di Orbetello; in particolare, si è proceduto all'identificazione dell'area di studio e della problematicità riscontrate negli ultimi 20 anni ed all'esposizione dei risultati ricercati inerenti alla tipologia di alghe presenti e alla gestione dal passato ad oggi con i relativi costi. Attraverso la letteratura, database disponibili sia a livello globale che nazionale e report, si è provveduto all'identificazione dei servizi ecosistemici finali e i beni da cui trarre benessere, all'analisi dettagliata degli studi primari di riferimento e alla valutazione delle loro affidabilità per procedere successivamente all'applicazione del benefit transfert per il calcolo del valore economico della Laguna di Orbetello con un approccio cautelativo.

Il capitolo 4 indaga la varietà di utilizzi commerciali di biomassa algale attuali e potenziali distinguendoli in prodotti energetici e prodotti non-energetici. In particolare, per la prima tipologia si è evidenziata la relazione tra processi e tecniche di conversione di biomassa algale in energia e biocombustibili, prodotti ottenuti e specie di alghe utilizzate in studi e ricerche della letteratura nel settore. Per i prodotti non-energetici, si è partiti da un breve excursus storico di impieghi di biomassa algale fino ad arrivare a quelli più attuali e innovativi in diversi settori; anche in questo caso, è stata evidenziata la relazione tra prodotti, tipologie di alghe usate per la produzione ed esempi pratici di aziende e casi di innovazione. Nel paragrafo seguente, si è provveduto a dare un'indicazione del valore di mercato della biomassa algale a livello globale in relazione al settore, ai prodotti, ai quantitativi di alghe e prezzi di vendita.

Il capitolo 5 è incentrato sull'analisi costi benefici della situazione attuale di gestione della biomassa algale della Laguna di Orbetello e sul calcolo del valore attuale finanziario ed economico di un

investimento generato dalla vendita della stessa come materia prima per il settore cartario ipotizzando diversi scenari, Infine, le conclusioni sono dedicate al confronto dei risultati ottenuti e ai possibili sviluppi futuri dell'argomento.

Capitolo 1: Inquadramento teorico

1.1. Classificazione biomasse marine

Ai fini del presente studio è rilevante capire la differenza tra microalghe, macroalghe e Posidonia oceanica.

Le alghe sono organismi acquatici fotosintetici. Esse possono essere unicellulari (microalghe) o pluricellulari (macroalghe). Nel mondo esistono più di 200.000 specie di cui solo il 17%, circa 40.000, sono conosciute (Radmer, 1996, p. 265). Invece, la Posidonia oceanica è una pianta acquatica del Mar Mediterraneo (https://it.wikipedia.org/wiki/Posidonia_oceanica).

Molti enti e organizzazioni lavorano, ad esempio attraverso studi e conferenze, per ampliare la ricerca algologica. Per citarne alcuni, Gruppo di Algologia Società Botanica italiana, International Association for Cyanobacteria/Cyanophyte Research, Federation of European Phycological Societies – Oviedo, July 2007, International Phycological Society; esistono anche innumerevoli riviste scientifiche specifiche del settore, come l'European Journal of Phycology, Phycologia, International Journal of Phycology, Archiv fur Hydrobiologie-Algological Studies, J. Applied Phycology, Cryptogamic Botany (<http://www.uniroma2.it/didattica/alghe/deposito/1-Intro.pdf>).

La classificazione delle alghe più utilizzata si basa sulla qualità dei pigmenti presenti all'interno degli apparati fotosintetici, cioè sulle molecole che catturano energia solare e la utilizzano per le reazioni di fotosintesi clorofilliana. In realtà, grazie all'introduzione di tecniche e strumenti analitici, ulteriori metodi di catalogazione sono stati resi disponibili in base ad alcuni altri criteri: l'habitat in cui vivono, il ciclo biologico e riproduttivo, la composizione della parete cellulare, la presenza sulle cellule mobili di strutture di locomozione dette flagelli e la struttura dei plastidi, cioè un "gruppo di organuli cellulari specifici della cellula vegetale".

In generale le macroalghe, alghe con dimensioni macroscopiche, sono ancorate a una superficie solida, crescono sia in acque dolci che marine; spesso lo staccamento dal substrato porta al loro galleggiamento in superficie. Le macroalghe (dette anche tallofite, dal nome della loro struttura cellulare detta tallo) si differenziano in base al loro contenuto pigmentario e ciclo riproduttivo in:

- alghe rosse (Rhodophyta) probabilmente le più antiche, caratterizzate da un'accesa pigmentazione rossa e presenti in tutti i mari soprattutto con acque più calde;
- alghe brune (Phaeophyta) hanno una colorazione prevalentemente scura e prediligono mari temperati e freddi;
- alghe verdi (Chlorophyta) popolano le acque basse e ricche di nutrimento di tutti i mari e acque dolci e il colore verde brillante è dovuto alla presenza di pigmenti fotosintetici come la clorofilla di tipo a e b.

Le microalghe, principalmente unicellulari e planctoniche, sono una parte essenziale delle catene alimentari di tutti gli habitat acquatici. Esse comprendono:

- alghe giallo-brune (Chrysophyta) popolano in grande numero le acque marine e interne, ma anche i terreni e gli ambienti umidi;
- alghe dinoflagellate (Dinophyta) caratterizzate da flagelli e vivono principalmente nelle acque marine, alcune specie contengono potenti tossine pericolose per gli esseri umani.

La Posidonia oceanica è una pianta marina che colonizza ampie aree dei fondali formando vere e proprie praterie sommerse nell'area del Mediterraneo, bacino nel quale ha trovato le condizioni ambientali ottimali necessarie alla sopravvivenza (temperatura, salinità e trasparenza delle acque).

Le praterie costituiscono un ricco ecosistema popolato da una notevole quantità e diversità di organismi animali e vegetali.

La Posidonia oceanica si compone di radici, fusto detto anche rizoma, foglie, fiori e frutti, i quali vengono prodotti rispettivamente in autunno e in primavera. Generalmente le foglie, unite in sei o sette fasci, hanno una lunghezza che varia da 1 cm a 1,5 m; in autunno le foglie adulte si staccano dalla pianta e vengono trasportate dalle correnti e dalle onde sulle spiagge dove formano le cosiddette banquettes. L'accumulo di biomassa spiaggiata svolge un'importante funzione di protezione delle spiagge dall'erosione del moto ondoso contribuendo alla stabilità della spiaggia stessa. Inoltre, favoriscono la messa in circolo di grandi quantità di nutrienti fondamentali per la flora e la fauna dell'intera fascia costiera (<http://www.lifeprime.eu/> sezione download). A livello generale, l'aumento delle attività umane, l'inquinamento urbano e industriale e il cambiamento climatico sono solo alcuni dei drivers che incidono sulla degradazione e sulla perdita di aree costiere (MEA, 2005). L'azione naturale sommata a quella umana ha causato problemi ambientali come l'eutrofizzazione, la riduzione della qualità dell'acqua, l'aumento di torbidità e organismi tossici e la riduzione di habitat. Di conseguenza, la capacità degli ecosistemi costieri di offrire beni e servizi all'uomo diminuisce.

1.2. Problematicità relative alle alghe e considerazioni economiche

I residui di alghe fluttuanti e di posidonia spiaggiata costituiscono un problema sempre più ricorrente. Nelle zone turistico-balneari, la loro presenza scoraggia i bagnanti a causa degli odori sviluppati nei processi di decomposizione e del disagio derivante dalla mancata possibilità di balneazione. Inoltre, anche altri settori quali l'itticoltura e le attività portuali potrebbero risentire negativamente del fenomeno.

La gestione di biomasse spiaggiate e fluttuanti non risulta affatto semplice; attualmente le autorità costiere hanno attuato misure temporanee per tamponare situazioni di emergenza con l'obiettivo di

conciliare l'importante funzione ecologica degli accumuli con la fruizione delle coste da parte di abitanti e turisti.

Nella maggior parte dei casi, le amministrazioni locali hanno messo in atto interventi poco delicati effettuando la rimozione prima del periodo estivo con mezzi meccanici. Tale operazione non solo risulta onerosa dal punto di vista economico ma compromette l'integrità dell'habitat costiero se l'intervento non è svolto con le dovute precauzioni. Ad esempio, la raccolta effettuata con mezzi inadeguati potrebbe causare un'accelerazione dell'erosione tale da necessitare ulteriormente di costosi interventi di protezione e di ripascimento delle spiagge.

Le modalità di gestione consolidate nel passato e tuttora attuate in molti contesti, prevedono la rimozione periodica degli accumuli durante le operazioni ordinarie e straordinarie di pulizia delle spiagge e il successivo smaltimento del materiale raccolto in discarica. Questo "rifiuto" potrebbe essere trasformato in "materia prima" per altri processi produttivi. In termini economici potremmo affermare di essere in presenza di una situazione di inefficienza, in quanto il valore delle alghe è attualmente sottostimato; la proliferazione e lo spiaggiamento causano dei costi a cui non seguono dei ricavi. In virtù delle considerazioni fatte finora, si attribuisce alle alghe una connotazione negativa di "problema da risolvere".

La quantificazione del valore di una risorsa potrebbe innescare nell'economia di mercato l'uso efficiente della risorsa stessa; nel caso delle alghe, attraverso operazioni di monitoraggio, rimozione, metodologie gestionali eco-compatibili e riutilizzo della materia in ottica di economia circolare, si avrebbero dei costi da sostenere ma una corrispondente valorizzazione del bene e possibili ricavi futuri.

Lo strumento è la Valutazione dei Servizi Ecosistemici che integra l'ambiente nelle decisioni politiche sviluppando modelli economici e biofisici congiunti che dimostrano come i cambiamenti ambientali influenzano il benessere umano.

Questo processo, se attuato, andrebbe a beneficio sia di motivazioni ecocentriche sia di motivazioni antropocentriche al fine di una sostenibilità ecologica duratura e globale.

1.3. Riferimenti normativi

Per comprendere la normativa occorre aver ben chiaro l'interesse da tutelare, in che termini bisogna classificare la biomassa spiaggiata in termini di rifiuti e di conseguenza su chi cade la competenza di gestione e le modalità di gestione finora note.

A livello comunitario, il riferimento è alla Direttiva 92/43/CEE "Direttiva Habitat" e alla Convenzione di Barcellona del 1978, successivamente ampliata con il Protocollo per le Aree

Specialmente Protette (Protocollo ASP). Il primo ha lo scopo di promuovere il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario; il principale strumento è la rete Natura 2000 cioè una rete ecologica diffusa su tutto il territorio dell'Unione costituita da Siti di Interesse Comunitario (SIC), che vengono successivamente designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC), e le Zone di Protezione Speciale (ZPS) istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli" concernente la conservazione degli uccelli selvatici (<http://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000>).

Il secondo, firmato nell'ambito della "Convenzione per la Protezione del Mar Mediterraneo dall'inquinamento" nel 1995, ha previsto l'istituzione di Aree Speciali Protette di Importanza Mediterranea (ASPIM) al fine di promuovere la cooperazione nella gestione e conservazione delle aree naturali e la protezione delle specie minacciate e dei loro habitat.

A livello nazionale, il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s. m. i. "Norme in materia ambientale" all'art. 184 (classificazione dei rifiuti) identifica "rifiuti di qualunque natura o provenienza, giacenti sulle strade ed aree pubbliche o sulle strade ed aree private comunque soggette ad uso pubblico o sulle spiagge marittime e lacuali e sulle rive dei corsi d'acqua" come rifiuti urbani. Ai fini della gestione, la suddetta classificazione ha importanti implicazioni poiché il Decreto Ronchi (D. Lgs. 22/97), la normativa ormai ventennale che disciplina la gestione dei rifiuti, all'art. 21 stabilisce la competenza dei Comuni nella gestione dei rifiuti urbani e quindi anche delle biomasse spiaggiate.

La Circolare n. 8123/2006 (DPN/VD/2006/08123) "Gestione della posidonia spiaggata" emessa dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ribadisce l'opportunità di lasciare in loco gli accumuli di biomasse spiaggiate dato il loro importante ruolo ecologico. Nella stessa vengono contemplate tre possibili strategie di intervento:

1. mantenimento in loco delle banquettes;
2. spostamento/stoccaggio degli accumuli;
3. rimozione permanente e trasferimento in discarica (quando si verificano oggettive condizioni di incompatibilità fra gli accumuli di biomassa e la frequentazione delle spiagge, le banquettes possono essere rimosse e trattate come rifiuti urbani secondo la normativa vigente)

Il Manuale e Linee Guida "Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili" redatto dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) nel 2010 elenca una serie di esperienze locali a cui fare eventualmente riferimento riguardanti la regione Lazio, Liguria, Toscana, Puglia e Sicilia.

Ulteriori contributi si trovano a livello regionale. Alcuni esempi sono:

- Linee Guida “Gestione integrata della Posidonia oceanica”, Provincia di Livorno, Assessorato alla Difesa del Suolo e Coste, (2006);
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1488 del 7 dicembre 2007 “Criteri per la gestione delle banquettes di Posidonia oceanica”, Regione Liguria;
- Determinazione n. 942 del 7 aprile del 2008 “Prescrizioni inerenti l’asportazione della posidonia spiaggiata e la pulizia delle spiagge dai rifiuti”, Regione Sardegna;
- “Circolare inerente la gestione dei rifiuti sulle aree demaniali marittime e gli accumuli di posidonia spiaggiata” n. 35792 dell’8 maggio 2009, Regione Sicilia;
- Circolare n. 1/2011, “Direttive regionali per la gestione dei rifiuti accumulatisi in spiagge marittime”, Regione Abruzzo;
- Nuovo Piano Regionale per la Gestione dei Rifiuti Urbani (PRGU), adottato definitivamente con Deliberazione di Giunta Regionale n. 1346 del 22 luglio 2013 che affronta la problematica relativa alle modalità di gestione della posidonia spiaggiata, Regione Puglia (<http://www.lifeprime.eu/sezione/download>).

Più recenti sono le Linee Guida operative per la gestione sostenibile e il recupero dei residui spiaggiati di posidonia redatti nel progetto Life+ P.R.I.M.E. (Posidonia Residues Integrated Management for Eco-sustainability).

Il progetto P.R.I.M.E., iniziato nel 2010 e durato 3 anni, è stato finanziato dalla Comunità Europea con il Programma di Iniziativa Comunitaria Life + (LIFE09 ENV/IT/000061). Esso ha avuto l’obiettivo di definire un sistema integrato di gestione e illustrare modalità operative per il recupero, la rimozione e tecniche di pretrattamento dei residui spiaggiati per il possibile riutilizzo.

La tabella 1 riportata di seguito riepiloga i riferimenti normativi inerenti al contesto. Si nota che vari soggetti, diffusi su tutte le coste, nel tempo si sono adoperati per la creazione di una normativa o delle linee guida. Va sottolineata la transdisciplinarietà delle competenze e il dialogo che deve accompagnare la formazione e la nascita di regole per il raggiungimento di un efficiente e sostenibile gestione.

Tab. 1 – Riferimenti normativi per la tutela, gestione e riuso delle biomasse spiaggiate

LIVELLO NORMATIVO	ANNO	DESCRIZIONE	SOGGETTO
Comunitario	1992	Direttiva 92/43/CEE “Direttiva Habitat”	CEE
Comunitario	1995	“Convenzione per la Protezione del Mar Mediterraneo	CEE

		dall'inquinamento”	
Nazionale	2006	Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152	Governo Prodi II
Nazionale	2006	Circolare n. 8123/2006 (DPN/VD/2006/08123) “Gestione della posidonia spiaggiata”	Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM)
Nazionale	2010	Manuale e Linee Guida “Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili”	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)
Nazionale, comunitario	2013	Linee Guida operative per la gestione sostenibile e il recupero dei residui spiaggiati di Posidonia	Progetto Life+ P.R.I.M.E. (Posidonia Residues Integrated Management for Eco-sustainability)
Locale	2006	Linee Guida “Gestione integrata della Posidonia oceanica”	Provincia di Livorno, Assessorato alla Difesa del Suolo e Coste
Locale	2007	Deliberazione della Giunta Regionale n. 1488 “Criteri per la gestione delle banquettes di Posidonia oceanica”	Regione Liguria
Locale	2008	Determinazione n. 942 “Prescrizioni inerenti l’asportazione della posidonia spiaggiata e la	Regione Sardegna

		pulizia delle spiagge dai rifiuti”	
Locale	2009	“Circolare inerente la gestione dei rifiuti sulle aree demaniali marittime e gli accumuli di posidonia spiaggiata” n. 35792	Regione Sicilia
Locale	2011	Circolare n. 1/2011, “Direttive regionali per la gestione dei rifiuti accumulatisi in spiagge marittime”	Regione Abruzzo
Locale	2013	Nuovo Piano Regionale per la Gestione dei Rifiuti Urbani (PRGU)	Regione Puglia

1.4. Gestione biomasse spiaggiate e macroalghe

Dai riferimenti citati, in particolare quello più recente, si possono riassumere le modalità di gestione delle biomasse. La scelta principale è tra il mantenimento in loco e la raccolta dei residui.

Il mantenimento in loco delle biomasse spiaggiate è da attuare quando il sito rientra in un’Area Marina Protetta o all’interno di una zona A (riserva integrale) o B (riserva generale) di un Parco Nazionale. Questa soluzione è auspicabile quando la presenza di biomassa non entra in conflitto con attività turistico-balneari, aree portuali e tratti di costa urbanizzati e non determina problemi igienico-sanitari.

La raccolta dei residui è la modalità di gestione da applicare quando non è possibile mantenere in loco la biomassa per incompatibilità con i normali utilizzi del tratto costiero o per l’insorgenza di problemi.

Prima di procedere all’operazione di raccolta, è importante effettuare un’attenta valutazione del sito, cioè verificare se esso si trova all’interno di un’area della rete Natura 2000 (SIC o ZPS) o ad una distanza pari o inferiore a 500 m; nel caso in cui rientrasse e nel caso in cui si procedesse con la rimozione occorrerà la trasmissione dell’istanza di autorizzazione all’Ente Gestore per il parere di competenza e la Valutazione di incidenza ai sensi dell’art. 5 del D. P. R. 8 settembre 1997 n. 357.

Nell’esecuzione della rimozione dei residui è necessario prendere alcuni accorgimenti: innanzitutto

procedere alla separazione degli accumuli da rifiuti di origine antropica, preferibilmente utilizzando mezzi manuali come rastrelli o pale; laddove ciò non fosse possibile, ad esempio per aree molto estese, si possono utilizzare mezzi meccanici gommati leggeri, cioè di peso non superiore alle 2,5 tonnellate.

Una volta effettuata la separazione, le operazioni di allontanamento degli accumuli dovranno essere effettuate in modo da rimuovere esclusivamente gli strati superficiali dei cumuli, lasciando i residui bagnati, ed in modo da evitare l'asportazione di sabbia o ciottoli al fine di preservare l'integrità dei litorali.

In altri casi, come in quello della proliferazione di macroalghe, la raccolta è effettuata in acqua attraverso battelli "raccoltori" (BALLO, 2011); questa operazione è necessaria ai fini di evitare eventi di anossia (mancanza di ossigeno nell'acqua) che comprometterebbe la sopravvivenza della biodiversità e delle attività produttive legate al sito.

Dopo la fase di raccolta e selezione dei rifiuti, occorre domandarsi se lo spiaggiamento o fluttuazioni creano problematicità ambientali e conflitti di interessi con altre attività produttive. In caso di risposta affermativa, occorre decidere se procedere con lo spostamento degli accumuli (in situ o ex situ), impiegare il "rifiuto" raccolto come materia prima in altri processi produttivi o, come ultima soluzione, conferire il materiale in discarica. La scelta tra le varie alternative è legata, in parte, alla morfologia del sito e alla partecipazione e cooperazione di amministrazioni ed enti.

Lo spostamento degli accumuli può essere effettuato in situ o ex situ cioè nella stessa spiaggia di accumulo dei residui o in una diversa. In dettaglio, lo spostamento può essere finalizzato al ripristino dunale o allo stoccaggio, temporaneo o definitivo.

Qualora il tratto costiero presentasse un cordone dunale, cioè una struttura collinare sabbiosa, il ripristino dunale è da preferire. Il deposito del materiale organico sulle dune contribuisce al rafforzamento delle stesse, garantendo la protezione della costa dai processi erosivi, e favorisce lo sviluppo di una vegetazione dunale grazie alla cessione di elementi nutritivi derivante dalla degradazione delle biomasse; la biomassa raccolta deve essere depositata, così com'è o adeguatamente triturata, in modo da non soffocare la vegetazione presente.

Il ripristino dunale in una spiaggia diversa dal sito di formazione dell'accumulo necessita di indagini preliminari sulle caratteristiche del materiale (quantità, caratterizzazione botanica, analisi chimico-fisiche, test di cessione di potenziali sostanze inquinanti) e sulla localizzazione del sito di spiaggiamento (studio sulla dinamica erosiva del litorale, analisi delle condizioni meteo-marine, rilievi topografici, caratterizzazione botanica della vegetazione preesistente). Il sito di ripristino deve essere individuato preferibilmente nell'ambito di tratti litorali limitrofi all'area di accumulo e all'interno della stessa unità fisiologica cioè unità territoriali di riferimento

(<http://www.isprambiente.gov.it/> sezione Servizi per l'ambiente). Queste operazioni si traducono in maggiori costi di gestione.

Lo stoccaggio temporaneo consiste nel depositare gli accumuli in un'area del retrospiaggia prive di vegetazione, in situ se disponibile o ex situ, tale da evitare fenomeni di putrefazione e cattivi odori. Per il raggiungimento di questo fine, i cumuli di biomassa nel retrospiaggia dovranno essere protetti da adeguate strutture di contenimento, che ne assicurino l'aerazione ed impediscano la dispersione eolica delle frazioni più fini. Al termine della stagione balneare, le biomasse accumulate devono essere ridistribuite sull'arenile di provenienza. Lo stoccaggio definitivo ex situ segue le modalità precedentemente descritte ad eccezione della fase della redistribuzione del materiale organico. In tal caso, lo spostamento delle biomasse può effettuarsi su tratti di litorale particolarmente soggetti all'erosione o caratterizzati da elevato idrodinamismo con l'obiettivo rispettivamente di sfruttare l'azione protettiva e favorire il ritorno in mare delle biomasse.

Nei casi di stoccaggio la movimentazione delle biomasse deve avvenire nella stessa unità fisiologica. Una possibile soluzione da effettuarsi dopo la fase di raccolta e selezione della biomassa è l'utilizzo della materia prima in altri settori. Nei successivi capitoli verranno esposti i possibili utilizzi in ambito commerciale.

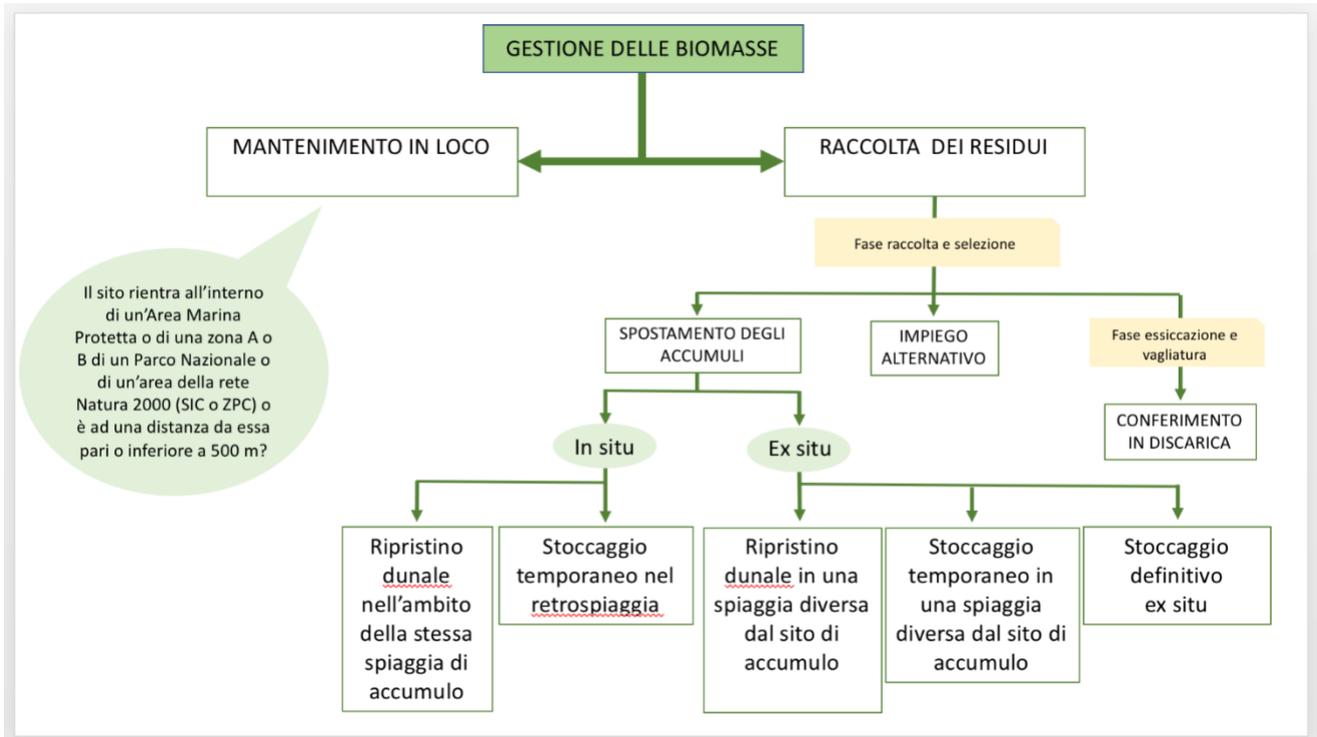
Quando nessuna delle soluzioni precedenti per la gestione è attuabile, occorre procedere con il conferimento in discarica. Questa modalità è quella con maggiori costi, sia in termini economici che ecologici, interamente a carico della collettività in misura sia diretta che indiretta. Le biomasse devono essere raccolte e trasportate con mezzi idonei da ditte iscritte nell'elenco delle ditte autorizzate al trasporto dei rifiuti.

In base alla normativa sui rifiuti ad ogni rifiuto deve essere attribuito un codice CER (Catalogo Europeo dei Rifiuti). La Decisione 2000/532 CE ha stabilito che per le biomasse è possibile utilizzare il codice CER 20 02 01 (Rifiuti urbani domestici e assimilabili – rifiuti prodotti da giardini e parchi – rifiuti biodegradabili) o il CER 20 03 03 (Rifiuti urbani domestici e assimilabili – altri rifiuti urbani – residui della pulizia stradale).

Il materiale, a seguito della separazione dai rifiuti di origine antropica, deve essere sottoposto ad essiccamento e vagliatura. Queste due operazioni servono a separare la sabbia dal materiale organico e a ridurre il peso del materiale destinato a discarica, al fine di una diminuzione dei costi di smaltimento.

Le modalità di gestione sono riassunte in figura 1.

Fig. 1 – Modalità di gestione delle biomasse algali



1.5. Approccio ai Servizi Ecosistemici (SE)

1.5.1. Definizione dei SE

Nel 1997 si ebbero i primi studi che posero l'attenzione sui Servizi Ecosistemici (SE) tra cui il libro "Nature's Services" di Daily et al. e l'articolo "The value of the world's ecosystem services and natural capital" di Costanza et al., apparso su Nature nel 1997.

Qualche anno dopo, il Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP) ha istituito il Millennium Ecosystem Assessment (MEA), progetto di ricerca internazionale attuato tra il 2001 e il 2005, che ufficializza il concetto di SE. Esso comprende tutti i beni, le funzioni ed i processi che appartengono ad un determinato ecosistema e dai quali trae giovamento diretto o indiretto la popolazione umana (MAE, 2005). L'obiettivo del MEA è stato quello di valutare lo stato attuale degli ecosistemi, gli effetti del loro cambiamento sul benessere umano e le politiche necessarie per il mantenimento degli habitat e dell'uso sostenibile dei beni e servizi da essi prodotti (<https://www.millenniumassessment.org>).

Nel 2007, durante la riunione dei Ministri dell'ambiente dei Paesi del G8+5 tenutasi a Postdam, in Germania, fu stilato il report "The Economics of Ecosystem and Biodiversity" (TEEB). Questa iniziativa globale ha avuto il principale obiettivo di rendere il valore naturale "visibile", cioè includere

la biodiversità e i servizi ecosistemici nelle decisioni politiche a ogni livello (<http://www.teebweb.org/about/the-initiative/>).

I lavori sopra citati hanno spinto verso la promozione di interventi efficienti ed efficaci dal punto di vista ambientale, sociale ed economico, cioè in un'ottica di sviluppo sostenibile con il fine di preservare il Capitale Naturale e permettere lo sviluppo economico.

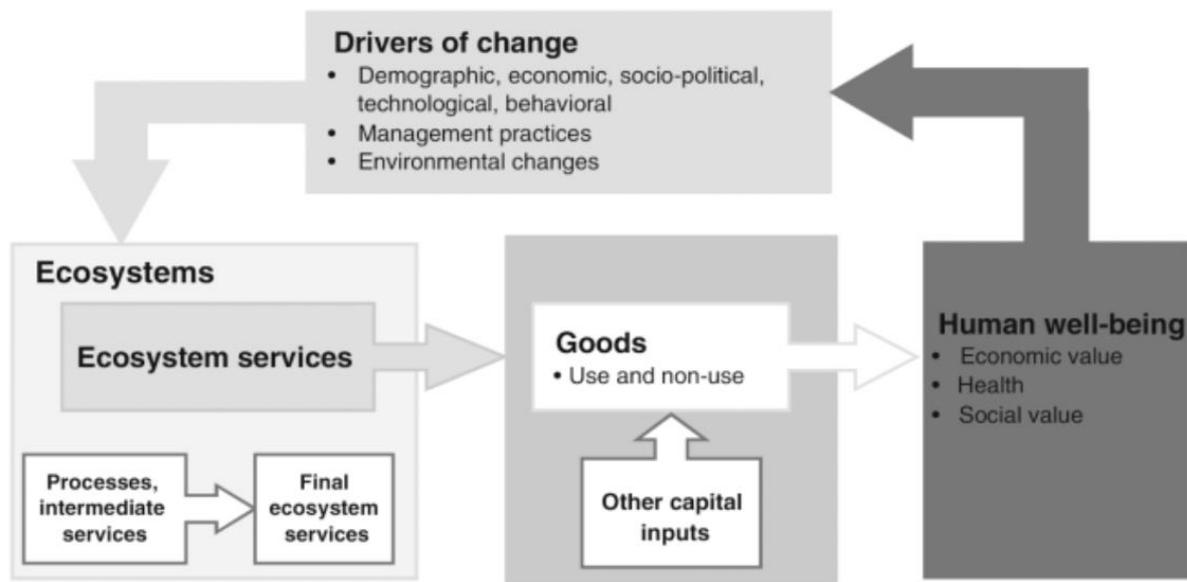
È legittimo affermare che i processi e le funzioni degli ecosistemi forniscono benefici insostituibili, sia per il soddisfacimento di bisogni primari, ma anche per il benessere e lo sviluppo della specie umana. I servizi ecosistemici concorrono a mantenere la funzionalità e la qualità ecologica, non soltanto localmente attraverso la funzione ricreativa o identificativa, ma a livello globale, su scala planetaria (Costanza, 2008).

Nonostante il riconoscimento universale della dipendenza dell'uomo dalla natura, numerosi studi mostrano che la gestione del capitale naturale non è ancora sufficientemente integrata in un'ottica di sostenibilità ecologica, cioè un approccio che mette in relazione ragioni antropocentriche con quelle ecocentriche, “to support ecological integrity and a mutually enhancing human-Earth relationship, by bringing about systemic change in our legal and governance systems” (<https://www.elga.world/elga-aims/>).

Questo obiettivo può essere raggiunto utilizzando l'“approccio ai servizi ecosistemici” che richiede che i decisori prendano in considerazione la natura e i suoi servizi a tutti i livelli dei processi decisionali (MEA, 2005 in Johnston et al., 2015, p. 276). La valutazione dei servizi ecosistemici diventa fondamentale e richiede un approccio multidisciplinare e di cooperazione tra le scienze naturali per l'identificazione dei valori biofisici e le scienze economiche per quanto riguarda le metodologie di valutazione.

Secondo gli studi del UK National Ecosystem Assessment (UK NEA), un ecosistema può essere considerato come uno “stock” da cui si generano dei “flussi” di servizi. (Mäler et al., 2008; Barbier, 2009 in Johnston et al., 2015, p. 278). Questi servizi possono essere divisi in “servizi finali” quando contribuiscono direttamente alla creazione di “beni” e “servizi intermedi” quando contribuiscono alla formazione dei servizi finali. I “beni” che possono essere tangibili o intangibili, di mercato o non di mercato, possono essere valutati monetariamente dagli individui in relazione al benessere umano che generano. La loro principale caratteristica è che solo in parte sono prodotti dai SE.

Fig. 2 – Ecosystem assessment framework



Fonte: Johnston et al., (2015), p. 279

Lo stato dei SE e il benessere a loro associato dipende da diversi fattori come quelli demografici, economici, ambientali e gestionali. Il cambiamento di questi drivers ha effetti sul futuro sviluppo dei SE.

La valutazione ambientale si prefigge di dare un valore ai costi e ai benefici ambientali, espressi in una comune unità monetaria, per fornire una migliore e più comprensiva informazione nel processo di formulazione di politiche ambientali e nel processo decisionale (Loomis e Helfand, 2003 p. 1). Le informazioni aggiuntive ottenute dalla valutazione possono essere così utilizzate per la contabilizzazione monetaria di una risorsa ambientale, per la gestione ottima della stessa, per valutare il danno o il rimborso ambientale in caso di incidenti ambientali o per la valutazione dei servizi ecosistemici.

Il principio del “with” e “without” è fondamentale per l’analisi. Esso consiste nella separazione degli effetti dovuti a determinate decisioni dal caso in cui non si effettui nessuna azione (Loomis e Helfand, 2003 p. 22-24); in definitiva, l’interesse d’analisi di valutazione è il cambiamento marginale, cioè l’impatto determinato da un dato cambiamento.

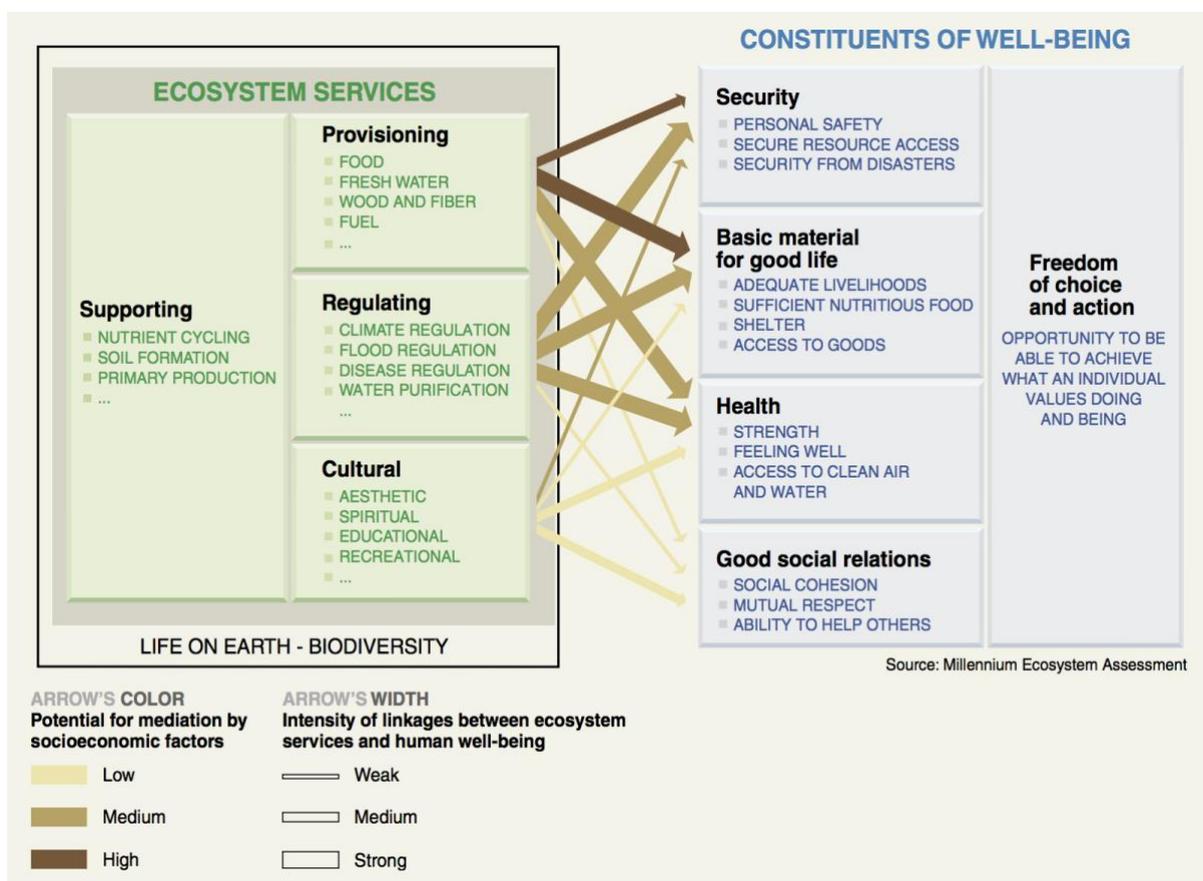
Il concetto di cambiamento marginale è legato a quello di “safe minimum standard” (SMS), cioè la soglia che garantisce il funzionamento integrale degli ecosistemi (Fisher et al., 2008; Turner et al. 2010 in Johnston et al., 2015, p. 279). Questa soglia è spesso ignota e la complessità dei processi ecosistemici rende difficile la previsione dello stato dei SE ai cambiamenti ambientali che spesso sono imprevedibili o irreversibili.

1.5.2. Classificazione dei SE

Esistono differenti classificazioni dei servizi ecosistemici (Turner et al., 2010); la più citata è quella definita dal MEA che definisce i servizi ecosistemici come i benefici che le persone ottengono dagli ecosistemi e il benessere umano, strettamente correlato ai SE. I SE sono classificati in quattro categorie: *supporting*, *regulating*, *provisioning*, and *cultural*; il benessere umano è suddiviso in cinque componenti (MEA, 2005).

La classificazione dei SE definita dal MEA è la più utilizzata perché è di facile comprensione, tuttavia da un punto di vista economico non elimina il rischio di doppi conteggi, ossia di attribuire un servizio a più categorie, ed esplicita la connessione tra il cambiamento dei servizi ecosistemici e il benessere umano. Essa può essere schematizzata come in figura 3.

Fig. 3 – Relazione tra Servizi Ecosistemici e benessere umano



Fonte: MEA, (2005), p. vi

Le quattro categorie di SE, che per evitare ambiguità linguistiche si preferisce citare come da fonte, sono:

1) *Supporting services*: rientrano in questo gruppo tutti i SE che permettono e sostengono la fornitura di tutte le altre categorie di SE come ad esempio la pedogenesi e il ciclo dei nutrienti (MEA, 2005);

2) *Provisioning services*: rientra in questa categoria il cibo derivato sia da sistemi organizzati come l'agricoltura, l'allevamento e l'acquacoltura sia da fonti naturali come la raccolta di piante e funghi selvatici e la cacciagione. Altri beni di tale categoria sono l'acqua, i materiali da costruzione e le fibre tessili (MEA, 2005);

3) *Regulating services*: comprendono i SE che contribuiscono alla regolazione dei processi ecosistemici e alla gestione del rischio naturale di eventi catastrofici. Ad esempio, nel caso del cambiamento climatico, gli ecosistemi agiscono attraverso la produzione di gas naturale ed il loro assorbimento e la distribuzione delle precipitazioni; inoltre, nel caso del fenomeno di erosione costiera, le praterie di fanerogame marine, la presenza di dune e di zone umide agiscono attenuando l'effetto (MEA, 2005);

4) *Cultural services*: sono tutti quei servizi intangibili che influenzano il benessere, l'identità e lo sviluppo di una comunità o di un individuo come il patrimonio culturale e paesaggistico, il valore spirituale, gli ambienti ricreativi e turistici (MEA, 2005).

La valutazione dei SE mira a garantire il raggiungimento di tre obiettivi: la sostenibilità, che garantisce la produzione nel tempo dei SE; l'equità, per una distribuzione che permetta almeno il sostentamento di tutti gli individui della specie umana e delle altre specie viventi; l'efficienza, che massimizza l'apporto benefico del SE attraverso l'ausilio della conoscenza e della tecnologia (Costana, 2000; Liu et al. 2010).

Valutare i SE non necessariamente significa attribuirgli un prezzo monetario specifico, piuttosto la valutazione mira ad esprimere un valore in termini comprensibili per la collettività. Chi usufruisce dell'ecosistema è incentivato a preservare l'ambiente che continuerà ad erogare SE di quantità e di qualità costante se non crescente (Kumar & Kumar, 2008).

Data la difficoltà di valutare un ecosistema nel suo complesso, si utilizza come migliore proxy il valore dei servizi ecosistemici che esso offre. Quando si parla di quantificazione del valore di un bene o servizio si pensa subito al prezzo, alla quantità di moneta necessaria ad un individuo per acquistare tale bene/servizio. Ma ciò non significa porre un prezzo sul bene/servizio ambientale oggetto di valutazione quanto piuttosto esprimere i guadagni e le perdite di utilità derivanti dall'ambiente: la moneta viene usata come unità di misura perché è in termini monetari che ogni individuo esprime le proprie preferenze; l'acquisto determina la nostra disponibilità a pagare, che a sua volta riflette le nostre preferenze (Pearce & Turner, 1991).

La quantità e la qualità dei servizi ecosistemici offerti da un determinato ecosistema dipende dallo stato di conservazione dell'ecosistema stesso, che può essere alterato da fattori sia naturali sia antropogenici. Assegnare un valore in termini economici ai servizi ecosistemici permette ai decisori di sviluppare pratiche migliori di gestione dell'ambiente (Kumar & Kumar, 2008). La valutazione

permette quindi di prendere decisioni di allocazione delle risorse più consapevoli e, in un simile contesto di decision making, il valore espresso in termini monetari consente il confronto tra le diverse alternative possibili.

(Hein et al. 2006). Hein et al. (2006) propongono uno schema di valutazione rappresentando il processo in quattro step come mostra la figura 4: (i) riconoscimento dei confini fisici di un ecosistema da valutare, (ii) definizione dei servizi ecosistemici, (iii) valutazione dei servizi ecosistemici, (iv) aggregazione o comparazione del valore dei servizi.

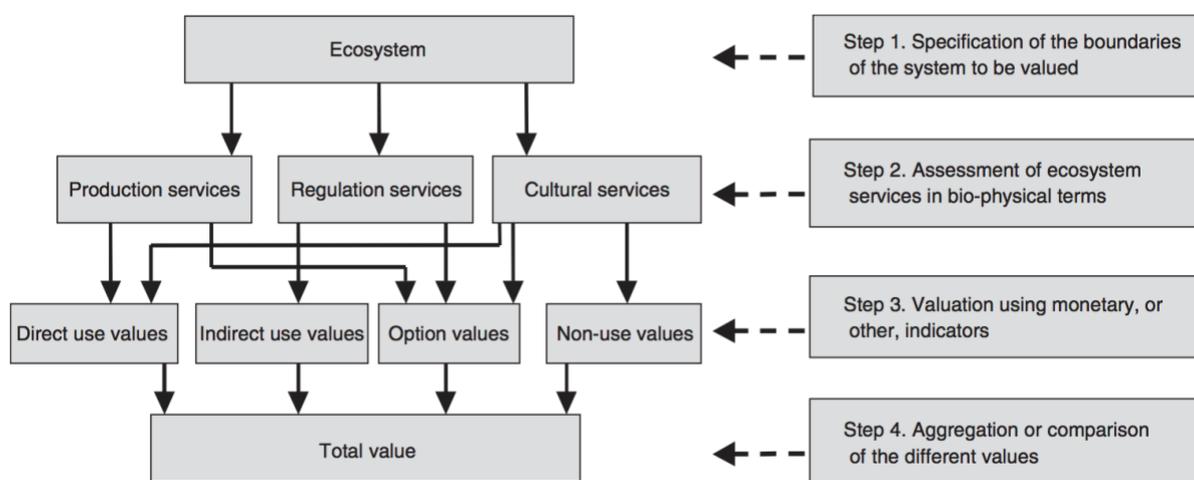
La prima fase consiste nell'identificazione dell'oggetto da valutare sottolineando l'importanza dell'individuazione dei confini fisici di un ecosistema da valutare.

La fase successiva consiste nell'identificazione e la quantificazione in termini biofisici dei SE che include solo tre tipi (*Provisioning/production services*, *regulation services*, *cultural services*) escludendo i *Supporting services* perché rappresentano processi ecologici i quali, riflettendosi in altri tipi di servizi, potrebbero originare doppi conteggi.

La terza fase riguarda i valori che gli stakeholders attribuiscono ai SE e che possono essere di quattro tipi: valore d'uso diretto, valore d'uso indiretto, valore di opzione e valore di non-uso.

La quarta ed ultima fase riguarda il Valore Totale dei SE cioè la sommatoria dei valori precedentemente individuati, normalizzati all'unità di misura scelta.

Fig. 4 – Processo di valutazione dei Servizi Ecosistemici

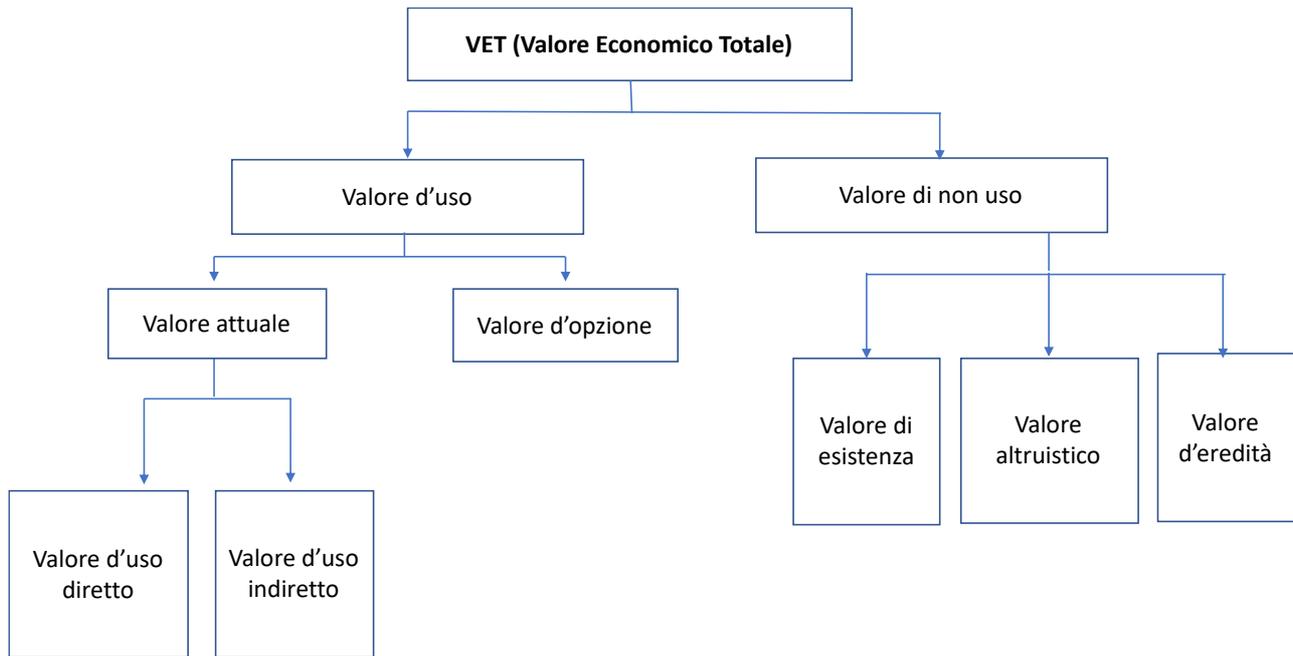


Fonte: Hein et al., (2006), p. 211

1.6. Valore Economico Totale (VET)

Il concetto di Valore Economico Totale (VET) di un asset ambientale viene distinto in due macro-categoria: valore d'uso e valore di non uso (Bateman et. al., 2002).

Fig. 5 – Scomposizione del VET nelle sue componenti di valore



Il valore d'uso è la componente di valore di un bene o servizio capace di soddisfare un dato fabbisogno, attraverso l'uso attuale o futuro dell'asset stesso. Esso si divide in valore attuale e valore di opzione (Bateman et al., 2002).

Il valore attuale deriva da ciò che al tempo presente, concorre a soddisfare un certo bisogno; esso può essere diretto o indiretto. Il valore d'uso diretto si ha nel caso di fruizione diretta di asset naturali, come gli input produttivi (materie prime) o come i servizi percettivi-fruitivi (turismo, escursionismo, pesca, osservazione, ecc.). Il valore d'uso indiretto è il valore dei servizi indiretti forniti dalle risorse ambientali, cioè i servizi di regolazione e di sostegno alla vita e agli equilibri naturali (TEEB, 2010). Il valore d'opzione è una componente del valore d'uso e parallela al valore attuale diretto e indiretto. Tale categoria deriva dalla disponibilità a pagare nel presente un costo per la conservazione di una certa risorsa ambientale al fine di mantenere, in futuro, l'opzione d'uso della risorsa stessa da parte dell'individuo stesso o di altri. La concettualizzazione del valore d'opzione è stata spesso criticata (TEEB, 2010, capitolo 5 da Freeman, 2003). Il valore d'opzione diventa rilevante quando vi è l'insicurezza che un ecosistema subisca danni che possano restringere le alternative d'uso in futuro e, quindi, vi è una disponibilità a pagare per la sua protezione al fine di mantenere intatta la gamma di opzioni relative all'uso futuro del bene. Tale incertezza è tipica delle risorse ambientali quindi per cui concettualmente il valore di opzione è un'espressione del principio di precauzione. Il valore di opzione emerge anche in situazioni di incertezza sui costi/benefici di una decisione d'uso attuale: nell'incertezza, ci può essere una disponibilità a pagare per rimandare la decisione d'uso della risorsa ambientale (il valore del non fare nulla oggi) in attesa che il quadro conoscitivo si chiarisca. In questo caso si parla di valore di quasi-opzione (TEEB, 2010, capitolo 5).

L'altra componente del VET è il valore di non uso. Esso è un valore non strumentale, ovvero non associato ad un uso direttamente monetizzabile. Il valore di non uso si distingue in valore di esistenza, che riflette la disponibilità a pagare degli individui di mantenere la preservazione della biodiversità dei servizi ecosistemici, in valore altruistico dato dal fatto che altri individui della generazione corrente possono beneficiare dei beni ambientali e valore ereditario, connesso al valore delle generazioni future (Bateman et al., 2002, pag. 28-29).

Il VET è quindi deducibile dalla somma delle sue componenti. Nel caso di una valutazione ecosistemica è possibile associare ad ogni bene una categoria del valore totale e utilizzare in base a questa la metodologia di valutazione economica più opportuna.

1.7. Metodi di valutazione economica

I principali metodi di valutazione si dividono in metodi di stima del prezzo e del valore.

La valutazione di un bene o servizio può essere effettuata attraverso il prezzo di mercato riflesso del comportamento effettivo dell'individuo sul mercato; nel caso di assenza di mercato, è possibile ottenere informazioni sul valore di un bene indirettamente, cioè attraverso il prezzo indiretto di transazioni di mercato associate al bene stesso. Infine, nel caso in cui ciò non fosse possibile, la creazione di un mercato ipotetico è scelta al fine di ottenere il valore. (TEEB, 2010).

Di seguito si riporta una breve descrizione delle metodologie, in particolare quelle più citate in letteratura e quelle che serviranno a comprendere meglio lo svolgimento del presente studio.

1.7.1. Metodi di stima di Prezzo

I metodi di stima del Prezzo sono quelli basati sul mercato e includono tre differenti approcci: (a) metodo basato sui prezzi di mercato, (b) metodi basati sui costi, e (c) metodo della funzione di produzione.

Il metodo dei prezzi di mercato stima il valore economico di un bene o servizio scambiato sul mercato. I metodi basati sulla stima dei costi consistono nel calcolo dei costi che si dovrebbero sostenere per ottenere gli stessi benefici che provengono dai servizi ecosistemici (TEEB, 2010 da Garrod and Willis, 1999). Tra questi rientrano:

- costo evitato, relativo ai costi che si dovrebbero sostenere in assenza dei SE;

- costo di rimpiazzo, relativo ai costi da sostenere nel caso in cui i SE venissero sostituiti da strutture artificiali, ad esempio i depuratori o i frangiflutti;
- costo di mitigazione o sostituzione, relativo ai costi necessari a mitigare gli effetti delle perdite di SE o ai costi necessari per ripristinarli.

Il metodo basato su funzione di produzione stima il contributo dei SE nella fornitura di beni e servizi finali esistenti sul mercato (es. il servizio di impollinazione delle api per gli alberi da frutto).

1.7.2. Metodi di stima di Valore

I metodi di stima del Valore sono basati sulle preferenze e si suddividono in metodi delle preferenze rivelate (PR) e metodi delle preferenze affermate (PA).

I metodi delle preferenze rivelate sono chiamati così poiché gli agenti economici rivelano le loro preferenze attraverso le loro scelte su mercati esistenti. I due principali metodi sono:

- Metodo del costo di viaggio: consiste nell'associare il valore di SE, in genere quello ricreativo, ai costi (spese dirette e costo-opportunità del tempo) sostenuti per l'esperienza ricreativa;
- Prezzo edonico: consiste nel valutare il bene in relazione a diversi attributi che influenzano direttamente il valore di beni di mercato; un esempio è rappresentato dal mercato immobiliare in cui il valore di un'abitazione è determinata non solo dalla grandezza dell'appartamento, ma anche dall'ubicazione, dal tipo di vicinato, dalle caratteristiche ambientali e paesaggistiche dell'area.

I metodi delle preferenze affermate si basano sulla creazione di un mercato ipotetico e misurano attraverso un'indagine diretta, come questionari o intervista, il valore del cambiamento del bene oggetto di valutazione. Tra queste tecniche rientra il metodo della valutazione contingente (CV) e il metodo del choice modelling.

Con la CV si rilevano le preferenze individuali attraverso un questionario redatto in modo da far emergere la disponibilità a pagare per la conservazione di un bene o servizio ambientale, o la disponibilità ad accettare un rimborso per la perdita o il degrado della risorsa.

Differentemente dalla CV, il metodo del choice modelling è una tecnica multi-attributo, cioè gli individui effettuano una scelta confrontando due o più alternative.

Dalla descrizione dei vari metodi di valutazione precedentemente esposta si può affermare che diverse sono le tecniche di applicazione, e che la scelta deve essere effettuata tenendo conto del bene o servizio da valutare, del valore che esso rappresenta e del contesto decisionale. Ognuno degli approcci

sopraesposti presenta vantaggi e limiti metodologici che possono indurre ad un'analisi inesatta. I metodi di stima di Prezzo sono di facile applicazione e teoricamente validi se si basassero su funzioni di domanda ed offerta derivate da mercati perfettamente concorrenziali, tuttavia si potrebbero avere mercati non perfettamente concorrenziali o assenza di mercati che necessitano di metodi di stima del Valore strutturalmente più complessi e costosi.

1.8. Benefit transfert

1.8.1. Definizione e tecniche

Una recente metodologia che si aggiunge alle precedenti è il benefit transfert (BT), il quale si basa su stime e studi derivanti dai metodi di stima di Prezzo e di Valore (Bateman et. Al., 2002). Il BT consiste nell'uso di valori di beni stimati in un contesto originario, detto "study site", trasferendo quei valori in un nuovo contesto, detto "policy site", agli stessi beni oggetto di valutazione (Bateman et. Al., 2002, p. 255). Lo scopo è quello di colmare vuoti informativi utilizzando studi di valutazioni già implementati, in contesti in cui non si sono effettuati studi primari, cioè utilizzando le tecniche precedentemente descritte. L'utilizzo di questo metodo è stato reso possibile grazie alla quantità di studi di valutazione del valore economico di beni e servizi erogati dagli ecosistemi e alla conseguente formazione di ingenti database. Questo metodo è consigliabile quando non si hanno a disposizione risorse finanziarie o tempo necessario per condurre indagini primarie. Lo svantaggio è quello di avere minor attendibilità e precisione dei risultati.

Il BT può essere applicato secondo quattro categorie: i) unit transfert, ii) adjusted unit BT, iii) value function transfert e vi) meta-analytic function transfert (TEEB, 2010).

L'unit transfert consiste nel raccogliere stime di valori da diversi study site e successivamente effettuare una media da applicare al policy site; in questo caso si assume che non esistano differenze tra il progetto da valutare e quello sviluppato da altri, per cui è necessaria la massima attenzione alla similarità del contesto di studio.

L'adjusted unit transfert consiste nel trasferimento di un valore ponderato per le differenze tra le caratteristiche dei siti, ad esempio il reddito medio.

Il value function transfert è riferito all'uso della funzione utilizzata nello study site (travel cost, CV, prezzo edonico, choice modelling) applicando i parametri rappresentanti le differenti caratteristiche dei policy sites, ad esempio differenze socio-demografiche, diversità geografiche e altri fattori che portano a valori monetari diversi.

La meta-analytic fuction utilizza una funzione di valore stimata dai risultati di più study sites che

sono stati riassunti con una regressione che tiene in considerazione anche le differenze metodologiche oltre che geografiche e socio-economiche.

1.8.2. Fasi di applicazione

Le fasi necessarie per condurre uno studio di BT qualunque sia il metodo utilizzato sono:

- 1) identificazione degli studi primari esistenti e dei valori che possono essere trasferiti;
- 2) verifica del grado di comparabilità dei servizi ecosistemici, del contesto geografico, delle caratteristiche socio-economiche e culturali tra i due siti;
- 3) valutazione della qualità dello studio primario e accettabilità dei risultati ottenuti;
- 4) adattamento dei parametri in funzione del sito da valutare;
- 5) valutazione dei risultati ottenuti.

Nei processi di trasferimento è inevitabile che emergano degli errori, ma se si conoscono i potenziali sbagli è più facile controllarli. Di seguito vengono riportate le tre possibili fonti di errore che influiscono sulla precisione del metodo e quindi sui risultati (Rosenberger & Stanley, 2006):

- **Errore di generalizzazione:** emerge quando le stime di valore ottenute in un determinato contesto vengono trasferite in una situazione completamente diversa. Evidentemente, più risulta elevato il grado di similarità tra i due studi, minore sarà l'errore di generalizzazione riscontrato nel processo. Per assicurarsi un maggior livello di similarità è opportuno fare riferimento a studi condotti nello stesso Paese, così da limitare le differenze socio-economiche, socio-politiche e socio-culturali; contesti intra-regionali garantiscono una maggiore similarità di struttura e funzioni rispetto a contesti inter-regionali (Loomis & Rosenberger, 2006).

- **Errore di misurazione:** si tratta di una tipologia di errore già presente negli studi originali ma che viene amplificata con il trasferimento. Gli errori nella misurazione derivano da decisioni errate dei ricercatori, per esempio riguardo i dati considerati più rilevanti per il modello o le strategie di stima ritenute più adatte per il contesto. Per provare a diminuire l'entità di questi errori è utile, negli studi originali, considerare dei campioni più ampi e più rappresentativi del problema da analizzare.

- **Errore di pubblicazione:** questa categoria si riferisce al fatto che la qualità del trasferimento dipende anche dalla qualità delle informazioni riportate nelle pubblicazioni. A volte i ricercatori, non considerando che i propri studi possono essere usati come riferimento per il benefit transfer, omettono alcune informazioni importanti nei loro articoli; altre volte, invece, nella selezione degli studi da pubblicare emerge una preferenza per i risultati statisticamente

significativi o per quelli che confermano le aspettative teoriche. L'errore, in questo caso, riguarda non tanto la metodologia seguita nell'effettuare la valutazione quanto piuttosto il sistema delle pubblicazioni scientifiche.

Se l'obiettivo di uno studio è giungere ad una coerente stima di valutazione, l'impegno dei ricercatori dovrebbe essere rivolto all'individuazione di metodi che minimizzino l'errore di misurazione. Per quanto riguarda invece le altre due tipologie di errore, la riduzione potrebbe essere data da nuovi protocolli e piattaforme di divulgazione (Rosenberger & Stanley, 2006).

Dalle considerazioni riportate, il metodo del Benefit Transfer risulta uno strumento estremamente utile perché permette di ottenere delle stime per valori economici di beni ambientali anche quando le risorse per finanziare gli studi sono poche oppure non c'è disponibilità di dati adeguati. I diversi limiti che caratterizzano tale metodo non devono indurre a ritenere che la sua applicazione sia inutile ma, al contrario, serve ai ricercatori per "sondare il terreno" e testare la reale necessità di intraprendere uno studio ex novo. Evidentemente, quando il valore economico che si estrae dal processo di valutazione viene utilizzato dai decisori politici per compiere scelte importanti in termini di impatti ambientali ed economici, forse la scelta dei ricercatori non ricadrà sul metodo del BT ma, vista l'importanza del progetto, verranno destinate più risorse per intraprendere uno studio originale.

Capitolo 2: Inquadramento metodologico

2.1. Work plan

Tab.2 – Work plan

Step 1	Origine del progetto e osservazioni preliminari
Step 2	Identificazione dell'area di studio
Step 3	Identificazione SE da valutare e studi accreditati
Step 4	Stima del valore dei SE usando il Benefit Transfert
Step 5	Analisi su biomasse algali e ricerca dei possibili utilizzi commerciali
Step 6	Analisi Costi Benefici di settori accuratamente selezionati

2.2. Origine del progetto e osservazioni preliminari

Questa tesi nasce da esigenze riscontrate operativamente durante lo svolgimento del tirocinio curricolare, da novembre 2017 a marzo 2018, presso SEI Toscana, gestore del servizio integrato dei rifiuti urbani dell'area dell'Ato Toscana Sud, Autorità per il servizio di gestione integrata dei rifiuti urbani composta dalle province di Arezzo, Grosseto, Siena e da sei comuni della provincia di Livorno (<http://www.seitoscana.it/>).

In particolare, negli ultimi mesi SEI Toscana ha avviato l'attività di ricerca e innovazione per il recupero e il riutilizzo di particolari tipologie di rifiuti in ottica di economia circolare. I materiali oggetto di tale progetto riguardano pallet e ingombranti (ad esempio mobili abbandonati o depositati presso i centri di raccolta), oli vegetali esausti, biomasse marine, aghi di pini, materassi ed amianto. In generale, si può osservare che il rifiuto causa danni ambientali dovuti dall'abbandono; economici, ossia in termini di investimenti e costi; sociali, ovvero se ci sono gravi effetti collaterali per la salute umana. Il progetto in fase preliminare mirava a considerare la dimensione economica, ambientale e sociale dei rifiuti sotto osservazione. Inoltre, si è tenuto conto anche dell'esistenza o meno di progetti in corso, dell'esistenza o meno di studi già effettuati e dei possibili utilizzi di riciclo e di mercato.

Le analisi preliminari hanno permesso di evidenziare i pro e i contro di ogni rifiuto e di scegliere quello con più prospettive in termini di tempi e costi di realizzazione di benefici.

Tra le varie considerazioni effettuate rientrano, ad esempio, per quanto riguarda pallet e ingombranti, la scarsa qualità del legno derivante dal recupero che non permette un ampio rimpiego, mentre per i materassi la difficoltà di gestione della varietà dei materiali di cui si compongono (a molla, in schiuma poliuretano, in lattice, in lana, compositi). Differente il discorso per l'amianto, le cui maggiori problematiche sono legate agli elevati costi di trattamento e smaltimento, all'assenza di un piano d'azione coordinato sul territorio e alla mancanza di soggetti a cui imputare il costo poiché molto spesso si tratta di rifiuti abbandonati e con elevatissimi danni per la salute e l'ambiente. Per gli aghi

di pini gli svantaggi riscontrati sono stati la difficoltà di raccolta e la scarsa possibilità di impiego alternativo. Per l'olio esausto, la disinformazione e l'inerzia riscontrata in progetti già avviati come la collaborazione con la Coop, che permette l'installazione di postazione per la raccolta di olio vegetale domestico che può essere successivamente ceduto ad altre imprese per la produzione di biodiesel, cosmetici, recupero energetico, ecc, sembra non offrire favorevoli condizioni al suo sfruttamento.

Dalla combinazione dei fattori relativi ai materiali è emerso che il progetto più idoneo sotto l'aspetto ambientale, sociale ed economico e che ha mostrato una certa urgenza di richiesta da parte delle Amministrazioni Comunali costiere (Comune di Piombino, Follonica, Scarlino, Castiglion della Pescaia, Grosseto, Magliano in Toscana, Orbetello, Monte Argentario, Capalbio, Isola del Giglio) è la raccolta e il riutilizzo di biomasse marine. In particolare, queste sono considerate un problema per le popolazioni locali, che provvedono alla loro raccolta e al loro smaltimento considerandole rifiuti e sottovalutando il loro valore ecologico. Inoltre, esistono una vasta letteratura, organizzazioni e possibili riutilizzi che si sono mostrati delle buone basi da cui partire (es. progetto BALLO). In aggiunta, SEI Toscana ha recentemente avviato alcuni progetti nell'ambito della ricerca e innovazione in collaborazione con Pnat s.r.l., lo Spin Off dell'Università di Firenze coordinato dal Prof. Stefano Mancuso al fine di valutare iniziative concrete di riutilizzo e recupero di biomasse spiaggiate (Prot SEI 1617/18 UOC-U del 12/03/2018).

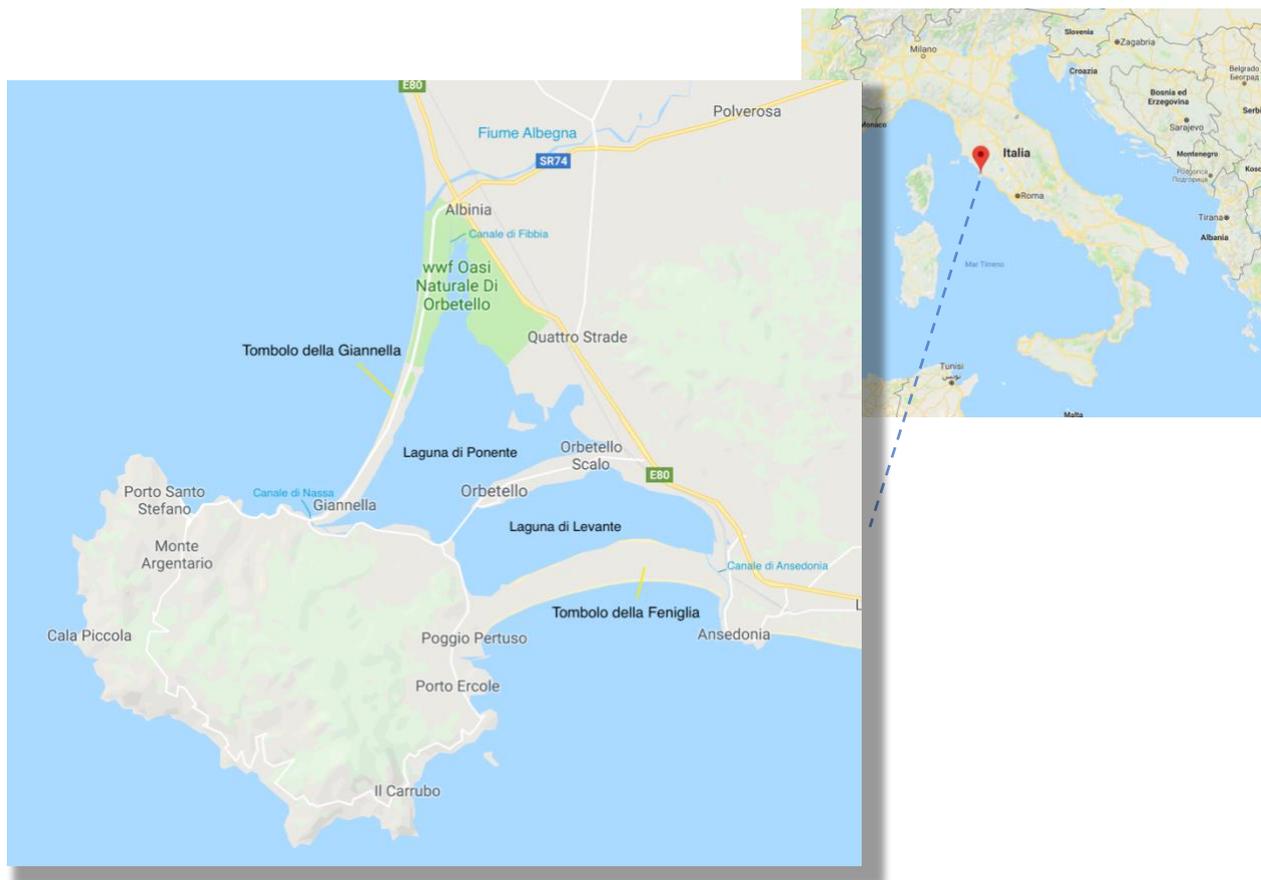
Questo studio, al fine di contribuire all'arricchimento di informazioni, prende a riferimento un'area ben circoscritta, cioè la Laguna di Orbetello (LO).

2.3. Identificazione dell'area di studio

2.3.1. La Laguna di Orbetello

La Laguna di Orbetello (LO) è uno dei più interessanti ecosistemi presenti in Europa ed una delle ultime zone umide ancora esistenti in Italia; per la molteplicità degli habitat e per la ricchezza di specie animali e vegetali, essa rappresenta un'area di grande interesse scientifico, culturale ed economico (Focardi, 2004).

Fig. 6 – Laguna di Orbetello



La Laguna di Orbetello (LO) si trova nel sud-ovest della Toscana in provincia di Grosseto, a 7 km dal Parco della Maremma, il secondo Parco Regionale istituito in Italia nel 1975 (<http://www.parcodemaremma.it>); la LO ha un'estensione di 25.25 km² ed è divisa in due bacini comunicanti, la Laguna di Ponente (15.25 km²) e Laguna di Levante (10 km²). Esse sono separate tra loro da una striscia sabbiosa incompleta e prolungata artificialmente da un ponte diga di 1 km di lunghezza, che permette il collegamento fino al promontorio di Monte Argentario. Sul ponte è situato il centro abitato di Orbetello. Il sistema lagunare comunica direttamente con il mare mediante tre canali: quello di Ansedonia per la laguna di Levante, il canale di Nassa e Fibbia per la laguna di Ponente. La diga consente lo scambio d'acqua tra le due lagune (Lenzi, 1992).

Il sistema lagunare si è originato grazie all'apporto di sedimenti dal fiume Albegna che, a causa dell'ostacolo naturale costituito dal Monte Argentario, si sono accumulati dando origine a due strisce sabbiose chiamate tomboli: la Giannella e la Feniglia. Queste hanno racchiuso le acque marine facendole diventare salmastre a causa delle acque dolci che vi sfociano.

A voler essere esatti, quella di Orbetello non è neppure una vera laguna, ma più propriamente uno stagno costiero, cioè un bacino non dominato dalla forza delle maree: infatti, si ha un'escursione di marea estremamente modesta da 10 a 45 cm e solo i venti riescono a movimentare e ricambiare

efficacemente l'acqua della laguna con quella marina. La profondità media dell'intero bacino è di circa 1 m, con variazioni da 40 a 170 cm (Lenzi, 1992 in Focardi, 2004).

Fig. 7 – Collegamento Orbetello – Promontorio Argentario



Fonte: BALLO, (2011)

Dal punto di vista geomorfologico, la Laguna di Orbetello è considerata un SECS, acronimo di “semi-enclosed coastal systems”, cioè sistemi costieri semi-chiusi (Newton, 2014). Esso, oltre ad avere un'importanza ecologica, ha anche un considerevole valore storico e socio-economico (Lassere, 1979 in Newton, 2014). Recentemente, si è riconosciuta l'importanza dei SECS attraverso i servizi ecosistemici che essi forniscono, tuttavia sono particolarmente vulnerabili all'azione naturale e umana (Newton, 2014).

In particolare, la Laguna di Orbetello riveste grande importanza essendo un'area umida che ospita biodiversità di flora e fauna. Le caratteristiche ambientali la rendono un habitat perfetto per lo svernamento e come luogo di sosta e riproduzione di numerose specie dell'avifauna, molte delle quali rare o in via di estinzione, come fenicotteri, cavaliere d'Italia, airone bianco maggiore, airone cenerino, falco pescatore ecc.

La LO, per la sua importanza naturalistica e per il delicato e fragile equilibrio, rientra tra i SIC IT51A0026 (Sito di Interesse Comunitario), ZPS IT51A0026 (Zona di Protezione Speciale) e zona Ramsar (dal 1977 con la Convenzione di Ramsar a tutela le zone umide) (https://www.wwf.it/oasi/toscana/laguna_di_orbetello/). La LO è sede di una Riserva Naturale e OASI WWF istituita nel 1972 e di due Riserve Naturali Statali.

Oltre all'avifauna, nella LO è presente anche un'abbondante fauna ittica che ha costituito il motore

dello sviluppo economico locale attraverso la pesca (BALLO, 2011). La pesca ha una lunga storia ed è un'attività fondamentale per l'economia dell'area; spigole, orate, cefali, anguille, calcinelli, mazzancolle, femminelle sono le specie più diffuse e i pescatori usano da sempre metodi tradizionali di cattura: il lavoriero, cioè uno sbarramento posizionato in corrispondenza dei canali che permettono lo scambio di acqua tra laguna e mare aperto, incanala in una serie di camere fino ad arrivare alla "cassa di cattura" dove il pesce ancora vivo e in acqua viene selezionato per taglia e, a seconda dei casi, issato con le reti oppure rilasciato; i martavelli, le nasse e i tramagli che sono dei tipi di rete più selettivi; i "barchini", particolari imbarcazioni per recarsi nelle zone di pesca. Modernizzate nel tempo, queste tecniche mantengono le loro caratteristiche di sostenibilità: il pesce, infatti, arriva spontaneamente, secondo la stagionalità e le maree, senza l'uso di mangime esca.

Un'altra attività tipica svolta nella laguna è l'acquacoltura, che ha origini remote: infatti, già gli Etruschi e successivamente i Romani svolgevano questa pratica. Verso la metà degli anni 70, si afferma l'acquacoltura intensiva di anguille successivamente sostituite da spigole (*Dicentrarchus labrax*) e orate (*Sparus aurata*) per assecondare le richieste del mercato. Tra gli anni ottanta e novanta, l'acquacoltura toscana è stata il polo produttivo italiano più importante e riveste ancora oggi un posto di primo piano nella produzione di specie pregiate marine per qualità e quantità (oltre il 20% della produzione nazionale); tra questi il polo produttivo di Orbetello riveste un ruolo leader nello scenario produttivo nazionale (<http://www.ipescatoriorbetello.it/la-pesca/>).

Alle sopracitate attività si aggiunge quella turistica e ricreativa oltre ai servizi ecosistemici ecologici che essa fornisce in particolare i servizi di regolazione (regolazione climatica, produzione naturale di gas serra e loro riassorbimento, distribuzione delle precipitazioni, attenuazione fenomeno erosione costiero).

2.3.2. Problematicità

La laguna di Orbetello, come molte altre lagune costiere, è soggetta da decenni a processi di forte eutrofizzazione che si manifestano essenzialmente con lo sviluppo di macroalghe e fitoplancton.

Le cause di tali processi sono da attribuire a diversi fattori:

- l'effetto naturale e le caratteristiche della laguna stessa (scarsi scambi con le acque marine, scarsa profondità del bacino, notevoli escursioni termiche e di salinità);
- la forte antropizzazione del territorio costiero e lo sviluppo delle attività produttive che generano una forte presenza di agenti nutrienti come fosforo e azoto, i quali determinano la

proliferazione algale con distrofie più o meno gravi. L'inquinamento è sostanzialmente dovuto all'accumulo della sostanza organica immessa dagli scarichi civili e dalle attività produttive, rappresentate essenzialmente dalle itticolture intensive.

L'ipertrofia, soprattutto negli ultimi 20 anni, è spesso sfociata in crisi di eutrofizzazione con estese morie della fauna ittica e nel tempo ha determinato cambiamenti quantitativi e qualitativi dell'assetto delle popolazioni vegetali ed animali, con forte riduzione della biodiversità. Ad esempio, si è passati dalla dominanza di fanerogame, piante acquatiche, alla presenza esclusiva di macroalghe. Il problema nasce dal fatto che le macroalghe hanno un elevato tasso di accrescimento ma un limitato ciclo vitale, generalmente un breve arco stagionale; cadendo sul fondo, esse si decompongono ed innescano processi di solfatazione che causano una drastica diminuzione dell'ossigeno disciolto nell'acqua e lo sviluppo di gas tossici dal fondale (Focardi, 2004).

A causa dell'elevata quantità di biomassa algale, circa 20 kg/m², nella LO si registrano persistenti condizioni di ipertrofia che hanno ripercussioni sia sulla qualità e quantità di prodotto ittico pescato annualmente sia alle attività turistiche (BALLO, 2011; Focardi, 2004).

I disastri ambientali ed economici avuti a partire dagli anni 60, continuati durante la metà degli anni 80, fino ad arrivare ai tempi più recenti, hanno contribuito a porre attenzione sulla laguna. Gli eventi di criticità più visibili sono, soprattutto nei periodi estivi, la moria di fauna acquatica, l'ultima nel 2015 che causò la perdita di circa 200 tonnellate di pesci con danni per 10 milioni di euro (http://www.repubblica.it/cronaca/2015/07/29/news/la_strage_di_pesci_a_orbetello_cosi_il_clima_devasta_la_natura-120012785/) e gli sversamenti di acque colorate e maleodoranti nelle spiagge adiacenti alla laguna a causa di proliferazione algale (Focardi, 2004).

Fig. 8 – Evento di proliferazione macroalgale nella Laguna di Orbetello con produzione di idrogeno solforato (a sinistra) e moria di fauna ittica anno 2015 (a destra)



Fonte: Focardi, (2004); www.ansa.it, (2015)

2.3.3. La gestione della LO: dal passato ad oggi e i relativi costi

Il problema dell'eutrofizzazione è stato ufficializzato con la delibera n. 2380/FPC del Consiglio dei Ministri del 2 aprile 1993, che ha dichiarato la Laguna di Orbetello come “area ad elevato rischio di crisi ambientale”, con conseguente nomina di un Commissario Delegato al Risanamento operante fino al 2012 (BALLO, 2011). Nel 2012 la gestione commissariale aveva sostenuto un costo complessivo di circa 1.930.000 euro, senza però l'onere della gestione dei rifiuti che la Regione ha dovuto sostenere a partire dal 2013 a causa del passaggio al regime ordinario.

Nel 2013 la tutela e la gestione della LO è passata alla Regione Toscana, che ha messo in atto un accordo con il Comune di Orbetello per favorire la collaborazione reciproca. In quest'anno, il costo complessivo per la gestione del sistema lagunare è di circa 1.880.000 euro; nel triennio 2014-2016 la finanziaria regionale ha coperto i costi di questa attività per un importo complessivo di 2.200.000 euro, di cui nel 2014 circa 1.260.000 euro finalizzati all'attivazione della raccolta delle biomasse algali associata all'attività di ossidazione dei sedimenti soffici superficiali e gestione dei sistemi di ricircolo idraulico (<http://www.toscana-notizie.it/-/orbetello-piu-risorse-e-una-nuova-governance-per-salvare-la-laguna>).

Nel 2014 il Comune di Orbetello ha stipulato un contratto di durata triennale con il raggruppamento temporaneo di imprese (RTI) costituito dalla Cooperativa Orbetello Pesca Lagunare e dalla Cooperativa Servizi Turistici (Ser.tur. Soc. Coop.) per il “Servizio di raccolta delle biomasse algali associata all'attività di ossidazione dei sedimenti soffici superficiali e gestione dei sistemi di ricircolo idraulico”. Il Comune ha nominato un Responsabile Unico del Procedimento (RUP) ed un responsabile dell'esecuzione che è tenuto ad eseguire tutte le verifiche tecniche sulle attività previste dal contratto. Inoltre, gli organi di controllo e di indirizzo sono il Comitato di Sorveglianza e un Comitato Tecnico Scientifico che ha il compito di supportare il Comune nella gestione dei piani annuali delle attività (Comune di Orbetello, 2015).

Nel 2017 la gestione della laguna di Orbetello è stata riassegnata al RTI, all'ufficio competente per la tutela della natura curerà la compatibilità delle esigenze di nidificazione degli uccelli con il pompaggio delle acque e all'Arpat (Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana) per il monitoraggio della laguna. È in corso di valutazione l'intervento del Consorzio di bonifica per la pulizia dei canali e del Consorzio Lamma (Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale) per la disposizione di previsioni meteo adeguate ad affrontare al meglio la stagione calda. Al Comune di Orbetello compete il compito dell'acquisto di attrezzature e il tempestivo smaltimento delle alghe una volta raccolte (<http://www.toscana24.ilsole24ore.com/art/oggi/2017-04-10/laguna-orbetello->

scelte-imprese-151717.php?uuid=gSLAMGtUHC).

Nel gennaio 2018, la Regione ha emesso il bando dal titolo “Raccolta di biomasse algali e risospensione dei sedimenti, gestione dei sistemi di ricircolo idraulico per il biennio 2018/2019, comprese le manutenzioni di mezzi, impianti e attrezzature” con un importo a base di gara di 1.404.626,88 euro. Apprezzando i vantaggi riscontrati nel 2017, le attività previste nel capitolato sono: la risospensione dei sedimenti soffici superficiali combinata con l’attività di raccolta delle biomasse algali; la gestione del sistema di ricircolo forzato delle acque attraverso paratoie e sistemi di pompaggio; la gestione di due impianti di ossigenazione a servizio dell’area di Ansedonia; le manutenzioni, propedeutiche all’avvio del servizio ed in corso di esecuzione del servizio, relative ai natanti, alle attrezzature ed impiantistica per il ricircolo idraulico, agli impianti di ossigenazione (<http://www.toscana-notizie.it/-/laguna-di-orbetello-pubblicato-il-bando-di-gara-per-la-raccolta-delle-alghe>). I servizi di carico, trasporto e avvio a recupero delle alghe raccolte di competenza del Comune di Orbetello, è stato affidato a SEI Toscana per un costo di 126 € a tonnellata + iva al 10% (Prot. SEI n. 979/2018 UOC-U del 07.02.2018).

La gestione della laguna di Orbetello è in mano alla Regione Toscana fino al 2019 e molte delle decisioni che la riguardano vengono prese da un comitato scientifico composto da vari esperti.

Le principali azioni e procedure gestionali intraprese al fine del risanamento della laguna si possono riassumere in (BALLO, 2011):

- la messa in esercizio di sistemi di pompaggio siti sui canali (idrovore, grandi pompe usate per assorbire ed asportare grandi masse d'acqua) per l’incremento dello scambio tra mare e laguna nel periodo primaverile-estivo, quello più critico per l’ambiente lagunare poiché in condizioni di assenza di vento l’acqua ristagna;
- la ripulitura e l’approfondimento dei canali;
- la rimozione dei reflui ad effetto eutrofizzante presenti in laguna e il confinamento degli scarichi eutrofizzanti di origine civile e delle itticolture;
- la tecnica della risospensione dei sedimenti soffici superficiali, attuata dal 2014 al 2016, che ha evidenziato l’efficacia del trattamento con una riduzione di densità algale nelle aree trattate rispetto a quelle non trattate (Martelloni et al., 2016; Lenzi et al., 2013);
- la raccolta stagionale delle macroalghe;
- monitoraggio funzionale della gestione integrata

La raccolta di macroalghe e i sistemi di pompaggio sono le prime misure messe in atto (Lenzi, 1992). In particolare, in passato, dal 1994-1997 la raccolta fu condotta per mezzo di quattro natanti raccogli alghe in grado di catturare 2 tonnellate di alghe a viaggio. La raccolta si svolgeva per sei mesi l’anno, da giugno a novembre, con una rimozione dai 4000 ai 6000 tonnellate di biomassa algale (Lenzi,

2017).

La raccolta è stata considerata una soluzione poco efficiente a causa della cattiva gestione dell'attività di raccolta e di problemi logistici. Infatti, è stato stimato che i battelli "raccoltori" catturavano solo il 5% di macroalghe rispetto alla percentuale ottima per migliorare la qualità delle acque di circa 15-20% (Lenzi, 2013). Inoltre, la raccolta richiede un costo che può variare dai 600.000 euro ai 1.500.000 euro. In particolare, la fase più onerosa è risultata essere quella di trasporto e deposito in un sito di smaltimento temporaneo; per questo motivo le operazioni di raccolta furono interrotte e sostituite con la tecnica di sospensione dei sedimenti.

In passato, l'area in cui la raccolta era svolta comprendeva l'intero specchio lagunare e si svolgeva per 9 mesi all'anno con turni di 14 ore al giorno; oggi, invece, dopo la costruzione di due bacini di lagunaggio/fitodepurazione per delimitare gli scarichi civili e degli impianti ittici, l'area in cui effettuare la raccolta, con un notevole alleggerimento degli impatti ambientali, è circoscritta a circa 600 ettari (Focardi, 2004).

Fig. 9 – Bacino di lagunaggio o fitodepurazione



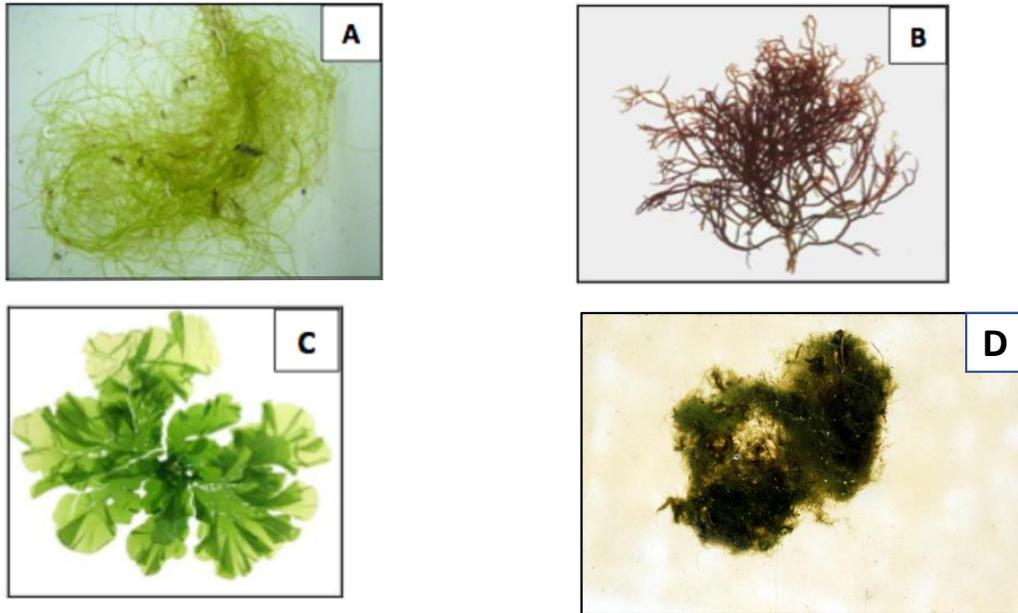
Fonte: Foto di M. Lenzi in Focardi, (2004)

La raccolta totale annua è stimata a 5.000 tonnellate di alghe, peso fresco (circa 85% di umidità); il ciclo si chiude con il trasporto della biomassa considerata rifiuto speciale in un sito di smaltimento temporaneo, con un costo annuale di circa 1 milione di euro (Lenzi, comunicazione personale).

Negli ultimi anni, la ripresa della raccolta stagionale delle alghe è stata effettuata per sei mesi l'anno, da aprile ad ottobre, con quattro battelli "raccoltori" che approssimativamente portano a terra circa 40 tonnellate di biomassa algale al giorno; le specie dominanti presenti sono *Gracilariopsis longissima* (Rodophyta), *Chaetomorpha linum* (Clorophyta), *Ulva lactuca* (Chlorophyta) e

Cladophora sp. (Clorophyta) (Borghini et al., 2014; comunicazione personale da Focardi, 2018).

Fig. 10 – Specie di alghe presenti nella Laguna di Orbetello: (A) *Chaetomorpha linum*; (B) *Gracilariopsis longissima*; (C) *Ulva lactuca*; *Cladophora* sp. (D)



Fonte: BALLO, (2011); Comunicazione personale Focardi (14/05/18)

Nel 2017 il monitoraggio svolto dall'ARPAT evidenzia che vi è una spiccata presenza algale nella Laguna di Levante, mentre nella Laguna di Ponente la gestione con battelli raccoglitori ha reso meno presenti le masse algali (ARPAT, 2017).

Le attività poste in essere hanno portato un sensibile beneficio all'ambiente lagunare ma il problema delle macroalghe, anche se limitato, persiste e deve essere gestito.

Alcuni si sono dichiarati contrari a soluzioni come la raccolta delle alghe poiché la considerano un intervento invasivo e dalle conseguenze ambientali non nulle che non risolve alla radice il problema; al contrario, altre tecniche, ad esempio il "Metodo Lenzi", cioè l'ossidazione dei sedimenti dal fondo della laguna, hanno portato a una riduzione della crescita di biomasse algali. (<http://iltirreno.gelocal.it/grosseto/cronaca/2018/01/06/news/laguna-si-rifara-la-raccolta-alghe-1.16320614>).

La raccolta di biomasse algali potrebbe essere un'alternativa di gestione e anche un'importante risorsa che attualmente non è valorizzata. La conclusione che si vuole trarre è quella di vedere l'attuale situazione relativa alle alghe raccolte nella LO non come un problema ma bensì come l'opportunità di trasformare i costi di raccolta e di gestione in benefici, in un'ottica di economia circolare. Questo significa utilizzare le alghe come materie prime di altri processi produttivi ed attività economiche apportando ulteriore valore al sistema lagunare.

La gestione delle zone umide non deve quindi essere affidata solo agli enti pubblici, o agli enti di ricerca o a quelli privati, ma deve essere condotta in sinergia fra le diverse competenze, interessi e realtà che hanno a cuore la conservazione di questi ambienti. Le lagune sono ambienti che vanno gestiti con multidisciplinarietà e con varie modalità di gestione come enti, consorzi, ecc. (Focardi, 2004).

Tab. 3 – Gestione della Laguna di Orbetello dal 1994 al 2018

Gestione	Anno	Biomassa algale (tonnellate)	Costi di gestione (€)	Fonte
Commissario Delegato al Risanamento	1994	6470		Lenzi e Mattei, 1998; Lenzi et al., 2006; Lenzi et al., 2011
	1995	6190		
	1996	5810		
	1997	4220		
	1998	5910		
	1999	6410		
	2000	6580		
	2001	7190		
	2002	7210		
	2003	8110		
	2004	7310		
	2005	7020		
	2006	6690		
2007	6510			

	2008	6820		
	Tot	98.450		
	2009			
	2010			Lenzi et al., 2017
	2011			
	2012		1.930.000 €	
Regione Toscana	2013		1.880.000 €	
	2014	Tecniche di risospensione dei sedimenti	2.200.000, di cui circa 1.260.000 euro riferiti all'attivazione della raccolta delle biomasse algali associata all'attività di ossidazione dei sedimenti	
	2015			
	2016			
	2017			
	2018	360 ¹	1.404.626,88 €	GU 5ª Serie Speciale - Contratti Pubblici n.37 del 28-3- 2018

¹ Comunicazione personale Marco Leporatti Persiano, Cooperativa Laguna Orbetello, in data 20/09/2018

2.4. Approccio economico per la valutazione dei SE

Le zone umide, considerate come uno stock di risorse naturali, hanno le potenzialità di fornire diversi flussi di *Provisioning*, *Regulating* e *Cultural services*. Essi forniscono anche *Supporting services*

relativi ad esempio alla formazione del suolo, al ciclo dei nutrienti e agli habitats. Alcuni benefici, come la fornitura di cibo e di materiali, derivano direttamente dallo sfruttamento delle zone umide da parte dell'uomo; tra quelli che derivano indirettamente ricordiamo la conservazione della superficie e delle acque di falda e il controllo delle inondazioni. Le zone umide forniscono anche benefici associati al non-uso, tipicamente dovuti all'esistenza, ora e per le future generazioni, di caratteristiche come la biodiversità e l'eredità culturale (Morris e Camino, 2011).

Un esempio di beni e servizi forniti da aree costiere e un'indicazione della loro importanza sono riassunti in figura 11; per le zone umide si consideri la colonna "Coastal Lagoons".

Fig. 11 – Beni e Servizi forniti dai servizi ecosistemici finali delle zone costiere, in particolare delle zone lagunari costiere

Goods and benefits provided by final ecosystem services from Coastal Margin habitats. ⊙ denotes high, and ⊖ denotes some importance of each good/benefit; superscript numbers indicate which goods/benefits are relevant to each habitat; * denotes locally important; † denotes historical use; P = Provisioning service, R = Regulating service, C = Cultural service, S = Supporting service.								
Service Group	Final ecosystem service	Goods/Benefits	Sand Dunes †	Machair †	Saltmarsh	Shingle §	Sea Cliffs **	Coastal Lagoons
P	Crops, plants, livestock, fish, etc. (wild and domesticated)	Crops: vegetables, cereals, animal feed	-	⊖	-	-	-	-
		Meat: sheep/cattle ¹ , rabbits ^{2†} , fish/shellfish ³	⊙ 1,2 *	⊙ 1	⊙ 1	-	⊖ 1 *	⊖ 3 *
		Wild food: Mushrooms ⁴ , Salicornia ⁵ , other plants/berries ⁶ , fish/shellfish ⁷ , wildfowl ⁸	⊖ 4,6	⊖ 4,6,7	⊖ 5,6,8	⊖ 6	⊖ 6	⊖ 7
		Wool: sheep	⊙ *	⊙ *	⊖ *	-	-	-
		Genetic resources of rare breeds ⁹ , crops ¹⁰	⊖ 9	⊖ 9,10	⊖ 9	-	⊖ 9 *	-
P	Trees, standing vegetation & peat/other resources	Reed/grass for thatching ¹ , mats & basket weaving ¹	⊖	⊖	-	-	-	⊖
		Timber for wood pulp, furniture	⊖ *	-	-	-	-	-
		Turf/peat cutting	-	⊖	⊖ *	-	-	-
		Seaweed gathering for fertiliser	-	⊖	-	-	-	-
		Extraction of sand ¹¹ , gravel ¹²	⊖ 11	⊖ 11	-	⊖ 12	-	-
		Military use	⊖	⊖	⊖	-	⊖	-
		Industrial use: pipeline landfall/energy generation	⊖	⊖	⊖	-	-	-
R	Climate regulation	Carbon sequestration	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖
P R	Water quantity	Water for irrigation, drinking	⊖ *	⊖ *	-	⊖ *	-	-
R	Hazard regulation—vegetation & other habitats	Sea defence	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙ Indirect	⊖
		Preventing soil erosion	-	-	-	-	⊖	-
R	Waste breakdown & detoxification	Immobilisation of pollutants	-	-	⊙	-	-	⊖
P R	Wild species diversity including microbes	High diversity, or rare/unique plants, animals and birds, insects	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊖
		Ecosystem-specific protected areas	⊙	⊖	⊙	⊙	⊙	⊖
		Nursery grounds for fish	-	⊙	⊙	-	-	⊙
		Breeding, over-wintering, feeding grounds for birds	⊙ *	⊙	⊙	⊙	⊙	⊖

continued. Goods and benefits provided by final ecosystem services from Coastal Margin habitats. ⊙ denotes high, and ⊖ denotes some importance of each good/benefit; superscript numbers indicate which goods/benefits are relevant to each habitat; * denotes locally important; † denotes historical use; P = Provisioning service, R = Regulating service, C = Cultural service, S = Supporting service.

Service Group	Final ecosystem service	Goods/Benefits	Sand Dunes †	Machair [†]	Saltmarsh	Shingle [§]	Sea Cliffs ^{**}	Coastal Lagoons
R	Purification	Water filtration: groundwater ¹³ , surface flow ¹⁴ , seawater ¹⁵	⊖ 13	⊖ 13, 14, 15	⊖ 14	⊖ 13		⊖ 14, 15
C	Environmental Settings: Religious/spiritual + Cultural heritage & media	Sites of religious/cultural significance; World Heritage Sites; folklore; TV & Radio programmes & Films	⊖	⊙	⊖	⊖	⊙	⊖
C	Environmental Settings: Aesthetic/inspirational	Paintings, sculpture, books	⊙	⊖	⊙	⊙	⊙	⊖
C	Environmental Settings: <i>Enfranchisement + Neighbourhood development</i>	Beach cleaning/litter picking	⊖	⊖	-	⊖	⊖	⊖
C	Environmental Settings: <i>Recreation/tourism</i>	Many opportunities for recreation: incl. sunbathing, walking, camping, boating, fishing, birdwatching etc.	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
C	Environmental Settings: <i>Physical/mental health + Security and freedom</i>	Opportunities for exercise, local meaningful space, wilderness, personal space	⊙	⊙	⊖	⊙	⊙	⊖
C	Environmental Settings: <i>Education/ecological knowledge</i>	Resource for teaching, public information, scientific study	⊙	⊙ *	⊙	⊖	⊙	⊖

† Includes sandy beaches; † Includes fringing beaches, dunes, machair lochs; § Includes shingle beaches; ** Includes small islands.

Fonte: UK NEA, (2011) Capitolo 11, p. 431-432

Partendo dalla sopracitata classificazione, si è proceduto alla valutazione dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello allo scopo di integrarla nell'analisi economica; a tal fine, si è utilizzato un approccio focalizzato sulla identificazione dei servizi ecosistemici finali i quali costituiscono l'input per la produzione dei beni.

Per l'integrazione della valutazione economica con quella dei servizi ecosistemici è stato necessario:

- delineare i servizi ecosistemici intermedi e i servizi ecosistemici finali relativi alle zone umide
- identificare i beni che arrecano benessere e quindi suscettibili di valutazione
- individuare gli studi primari per procedere successivamente all'applicazione del benefit transfer.

2.4.1. Identificazione SE e studi primari

Per la valutazione dei SE della Laguna di Orbetello si è proceduto all'identificazione dei beni e servizi attraverso l'ausilio della letteratura in materia (Bateman et al., 2011; de Groot et al., 2002) e di alcuni database disponibili sia a livello globale che nazionale, come l'Ecosystem Service Valuation Database (ESVD), Envalue, The Valuation Study Database for Environmental Change in Sweden (ValueBase^{SWE}). Inoltre, si è effettuata una selezione manuale attraverso la letteratura e report disponibili che contenessero le fonti dei valori monetari, ad esempio l'Appendice 1 del "Economic Assessment of Freshwater, Wetland and Floodplain (FWF) Ecosystem Service" di Morris e Camino

(2011), l'Appendice 2 di "The economic value of environmental change in Sweden. A survey of studies" di Sundberg e Söderqvist (2004) e l'Allegato B del "The Economics of valuing ecosystem services and biodiversity" del TEEB (2010), Capitolo 5.

L'ESVD è la raccolta dei valori stimati dei servizi ecosistemici a livello globale effettuata dal TEEB ed è composto da 267 studi primari e circa 1310 valori monetari. I principali ambienti naturali oggetto del database sono: sistemi marini, barriere coralline, mangrovie, zone umide interne, fiumi e laghi, foreste tropicali, altre foreste, boschi, praterie e sistemi polari. Per ogni tipologia ambientale, i 22 servizi ecosistemici individuati dal TEEB sono organizzati in una raccolta di dati che specificano il contesto di studio, le variabili economiche, il metodo di valutazione, i dettagli del luogo dell'area di studio, le referenze degli studi primari (Van der Ploeg, 2010).

Envalue è un database di valutazione ambientale consultabile on-line e sviluppato da New South Wales Environment Protection Authority (NSW EPA); rappresenta una collezione sistematica di studi primari di valutazione ambientale (<http://www.environment.nsw.gov.au/envalueapp/>).

ValueBase^{SWE} è il risultato del rilevamento di studi di valutazioni economiche empiriche sui cambiamenti ambientali in Svezia; esso è stato sviluppato da Beijer Institute of Ecological Economics con un progetto finanziato dal Swedish Environmental Protection Agency. ValueBase^{SWE} è un database in formato Microsoft Excel costituito da due fogli: il primo contiene informazioni inerenti agli studi (autore, anno di pubblicazione, anno del rilevamento, metodo utilizzato, valori ottenuti, area di studio, ecc.) e il secondo include una lista di abbreviazioni e acronimi utilizzati per facilitare la lettura (<http://www.beijer.kva.se/valuebase.htm>).

Gli studi primari presi come riferimento sono stati sottoposti a un processo di catalogazione e valutazione che ha consentito la creazione di database finalizzato alla realizzazione di questa ricerca costituito ad hoc dalla selezione dei dati degli studi dei database precedentemente presi in esame; questo è il risultato dell'output di ricerca di studi di valutazione simili per contesto e risorsa.

La principale difficoltà riscontrata è stata la non omogeneità di classificazione e nomenclatura dei vari servizi ecosistemici finali dovuta alla consultazione di varie fonti e, in alcuni casi, la mancanza di informazioni dettagliate. Nonostante ciò, l'utilizzo di assunzioni e criteri sottostanti l'architettura del processo di catalogazione dei dati hanno permesso la creazione di un nuovo database utilizzato successivamente come base di partenza per l'applicazione del BT. Di seguito si esporrà la procedura messa in pratica per la raccolta di dati.

I "criteri ideali" da tenere in considerazione per la validità del processo di BT sono l'identica equivalenza tra le risorse, i siti oggetto di studio, le popolazioni di riferimento e le misure di benessere scelte per ottenere le stime. Questi requisiti sono difficili da rintracciare, per questo si prendono in considerazione i criteri generici: similarità delle risorse oggetto di studio, delle caratteristiche socio-

economiche, delle condizioni strutturali, ambientali e di contesto; le stime dello studio primario devono essere state condotte con modalità tecnicamente soddisfacenti.

In generale, il criterio centrale di catalogazione degli studi è consistito nel fatto che le stime contenute nei dati afferissero a beni ambientali (lagune, stagni costieri) situati sul territorio europeo. La determinazione del perimetro europeo come limite di raccolta, in ordine all'origine di studi inventariati, è dovuta alla consapevolezza che un processo di trasferimento che avesse varcato i confini europei sarebbe potuto incorrere in errori di trasferimento ancora maggiori di quelli che già deve affrontare. Inoltre, questo ha consentito di ottenere un numero maggiore di dati da cui partire rispetto ad una circoscrizione nazionale grazie alla propensione di determinati Paesi ad effettuare valutazioni ambientali.

Successivamente, si è proceduto alla selezione dei dati contenuti nei database di riferimento. L'impostazione dell'ESVD ha facilitato la ricerca di selezione degli studi primari; attraverso l'utilizzo della funzione filtri in excel, si sono impostati quattro criteri di ricerca. Il primo inerente al tipo di ambiente naturale considerato ("Costal wetland"), il secondo inerente al tipo di ecosistema ("tidal", "mangroves", "salt water wetland"), il terzo concernente l'area geografica di riferimento ("Europe") e il quarto riguardante il metodo di valutazione ("deselezionato il BT").

Per Envalue si è utilizzato un criterio di ricerca sulla lista degli oggetti di valutazione raccolti (es. qualità dell'aria, qualità dell'acqua, qualità del suolo, aree naturali, ecc.); in particolare dal menù a tendina si è selezionato "Natural areas" e la sottocategoria "Wetlands". Successivamente si è proceduto ad una selezione in base al Paese e attraverso l'elaborazione dei dettagli offerti, soprattutto l'attinenza dell'oggetto di valutazione e la locazione del sito.

Per ValueBase^{SWE} attraverso l'utilizzo della funzione filtri in excel sono stati selezionati solo gli studi primari (type of study=primary) riguardanti le zone umide (General environmental asset=wetland); per comprendere la valutazione degli studi ottenuti è stata utilizzata l'Appendice 2 del documento guida del database.

In un secondo momento, si è proceduto all'integrazione di dati ottenuti dai database con la letteratura relativa alla valutazione dei servizi ecosistemici delle zone umide; in particolare, dalla ricerca è emerso valutazioni dei SE effettuate in passato sulla Laguna di Orbetello. La tabella 4 riassume l'output ottenuto dal processo di selezione degli studi primari e le informazioni relative alla tipologia del SE (R= Regulating, P=Provisioning, C=Cultural), alcuni dettagli degli studi primari presi come riferimento (località dello "study site", Paese, valori e il loro anno di riferimento, metodo di valutazione, unità di misura, valuta, autore, anno di pubblicazione). Gli studi originali da cui si è deciso di attingere sono frutto di una selezione accurata di studi accreditati forniti da enti e istituti che si occupano di valutazione ambientale; questo è una garanzia per quanto riguarda i dati di valutazione

poiché essi si rifanno, nella maggior parte dei casi, all'utilizzo di metodi diretti e indiretti che seguono fedelmente i più accreditati protocolli standard internazionali per l'implementazione delle varie procedure di valutazione.

Tab. 4 – Studi primari di partenza per l'applicazione del BT.

SERVIZI ECOSISTEMICI				INFORMAZIONI SUL VALORE							FONTE	
Gruppo SE	Beni/Benefici	Località " study site"	Paese	Anno di riferimento	Metodo di valutazione	Info	Tipo valore	Valore	Unità	Valuta	Autori	Anno di pubblicazione
P	Pesca e acquacoltura	Orbetello	Italia	2012	Prezzo di mercato	quantitativo annuo di produzione (2300 q di orata e 1100 q di spigola) e del prezzo unitario (7,30 €/kg per l'orata e 7,90€/kg per la spigola) al netto del 10% di IVA.	annuale	2.293.200,00	€/anno	Euro	Postiglione C.	2012
R	Rimozione azoto (N)	Orbetello	Italia	2009-2012	Costo di rimpiazzo	costo medio annuo per la rimozione artificiale di N su scala europea per il periodo 2009-2012 è di 4,40 €/kg; capacità di accumulo medio annuo di N di 19.325 KgN y-1	annuale	85.030,00	€ anno-1	Euro	Postiglione C.	2012
R	Rimozione fosforo (P)	Orbetello	Italia	2009-2012	Costo di rimpiazzo	costo medio annuo per la rimozione artificiale di P su scala europea per il periodo 2009-2012 è di 9,03€/kg; capacità di accumulo medio annuo di P di 546 KgP y-1	annuale	4.930,00	€ anno-1	Euro	Postiglione C.	2012
R	Assorbimento CO2	Costa indiana	India	2018	Costo di rimpiazzo	efficienza di assorbimento e quella di emissione di CO2 macroalghe verdi: 4.10 e 0 mg/g/h; prezzo carbonio a tonnellata di 14,90 €	annuale	1.114.892,50	€/anno	€	Kaladharan P., Veena S., Vivekanandan E.,	2009
R	Rimozione sostanze inquinanti	Mare dei Wadden	Paesi Bassi	1990	Costo di rimpiazzo		annuale	4.500,00	\$/ha/anno	Dollaro statunitense	De Groot	1992
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)	Coste della Gran Bretagna	Regno Unito	2004	Costo opportunità		annuale	7.100,00	£/ha/anno	Sterlina britannica	Beaumont, N.J., M.C. Austen, S.C. Mangi and M. Townsend	2008
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)	Costa di Essex	Regno Unito	2007	Costo di rimpiazzo		annuale	8.312,66	\$/ha/anno	Dollaro statunitense	King, S.E. and J.N. Lester	1995
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)	Bacino del Tamar	Regno Unito	2009	Costo opportunità		annuale	12.500,00	£	Sterlina britannica	Everard, M.	2009
P/R	Condizioni ambientali ottimali per i pesci	Laguna di Venezia	Italia	2007	Esperimento di scelta	area rifugio pesci	annuale	30,36	\$/ha/anno	Dollaro statunitense	Nunes P , Rossetto L., de Blaeij A.	2004
C	Attività ricreativa	Broadland	Regno Unito	1991	Valutazione contingente	domanda open ended (OE)	annuale	77,00	£ /persona	Sterlina britannica	Gren I.M., Folke C., Turner K., Batemen I	1994
						domanda interative bidding (IB)		84,00				
						domanda dichotomous choice (DC)		244,00				
C	Valore di non uso: habitat	Norfolk Broads	Regno Unito	2001	Valutazione contingente	DAP media per preservare l'area dal rischio inondazione	annuale	26.16	£	Sterlina britannica	Bateman J., Langford H.	1997

Nei seguenti paragrafi si esporrà in dettaglio gli studi primari selezionati: pesca ed acquacoltura, rimozione azoto (N), fosforo (P) e assorbimento CO₂ da parte delle alghe; questi sono stati scelti poiché un mutamento delle condizioni ambientali potrebbe incidere sulla presenza di biomassa algale (es. eutrofizzazione delle acque) e di conseguenza sui valori dei servizi offerti all'uomo. Data la disponibilità di dati rintracciati, si sono analizzati ulteriori servizi forniti dalle zone umide tra cui le condizioni ambientali ottimali per i pesci, la mitigazione degli eventi estremi (prevenzione alluvioni, protezione da tempeste), trattamenti dei rifiuti e rimozione sostanze inquinanti, attività ricreativa, e, infine, il valore di non uso.

2.4.2. Pesca ed Acquacoltura

La pesca e l'acquacoltura in Laguna è sempre stata la principale risorsa della popolazione locale, che ha ideato nel tempo sistemi semplici ed efficaci per catturare i pesci che spontaneamente entrano in laguna dal mare. Lo studio primario di Postiglione (2012) preso a riferimento stima attraverso la Valutazione di Mercato diretta il valore del pescato nella Laguna di Orbetello con anno di riferimento 2012; in particolare, si fa riferimento alle due specie maggiormente allevate, la spigola e l'orata, che rappresentano oltre il 90% degli introiti derivati dalla vendita dei prodotti ittici lagunari. Il SE "prodotto ittico" erogato dalla LO ha un valore di 2.293.200 €. Questo valore deriva dal prodotto del quantitativo annuo di produzione (2300 q di orata e 1100 q di spigola) e del prezzo unitario (7,30 €/kg per l'orata e 7,90€/kg per la spigola) al netto del 10% di IVA.

Nel 2017 il prezzo di mercato (acquacoltura) di spigola e orata nel centro Italia (Toscana, Umbria, Marche, Lazio) è cresciuto con valori che variano a seconda del peso; la variazione di prezzo della spigola ha un intervallo tra i € 7,50 e i € 9,60, mentre per l'orata si è avuta un'oscillazione tra i € 6,90 e i € 8,90 (<http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/9721>).

Per questo motivo, si è resa necessaria la rivalutazione monetaria attraverso l'Indice dei prezzi al consumo per le Famiglie di Operai e Impiegati (Foi) con l'esclusione dei tabacchi dal paniere forniti dall'ISTAT. Il valore risultante aggiustato al 2018 è di 2.359.702,80 €/anno.

2.4.3. Rimozione azoto e fosforo da parte delle alghe

Nutrienti come azoto e fosforo vengono facilmente rimossi dal materiale organico presente nelle zone umide, in particolare le alghe presenti accumulano questi elementi sottraendoli all'ecosistema. Questo evita di sostenere i costi relativi ad operazioni di rimozione chimica o meccanica dei nutrienti, di gran

lunga maggiori ai costi relativi alla manutenzione e al mantenimento di un ecosistema ecologicamente sano (Gray, 2006; Bryhn, 2009).

Il metodo utilizzato per valutare il servizio di rimozione di azoto (N) e fosforo (P) da parte delle alghe è stato il Costo di rimpiazzo. Il costo medio annuo per la rimozione artificiale di N e P su scala europea per il periodo 2009-2012 è rispettivamente di 4,40 €/kg e 9,03€/kg. Data la capacità di accumulo medio annuo di N atomico da parte delle alghe della Laguna di Orbetello di 19.325 Kg_N anno⁻¹ e moltiplicando per il costo medio di rimozione di azoto, si calcola il valore del SE “rimozione azoto” di 85.030 € anno⁻¹. Con lo stesso procedimento, dato il costo medio di rimozione di fosforo e la capacità di accumulo medio annuo di P di 546 Kg_P anno⁻¹, si calcola il valore del SE “rimozione fosforo” di 4.930 € anno⁻¹. In totale, l’azione delle alghe della LO fornisce un servizio di allontanamento dei nutrienti di circa 90.000 € l’anno (Postiglione, 2012). Applicando la rivalutazione monetaria al 2018, il valore ammonta a 88.686,29 € l’anno per la rimozione del N e 5.141,99 € l’anno per quella del P.

2.4.4. Assorbimento CO₂ da parte delle macroalghe

Il diossido di carbonio (CO₂) è uno dei più importanti gas serra, il cui aumento in atmosfera è associato al cambiamento climatico e al riscaldamento globale (Moreira e Pires, 2016). Le macroalghe hanno un grande potenziale per l’abbattimento di CO₂ (Gao e McKinley, 1994). Su scala temporale geologica, la rimozione di CO₂ in atmosfera richiede l’assorbimento marino, perché l’assorbimento terrestre implica il rilascio di CO₂ dagli oceani per bilanciare la decrescita della concentrazione in atmosfera (Broecker, 1982; Broecker & Denton, 1989).

Per il calcolo dell’assorbimento di CO₂ da parte delle alghe può essere utilizzato come riferimento sia il tasso fotosintetico che l’efficienza di assorbimento e di emissione. Si è preferito utilizzare la seconda metodologia poiché essa tiene conto del saldo tra la cattura e l’emissione.

Il tasso fotosintetico può essere usato come un indicatore di capacità di cattura di CO₂. Per le alghe verdi (*Chlorophyta*) il tasso varia da 400-1800 μmol CO₂ g (peso fresco)⁻¹ h⁻¹, per le alghe brune (*Phaeophyta*) 100-1670 μmol CO₂ g (peso fresco)⁻¹ h⁻¹ e per le alghe rosse (*Rhodophyta*) il tasso è di 250-2232 μmol CO₂ g (peso fresco)⁻¹ h⁻¹ (Gao e McKinley, 1994).

Il procedimento utilizzato per stimare la quantità di CO₂ assorbita dalla biomassa algale è stato quello di prendere come riferimento le stime di cattura di CO₂ effettuate su specie macroalgali della costa Indiana. Tali stime mostrano, per tipologia di macroalghe e quantità presa come riferimento per lo studio, l’efficienza di assorbimento e quella di emissione di CO₂ riassunte in figura 12. In questo caso

si è preferito utilizzare come fonte di riferimento le tipologie delle alghe rispetto alla territorialità dello studio condotto per le informazioni dettagliate contenute nello studio di Kaladharan et al. (2009) inerenti alla capacità di stoccaggio/emissione di CO₂ delle varie specie di macroalghe.

Figura 12 – CO₂ totale assorbita (t/day) ed emessa (t/day) da biomasse algale lungo le coste Indiana

Type of seaweeds	Standing crop(t)*	Efficiency to absorb (mg/g/h)	CO ₂ absorbed (t/day)	Efficiency emit to (mg/g/h)	CO ₂ emitted (t/day)
Red algae	36523	1.60	584	1.0	365
Brown algae	41740	2.35	981	0	0
Green algae	182613	4.10	7487	0	0
Total	260876	8.05	9052	1.0	365

Fonte: Kaladharan et al., 2009

Volendo calcolare la CO₂ assorbita dalle alghe verdi, quelle maggiormente presenti in laguna, per la media annua raccolta che ammonta a circa 5000 t/anno, si è proceduto con il seguente procedimento:

$$\text{Net Carbon Credit (t/day)} = \text{CO}_2 \text{ assorbita (t/day)} - \text{CO}_2 \text{ emessa (t/day)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ assorbita} = \text{t alghe} * \text{efficienza di assorbimento (mg/g/h)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ emessa} = \text{t alghe} * \text{efficienza di emissione (mg/g/h)}$$

Per il calcolo del servizio di assorbimento della CO₂ da parte delle alghe è stato necessario utilizzare il prezzo del carbonio a tonnellata che è soggetto ancora oggi ad un grande dibattito. È doveroso a questo punto esporre i valori di riferimento più citati in letteratura: essi risultano molto differenti tra loro a seconda del periodo e delle assunzioni effettuate negli studi.

Il cambiamento climatico è stato definito “il più grande fallimento di mercato mondiale mai esistito” (Stern, 2006) e “la madre di tutte le esternalità” (Tol, 2009), e molti studi hanno provato a stimare il suo costo economico. La letteratura propone due metodologie per il calcolo delle stime, una basata sul costo del danno evitato, da cui deriva il Social Cost Carbon (SCC), e un'altra che utilizza il costo marginale di abbattimento. Il SCC si riferisce alla stima del valore monetario del danno prodotto dalle emissioni di CO₂ antropogeniche; il SCC è definito come il valore monetario marginale del danno prodotto dall'emissione di 1 tonnellata di CO₂ in un dato periodo di tempo (Pearce, 2003).

Il SCC è valore di riferimento molto importante per calcolare il punto di pareggio (break- even point) degli investimenti socialmente ottimali per ridurre le emissioni dei gas serra, ad esempio nel settore energetico con l'efficienza e il miglioramento energetico e le risorse rinnovabili. In altre parole, le politiche ottimali possono essere determinate con il SCC: un alto valore significa che gli investimenti

avranno un alto tasso di rendimento in termini di danni economici futuri evitati. Inoltre, il SCC è il punto di partenza per fissare la tassa volta a ridurre le emissioni dei gas serra la quale può portare ad una transizione della produzione e dei consumi verso un'economia carbon free.

Più di 300 stime del SCC sono attualmente disponibili ed esse derivano dalla varietà di assunzioni circa le categorie di impatto climatico, il tasso di sconto sociale, l'incertezza e l'avversione al rischio. Questo tiene acceso il dibattito sulla quantificazione del vero valore che si trasferisce inevitabilmente nella sfera politica e nelle decisioni dei progetti di investimento.

Nel 2013 un Gruppo di esperti dell'US Environmental Protection Agency (EPA) hanno proposto 3 stime centrali del SCC: US\$11, US\$33 e US\$52 (anno di riferimento 2010) associati ad un tasso di sconto rispettivamente del 5%, 3% e 2.5%. Un quarto valore di US\$90, che corrisponde alla media del 95° percentile ad un tasso di sconto del 3%, è stato incluso per rappresentare un più alto impatto atteso. Queste stime giocano un ruolo fondamentale nella preparazione delle politiche climatiche (van den Bergh e W.J. Wouter Botzen, 2014).

Il recente rapporto (maggio 2018) "State and Trends of Carbon Pricing" del World Bank in collaborazione con Ecofys, mostra come il prezzo del carbonio varia sostanzialmente da poco più di 1\$/tCO₂ a 139\$/t CO₂ in base al Paese considerato come mostra la figura. Nonostante gli sviluppi degli ultimi anni, la maggior parte degli Stati hanno un prezzo del carbonio molto inferiore a quello previsto per essere in linea con le temperature previste nell'Accordo di Parigi (40-80 \$/tCO₂ entro 2020).

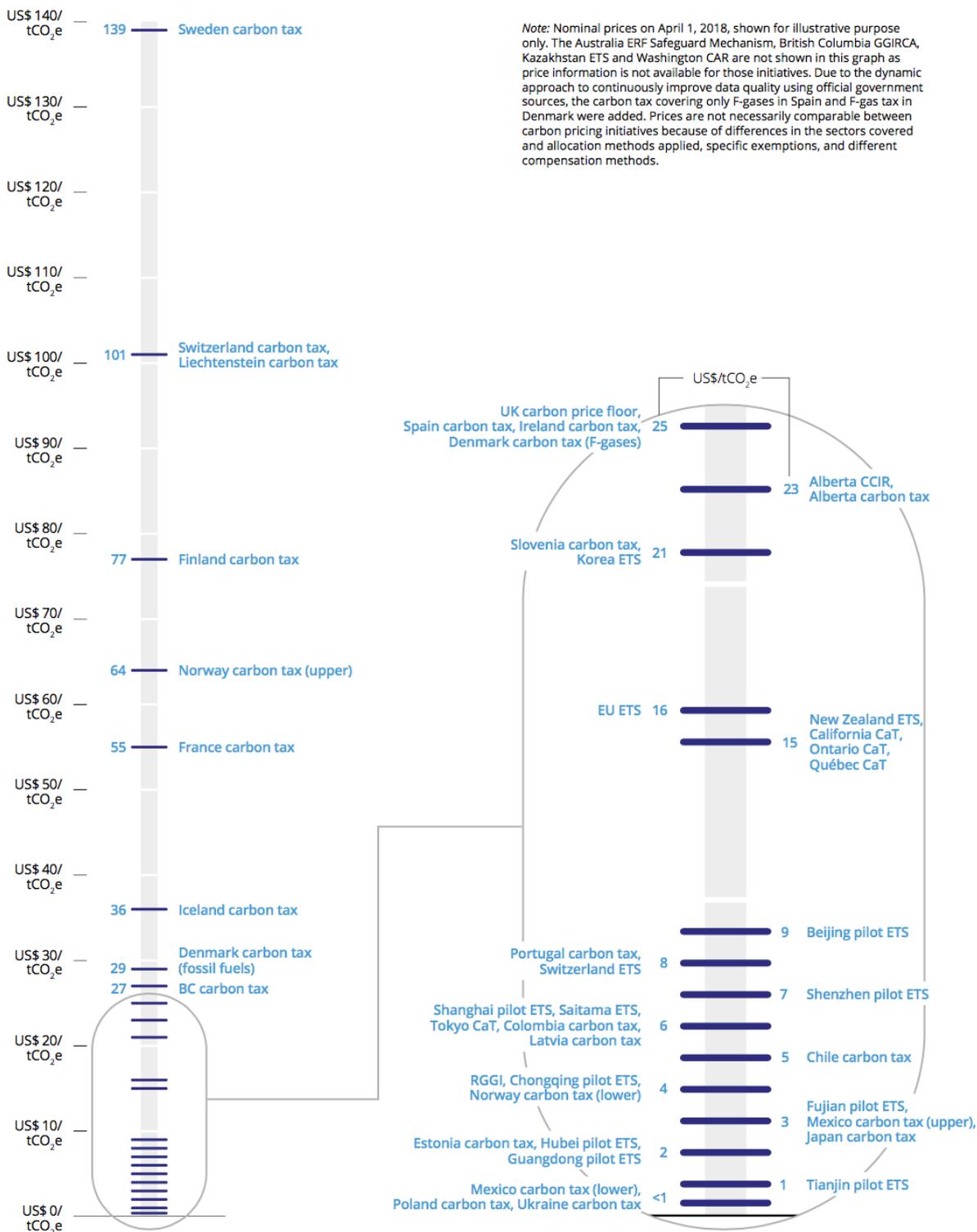
L'European Union Allowance (EUA), ente responsabile della rilevazione della carbon price per l'Unione Europea, fornisce statistiche con prezzi che variano da 1 a 40 euro per tonnellata di CO₂.

Altri valori di SCC da prendere come riferimento sono US\$ 5, 50 e 312 (Pearce, 2003; Tol, 2005; Stern, 2007 rispettivamente) per tonnellata di CO₂. Tol (2008) suggerisce un valore medio per tonnellata di carbonio di US \$ 75,4 e precisa che nello stimare il SCC è opportuno considerare il tasso di sconto, i pesi del capitale e il grado di incertezza; inoltre, dato che molti studi non specificano l'anno in cui il costo del danno si riferisce, suggerisce che "SCC is expressed in US\$ of around 1995 and hold for emissions around the year 2000".

Il British Department of Energy and Climate Change (DECC) fornisce una valutazione del carbonio dal 2008-2100, distinguendo tra breve e lungo periodo, utilizzando il metodo del costo marginale di abbattimento; questa valutazione, recependo il Pacchetto Clima Energia dell'UE (2008) porta con sé la separazione tra traded (ad esempio emissioni coperte dall'EU Emission Trading System) e non-traded sector (ad esempio emissioni escluse dall'EU Emission Trading System). Nel breve periodo, nel 2020, il prezzo del carbonio è stimato dai 19-35 £/tCO₂ (traded) e dai 32-95 £/tCO₂ (non-traded);

nel lungo periodo, il prezzo è stimato in media: nel 2030, 74 £/tCO₂ e nel 2050 di 212 £/tCO₂ sia per il traded che per il non-traded (DECC, 2011).

Figura 13 – Prezzi del carbonio per tonnellata di CO₂



Fonte: World Bank, 2018

In questo studio, si è assunto il valore della tonnellata di carbonio di 34 €/tCO₂ (40\$ tCO₂). Il valore del SE “cattura CO₂” fornito dalla Laguna di Orbetello ammonta a 2.544.050 €/anno (942 € ha⁻¹ anno⁻¹).

2.4.5. Condizioni ambientali ottimali per i pesci

Un altro dei servizi finali offerti dall'ecosistema lagunare è la biodiversità di flora e fauna. In parte, la sua formazione deriva dal servizio ecosistemico intermedio detto "nursery ground for fish" cioè la fornitura di condizioni ambientali ideali per la sopravvivenza di alcune specie di pesci (TEEB, 2010). Molti ecosistemi, specialmente le zone umide costiere, forniscono i “nursery services” e condizioni ottimali per la crescita di specie le quali, una volta adulte, sono raccolte o per motivi di sussistenza o per motivi commerciali¹ (de Groot et al, 2002). Sfortunatamente, i “nursery services” di molti ecosistemi sono spesso ignoti o ignorati e di conseguenza le aree contenenti tali servizi sono trasformate al fine di ottenere maggiori utilizzi economici diretti; questo porta a disastrose conseguenze ecologiche e socio-economiche, si pensi ad esempio al prosciugamento delle lagune delle mangrovie (Gilbert & Janssen.,1997 in de Groot et al, 2002).

Lo studio di Nunes et al. (2004) ha evidenziato che l’adozione di metodi di pesca manuali, più sostenibili e associati a minori danni ambientali degli ecosistemi lagunari, portano ad una perdita di benessere di 5.904 € per pescatore l’anno. Questo risultato è stato ottenuto attraverso l’utilizzo del metodo dell’esperimento di scelta in Laguna di Venezia considerando la popolazione di pescatori di 2000 persone. Combinando il valore stimato con il numero totale di pescatori operante in Laguna di Venezia al tempo dell’indagine, la perdita di benessere associate all’adozione di sistemi di pesca meno invasivi ammonta a 11.800.000 € l’anno. In questo studio, il servizio valutato è il mantenimento delle condizioni ambientali per la crescita delle specie commercializzabili. Questo importo può essere interpretato come il valore monetario dell’habitat che a causa dell’attività umana viene meno e in cui determinate specie vivono (valore di 30,36 \$/ha/anno, anno di riferimento 2007 fornito dal ESVD). Secondo l’approccio economico che si pone la valutazione di quei beni che generano benessere dalla loro fruizione, il servizio “condizioni ambientali ottimali per i pesci” deve essere considerato un servizio intermedio che favorisce la crescita di specie, ad esempio i pesci, le quali possono essere considerati come “beni” una volta pescati. Per questo motivo, si è deciso di non includere tale servizio

¹ Many ecosystems, especially coastal wetlands, provide breeding and nursery areas to species which, as adults, are harvested elsewhere for either subsistence or commercial purposes.

nella valutazione dei SE.

2.4.6. Rimozione sostanze inquinanti

In misura limitata, i sistemi naturali sono capaci di immagazzinare e riciclare determinate quantità di rifiuti umani organici e inorganici attraverso la diluizione, assimilazione e ri-composizione chimica; per esempio, le foreste filtrano il pulviscolo nell'aria e le zone umide e altri tipi di ecosistemi acquatici possono trattare grandi quantità di rifiuti organici derivanti dalle attività umane svolgendo il ruolo delle piante per la potabilizzazione dell'acqua in modo "gratuito"² (de Groot et al, 2002).

Lo studio originale di de Groot (1992) contiene la valutazione attraverso la metodologia del costo di rimpiazzo dell'attività di purificazione delle sostanze inquinanti fornita dai Mari dei Wadden, un'area umida di 270.000 ettari nel nord dei Paesi Bassi. A causa dell'indisponibilità dello studio originale, si fa riferimento alla stima fornita dal ESVD di 4500 \$/ha/anno (anno di riferimento 1990) per l'azione di rimozione dei rifiuti, valore che deve essere considerato con cautela per la mancanza di informazioni aggiuntive e che potrebbe incorporare il calcolo delle componenti di fosforo e azoto già precedentemente calcolato.

2.4.7. Attenuazione di eventi estremi

Data la chiara consapevolezza del legame tra la struttura biogenetica delle zone costiere e lagunari e l'attenuazione dei danni causati da eventi estremi che con il cambiamento climatico sono cresciuti di intensità e frequenza, per il calcolo del servizio di mitigazione e in particolare di prevenzione delle inondazioni si sono considerati gli studi di Beaurmont et al. (2008), Everard (2009) e King & Lester (1995). Essi illustrano la valutazione dei servizi di prevenzione e il controllo degli eventi estremi come alluvioni e inondazioni da parte delle aree costiere della Gran Bretagna. I valori stimati sono rispettivamente 7.100 £/ha/y, 12.500 £ l'anno e 8.312,66 \$/ha/y. Il primo studio è molto generale e considera le aree marine dell'intera isola britannica, il secondo fa riferimento ad una zona ad alto rischio alluvioni, cioè il bacino del fiume Tamar nell'Inghilterra sud-occidentale, e il terzo considera

² “wetlands and other aquatic ecosystems can treat relatively large amounts of organic wastes from human activities acting as ‘free’ water purification plants.”

le coste dell'Essex, una contea nell'Inghilterra orientale con forte presenza di zone umide. Per l'applicazione del BT si assumerà come riferimento il valore medio del primo e terzo studio.

2.4.8. Attività ricreativa e qualità ambientale

Lo studio di Gren et al. (1994) contiene un esperimento di valutazione contingente per stimare la disponibilità a pagare (DAP) per la conservazione del Broadland, una zona umida in Gran Bretagna. Lo studio si focalizza sul valore ricreativo e ambientale che essa fornisce (valore di non-mercato), cioè *“the value of conserving the secondary wetland values of recreation and amenity”* (Turner et al., 1995). Broadland è un'area ad alto valore strutturale e funzionale; essa è protetta dalla Convenzione di Ramsar, è stata designata come *“area a rischio ambientale”* nel 1986 e al suo interno sono situate tre riserve nazionali naturali. L'area è di grande importanza sia per l'industria agricola regionale, soprattutto per la popolazione locale, ma è anche un centro per l'attività ricreativa e il turismo. A causa dell'aumento dell'attività produttiva, degli scarichi, del maggior turismo e del maggior uso di risorse della zona, si sono verificati degli effetti negativi come l'eutrofizzazione, la crescita algale e la loro decomposizione, la perdita di vegetazione e di organismi. È un'area che per certi aspetti assomiglia molto alla Laguna di Orbetello e per questo si è scelto di includerla nello studio.

L'indagine è stata condotta ai visitatori e non con differenti metodologie di domanda, cioè con domanda aperta (OE), gioco interattivo (IB), domanda chiusa (DC); la DAP media per la conservazione del Broadland nelle condizioni all'epoca dell'indagine è risultata essere rispettivamente £ 77, 84 e 244 per famiglia l'anno (anno di riferimento 1991). Effettuando la media dei valori e le opportune rivalutazioni e conversioni si ottiene una DAP media di 166,69 € a persona l'anno.

2.4.9. Valore di non uso

Lo study site preso come riferimento è lo studio effettuato da Bateman e Langford (1997); esso è un'applicazione del metodo della Valutazione Contingente per esaminare il valore di non-uso per preservare il Norkfolk Broads, un'area umida di importanza internazionale del Regno Unito, dal rischio di inondazioni. Inoltre, dal 1950 al 1960, il sito ha sofferto di un forte problema di eutrofizzazione dovuto principalmente agli scarichi civili e industriali ad ulteriore conferma della similarità con il *“policy site”*.

I risultati hanno mostrato che il campione di riferimento che ha partecipato al sondaggio per mail

(310 osservazioni utilizzabili) è disposta a pagare in media £ 26 l'anno per la preservazione dell'area. Effettuando la conversione in euro e applicando la rivalutazione monetaria, la DAP risulta essere 32,30 € l'anno a persona.

2.5. Stima del valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello

2.5.1. Criteri e trattamento dei dati

La manipolazione dei valori ottenuti e presi come base di partenza ha riguardato principalmente la conversione delle valute e la rivalutazione monetaria. I risultati delle ricerche empiriche riportate nel database fanno riferimento a due tipologie di dati: una riferita alla serie storica inerente all'Italia e una alla serie spaziale che mette in relazione l'Italia con altri Paesi (UK, Paesi Bassi).

Per la serie storica, cioè dati facenti riferimento ad anni diversi e allo stesso Paese, è stato necessario adattare i valori al livello medio dei prezzi correnti dell'anno 2017. Per inflazione si intende l'aumento del livello generale dei prezzi di un paniere di beni e servizi, che ha come conseguenza primaria la diminuzione del potere d'acquisto della moneta. In questo caso, la rivalutazione monetaria è stata effettuata attraverso l'utilizzo l'Indice dei prezzi al consumo per le Famiglie di Operai e Impiegati (FOI) con esclusione dei tabacchi. In questo modo possiamo aggiustare il valore di misura relativa all'anno monetario x al livello dei prezzi dell'anno 2017. L'indice FOI utilizzato relativo al 2017 è 1,022.

Per le serie spaziali, le rivalutazioni monetarie sono state effettuate attraverso l'utilizzo degli indici di Parità del Potere d'Acquisto (PPA), in inglese Purchasing Power Parities (PPPs), cioè dei tassi di conversione di valute che consentono di eguagliare il potere d'acquisto di differenti valute eliminando le differenze nel livello dei prezzi tra Paesi; nel caso specifico sono stati applicati i PPA forniti dall'Eurostat-OECD pari a 0,815 per i Paesi Bassi e 0,713 per il Regno Unito (<https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm#indicator-chart>).

Per le conversioni delle valute è stato utilizzato il cambio euro/dollaro di 1,17 e euro/sterlina di 1,1359.

Il criterio utilizzato per le rivalutazioni monetarie è stato quello di considerare l'anno d'indagine dello studio primario o, in assenza di questa, l'anno di pubblicazione.

La tabella 5 riassume il gruppo di riferimento del SE, i benefici economici forniti dai beni e servizi considerati e il corrispondente valore annuo e per ettaro assumendo 2700 ettari come area di estensione e la popolazione di 14.744 abitanti.

Tab. 5 – Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello

Gruppo SE	Beneficio Economico	Valore economico (€/anno)
P	Pesca e acquacoltura	2.343.650,40
R	Rimozione azoto (N)	86.900,66
R	Rimozione fosforo (P)	5.038,46
R	Assorbimento CO2	1.114.892,50
R	Rimozione sostanze inquinanti	12.741.859,37
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)	26.904.714,64
C	Attività ricreativa	2.457.646,76
C	Valore di non uso: habitat	476.237,33

Gruppo SE	Beneficio Economico	Valore economico (€/ha/anno)
P	Pesca e acquacoltura	868,02
R	Rimozione azoto (N)	32,19
R	Rimozione fosforo (P)	1,87
R	Assorbimento CO2	412,92
R	Rimozione sostanze inquinanti	4.719,21
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)	9.964,71
C	Attività ricreativa	166,69
C	Valore di non uso: habitat	32,30

2.5.2. Stima del valore totale della LO

Per la quantificazione del valore totale della Laguna di Orbetello si è proceduto iniziando da un approccio cautelativo inserendo nel calcolo i valori relativi al sito della LO per poi aggiungere i valori ricavati con la procedura del BT; questo procedimento è stato messo in atto al fine di ottenere un intervallo minimo e massimo del valore totale dei SE della Laguna.

Nel primo scenario “A” si sono inclusi i benefici derivanti dalla pesca e acquacoltura, la rimozione di azoto e fosforo e l’assorbimento della CO₂ da parte delle alghe; il valore economico totale della LO ammonta a 3.550.482 € l’anno (1.315 €/ha/y). A questo valore si è aggiunto l’attività ricreativa e il servizio di moderazione di eventi estremi ottenendo un VET rispettivamente pari a 6.008.129 € (2.225 €/ha/y) e 30.455.196 € l’anno (11.280 €/ha/y) che per chiarezza chiameremo scenario “B” e “C”. Lo scenario “D” considera la sommatoria dei benefici finora considerati con un valore dei

servizi ecosistemici di 32.912.843 € l'anno (12.180 €/ha/y). La tabella 6 riassume gli scenari A, B, C e D.

Tab. 6 – Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello considerando lo scenario A, B, C e D

Gruppo SE	Beneficio Economico	Scenario cautelativo	Scenario cautelativo + attività ricreativa	Scenario cautelativo + moderazione eventi estremi	Scenario cautelativo + moderazione eveni estremi + attività ricreativa
		A	B	C	D
P	Pesca e acquacoltura	2.343.650,40	2.343.650,40	2.343.650,40	2.343.650,40
R	Rimozione azoto (N)	86.900,66	86.900,66	86.900,66	86.900,66
R	Rimozione fosforo (P)	5.038,46	5.038,46	5.038,46	5.038,46
R	Assorbimento CO ₂	1.114.892,50	1.114.892,50	1.114.892,50	1.114.892,50
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)			26.904.714,64	26.904.714,64
C	Attività ricreativa		2.457.646,76		2.457.646,76
	Valore Economico Totale (€/anno)	3.550.482,02	6.008.128,78	30.455.196,66	32.912.843,42
	Valore Economico Totale (€/ha/anno)	1.314,99	2.225,23	11.279,70	12.189,94

*La valuta di riferimento è € (anno di riferimento 2017)

Ulteriori scenari sono stati analizzati: in essi i valori della rimozione di fosforo e azoto sono stati sostituiti con il servizio di rimozione sostanze inquinanti al fine di evitare doppi conteggi. In particolare, lo scenario E considera, oltre al suddetto beneficio, la pesca e l'acquacoltura e l'assorbimento di CO₂ da parte delle macroalghe; il valore economico ottenuto ammonta a 16.200.402 € (6.000 €/ha/y). A questo valore si è aggiunto separatamente l'attività ricreativa e il servizio di moderazione di eventi estremi ottenendo un VET rispettivamente pari a 18.658.050 € (6.910 €/ha/y) e 43.105.118 € l'anno (15.9645 €/ha/y) che identificheremo come scenario "F" e "G". Lo scenario "H" considera la sommatoria dei benefici finora considerati con un valore dei servizi ecosistemici di 45.562.764 € l'anno (16.875 €/ha/y). La tabella 7 riassume gli scenari E, F, G e H.

Tab. 7 – Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello considerando lo scenario E, F, G e H.

Gruppo SE	Beneficio Economico	Rimozione sostanze inquinanti	Rimozione sostanze inquinanti + attività ricreativa	Rimozione sostanze inquinanti + moderazione eventi estremi	Rimozione sostanze inquinanti + attività ricreativa + moderazione eventi estremi
		E	F	G	H
P	Pesca e acquacoltura	2.343.650,40	2.343.650,40	2.343.650,40	2.343.650,40
R	Rimozione azoto (N)				
R	Rimozione fosforo (P)				
R	Assorbimento CO2	1.114.892,50	1.114.893,50	1.114.893,50	1.114.892,50
R	Rimozione sostanze inquinanti	12.741.859,37	12.741.859,37	12.741.859,37	12.741.859,37
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)			26.904.714,64	26.904.714,64
C	Attività ricreativa		2.457.646,76		2.457.646,76
	Valore Economico Totale (€/anno)	16.200.402,27	18.658.050,03	43.105.117,91	45.562.763,67
	Valore Economico Totale (€/ha/anno)	6.000,15	6.910,39	15.964,86	16.875,10

Infine, sono stati considerati lo scenario “I” e “J”: ipotizzando che la rimozione di P e N non siano inclusi nella rimozione di sostanze inquinanti, il primo considera nel calcolo tutti i benefici presi in considerazione, mentre il secondo aggiunge allo scenario I il valore di non uso ottenuto dal BT. Il VET risulta essere di 45.654.703 € l’anno (16.909 €/ha/y) e 46.130.940 € l’anno (17.085 €/ha/y). La tabella 8 riassume gli scenari I e J.

Tab. 8 – Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello considerando lo scenario I e J.

Gruppo SE	Beneficio Economico	Rimozione N e P ≠ rimozione sostanze inquinanti	Rimozione N e P ≠ rimozione sostanze inquinanti + valore di non uso
		I	J
P	Pesca e acquacoltura	2.343.650,40	2.343.650,40
R	Rimozione azoto (N)	86.900,66	86.900,66
R	Rimozione fosforo (P)	5.038,46	5.038,46
R	Assorbimento CO2	1.114.892,50	1.114.892,50
R	Rimozione sostanze inquinanti	12.741.859,37	12.741.859,37
R	Moderazioni eventi estremi (alluvioni e inondazioni)	26.904.714,64	26.904.714,64
C	Attività ricreativa	2.457.646,76	2.457.646,76
C	Valore di non uso: habitat		476.237,33
	Valore Economico Totale (€/anno)	45.654.702,79	46.130.940,11
	Valore Economico Totale (€/ha/anno)	16.909,15	17.085,53

Considerando i vari scenari analizzati, il valore dei SE calcolato per la Laguna di Orbetello oscilla da 1.315 ai 16.909 €/ha/anno e un valore medio di 9.963 €/ha/anno. La tabella 9 mostra il valore dei servizi ecosistemici della LO minimo, massimo e medio annuo e per ettaro annuo.

Tab. 9 – Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello minimo, massimo e medio annuo e per ettaro annuo.

Valore	VET Laguna di Orbetello	
	€/anno	€/ha/y
Min	3.550.482,02	1.314,99
Max	46.130.940,11	17.085,53
Medio*	26.900.854,17	9.963,28

* Il valore medio è stato calcolato sommando il VET degli scenari precedentemente analizzati

2.6. Osservazioni e analisi di sensibilità

Nel seguente paragrafo si esporranno alcune riflessioni a posteriori per il miglioramento del processo di valutazione.

Il valore dei servizi ecosistemici calcolato per la Laguna di Orbetello oscilla in un intervallo tra 1.315 e 16.909 €/ha/anno e un valore medio di 9.963 €/ha/anno. La variabilità è dovuta varie assunzioni del procedimento di calcolo e alle informazioni a disposizione, in particolare:

- vari database e studi primari considerati;
- la scelta delle variabili per il confronto tra “study site” e “policy site”, per un’analisi più precisa si potrebbero considerare più variabili nella scelta degli studi primari come la densità di popolazione oltre alla limitazione territoriale ma occorre tener presente le informazioni a disposizione al momento della scelta;
- i valori che sono oggetto di discussioni tra gli addetti ai lavori, si pensi al prezzo della CO₂ o alla rivalutazione e conversione.

Il valore ottenuto costituisce un punto di partenza su cui poter lavorare in futuro, attuare varie combinazioni e ipotesi al fine di avere vari risultati e se possibile applicare metodi di valutazione ambientali diretti e indiretti. Inoltre, il valore ottenuto non include quello delle alghe come materia prima poiché in base al settore è suscettibile di variazione e a questo scopo si è proceduto all’analisi degli utilizzi commerciali attraverso un’indagine di mercato generale e, successivamente, l’analisi costi benefici.

Capitolo 3: Focus sugli utilizzi commerciali delle alghe

3.1. Composizione della biomassa algale e i vari impieghi

Negli ultimi anni le ricerche e le applicazioni delle alghe come prodotti ad utilizzo commerciale sono progressivamente cresciute. Questo paragrafo esplorerà le caratteristiche delle biomasse algali e le diverse modalità di impiego al fine di fornire al lettore una visione generale del mercato corrente e futuro. Inoltre, lo scopo di questa trattazione è di evidenziare il potenziale delle macroalghe, nonostante la letteratura dia maggior importanza allo studio e alle applicazioni delle microalghe.

In generale, le alghe contengono in varie proporzioni proteine, carboidrati, grassi e acidi nucleici. Le macroalghe, a differenza delle microalghe, sono costituite maggiormente da carboidrati rispetto a lipidi. A seconda del tipo di alga, il contenuto di carboidrati varia dal 25% al 40%, quello di proteine dal 10% al 50% e il contenuto di oli presenti dal 5% al 70% (Oilgae, 2017). Vi è una stretta correlazione tra le componenti contenute nelle alghe e i possibili utilizzi: mentre i lipidi vengono utilizzati per la produzione di biodiesel, i carboidrati trovano maggior impiego nella produzione di bioetanolo e le rimanenti proteine possono essere usate come mangime per animali. Inoltre, le alghe possono essere anche biosintetizzate e molte delle sostanze ottenute possono diventare potenziali applicazioni nell'industria alimentare, farmaceutica e cosmetica (Oilgae, 2017).

3.2. Panoramica dei prodotti e applicazioni

Si possono effettuare due tipi di classificazioni: in relazione al tipo di settore interessato e in base al valore del prodotto realizzato. Per quanto riguarda la prima, la distinzione principale è tra la valorizzazione delle alghe ai fini energetici e l'utilizzo per altre applicazioni. La seconda classificazione si basa sul valore di mercato dei prodotti realizzati distinguendo prodotti con alto, medio e basso valore in rapporto alla quantità di biomassa occorrente.

3.2.1. I Classificazione: prodotti energetici e prodotti non-energetici

3.2.1.1. Prodotti energetici

Negli ultimi anni, si è riscontrato un incremento nella ricerca di fonti di energia alternative alle fonti fossili (Borghini et al., 2014). I biocarburanti come bio-etanolo, bio-metanolo, bio-diesel e idrogeno

sembrano attrarre il settore dei trasporti per il futuro, infatti, per la produzione di biocombustibili (biofuel) è previsto un forte aumento nei prossimi 10 anni (Wen et al., 2009 in Suganya et al., 2016). I biocombustibili possono essere prodotti con (i) fonti fossili, (ii) coltivazioni di mais, colza, barbabietole, palma (biofuel di prima generazione) e (iii) biomassa di legno e cellulosa (biofuel di seconda generazione); (iv) alghe (biofuel di terza generazione).

Diversi decenni di ricerca e sviluppo e la relativa pubblicazione di migliaia di lavori scientifici confermano l'accresciuto interesse rivolto alla produzione di biofuel da biomassa algale. Le alghe sono una risorsa alternativa ai feedstocks convenzionali per la produzione di biocarburanti di terza generazione (Suganya et al., 2016). Le biomasse algali rispetto ai prodotti petroliferi e ai biofuel di prima e seconda generazione possiedono diversi vantaggi tali da rappresentare una risorsa rinnovabile sostenibile dal punto di vista economico e ambientale (John et al., 2011 in Suganya et al., 2016). In particolare, le alghe non sono in competizione con le culture alimentari, hanno una struttura chimica-molecolare semplice, un tasso di crescita veloce, possono essere raccolte più volte l'anno e non hanno bisogno di particolari condizioni ambientali per la crescita, anzi utilizzano aree insostenibili per l'agricoltura, assorbono CO₂ che è necessaria alla crescita; inoltre, esistono diversi tipi di alghe e molte sono più ricche di lipidi (40-80% peso fresco) rispetto alle coltivazioni tradizionalmente usate (Suganya et al., 2016). La principale criticità è il vincolo tecnologico e i relativi costi operativi del processo che però potrebbero essere abbattuti attuando strategie di co-produzione.

Diversi sono i processi e le tecniche di conversione di biomassa algale in energia e biocombustibili; le principali categorie sono la conversione termochimica e quella biochimica. I fattori che influenzano la scelta del processo di conversione da preferire includono il tipo e la quantità di biomassa a disposizione, la forma di energia desiderata, l'economicità e il prodotto finale che si vuole ottenere. La conversione termochimica è la decomposizione termica di componenti organiche contenute nelle biomasse in fuel. Essa comprende la combustione diretta, la gassificazione, la liquefazione e la pirolisi.

La combustione è una reazione chimica che comporta l'ossidazione attraverso la quale l'energia chimica si degrada in energia termica producendo anche dei gas come CO₂ ed acqua. Generalmente la combustione avviene ad una temperatura di 800°C. Alcuni studi si sono concentrati sul comportamento di alcuni tipi di macroalghe, in particolare provenienti delle isole Inglesi (*Fucus vesiculosus*, *Chorda filum*, *Laminaria digitata*, *Fucus serratus*, *Laminaria hyperborea*) e dal sud africa (*Macrocystis pyrifera*), alla combustione (Ross et al., 2008 in Suganya et al., 2016). Altri studiosi hanno dimostrato che la co-combustione di carbone unito a biomassa algale produce minori emissioni di GHG e inquinanti (Kadam, 2002 in Suganya et al., 2016).

La gassificazione è un processo chimico in cui l'idrocarburo è convertito in gas misto o sintetico (syngas). Questo processo avviene a temperature di circa 800-1000°C. Alcuni studi dimostrano che l'utilizzo di macroalghe ha un benefico energetico potenziale associato al riciclo del carbonio di circa 11.000 MJ t⁻¹ peso fresco (Aresta et. al. in Suganya et al., 2016).

La liquefazione è il processo con cui la biomassa algale bagnata è trasformata in biofuel liquido. Tale processo si svolge a basse temperature (300-350°C) e alta pressione (5-20 Mpa). Molti esperimenti sono stati condotti su microalghe (*Spirulina*, *Botryococcus braunii*, *Dunaliella tertiolecta*, *Chlorella protothecoides*, *Microcystis aeruginosa*) e macroalghe (*Enteromorpha prolifera*).

La pirolisi o piroscissione è un processo di decomposizione termochimica di materiale organico mediante calore e in completa assenza di un agente ossidante che porta alla sintesi di prodotti combustibili in forma solida, liquida e gassosa. A seconda delle condizioni operative, come la temperatura, il tasso di calore e il tempo di resistenza, il processo di pirolisi può essere diviso in tre sottocategorie: la pirolisi convenzionale, la pirolisi veloce e la flash pirolisi. In particolare, la pirolisi convenzionale avviene a basse temperature, circa 400°C e con lunghi tempi di resistenza, 45-500 s; al contrario, la fast e la flash pirolisi avvengono a temperature moderate di circa 500°C e con tempi di resistenza rispettivamente di circa 10-20 s e 1 s. La flash pirolisi si è dimostrata la più efficiente per la produzione di bio-oil con un'efficienza di conversione del 70-80%. Sia le microalghe (*Chlorella protothecoides*, *Microcystis aeruginosa*) che le macroalghe (*E. prolifera*, *Laminaria digitata*) sono state oggetto di sperimentazione che hanno prodotto affidabili e incoraggianti risultati per l'utilizzo ai fini commerciali.

L'idrogenazione è una reazione chimica dove viene addizionato idrogeno generalmente ad una componente organica e, di regola, si effettua in presenza di un catalizzatore. Nel caso di idrogenazione di biomassa algale, il processo si effettua ad elevate temperature e pressione con l'ausilio di un catalizzatore e un solvente.

I processi biochimici di conversione di biomassa in carburante comprendono: la digestione anaerobica, la fermentazione alcolica, i processi fotobiologici e la transesterificazione.

La digestione anaerobica (DA) è la conversione di rifiuti organici in bio-gas, principalmente in metano (CH₄) e diossido di carbonio (CO₂), con tracce di altri gas come l'idrogeno solforato. Questo processo è appropriato per rifiuti organici contenenti alti tassi di umidità (80-90% di umidità) (McKendy, 2002 in Suganya et al., 2016). Il processo di conversione di biomassa algale potrebbe richiedere tanta energia quanto quella ottenuta; questo problema può essere risolto attraverso un processo di co-digestione, ad esempio producendo metano aggiungendo rifiuti di carta alla biomassa algale. Il tasso di produzione di metano raddoppia se si usa una biomassa di partenza costituita da

50% di carta e 50% alghe rispetto alla sola biomassa algale pura (1,17 ml l⁻¹ al giorno vs. 0,57 ml l⁻¹ al giorno) (Yen et al., 2007 in Suganya et al., 2016).

La fermentazione alcolica è la conversione di materiale organico contenente zuccheri, amido o cellulosa in etanolo. Tale processo può essere aerobico o anaerobico a seconda che l'ossigeno entri o meno nel processo. Per ottenere etanolo usando le alghe come materia prima occorre convertire in zuccheri l'amido della biomassa algale, che richiede un pretrattamento prima della fermentazione; la fermentazione avviene utilizzando un comune lievito. L'etanolo ottenuto viene sottoposto ad un processo di purificazione per rimuovere acqua e altre impurità. Successivamente, l'etanolo concentrato estratto viene condensato in forma liquida e può essere usato come complementare o sostituto del petrolio per le auto. La parte della biomassa residua può invece essere utilizzata come mangime per gli animali o per i processi di gassificazione. Microalghe come la *C. vulgaris* sono risultate essere buone materie prime per estrarre etanolo poiché hanno un alto contenuto di amido (circa 37% peso fresco) raggiungendo un'efficienza di conversione del 65% (Hirano et al., 1997 in Suganya et al., 2016). Altri studi sulla produzione di etanolo per fermentazione anaerobica condotti su *Chlorococcum littorale*, alga verde marina, hanno evidenziato che la cellula di amido si decompone aumentando la temperatura.

La produzione biologica di idrogeno (H₂) può essere fotobiologica, utilizzando alghe verdi, batteri fotosintetici o cianobatteri, oppure può avvenire tramite fermentazione in assenza di luce, utilizzando batteri eterotrofi (Treccani, 2009). Le alghe possiedono caratteristiche genetiche, metaboliche ed enzimatiche per produrre idrogeno (Ghirardi et al., 2000 in Suganya et al., 2016).

La transesterificazione, convenzionale o diretta, è un processo che porta alla produzione di biodiesel; il metodo convenzionale per produrre biodiesel da biomassa algale richiede vari passaggi come l'estrazione dell'olio, la purificazione e l'esterificazione/transesterificazione. Questi processi incidono per più del 70% sul costo di produzione del biodiesel. Al fine di ridurre i costi del processo tradizionale è stata sviluppata la transesterificazione diretta, detta anche estrazione in-situ o estrazione reattiva; essa avviene in un singolo passaggio eliminando la necessità di ulteriori passaggi così da ridurre il tempo del processo, i costi di produzione, la quantità di solvente richiesto e le procedure del sistema di produzione. Gli studi condotti su microalghe (*Chlorella pyrenoidosa*) e macroalghe (*Enteromorpha compressa*) con la transesterificazione in-situ per la produzione di biodiesel hanno mostrato risultati incoraggianti; in particolare, per le macroalghe la massima capacità di conversione per biodiesel prodotto con la tecnica diretta risulta essere del 98,89% (Suganya et al., 2016).

La tabella 10 riassume la tipologia di conversione, i processi, i prodotti e le alghe utilizzate nei vari studi.

Tab.10 – Categorie di processi e tecniche di conversione di biomassa algale in energia e biocombustibili, prodotti ottenuti e tipologia di alghe utilizzate

Tipologia	Processo	Prodotto	Microalghe	Macroalghe
Conversione termochimica	Combustione diretta	Elettricità	<i>Fucus vesiculosus, Chorda filum, Laminaria digitata, Fucus serratus, Laminaria hyperborea</i>	<i>Macrocystis pyrifera</i>
	Gassificazione	Syngas ³		
	Liquefazione	Bio-Oil	<i>Spirulina, Botryococcus braunii, Dunaliella tertiolecta, Chlorella protothecoides, Microcystis aeruginosa</i>	<i>Enteromorpha prolifera</i>
	Pirolisi	Bio-Oil, Syngas, Carbone	<i>Chlorella protothecoides, Microcystis aeruginos</i>	<i>E. prolifera, Laminaria digitata</i>
Conversione biochimica	Digestione anaerobica	Metano, Idrogeno	<i>C. vulgaris</i>	
	Fermentazione alcolica	Etanolo	<i>Chlorococcum littorale</i>	
	Processi fotobiologici	Idrogeno		
	Transertificazione	Biodiesel		
	Transertificazione in-situ o diretta	Biodiesel	<i>Chlorella pytenoidosa</i>	<i>Enteromorpha compressa</i>

³ Il termine *syngas* (o gas di sintesi) è un neologismo che nasce dall'unione delle due parole *synthetic* e *gas*; esso indica una miscela di gas, essenzialmente monossido di carbonio (CO) e idrogeno (H₂), con la presenza in quantità variabile anche di metano (CH₄) e anidride carbonica (CO₂).

3.2.1.2. Prodotti non-energetici

Le alghe sono una potenziale risorsa rinnovabile non solo per la produzione di biocarburanti ma anche per la salute umana, per la nutrizione degli animali, per l'ambiente come stoccaggio di CO₂, per la capacità di trattamenti e depurazione delle acque e in altri settori grazie all'alto valore dei componenti in esse contenuti (Suganya et al., 2016).

Già nella preistoria, si riscontra l'utilizzo di biomassa algale come lettiera per le proprietà antibatteriche che contribuivano a tenere lontani i parassiti, sia per gli uomini delle Grotte del Lazaret in Francia che per gli animali; quando non esisteva ancora la plastica a bolle o il polistirene espanso, la biomassa algale è stata utilizzata come rivestimento da imballaggio dai vetrai veneziani che la utilizzavano per proteggere e trasportare la loro arte vetraria; le foglie erano conosciute con il nome di "paglia Venise". Fra gli ulteriori impieghi si può citare la produzione di carta verso la fine del XIX secolo e la produzione di prodotti di farmacopea popolare egizia dalle proprietà curative per il mal di gola e le malattie della pelle.

Fin dall'inizio del XX secolo, le popolazioni costiere del Mediterraneo hanno utilizzato biomassa algale per la costruzione di tetti delle loro abitazioni o come rivestimento interno destinato probabilmente all'isolamento termico e acustico. Inoltre, gli agricoltori delle coste del Mediterraneo utilizzavano la biomassa algale anche come compost soprattutto per mantenere un certo tasso di umidità del suolo o, quando sepolte nel sottosuolo, come aeratore di superficie troppo compatte. Date le proprietà nutritive simili al fieno e all'erba medica alfalfa, la biomassa algale è stata utilizzata anche come mangime per il bestiame; in passato, in Italia, veniva aggiunta ai prodotti alimentari per galline migliorando il peso delle uova, mentre in Tunisia si sono effettuati tentativi per il nutrimento di asini, pecore e cavalli mescolando la biomassa al foraggio; in questo caso è risultato che solo i cavalli si sono alimentati della miscela (ISPRA, 2010).

Attualmente molti degli usi passati sono stati replicati, sebbene in forme più evolute, e a questi si aggiungono altri impieghi scoperti in tempi recenti. I maggiori prodotti sono quelli provenienti dalla cosiddetta "seaweed industry", cioè l'industria basata sulla raccolta di macroalghe principalmente quelle rosse e brune (Radmer, 1996). Un esempio è la nori, cioè varie specie di alga rossa appartenenti alla famiglia delle *Porphyra* e che costituiscono l'elemento principale del "sushi", il tipico cibo giapponese diffusosi ormai anche nell'Occidente. Un altro tipo di alga bruna utilizzata come alimento è la kombu, appartenente al gruppo delle laminarie e che può riferirsi ad almeno due alghe brune della classe delle Feoficee: *Saccharina japonica* (Giappone) e *Laminaria digitata* (Bretagna); è un'alga molto usata in cucina per insaporire e addolcire in modo naturale, per ammorbidire altri cibi o semplicemente come una qualsiasi altra verdura. L'alga Wakame è un altro prodotto usato nel settore

alimentare come insalata, zuppa e condimento; essa è un'alga bruna conosciuta con il nome di *Undaria pinnatifida* e in Giappone è la terza alga in ordine di popolarità dopo la nori e la kombu e come esse è prodotta nelle stesse aree orientali, principalmente in Corea. Altre tipologie di alghe ad uso alimentare sono l'alga rossa *Palmaria palmata* e *Rhodomenia sp.*, note anche come dulce, consumate rispettivamente dalle popolazioni del Nord-Overst dell'Europa e del Nord America, in particolare nelle Province marittime nel Canada (Radmer, 1996).

Altri prodotti estratti dalle alghe sono gli alginati, la carragenina, l'agar e l'agarose. Gli alginati sono sali dell'acido alginico contenuti principalmente nelle alghe brune come *Laminaria*, *Macrocystis*, *Ascophyllum*; essi sono largamente utilizzati come addensanti e stabilizzanti nell'industria alimentare, farmaceutica e cosmetica. La carragenina è costituita essenzialmente di sali di calcio, di potassio, di sodio e di magnesio di esteri solforici dei polisaccaridi ed è ottenuta principalmente dalla bollitura di alghe rosse come *Eucheuma cottonii*, *Chondrus crispus* ed *Eucheuma spinosum*, situate prevalentemente lungo la costa rocciosa dell'Atlantico settentrionale, soprattutto in Irlanda ed in Gran Bretagna. Come gli alginati, la carragenina è utilizzata come gelificante nel settore alimentare, medicinale ed industriale, ad esempio per chiarificare miele e birra e per la fabbricazione della carta. Un altro prodotto è l'agar, un polisaccaride molto simile alla carragenina ottenuto principalmente da alghe rosse come *Fragilaria*, *Gelidium*, *Pterocladia*, *Acanthopeltis* e *Ahnfeltia*; rispetto all'alginati e alla carragina, la sua capacità di divenire un gel stabile resistente a diverse condizioni atmosferiche ne aumenta il valore nell'utilizzo in cucina. L'agarose è un polisaccaride ottenuto isolando alcune molecole di agar ed è utilizzata nel settore biotecnologico. Oltre ai sopracitati utilizzi ulteriori prodotti in commercio che contengono biomassa algale sono salse, creme, biscotti, succhi, birra, cioccolata, formaggi, colle edibili, idrocolloidi usati come gelatine alimentari per citare gli usi più comuni.

L'uso di biomassa algale e componenti estratte da esse trova spazio nella nutraceutica e nella farmaceutica. Il termine "nutraceutica" deriva dall'unione dei sostantivi "nutrizione" e "farmaceutica" e fa riferimento a varie tipologie di prodotto che includono proteine, acidi grassi, pigmenti e vitamine ottenuti con procedimenti di estrazione; da ciò derivano prodotti come integratori alimentari, nutrienti isolati, prodotti erboristici, pasti sostitutivi e persino alimenti trasformati ad esempio i cereali, le zuppe e alcune bevande. Nella farmaceutica le alghe rivestono interesse per gli acidi grassi polinsaturi ad elevato valore fisiologico e per le proprietà antiinfiammatorie, antiossidante, antibatterica, antitumorale, antidiabetica; un esempio nel settore biomedico è l'utilizzo della ficoeritina (R-phycoerythrin), una proteina ottenuta da specie di *Porphyra*.

Un ambito particolarmente fiorente è quello cosmetico in cui le alghe costituiscono una fonte preziosa di principi attivi utili all'uomo; creme viso, corpo, trattamenti per capelli, profumi e fragranze per

ambienti sono i prodotti in commercio attualmente, in particolare quelli con azione fotoprotettiva, antiage, antiossidante e per l'attenuamento delle discromie cutanee.

Un ulteriore utilizzo della biomassa algale è quello di fertilizzante in agricoltura come ammendante del terreno per ripristinare il contenuto di sostanza organica spesso carente. Inoltre, la biomassa algale può essere inserita in una miscela per la produzione di ammendante compostato verde (ACV) o misto (AVM). Il D.Lgs. n. 75/2010 fa riferimento alla normativa in materia di fertilizzanti, in particolare ai requisiti tecnici delle caratteristiche chimico-fisiche (quali composizione chimica, salinità, presenza di corpi estranei, etc.) a cui deve sottostare il materiale che deve essere avviato a compostaggio; importante è il rapporto carbonio/azoto e la presenza di metalli pesanti nel compost finale. Il limite da rispettare affinché il compost possa essere utilizzato è che esso deve essere opportunamente miscelato con altre matrici in percentuale generalmente non superiore al 50%. Il compost a base di biomassa algale può essere anche distribuito nelle buche di piantagione in sostituzione della torba per migliorare l'attecchimento e la ripresa delle giovani piantine, e può trovare utilizzazione come pacciamante⁴, per aumentare la stabilità di suoli declivi e la riduzione del carico inquinante da diserbanti. Il compost può essere utilizzato come componente di substrati di coltivazione per la produzione di piante ornamentali e orticole, per le produzioni vivaistiche e per il giardinaggio (Guido et al., 2013).

La biomassa algale può essere usata come mangime per animali come pesci allevati in acquacoltura o acquari, bestiame (maiali, polli o cavalli) e animali domestici (cani e gatti); un altro utilizzo è quello delle lettiere per animali, poiché grazie alle sue proprietà antibatteriche favorisce la riduzione degli odori e la sanitizzazione degli ambienti.

Nel settore tessile è stata brevettata la SeaCell™, una fibra ricavata dalle alghe con un processo di lavorazione ecologico che conserva intatte tutte le proprietà della materia e consente di ottenere una fibra pura, naturale e biologicamente degradabile. Le alghe presenti nella fibra hanno un effetto positivo sulla salute, e in particolare un effetto rivitalizzante sulla pelle grazie ai preziosi minerali e alle proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e antinvecchiamento in esse possedute. Il tessuto mantiene nel tempo le sue proprietà, anche dopo molti lavaggi, ed è adatto a tutti, in particolare a chi soffre di allergie o di malattie della pelle come la dermatite atopica. Questo tessuto è adoperato anche nella fabbricazione di coprifedere e coprimaterassi. Ad oggi, sono commercializzati anche materassi realizzati con fibre naturali al 100%, tra cui alghe che assicurano il rilascio di sostanze come lo iodio capaci di aiutare la respirazione durante il sonno.

⁴ Per pacciamante si intende la disposizione delle alghe lungo il terreno con l'obiettivo di migliorare il bilancio idrico del terreno, per limitarne i fenomeni erosivi e controllare le erbe infestanti

Un settore in cui le alghe possono trovare impiego come risorsa per il processo produttivo è quello cartario. Un esempio italiano è la Shiro Alga, un tipo pregiato di carta che viene prodotta nella Laguna di Venezia dagli anni '90 utilizzando le alghe in eccesso provenienti da ambienti lagunari a rischio, in particolare *Ulva lactuca* e *Gracilaria* (Com. pers. di Michele Posocco, brand manager della Favini s.r.l. 20/02/18); grazie alla capacità innovativa dell'azienda Favini, le biomasse algali rinnovabili non legnose si uniscono a fibre riciclate per l'ottenimento di una carta ecologica che rispetta l'ambiente. La figura 14 mostra i settori, i prodotti, le tipologie di alghe usate ed alcune aziende sul mercato attuale che utilizzano la biomassa algale come materia prima.

Fig.14 – Esempi di settori, prodotti, tipologie di alghe e imprese che utilizzano come materia prima biomassa algale attualmente sul mercato globale.

Settore alimentare			
Prodotti	Tipologia alghe	Esempi	Aziende
Nori	Porphyra	a	The Algae Factory™, Kelpie Seaweed Ale (e)
Kombu	<i>Saccharina japonica</i> , <i>Laminaria digitata</i>	b	
Wakame	<i>Undaria pinnatifida</i>	c	
Dulse	<i>Palmaria palmata</i> , <i>Rhodymenis sp.</i>	d	



Settore nutraceutica			
Prodotti	Tipologia alghe	Esempi	Aziende
Alginati	<i>Laminaria</i> , <i>Macrocystis</i> , <i>Ascophillum</i>		Laboratori Bioline srl, Sagana
Carragenina	<i>Euchema cottonii</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Euchema spinosum</i>	f	
Agar	<i>Gracilaria</i> , <i>Gelidium</i> , <i>Pterocladia</i> , <i>Acanthopeltis</i> , <i>Ahnfeltia</i>	g	
Agarose		h	



Settore cosmetico

Prodotti	Tipologia alghe	Esempi	Aziende
Crema viso, crema corpo, trattamenti per capelli, fragranze, profumi	<i>Corallina pilulifera, Eckloina cava, Sargassum sagaminaum, Porphyra rosengurtii, Agar, Focus serratus</i>	i	Lush, Haeckels, X115, Guam



Settore agricolo

Prodotti	Tipologia alghe	Esempi	Aziende
Fertilizzanti	Non disponibile	l	General Farm, Shropshire Seaweed
Mangimi	Non disponibile		
Brize Plus	<i>Miscela alghe marine</i>	m	

Settore cartario

Prodotti	Tipologia alghe	Esempi	Aziende
Shiro Alga	<i>Ulva lactuca, Gracilaria</i>	n	Favini



Altri settori emergenti sono l'edilizia, bio-plastiche e nuovi materiali, oggetti di arredo e sistemi di biodepurazione e assorbimento CO₂. Cementi, isolanti e pitture sono i prodotti che stanno trovando

impiego nel settore edile; il gruppo di ricerca tecnologica dei materiali dell'Università di Alicante, in Spagna, ha sviluppato un nuovo processo per la produzione di cemento/calcestruzzo con l'aggiunta di ceneri di biomassa algale che riescono a migliorare le proprietà meccaniche del cemento aumentandone la resistenza iniziale. Un altro esempio è l'azienda sarda Edimare, che nel 2015 ha lanciato sul mercato Edilana, un innovativo isolante 100% naturale prodotto combinando pura lana di pecora sarda con biomassa marina spiaggiata. I numerosi studi condotti hanno confermato le molteplici potenzialità di questo materiale, in grado di proteggere dal freddo e dal caldo le abitazioni con un'efficienza superiore del 20% rispetto agli isolanti ottenuti a partire dal legno o dai suoi derivati. Un'altra innovazione pubblicata nel 2015 sulla rivista *Sustainable Chemistry & Engineering* proposta dal gruppo di ricerca francese riporta i risultati dello studio di fattibilità del processo del progetto "Algaroute" per l'ottenimento del bio-asfalto, un asfalto ecologico ottenuto impiegando i residui di biomassa algale di altri processi produttivi come quelli derivanti dall'estrazione di proteine idrosolubili per l'industria cosmetica.

Per quanto riguarda i nuovi materiali, diverse sono le innovazioni, che vanno dalle bioplastiche alle schiume e ai filler per stampanti 3d, tutti contenenti biomassa algale. Di seguito si espongono in dettaglio alcuni esempi.

La start-up indonesiana Evoware ha proposto delle bioplastiche per la produzione di confezioni costituite totalmente da alghe biocompostabili; il progetto riguarda specialmente imballaggi e sacchetti contenitori come cialde per caffè, spezie e filtri che in questo modo potranno divenire completamente edibili e biodegradabili.

Il duo di designer olandese Eric Klarenbeek e Maartje Dros hanno creato un biomateriale stampabile con l'ausilio di stampanti 3D a base di alghe che potrebbe offrire un'alternativa ecologica alle plastiche; l'eco-materiale è ottenuto dall'essiccazione di alghe e dalla trasformazione di esse in un polimero liquido che successivamente viene modellato in un filamento o filler per stampanti 3D. Secondo gli inventori questo materiale potrebbe essere utilizzato per sostituire gli imballaggi che oggi utilizzano sostanze derivanti da fonti fossili come bottiglie e articoli per la tavola in plastica, ecc. I designers hanno esibito i loro campioni di alghe stampate in 3D al Museum Boijmans Van Beuningen di Rotterdam fino al gennaio 2018.

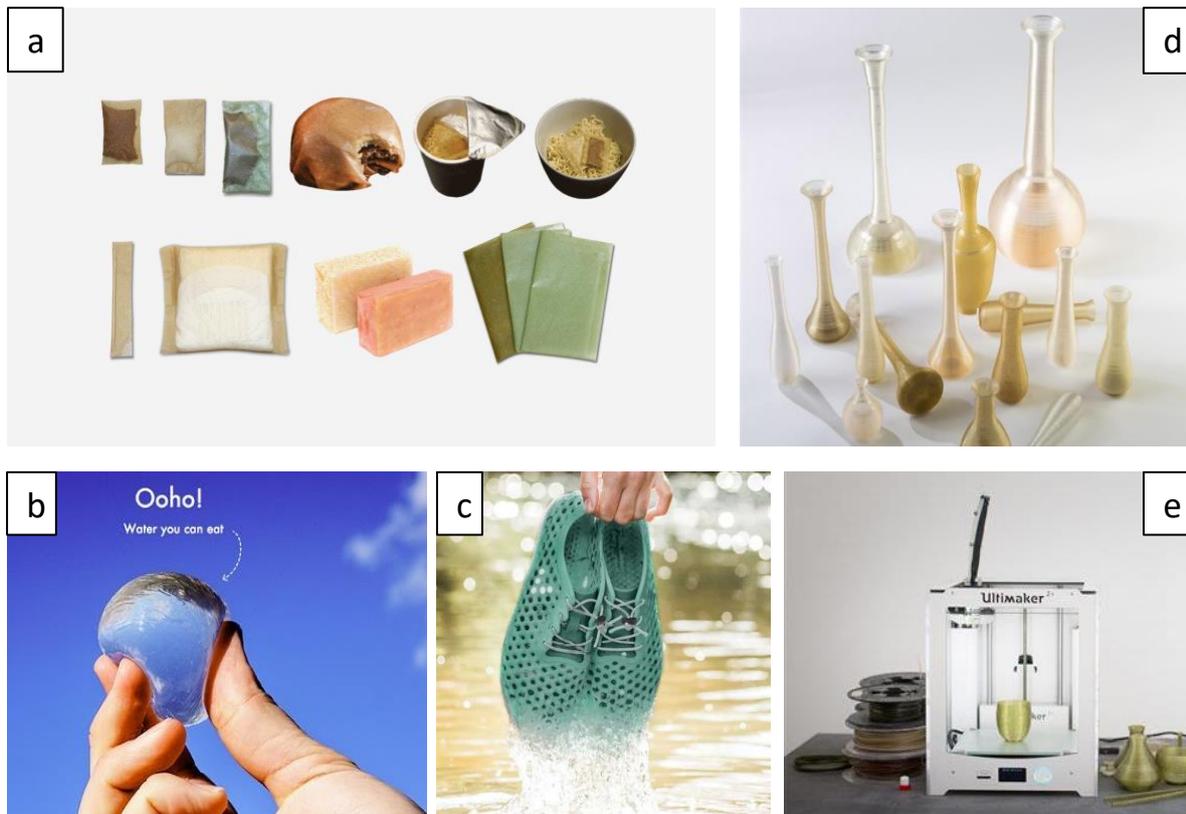
Nel 2017 la Skipping Rocks Lab, start-up britannica, ha creato la Ooho ball, una bolla d'acqua grande quanto una pallina da ping-pong che grazie a una membrana esterna fatta di estratti vegetali e alghe commestibili e biodegradabili è in grado di contenere acqua da quattro a sei settimane. Le Ooho balls si mangiano rompendo la membrana tra la lingua e il palato, per poi bere il contenuto al suo interno. Lo scopo nobile del progetto è di ridurre la quantità di bottiglie di plastica e di rifiuti da gestire e

smaltire.

Il prof. Stephen Mayfield, genetista studioso di alghe e professore di biologia presso l'Università di San Diego, ha dedicato le sue ricerche alla realizzazione di biocarburanti ottenendo un olio estratto da alghe cresciute in laboratorio e trasformate successivamente chimicamente in vari tipi di polioli; essi, mescolati con alcuni silicati e un catalizzatore, ha prodotto una schiuma rigida e in grado di galleggiare, che sostituisca il poliuretano utile ad esempio per produrre tavole da surf ecofriendly. Inoltre, nell'estate 2017 sono state realizzate anche le prime scarpe dalle alghe, cioè dei sandali flip-flop dove il poliuretano è sostituito dalla sua versione bio: tali calzature dovrebbero entrare in produzione già nel 2018 ad un costo iniziale di 3 dollari il paio.

L'azienda inglese VivobareFoot produce scarpe per adulti e bambini in un materiale a base di alghe raccolte negli stagni e nei laghi, soprattutto quelli a rischio di sovraccarico algale; le alghe vengono trasformate in etilene e acetato di vinile, EVA (Etilene Vinil Acetato), che garantisce elasticità e flessibilità ai prodotti. La scarpa di VivobareFoot è stata lanciata in collaborazione con Bloom Foam, la società californiana che coltiva e raccoglie masse algali di acqua dolce e possiede la tecnologia per effettuare il processo di trasformazione in schiuma di etilene vinilacetato. La figura 15 mostra alcuni dei prodotti innovativi ottenuti utilizzando biomassa algale.

Fig.15 – Alcuni dei prodotti innovativi ottenuti utilizzando la biomassa algale: (a) esempi di imballaggi di bioplastica composta da alghe della start-up Evoware, (b) la “Ooho ball” della Skipping Rocks Lab, (c) le scarpe in EVA a base di alghe della VivobareFoot e (d) ed (e) campioni e filler per stampanti 3D prodotti da Eric Klarenbeek e Maartje Dros



3.2.2. *Il classificazione: il valore di mercato*

Al fine del calcolo del valore della risorsa alghe, si è proceduto all'analisi di alcuni prodotti attualmente commercializzati.

A livello globale, il mercato di biomassa algale oscilla tra i 5 e i 7 miliardi di dollari, di cui \$2 miliardi riguardano il settore alimentare e \$0.7 miliardi riguardano la coltivazione di alghe (Oilgae, 2017).

Il settore che detiene il maggior mercato della biomassa algale è quello alimentare in cui la biomassa algale, naturale o coltivata, è soggetta a minor processi dopo la raccolta; in questo caso il prodotto è la biomassa stessa che viene trattata per preservare le caratteristiche intrinseche dell'alga (Suganya et al., 2016); la specie di alga Nori rappresenta il prodotto algale di più grande successo principalmente consumato in Giappone, Corea e Cina ma ormai in rapida espansione a livello globale. Per l'evoluzione storica e il successo commerciale, l'industria algale ricorda l'industria di cotone poiché passata da metodologie di raccolta tradizionali e di piccola scala a quelle moderne di coltivazione che hanno permesso l'incremento della capacità produttiva e della domanda dagli anni '60 (Radmer, 1996). Il valore di mercato di Nori ammonta approssimativamente a 2 miliardi di dollari con un volume di produzione di 40.000 tonnellate per anno (Jensen, 1993 in Radmer, 1996). Questo prodotto è un ottimo esempio di produzione macroalgale attualmente disponibile globalmente ed è possibile trovarlo ad un prezzo che varia a seconda che sia comprato online o in un negozio. Online si ha una vasta scelta e il prezzo varia in base al peso, ai fogli, al tipo di qualità. Ad esempio, una confezione da 15 gr la si può trovare a 3,5 € oppure 10 fogli da 26 gr a 4 € o in confezioni da 50 fogli, 19 cm X 21 cm, da 125 g a 16€ (non contando le spese di spedizione). Stesso discorso per i negozi, nelle grandi catene di supermercati che vendono l'alga nori come Coop, Auchan ed Esselunga si troverà il prodotto ad un prezzo di circa 4 €, mentre nei negozi etnici o bio si ha un prezzo maggiore. A partire dal 1990, sono state vendute annualmente circa 20.000 tonnellate di wakame per un valore di mercato di 600 milioni di dollari. Anche il kombu ha un valore di mercato di 600 milioni di dollari (Suganya et al., 2016).

Le componenti estratte dalle alghe come alginati, carragenina, agar, agarose estratte hanno un valore di mercato di circa 500 milioni di dollari: gli alginati con un valore di mercato di circa 230 milioni di dollari per 27.000 tonnellate l'anno (Jensen, 1993 in Radmer, 1996). Il valore di mercato di circa 15.500 tonnellate di carragenina è di 100 milioni di dollari; più precisamente, nell'area europea il valore di mercato è stato di \$127.9 milioni nel 2012, con un prezzo tra i \$10- 12/kg. La vendita di agar ammonta a circa 160 milioni di dollari per 11.000 tonnellate l'anno e in particolare, nel mercato europeo di circa \$29.6 milioni (2012) con un prezzo di \$ 20-23/kg. Una stima del valore di mercato dell'agarose ammonta a più di 50 milioni di dollari per anno con un valore unitario di circa 25.000

\$/kg (Suganya et al., 2016; Oilgae, 2017).

Altri mercati, tra cui quello relativo ai prodotti per l'agricoltura come fertilizzanti e mangimi, hanno un fatturato annuo di diversi milioni di dollari, rispettivamente \$15 e \$5 milioni; mentre il settore biomedico e farmaceutico hanno un mercato di circa 2 milioni di dollari in cui sostanze come la ficoeritina (*R-phycoerythrin*), che ha un elevato costo del processo di estrazione, ha un altrettanto elevato valore di mercato, circa 5.000 \$/g (Suganya et al., 2016).

Entrando più nello specifico, si illustreranno i prezzi di mercato e le caratteristiche dei prodotti presi a riferimento per alcuni settori contattando dove è stato possibile direttamente le aziende produttrici al fine di raccogliere il maggior numero di informazioni utili per un eventuale studio di fattibilità contestualizzato alla Laguna di Orbetello.

Il materasso Atlas della COCO-MAT, realizzato con fibre di alga, ha un prezzo variabile che va da 443 a 1081 € a seconda che esso sia singolo, con dimensioni 200x90 H. 18 cm, o matrimoniale con dimensioni 210x200 H. 18 cm (Com. pers. Mark Simonsen Sales Manager di COCO-MAT, 26/03/18). Come esempio applicato del tessuto SeaCell™ si è preso come riferimento un copri federa dal prezzo di 35€ (<https://www.fabricatore.it/prodotto/federa-talassoterapia-alle-alghe-marine/#>). In particolare, il prezzo del tessuto varia in base alla quantità di Seacell contenuta; ad esempio un telo di tessuto di 220 cm, peso 300 g/m² con 12-15% Seacell e 85-88% cotone ha un prezzo di 23,88 €/kg, mentre con 4-5% /95-96% costa 9,42 €/kg.

Per quanto riguarda il settore agricolo, un sacco da 25 Kg di Brize Plus per la lettiera per animali ha un prezzo di 26,5 € (Com. pers. da Andrea Lucchesi Generalfarm S.r.l., 29/03/18).

Per il settore cartario, la Shiro Alga viene prodotta sostituendo dal 5 al 10 % di cellulosa con alghe, questo ha un'incidenza sul costo di produzione di circa il 10% superiore a ad una carta tradizionale da stampa; l'incremento del costo è dovuto ai due trattamenti aggiuntivi che vengono praticati alle alghe, ossia l'essiccazione e la macinazione. Il costo di produzione della Shiro Alga è di 0,90 €/kg. Il prezzo di una risma di fogli formato A4 di Shiro Alga varia a seconda dello spessore del foglio da 3,24 € quello da 90g/m² a 6,66 € quello da 200g/m² (Com. pers. Di Michele Posocco, brand manager della Favini s.r.l. 20/02/18).

Per quanto riguarda il settore bioenergetico, la principale barriera all'entrata è rappresentata dagli elevati costi di coltivazione e raccolta della biomassa algale che non rendono competitivo sul mercato la produzione di biocarburanti da alghe rispetto ad altre fonti; ciò nonostante, si stanno svolgendo numerosi progetti pilota e ricerche a livello globale per cercare metodologie per l'abbattimento dei costi: alcuni report stimano dei costi di produzione che variano dai 1,35 \$/kg ai 1,8\$/kg (\$1227/t –

\$1641 t) in base al tipo di tecnologia e processo applicato. Un progetto del Dipartimento di Energia americano ha imposto come target di costo di produzione da raggiungere entro il 2022 un valore di \$0.54/kg (\$491/t), un costo che renderebbe economicamente efficiente la produzione di biocarburante da biomassa algale. Per quanto riguarda il mercato potenziale, il prezzo di vendita minimo di biocarburante prodotto da biomassa algale (MFSP, minimum fuel selling price) è stato stimato di circa \$1.1 - \$1.19/L (\$4–4.5/ gallon gasoline equivalent, GGE) ipotizzando un costo di produzione in linea con quello del proposto dal Dipartimento di Energia americano (IEA, 2017).

La tabella 11 riepiloga i vari settori di utilizzo di biomassa algale, il valore di mercato e i prezzi di vendita/acquisto minimi e massimi di biomassa algale come materia prima.

Tab. 11 – Esempi di settori, prodotti, tipologie di alghe e imprese che utilizzano come materia prima biomassa algale attualmente sul mercato globale

Settore	Prodotto	Valore di mercato (t/anno)	Quantità (t/anno)	Prezzo di vendita minimo	Prezzo di vendita massimo	
Alimentare	Nori	\$2 miliardi	40.000			
	Wakame	\$ 600 milioni	20.000			
	Kombu	\$ 600 milioni				
Nutraceutica	Alginati	\$500 milioni	\$230 milioni	27.000		
	Carragenina		\$100 milioni	15.000	10 \$/kg ¹	12 \$/Kg ¹
	Agar		\$160 milioni	11.000	20 \$/kg ¹	23 \$/Kg ¹
	Agarose		\$50 milioni		25.000 \$/kg ²	
Agricoltura	Fertilizzanti	\$15 milioni				
	Mangimi	\$5 milioni				
Farmaceutico	Ficoeritina	\$2 milioni		5000 \$/g ³		
Cosmetica		\$ 7.6 milioni				
Tessile		\$531 milioni		9,43 €/kg ⁴	23,88 €/kg ⁴	
Cartario				50 €/t ⁵		

¹ prezzi riferiti al mercato europeo (Suganya et al., 2016); ²Suganya et al., 2016; ³The raw material (purified phycobiliprotein) currently sells for approximately \$5000/g (Suganya et al., 2016); ⁴ Alibaba.com; ⁵Com. pers. di Michele Posocco, brand manager della Favini s.r.l. 07/08/18

Dalla precedente esposizione si evince che in base al valore di mercato e alla quantità di biomassa algale utilizzata si possono classificare i prodotti e i relativi settori in tre categorie:

- la prima caratterizzata dall'utilizzo di un elevato volume di alghe e un basso valore di mercato, ad esempio i fertilizzanti e mangimi;

- la seconda che necessita di minor volume algale e che ha un valore di mercato elevato per le proprietà delle componenti estratte, si pensi al settore della nutraceutica, farmaceutica e cosmetica;
- la terza che ha un valore medio di mercato come i prodotti del settore alimentare

3.2.3. Il valore potenziale

Considerando il contesto, non è possibile definire a priori un valore potenziale del mercato contestualizzato alla Laguna di Orbetello poiché la definizione del prezzo di vendita/acquisto della biomassa algale è molto variabile a seconda della domanda e dell'offerta del settore e della dimensione del mercato interessato. Tuttavia, si noti come un'analisi economica potrebbe portare a una gestione più sostenibile della Laguna attraverso l'impiego di una risorsa, la biomassa algale, ad oggi sottoutilizzata e considerata attualmente un rifiuto.

Dopo aver analizzato le molteplici opportunità di riutilizzo della biomassa algale, si è proceduto alla ricerca di possibili stakeholder nei diversi settori; una risposta positiva è arrivata dall'azienda Favini, azienda di riferimento a livello mondiale nella realizzazione di specialità grafiche innovative a base di materie prime principalmente naturali (cellulosa, alghe, frutta, noci, cuoio ecc.) per il packaging dei prodotti realizzati dai più importanti gruppi internazionali del settore luxury e fashion. Essa si è mostrata molto interessata al progetto e, previa verifica della compatibilità algale, ad eventuali accordi futuri; per questo motivo si è preso in considerazione l'analisi del settore cartario, in particolare della produzione della Shiro Alga carta.

Capitolo 4: Analisi Costi-Benefici

4.1. Scenario attuale

L'analisi del primo scenario prende come riferimento lo stato attuale di gestione della Laguna di Orbetello:

- sostenimento di costi legati a:
 - raccolta della biomassa algale pari a 155 €/t;
 - carico, trasporto e smaltimento in discarica della biomassa algale pari a 126 €/t;
- nessun impiego o utilizzo alternativo della biomassa algale come materia prima;
- arco temporale di riferimento di 10 anni;
- tasso di sconto finanziario e sociale del 4%, suggerito dalle linee guida all'analisi costi-benefici della Commissione Europea;
- quantità media di biomassa algale pari a 5000 t/anno.

Il valore attuale netto finanziario (VANF), pari al saldo attualizzato di tutti i flussi netti generati dall'investimento nel periodo considerato, risulta essere di -11.395.809 € e quindi possiamo definire lo *status quo* non vantaggioso.

Per l'analisi economica sono stati effettuati ulteriori passaggi che includono le correzioni per la fiscalità, per le esternalità e l'impiego dei fattori di conversione per passare dai prezzi di mercato a quelli di conto. In particolare, si è proceduto all'inserimento del calcolo del valore dei SE includendo solo i servizi calcolati direttamente sulla Laguna di Orbetello (LO) (scenario cautelativo A) ponendo il prezzo della CO₂ a 34 €/t e al calcolo delle emissioni gas serra (CO₂, metano, N₂O) che i materiali producono se posti in discarica. Per il calcolo dei SE si rimanda al capitolo 3, mentre per le emissioni di gas serra è stata utilizzata la CO₂ equivalente, cioè un'unità di misura che permette di pesare diverse emissioni con differenti effetti climalteranti. Il valore in CO₂ equivalente si calcola moltiplicando le emissioni di un gas serra (CH₄, N₂O, ecc.) per il rispettivo Global Warming Potential (GWP), ossia il potenziale di riscaldamento globale per tipologia di gas serra. Ad esempio, secondo l'ultimo report AR5 (2014) pubblicato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), il metano ha un GWP di 28 volte superiore alla CO₂, per cui 1t di metano viene contabilizzata come 28 t di CO₂ equivalente.

Stimando che per ogni chilogrammo di rifiuto organico non smaltito si evitano 0,7-0,9 kg di CO₂ equivalente (report CIC, 2017, p. 41), si può calcolare il costo ambientale nel caso in cui la biomassa algale venga conferita in discarica. Ponendo come valore di riferimento medio 0.8 kg di CO₂

equivalente, i calcoli effettuati sono i seguenti:

$$0,8 \text{ kg CO}_2 \text{ equivalenti} * 5.000.000 \text{ kg} = 4.000.000 \text{ kg CO}_2 \text{ equivalenti}$$

$$= 4.000 \text{ t CO}_2 \text{ equivalenti annue emesse per smaltimento di biomassa algale in discarica}$$

Per ottenere il costo ambientale annuo del conferimento in discarica della biomassa algale è stato moltiplicato il quantitativo di CO₂ equivalenti ottenute per il prezzo della CO₂ nel seguente modo:

$$4000 \text{ t CO}_2 \text{ equivalenti} * 34 \text{ €/t} = 136.000 \text{ €}$$

Il costo ambientale annuo dello smaltimento di biomassa algale in discarica ammonta a 136.000 € l'anno. Questo valore contabilizza monetariamente i danni che l'emissione di gas serra produce a causa dello smaltimento in discarica.

L'analisi economica dello *status quo* mostra un valore attuale netto economico (VANE) di 24.861.848 €; la spiegazione di questo risultato positivo è da attribuire alla contabilizzazione economica dei benefici derivanti dai servizi ecosistemici dell'ambiente lagunare come pesca e l'acquacultura, rimozione azoto (N), fosforo (P) e assorbimento CO₂ da parte delle alghe.

Successivamente, si è proceduto all'analisi di sensitività considerando le seguenti variabili: quantità alghe raccolte annualmente, costo di raccolta, costo di carico, trasporto e smaltimento della biomassa algale, prezzo CO₂, valore SE e tasso di sconto. Dal punto di vista finanziario, la quantità di alghe e il tasso di sconto finanziario risultano essere variabili critiche poiché facendole variare dell'1% si ottiene una variazione del VANF rispettivamente dell'1% e 5% circa; mentre il costo di raccolta e di smaltimento non sono risultate variabili critiche. Per quanto riguarda l'analisi economica, l'unica variabile critica è il tasso di sconto sociale. Successivamente si è proceduto al calcolo del VANF e VANE variando del +/-1% il tasso di sconto.

La tabella 12 riassume l'analisi economica, finanziaria, di sensitività e i valori del VANF e VANE con tasso di sconto del 3%, 4% e 5%.

Tab. 12 – Analisi finanziaria, economica, di sensitività e di scenario dello status quo.

ANALISI FINANZIARIA		
Attività	Valore annuo (€/anno)	Valore attualizzato (€)
Ricavi Totali	0	0
Ricavi vendita materia prima	0	0
Costi Totali	1.405.000	11.395.809
Costi di raccolta	775.000	11.395.809
Costi di carico, trasporto e smaltimento	630.000	
VANF		-11.395.809

ANALISI ECONOMICA		
Attività	Valore annuo (€/anno)	Valore attualizzato (€)
Ricavi Totali	3.550.482	35.081.577
Valore SE	3.550.482	
Costi Totali	1.260.000	10.219.729
Costi di raccolta	620.000	
Costi di carico, trasporto e smaltimento	504.000	
Costi ambientali smaltimento in discarica	136.000	
VANE		24.861.848

ANALISI DI SENSITIVITÀ				
VARIABILE	VAR %	GIUDIZIO	VAR %	GIUDIZIO
Quantità alghe	1,000%	critico	0,355%	non critico
Costi di raccolta	0,552%	non critico	0,196%	non critico
Costi di carico, trasporto e avvio a smaltimento	0,448%	non critico	0,159%	non critico
Prezzo CO2	na	na	0,363%	non critico
Valore SE	na	na	0,166%	non critico
Tasso di sconto	5,170%	critico	5,170%	critico

SCENARIO ATTUALE	TASSO DI SCONTO		
	3%	4%	5%
VANF	-11.984.935	-11.395.809	-10.849.038
VANE	26.182.611	24.861.848	23.636.475

4.2. Settore cartario

La produzione dell'industria cartaria italiana nel primo quadrimestre 2018 è cresciuta dell'1,5% (+3,3% le carte per usi igienico-sanitari, +2,3% il packaging, +3,9% le carte speciali, -1,1% le carte grafiche) così come il fatturato, aumentato del 6,5%, a parziale recupero dei rincari record dei prezzi delle cellulose, sia a fibra corta (BHK) che a fibra lunga con cellulosa nordica bianchita di resinose al solfato (NBSK) che ha raggiunto un prezzo di 910 \$/t (Assocarta, 2018).

Si consideri lo scenario in cui la biomassa algale raccolta nella LO sia usata per la produzione di carta; si tratterebbe di una tipologia di carta pregiata e un settore di nicchia che alimenterebbe soprattutto il packaging. Inoltre, si ipotizzi che la richiesta di materia prima ammonti alla metà delle tonnellate in peso fresco raccolte e che vi sia richiesta di biomassa algale proveniente dal territorio italiano. Occorre tener presente che i costi di raccolta ammontano a 155 €/t, i costi di carico, trasporto e smaltimento in discarica della materia in eccesso siano pari a 126 €/t e il prezzo di vendita della biomassa algale, ipotizzato assimilabile a quello della cellulosa, ammonti a 300 €/t. Il tasso di sconto finanziario ed economico è imposto a 4% in linea con le linee guida della Commissione Europea e si considera un orizzonte temporale di 10 anni. Per l'analisi economica si considera un prezzo della CO₂ di 34 €/t e i ricavi dovuti alle emissioni evitate dal conferimento in discarica della biomassa algale.

Il VANF risulta essere di -5.057.822 € e il VANE di 26.614.739 €; quindi, si può definire il progetto non finanziariamente vantaggioso ma sostenibile con risultati migliori dal punto di vista finanziario ed economico dello scenario attuale.

Si è proceduto all'analisi di sensitività per verificare quali siano le variabili che incidono nell'analisi; alle variabili analizzate nello "scenario attuale" si aggiungono la quantità delle alghe vendute, il prezzo di vendita e il costo di carico, trasporto e smaltimento della differenza tra i quantitativi raccolti e venduti.

Nell'analisi finanziaria la quantità delle alghe raccolte e vendute, il prezzo di vendita, il costo di raccolta e il tasso di sconto finanziario risultano essere variabili critiche; il costo di carico, trasporto e smaltimento non risulta ma la variazione percentuale è di 0,96% rispetto allo 0,448% dello scenario attuale analizzato precedentemente.

Nell'analisi economica, il tasso di sconto sociale e il valore dei SE risultano essere variabili critiche

con una variazione di circa 5% e 4,8% rispettivamente; a differenza del primo scenario si osserva la comparsa della criticità della variabile della valutazione dei servizi ecosistemici.

La tabella 13 riassume l'analisi finanziaria, economica e di sensitività dello scenario "base" del settore cartario.

Tab. 13 – Analisi finanziaria, economica e di sensitività dello scenario "base" del settore cartario.

ANALISI FINANZIARIA		
Attività	Valore annuo (€/anno)	Valore attualizzato (€)
Ricavi Totali	750.000	6.083.172
Ricavi vendita materia prima	750.000	
Costi Totali	1.093.150	11.092.924
Costi di raccolta	775.000	
Costi carico, trasporto e smaltimento	318.150	
VANF		-5.009.752
ANALISI ECONOMICA		
Attività	Valore annuo (€/anno)	Valore attualizzato (€)
Ricavi Totali	4.443.482	36.040.619
Ricavi vendita materia prima	825.000	
Valore SE	3.550.482	
Ricavi ambientali evitate emissioni gas serra	68.000	
Costi Totali	940.000	9.425.880
Costi di raccolta	620.000	
Costi carico, trasporto e smaltimento	252.000	
Costi ambientali emissioni gas serra	68.000	
VANE		26.616.739

ANALISI DI SENSITIVITÀ				
VARIABILE	VAR %	GIUDIZIO	VAR %	GIUDIZIO
Quantità alghe raccolte	2,275%	critico	0,303%	non critico
Quantità alghe vendute	1,275%	critico	0,238%	non critico
Prezzo di vendita	1,214%	critico	0,198%	non critico
Costo di raccolta	1,255%	critico	0,149%	non critico
Costo di carico, trasporto e smaltimento	0,960%	non critico	0,114%	non critico
Prezzo CO2	non applicabile	na	0,268%	non critico
Valore SE	non applicabile	na	4,769%	critico
Tasso di sconto	5,424%	critico	5,140%	critico

SCENARIO "BASE" SETTORE CARTARIO	TASSO DI SCONTO		
	3%	4%	5%
VANF	-5.281.458	-5.009.752	-4.757.736
VANE	27.980.460	26.614.739	25.347.081

L'analisi di sensitività analizza le variabili prese singolarmente; per questo motivo si è scelto di effettuare l'analisi di scenario prendendo come riferimento combinazioni ottimistiche e pessimistiche. Per lo scenario pessimistico si considerano le seguenti ipotesi:

- Quantità di alghe raccolte pari a 4220 t l'anno, dato riferito all'anno 1997, risultato il minore della serie storica 1994-2008;
- Quantità alghe vendute pari a 32 t/anno e prezzo di vendita (acquisto) della materia prima pari a 50 €/t indicati dall'azienda Favini per la produzione attuale di carta a base di biomassa algale;
- Spese di raccolta e di carico, trasporto e avviamento a smaltimento raddoppiate rispetto allo scenario attuale, ovvero di 232,5 €/t e 189 €/t rispettivamente;
- Valore dei servizi ecosistemici pari a quello dello scenario cautelativo.

Sotto le assunzioni precedentemente espresse e considerando il tasso sociale e finanziario del 4%, per lo scenario pessimistico si ottiene un VANF pari a -14.408.301 € e un VANE di 16.357.960 €.

Per lo scenario ottimistico si considerano le seguenti ipotesi:

- Quantità di alghe raccolte pari a 8110 t l'anno, dato riferito all'anno 2003 risultato il maggiore della serie storica 1994-2008;
- Quantità alghe vendute pari a tutte quelle raccolte;

- Prezzo di vendita (acquisto) della materia prima pari a 600 €/t, ipotizzato assimilabile al prezzo della cellulosa;
- Spese di raccolta dimezzate rispetto allo scenario attuale, ovvero di 77,5 €/t
- Spese di carico, trasporto e avviamento a smaltimento irrilevanti poiché la differenza tra biomassa algale raccolta e quella venduta risulta pari a 0;
- Valore dei servizi ecosistemici pari a quello dello scenario D comprendente i benefici derivanti dalla pesca e acquacultura, la rimozione di azoto e fosforo, l'assorbimento della CO₂ da parte delle alghe, l'attività ricreativa e il servizio di moderazione di eventi estremi.

Sotto le assunzioni precedentemente esposte considerando il tasso sociale e finanziario del 4%, per lo scenario ottimistico si ottiene un VANF pari a 34.369.718 € e un VANE di 305.478.116 €.

Sia per lo scenario pessimistico che per quello ottimistico si è calcolato il VANF e VANE ponendo il tasso di sconto pari al 3% al 5%. La tabella 14 riassume i valori considerati nei due scenari e i risultati ottenuti.

Tab. 14 – Analisi dello scenario “ottimistico” e “pessimistico” del settore cartario

VARIABILE	SCENARIO PESSIMISTICO	SCENARIO OTTIMISTICO	UM
Quantità alghe raccolte	4220	8110	t/anno
Quantità alghe vendute	32	8110	t/anno
Prezzo di vendita	50	600	€/t
Costo di raccolta	+50%	-50%	€/t
Costo di carico, trasporto e smaltimento	+50%	-50%	€/t
Valore SE	3.550.482	32.912.843	€/anno

Scenario Pessimistico	Tasso di sconto		
	3%	4%	5%
VANF	-15.153.408	-14.408.301	-13.716.767
VANE	17.203.418	16.357.960	15.573.284

Scenario Ottimistico	Tasso di sconto		
	3%	4%	5%
VANF	36.146.521	34.369.718	32.720.659
VANE	321.270.346	305.478.116	290.821.273

Successivamente, si è proceduto al confronto dello scenario attuale con gli scenari del settore cartario precedentemente descritti, rispettivamente quello base, pessimistico e ottimistico. Date le assunzioni, il passaggio dallo scenario attuale a quello base risulta migliorativo, mentre il confronto con lo

scenario pessimistico risulta negativo ma con perdite minori rispetto ai possibili benefici.

Una menzione a parte merita il confronto tra scenario attuale e ottimistico: esso mostra un ottenimento di un beneficio che si potrebbe definire come il limite superiore e che bisogna considerare con prudenza consapevolmente alle assunzioni fatte in precedenza. Per ulteriori approfondimenti si veda l'Appendice 1.

A titolo esemplificativo la figura 16 mostra il confronto dei VANF e VANE dei vari scenari analizzati con l'ipotesi del tasso di sconto del 4%. Lo scopo di questo processo è di mostrare allo stakeholder in possesso di informazioni più dettagliate che modificando le ipotesi si possono ottenere risultati utili per l'adozione di decisioni politiche più adatte al contesto di studio.

Fig. 16 – Confronto dei VANF e VANE tra lo scenario attuale e gli scenari del settore cartario (base, pessimistico e ottimistico)

SCENARIO SETTORE CARTARIO PESSIMISTICO		SCENARIO ATTUALE		SCENARIO SETTORE CARTARIO BASE		SCENARIO SETTORE CARTARIO OTTIMISTICO	
VANF	-14.408.301 €	VANF	-11.395.809 €	VANF	-5.009.752 €	VANF	34.369.718 €
VANE	16.357.960 €	VANE	24.861.848 €	VANE	26.614.739 €	VANE	305.478.116 €


 Miglioramento gestione e creazione benessere sociale

Il settore cartario analizzato costituisce solo un esempio; in generale, confrontando i vari scenari si può notare come un miglioramento della gestione porti ad un aumento di benessere per la collettività e l'analisi costi-benefici è un valido strumento per supportare decisioni di economia pubblica. Inoltre, nel caso studio analizzato è auspicabile l'impiego di una strategia di diversificazione di vendita della materia prima in diversi settori e la creazione di sinergie di gruppo.

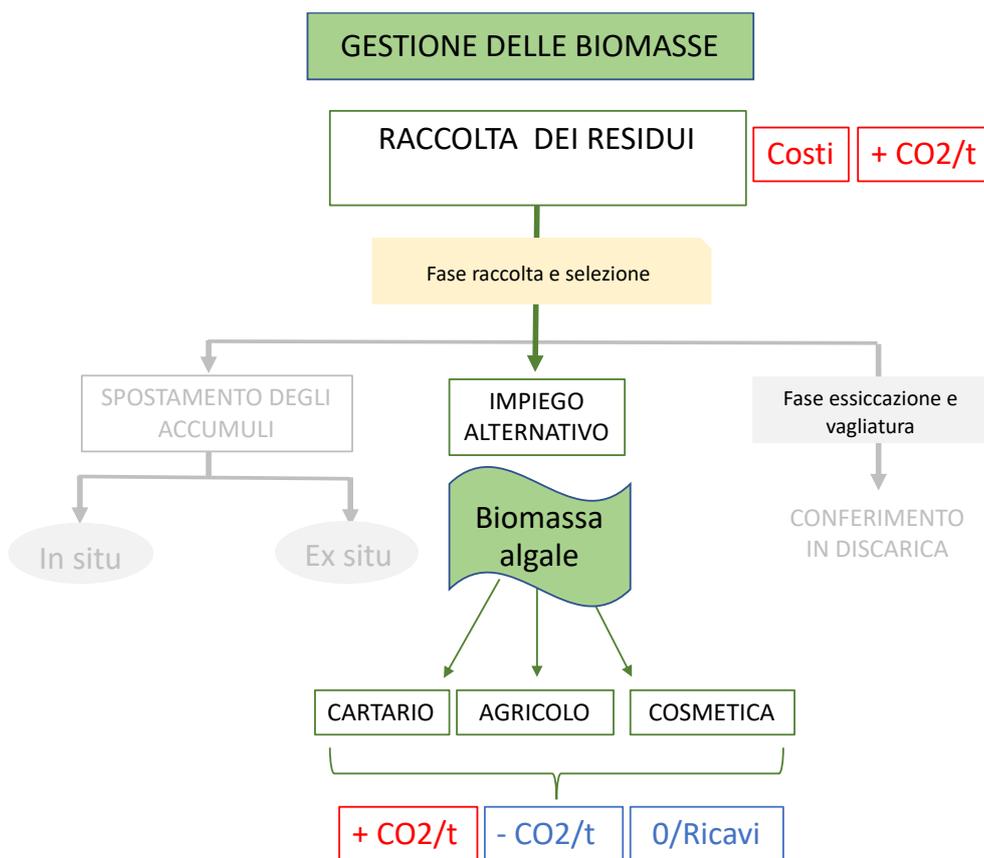
Si vuole sottolineare come una gestione più sostenibile è realizzabile attraverso l'impiego alternativo di risorse e che uno dei possibili obiettivi potrebbe essere l'uguaglianza tra i costi e i ricavi derivanti dalla gestione e successiva vendita di biomassa algale.

La figura 17 mostra come ad ogni fase di gestione corrispondano dei costi/ricavi e che ipotizzando come obiettivo l'uguaglianza tra costi e ricavi si avrebbe:

$$CR \cdot Q_T + CS \cdot Q_R = \frac{P_1 \cdot Q_1 + P_2 \cdot Q_2 + \dots + P_n \cdot Q_n}{n}$$

dove CR è il costo di raccolta, CS è il costo di smaltimento, Q_T è la quantità totale di biomassa raccolta, Q_R è la quantità di biomassa residua da avviare a smaltimento, Q_1, Q_2, \dots, Q_n sono le quantità richieste per n settori.

Fig. 17 – Modello di coproduzione e utilizzo alternativo di biomassa algale.



Questo modello si pone l’obiettivo di stimolare il miglioramento della gestione di un’area delicata e di valore come la Laguna di Orbetello, di prendere coscienza della situazione attuale e di rivalutare le caratteristiche della biomassa algale attualmente sottoutilizzate al fine di un futuro impiego che contribuisca a massimizzare il benessere sociale.

4.3. Settore farmaceutico e alimentare

Le specie di biomassa algale presenti nella Laguna di Orbetello non sono le tipologie utilizzate per estrarre componenti per l’applicazione al settore farmaceutico, come la *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* (Com. personale Pulselli, 3/07/2018). Anche per il settore alimentare si dovrebbe procedere prima all’analisi delle specie delle macroalghe presenti in Laguna e verificare se esse siano impiegabili per l’alimentazione umana; dagli studi finora svolti non si è evidenziata una coincidenza con le specie maggiormente in commercio ma potrebbe essere un campo di lavoro su cui investire per verificare una concreta possibilità di utilizzo arricchendo con la scoperta di maggiori informazioni. Per questi motivi non si è procederà all’analisi di tali settori in questo elaborato.

4.4. Settore agricolo

Secondo le stime del Consorzio Italiano Compostatori (CIC), più dell'80% del compost italiano è impiegato nel comparto delle agricolture tradizionali di pieno campo come quelle cerealicole, foraggere, vitivinicole, mentre il restante 20% è impiegato per la realizzazione di prodotti fertilizzanti per il giardinaggio e per scopi paesaggistici. Il D.Lgs. 75/2010 è la norma italiana di riferimento per i fertilizzanti e stabilisce le condizioni secondo cui i rifiuti organici, che hanno subito un processo di compostaggio, cessano la qualifica di rifiuto e divengono ammendante compostato; la norma prevede tre tipologie di ammendante composto (Ammendante Compostato Verde, Ammendante Compostato Misto e Ammendante Compostato con Fanghi) e che il compost può essere utilizzato anche nella produzione di altri fertilizzanti organici come substrato di coltivazione di base e misto e concimi organo-minerali.

Nel 2017 secondo l'indagine di mercato effettuata dal CIC, tutto il compost prodotto dagli impianti italiani viene venduto e/o ceduto ed utilizzato all'interno dei confini nazionali. Si riscontrano due metodologie principali di vendita: compost venduto sfuso e in grandi quantità, che è la forma più diffusa, e compost venduto in confezioni, anche in miscela con torba o altre componenti.

La stessa indagine ha evidenziato prezzi di mercato differenti e variabili in base alla metodologia di vendita, alla capacità contrattuale delle aziende e alle promozioni messe in atto, alla zona di riferimento e alla disponibilità di materiale sfuso o confezionato. Infatti, il prezzo medio del compost venduto sfuso è di circa 10 €/t con fluttuazioni tra i 5 e i 15 €/t dovute ai costi di trasporto del materiale, spesso sostenuti dagli impianti di produzione stessi; invece, il prezzo del compost venduto in confezioni è sostanzialmente più elevato e raggiunge anche i 120 €/ton.

Dopo queste opportune considerazioni e per la carenza di informazioni più dettagliate, si è deciso di non procedere all'analisi costi benefici ma si ritiene importante segnalare questo settore e il settore energetico come ulteriori ambiti su cui investigare.

Conclusioni

Dal seguente elaborato è emerso che la forte presenza macroalgale caratterizzante la Laguna di Orbetello, ecosistema delicato ed alto valore ambientale, necessita di importanti risorse umane ed economiche in termini di gestione.

Dal punto di vista normativo, sono emersi scarsi riferimenti in merito alla gestione e al riuso di biomasse spiaggiate a livello comunitario o nazionale; piuttosto, sono state rintracciate frammentarie linee guida di diversi soggetti diffusi sulle coste del territorio italiano, come le Regioni Liguria, Sardegna, Sicilia, Abruzzo e Puglia.

L'elaborato mette in luce le principali modalità di gestione delle biomasse: il mantenimento in loco e la raccolta dei residui. La prima è da attuarsi quando il sito rientra in un'area protetta o riserva naturale e quando la presenza di biomassa non determina problemi igienico-sanitari e conflitti con le attività del territorio urbanizzato. La seconda, al contrario, è da applicare quando non è possibile mantenere in loco gli accumuli per incompatibilità con i normali utilizzi del territorio. Nel caso di raccolta dei residui, occorre successivamente decidere se procedere con lo spostamento della biomassa (in situ o ex situ) o impiegare ciò che viene identificato come "rifiuto" come materia prima in altri processi produttivi o, come ultima soluzione, conferire il materiale in discarica. La scelta tra le varie alternative di gestione è legata in parte alla morfologia del sito e in parte alla partecipazione e alla cooperazione di amministrazioni ed enti locali.

Dallo studio condotto si è riscontrato che la biomassa algale raccolta nell'area oggetto di studio è destinata al conferimento in discarica con codice CER 20 02 01, ossia "rifiuti urbani domestici e assimilabili, rifiuti prodotti da giardini e parchi, rifiuti biodegradabili". Questa è la modalità di gestione con maggiori costi, sia in termini economici che ecologici, interamente a carico della collettività.

Al fine di promuovere interventi efficienti ed efficaci dal punto di vista ambientale, sociale ed economico e all'arricchimento di informazioni per i decisori politici, si è proceduto alla valutazione dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello e all'analisi costi-benefici.

Un primo risultato ottenuto dalla presente tesi sperimentale è stato l'identificazione del valore dei servizi ecosistemici forniti dalla Laguna di Orbetello attraverso la consultazione di una vasta bibliografia e l'utilizzo di database a livello europeo per l'applicazione della metodologia del benefit transfert.

Dall'applicazione metodologica, risulta che i benefici economici per i servizi e beni forniti dal caso oggetto di studio sono i seguenti:

- Pesca e acquacultura pari a circa 868 €/ha/anno;
- Rimozione azoto pari a circa 32 €/ha/anno;
- Rimozione fosforo pari a circa 1,8 €/ha/anno;
- Assorbimento CO₂ da parte delle macroalghe pari a circa 413 €/ha/anno;
- Rimozione sostanze inquinanti pari a circa 4.719 €/ha/anno;
- Moderazione eventi estremi (alluvioni e inondazioni) pari a circa 9.965 €/ha/anno;
- Attività ricreativa pari a circa 167 €/ha/anno;
- Valore di non uso pari a circa 32 €/ha/anno.

Considerando vari approcci di analisi, il valore dei servizi ecosistemici calcolato per la Laguna di Orbetello oscilla in un intervallo tra 1.315 e 16.909 €/ha/anno e un valore medio di 9.963 €/ha/anno. Gli estremi calcolati dipendono dalla scelta di utilizzare database, studi primari e servizi ecosistemici finali considerando aree lagunari del territorio europeo; per l'applicazione del benefit transfert è stato necessario utilizzare per le rivalutazioni dei valori dei benefici economici dei beni e servizi degli studi primari considerati l'Indice dei prezzi al consumo per le Famiglie di Operai e Impiegati (Foi) dell'Istat e l'indice di Parità del Potere d'Acquisto (PPA) dell'Eurostat-OECD e per le conversioni di valute il cambio euro/dollaro di 1,17 e euro/sterlina di 1,1359.

Per promuovere l'impiego alternativo di biomassa algale, nonostante la letteratura si concentri su studi inerenti alle microalghe, l'indagine svolta sulle applicazioni commerciali della biomassa algale come materia prima ha evidenziato un potenziale di ricerca dell'impiego di macroalghe nel settore energetico, agricolo, cartario, cosmetico, alimentare, nutraceutico e settori innovati come edilizia, bio-plastiche, oggetti di arredo e sistemi di biodepurazione e assorbimento CO₂.

A supporto delle osservazioni riscontrate, si è proceduto all'analisi costi benefici. L'applicazione di tale metodologia alla situazione attuale di gestione dell'area studio ha permesso di evidenziare uno *status quo* non finanziariamente vantaggioso con un VANF pari a -11.395.809 €; al contrario, il VANE risulta essere pari a 24.861.848, dovuto alla contabilizzazione economica dei benefici derivanti dai servizi ecosistemici dell'ambiente lagunare.

Data l'esigenza di approvvigionamento di biomassa algale nel settore cartario riscontrata attraverso indagini e contatti diretti con un'azienda del settore, il secondo obiettivo è stato quello di verificare la convenienza economica dell'investimento nel suddetto settore. Considerando il tasso di sconto finanziario e sociale del 4%, nello scenario cartario base il VANF risulta essere di -5.057.822 € e il VANE di 26.614.739 €; quindi, si può definire il progetto non finanziariamente vantaggioso ma sostenibile con risultati migliori dal punto di vista finanziario ed economico rispetto allo scenario attuale. Dallo scenario cartario pessimistico si ottiene un VANF pari a -14.408.301 € e un VANE di

16.357.960 € e dallo scenario cartario ottimistico si ha un VANF pari a 34.369.718 € e un VANE di 305.478.116 €. Dal confronto dello scenario attuale con lo scenario pessimistico e quello ottimistico risulta nel primo caso un peggioramento della situazione che comporterebbe perdite comunque minori rispetto ai possibili benefici.

I risultati ottenuti del settore cartario sono un esempio pratico di integrazione dell'approccio economico della valutazione dei servizi ecosistemici con l'analisi costi benefici; l'applicazione di tale metodologia si è rivelata essere un valido strumento per fornire informazioni ai decisori politici e alla collettività per la comprensione del valore del bene ambientale, la sua gestione per la massimizzazione del benessere sociale e la promozione di uno sviluppo sostenibile.

Per concludere, il seguente progetto di tesi ha messo in luce la possibilità di realizzazione di un progetto di investimento caratterizzato da materia prima locale e abbondante, processo di trasformazione a basso impatto e ottenimento di un prodotto ecocompatibile.

Il processo di elaborazione della tesi ha portato a riflessioni e suggerimenti che potrebbero contribuire al miglioramento della gestione e della percezione dell'area lagunare e della sua valorizzazione. Innanzitutto, gli investimenti in campagne di comunicazione sensibilizzerebbero alla comprensione dell'importanza ecologica dei servizi ecosistemici, delle cause dell'eutrofizzazione, e della distinzione tra microalghe, macroalghe e Posidonia oceanica; inoltre, esperimenti di *citizen science* e l'applicazione di metodi di valutazione, come la valutazione contingente ed esperimenti di scelta, permetterebbero di stimare in maniera più accurata il valore della Laguna.

Dal presente progetto di tesi risulta un potenziale di ricerca dell'impiego di macroalghe in settori non oggetto della presente trattazione, come quello energetico e quello agricolo. In ogni caso, in base ad alcuni studi analizzati risulta più conveniente optare per sistemi di coproduzione tra imprese ed enti che condividano gli stessi principi etici volti alla promozione di un'economia circolare e di sviluppo sostenibile: ad esempio, la biomassa residua del settore cosmetico può essere utilizzata per il settore cartario.

Infine, per contribuire all'abbattimento di asimmetrie informative e alla fruizione e condivisione di fonti spesso disorganiche, sono auspicabili una maggior cooperazione e partecipazione delle amministrazioni ed enti interessati alla gestione attraverso lo scambio di informazioni più veloce, un approccio multidisciplinare che permetta l'integrazione di competenze e conoscenze e il bilanciamento di interessi ambientali, economici e sociali.

Bibliografia

ARPAT, (2017). Monitoraggio Laguna di Orbetello. Relazione mensile Giugno 2017 su dati rilevati dalle centraline Laguna Levante e Laguna Ponente. Dipartimento ARPAT di Grosseto.

Assocarta, 2018. *Rapporto Ambientale dell'Industria Cartaria Italiana*

Bateman et al. (2002). *Economic Valuation with Stated Preference Techniques: A manual*.

Bateman I. J., Mace G. M., Fezzi C., Atkinson G., Turner K. (2011). *Economic Analysis for Ecosystem Service Assessments*.

Bateman J., Langford H. (1997). *Non-users' Willingness to Pay for a National Park: An Application and Critique of the Contingent Valuation Method*

Borghini F., Lucattini L., Focardi Silvia, Focardi Silvano, Bastianoni S. (2014). Production of bio-diesel from macroalgae of the Orbetello lagoon by various extraction methods.

Bryhn A. C. (2009). *Sustainable Phosphorous Loadings from Effective and Cost-Effective Phosphorus Management Around The Baltic Sea*.

CIC (2017). *Report Biowaste. I dati del settore del riciclo del rifiuto organico*.

Costanza R. (2000). Social Good and Valuation of Ecosystem Services. *Ecosystems*, 3, p. 4-10.

Costanza R. (2008). Ecosystem services: Multiple classification system are needed. *Biological Conservation*, 141, p. 350-352.

Department of Energy and Climate Change (DECC), (2011). *A brief guide to the carbon valuation methodology for UK policy appraisal. Report*

de Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. J. (2002). *Typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services*. *Ecological Economics*

Focardi S., (2004). La Laguna di Orbetello. Conservazione, attività produttive, turismo e ricerca scientifica.

Gren I.M., Folke C., Turner K., Batemen I., (1994). *Primary and Secondary Values of Wetlands Ecosystem*.

Gray L. (2006). *Evaluation of Treatment Potential and Feasibility of Constructed Wetlands receiving Municipal Wastewater in Nova Scotia*.

- Gao K. e McKinley K. R. (1994). *Use of macroalgae for marine biomass production and CO2 remediation: a review*.
- Guido M., Lomoro A., Montesano F. F., Parente A., Zini A., a cura di (2013). Guida Operative per la gestione sostenibile ed il recupero dei residui spiaggiati di posidonia
- IEA, (2017). *State of Technology Review – Algae Bioenergy* a cura di Lieve M.L. Laurens
- ISPRA, (2010). Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili
- Johnston R. J., Rolfe J., Rosenberger R.S., Brouwer R., (2015). *Benefit Transfer of Environmental and Resource Values*.
- Kaladharan P., Veena S., Vivekanandan E., (2009). *Carbon sequestration by a few marine algae: observation and projection*.
- Kolstad, C.D., 2000. Environmental Economics. Oxford University Press.
- Kuman M., Kuman P. (2008). Valuation of the ecosystem services: A psycho-cultural perspective. *Ecological Economics*, 64, p. 808-819.
- Hein L., van Koppen K., de Groot R. S., van Ierland E. C., (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 57, p. 209-228.
- IRPET, (2017). *Un nuovo Sistema di catalogazione dati per la valutazione delle risorse ambientali in Italia: la piattaforma IRPET-SdF e il metodo dei Benefici Trasferiti* di Edoardo Maria Cortini.
- Lenzi M., (1992). Experiences for the management of Orbetello Lagoon: eutrophication and fishing
- Lenzi M, Palmieri R, Porrello S (2003) Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management. *Mar Pollut Bull* 46(12): 1540-1548.
- Lenzi M, Renzi M, Nesti U, Gennaro P, Persia E, et al. (2011). Vegetation cyclic shift in eutrophic lagoon. Assessment of dystrophic risk indices based on standing crop evaluations
- Liu S., Costanza R., Farber S., Troy A. (2010). Valuing ecosystem services: theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185, p. 54-78
- Loomis J. e G. Helfand (2003). Environmental Policy Analysis for Decision Making.
- Loomis, J. B., & Rosenberger, R. S. (2006). Reducing barriers in future benefit transfers: Needed improvements in primary study design and reporting. *Ecological Economics*, 60(2), 343-350.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). *Ecosystem and Human Well-being: Synthesis*

Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali MIPAAF (2011). Progetto pilota per la valutazione della produzione di biodiesel da biomasse algali delle Lagune di Lesina (Foggia) e Orbetello (Grosseto) “BALLO” (Biocombustibili da Alghe nella Laguna di Lesina e Orbetello)

Morris J., Camino M., (2011). *Economic Assessment of Freshwater, Wetland and Floodplain (FWF) Ecosystem Services*. UK National Ecosystem Assessment Working Paper

OECD, (2018). *Purchasing power parities (PPP) (indicator)*. doi: 10.1787/1290ee5a-en (Accessed on 23 June 2018)

Oilgae (2017). *Emerging Algae Product and Business Opportunities*.

Pearce D., (2003). *The Social Cost of Carbon and its Policy Implications*. *Oxford review of economic policy*, Vol. 19, p. 362-384.

Pearce et al. (2006). Cost Benefit Analysis and the Environment. Recent developments.

Postiglione C., (2012). *I Servizi Ecosistemici delle Zone Umide: Valutazione della Laguna di Orbetello*.

Provincia di Livorno, Assessorato alla Difesa del Suolo e delle Coste (2006). Linee Guida “Gestione integrata della Posidonia oceanica”

Radmer Richard J., (1996). Algal Diversity and Commercial Algal Products. *Bioscience*, Vol 46, No 4, pp. 263-270

Regione Toscana, (2013). *Mappe della pericolosità e del rischio direttiva 2007/60 CE e del D.Lgs 49/2010* a cura di Bottai L., Romanelli S., Consorzio LaMMA.

Sadava D., Craig Heller H., Orians G. H., Purves W. K., Hills D. M. (2010). *Biologia. La scienza della vita*.

Schuyt k., Brander L., 2004. *The economic value of the World's wetlands*. WWF Living Waters: Conserving the Source of Life. Gland, Switzerland

Suganya T., Varman M., Masjuki H.H., Renganathan S. (2016). Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol 55, pp. 909-941

Sundberg S., Söderqvist T., (2004). *The economic value of environmental change in Sweden A survey of studies*.

Brander L., Gómez-Baggethum E., Martín-López B., Verma M., (2010). *The Economics of valuing ecosystem services*

and biodiversity. Capitolo 5 in TEEB, (2010)

Tiezzi E., Marchettini N. (1999). Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico.

Tol R., (2005). *The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties*. *Energy Policy*, 33, 2064-2074.

Tol R., (2008). *The Social Cost of Carbon: Trends, Outliers and Catastrophes*. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, Vol 2, 2008-25.

Treccani (2009). Enciclopedia degli idrocarburi. Volume III/Nuovi sviluppi: Energia, Trasporti, Sostenibilità. Produzione biologica di H₂: meccanismi e processi, Cap. 4.3, p. 337-360 testo disponibile al sito http://www.treccani.it/export/sites/default/Portale/sito/altre_aree/Tecnologia_e_Sienze_applicate/enciclopedia/italiano_vol_2/337-360_ita.pdf

Turner R. K., Paavola J., Cooper P., Farber S., Jessamy V., Georgiou S., (2003). Valuing nature: lessons learned and future research directions.

Turner R. K., Folke C., Gren I. M., Bateman I. J., (1995). *Wetland valuation: three case studies*. Biodiversity loss. Economic and ecological issues. Capitolo 4, pag. 129-149.

UK NEA, (2014). Work Package Report 4: Coastal and marine ecosystem services: principles and practice

UK NEA, (2011). Economic Values from Ecosystems, Capitolo 22.

UK NEA, (2011). Coastal Margins. Capitolo 11.

van den Bergh J. C. J. M., Botzen, W. J. W., (2014). *A lower bound to the social cost of CO₂ emissions*. *Nature Climate Change*, April 2014

Van der Ploeg S., de Groot D., Wang Y., (2010). *The TEEB Valuation Database: overview of structure, data and results*.

World Bank and Ecofys. (2018). State and Trends of Carbon Pricing 2018 (May), Washington, DC.

Sitografia

<http://www.lifeprime.eu/> sezione download consultato il 6-4-2018, 17:00.

https://it.wikipedia.org/wiki/Posidonia_oceanica

ebook.scuola.zanichelli.it/sadavabiologia/download/17722 consultato il 6-4-2018, 17:00.

<http://www.uniroma2.it/didattica/alghe/deposito/1-Intro.pdf>

<http://www.minambiente.it/>

<http://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000>

http://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2006_0152.htm consultato il 7-4-2018, 22:00.

<https://www.ambientediritto.it/Legislazione/Rifiuti/2002/Decreto%20Ronchi%201997%20n.%2022.htm> consultato il 7-4-2018, 22:40.

<http://www.ecodynamics.unisi.it/> consultato il 8-4-2018, 11:53.

<http://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-per-lambiente/sistema-carta-della-natura/carta-della-natura-alla-scala-1-250.000/i-tipi-e-le-unita-fisiografiche-di-paesaggio>

<http://www.isprambiente.gov.it/files/carta-della-natura/tipi-e-unita-fisiografiche.jpg>

<http://www.albonazionalegestoriambientali.it/>

<https://www.millenniumassessment.org/en/index.html>

<http://www.teebweb.org/about/>

https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/teeb_waterwetlands_report_2013.pdf

<http://www.seitoscana.it/>

<http://www.regione.toscana.it>

<http://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2018/03/28/37/s5/pdf>

<https://www.ilsole24ore.com/art/finanza-e-mercati/2017-06-21/cartiere-allarme-rincari-record-la-cellulosa--201743.shtml>

Tabelle

Tabella 1 Riferimenti normativi per la tutela, gestione e riuso delle biomasse spiaggiate

Tabella 2 Work plan

Tabella 3 Gestione della Laguna di Orbetello dal 1994 al 2018

Tabella 4 Studi primari di partenza per l'applicazione de BT

Tabella 5 Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello

Tabella 6 Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello considerando lo scenario A, B, C e D

Tabella 7 Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello considerando lo scenario E, F, G e H.

Tabella 8 Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello considerando lo scenario I e J.

Tabella 9 Valore dei servizi ecosistemici della Laguna di Orbetello minimo, massimo e medio annuo e per ettaro annuo.

Tabella 10 Categorie di processi e tecniche di conversione di biomassa algale in energia e biocombustibili, prodotti ottenuti e tipologia di alghe utilizzate

Tabella 11 Esempi di settori, prodotti, tipologie di alghe e imprese che utilizzano come materia prima biomassa algale attualmente sul mercato globale

Tabella 12 Analisi finanziaria, economica, di sensitività e di scenario dello status quo

Tabella 13 Analisi finanziaria, economica e di sensitività dello scenario "base" del settore cartario.

Tabella 14 Analisi dello scenario "ottimistico" e "pessimistico" del settore cartario

Tabella 15 VANF e VANE dello scenario attuale e degli scenari del settore cartario (base, pessimistico e ottimistico) in relazione al tasso di sconto finanziario e sociale

Tabella 16 Variazioni percentuali dei valori del VANF e VANE ottenute dal confronto dello scenario attuale con lo scenario cartario base, pessimistico e ottimistico

Figure

Figura 1 Modalità di gestione delle biomasse algali

Figura 2 Ecosystem assessment framework

Figura 3 Relazione tra Servizi Ecosistemici e benessere umano

Figura 4 Processo di valutazione dei Servizi Ecosistemici

Figura 5 Scomposizione del VET nelle sue componenti di valore

Figura 6 Laguna di Orbetello

Figura 7 Collegamento Orbetello – Promontorio Argentario

Figura 8 Evento di proliferazione macroalghe nella Laguna di Orbetello con produzione di idrogeno solforato (a sinistra) e moria di fauna ittica anno 2015 (a destra)

Figura 9 Bacino di lagunaggio o fitodepurazione

Figura 10 Specie di alghe presenti nella Laguna di Orbetello: (A) *Chaetomorpha linum*; (B) *Gracilariopsis longissima*; (C) *Ulva lactuca*; *Cladophora* sp. (D)

Figura 11 Beni e Servizi forniti dai servizi ecosistemici finali delle zone costiere, in particolare delle zone lagunari costiere

Figura 12 CO₂ totale assorbita (t/day) ed emessa (t/day) da biomasse algale lungo le coste Indiana

Figura 13 Prezzi del carbonio per tonnellata di CO₂

Figura 14 Esempi di settori, prodotti, tipologie di alghe e imprese che utilizzano come materia prima biomassa algale attualmente sul mercato globale.

Figura 15 Alcuni dei prodotti innovativi ottenuti utilizzando la biomassa algale: (a) esempi di imballaggi di bio-plastica composta da alghe della start-up Evoware, (b) la “Ooho ball” della Skipping Rocks Lab, (c) le scarpe in EVA a base di alghe della VivobareFoot e (d) ed (e) campioni e filler per stampanti 3D prodotti da Eric Klarenbeek e Maartje Dros.

Figura 16 Confronto dei VANF e VANE tra lo scenario attuale e gli scenari del settore cartario (base, pessimistico e ottimistico)

Figura 17 Modello di coproduzione e utilizzo alternativo di biomassa algale.

Figura 18 Confronto scenario attuale e scenari del settore cartario base, pessimistico e ottimistico

Appendice 1

Questa appendice si riferisce all'analisi costi benefici del capitolo 5.

La tabella 15 mostra i valori di VANF e VANE ottenuti dall'analisi costi-benefici rispetto ai vari scenari del settore cartario (base, pessimistico e ottimistico) e tassi di sconto sociale e finanziario (3%, 4%, 5%).

Tab. 15 – VANF e VANE dello scenario attuale e degli scenari del settore cartario (base, pessimistico e ottimistico) in relazione al tasso di sconto finanziario e sociale

SCENARI	VANF			VANE		
	3%	4%	5%	3%	4%	5%
TASSO DI SCONTO						
CARTARIO						
PESSIMISTICO	-15.153.408	-14.408.301	-13.716.767	17.203.418	16.357.960	15.573.284
SCENARIO ATTUALE	-11.984.935	-11.395.809	-10.849.038	26.182.611	24.861.848	23.636.475
CARTARIO BASE	-5.281.458	-5.009.752	-4.757.736	27.980.460	26.614.739	25.347.081
CARTARIO						
OTTIMISTICO	36.146.521	34.369.718	32.720.659	321.270.346	305.478.116	290.821.273

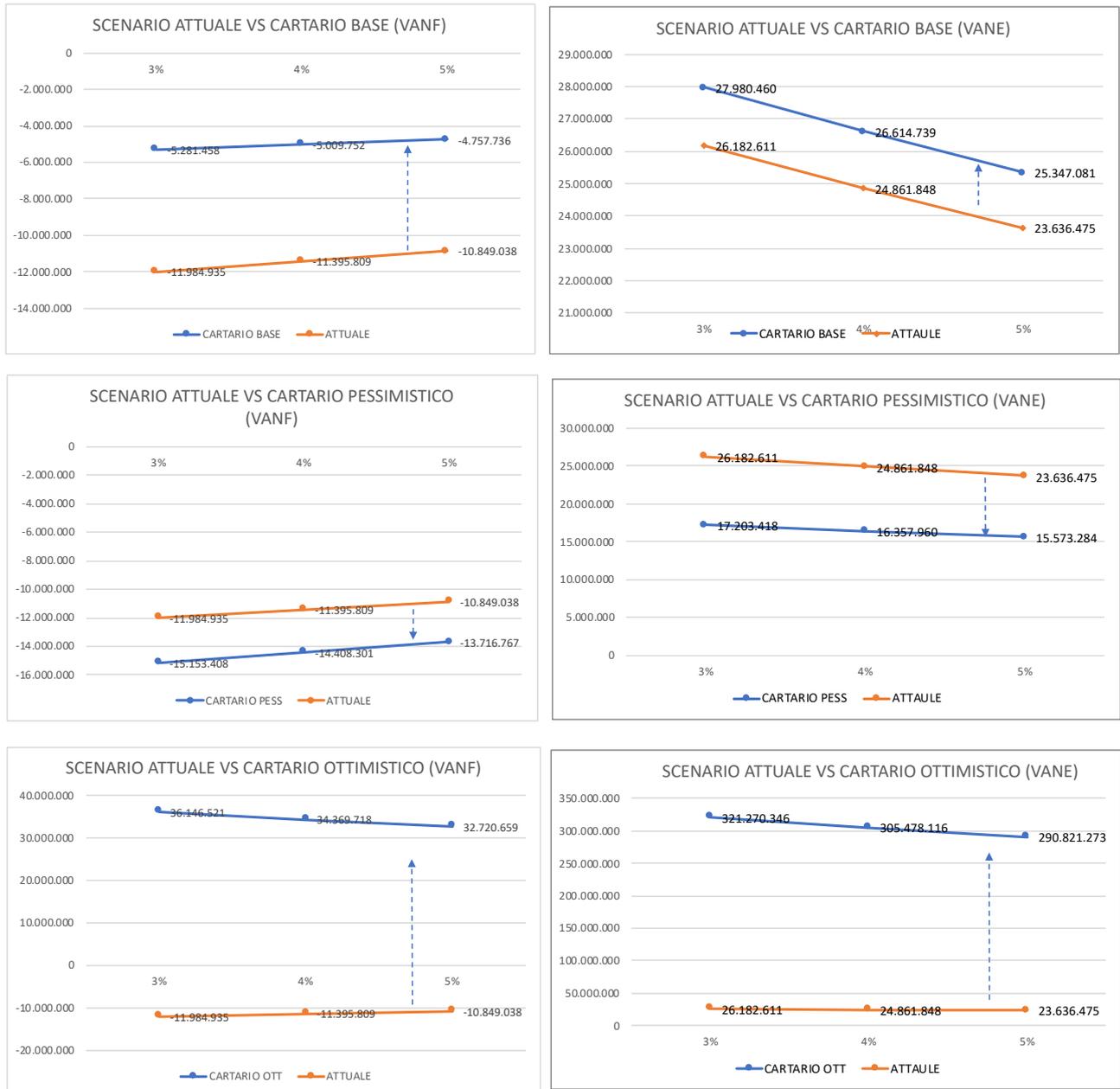
La tabella 16 mostra le variazioni percentuali dei valori del VANF e VANE ottenute dal confronto dello scenario attuale con lo scenario cartario base, pessimistico e ottimistico.

Tab. 16 – Variazioni percentuali dei valori del VANF e VANE ottenute dal confronto dello scenario attuale con lo scenario cartario base, pessimistico e ottimistico

DELTA	VANF			VANE		
	3%	4%	5%	3%	4%	5%
ATTUALE VS						
CARTARIO BASE	56%	56%	56%	7%	7%	7%
ATTUALE VS						
PESSIMISTICO	26%	26%	26%	34%	34%	34%
ATTUALE VS						
OTTIMISTICO	402%	402%	402%	1127%	1129%	1130%

Le figure 18 mostrano il confronto dello scenario attuale con gli scenari del settore cartario (base, pessimistico e ottimistico) in cui l'asse delle ascisse rappresenta il tasso di sconto (finanziario/sociale) e l'asse delle ordinate il VAN finanziario (grafici a sinistra) ed economico (grafici a destra).

Fig. 18 – Confronto scenario attuale e scenari del settore cartario base, pessimistico e ottimistico



Ringraziamenti

Desidero ringraziare coloro che mi hanno supportato in questi mesi di lavoro, in particolare la Prof.ssa Silvia Ferrini, relatrice di questa tesi di laurea, per essere stata una guida e un punto di riferimento costante; ringrazio il Prof. Federico Maria Pulselli, in veste di correlatore, per le osservazioni, le riflessioni e gli incoraggiamenti ricevuti e il Prof. Silvano Focardi, per la passione per il lavoro trasmessami.

Un sentito ringraziamento all'azienda SEI Toscana, per la possibilità datami di svolgere il tirocinio e di mettere in pratica le conoscenze acquisite durante il percorso di studio in Economia dell'Ambiente e dello Sviluppo; inoltre, voglio esprimere la mia gratitudine all'azienda Favini srl, per la piena fiducia e la collaborazione ricevuta durante i mesi di ricerca e di preparazione del presente elaborato. Un affettuoso grazie alla mia famiglia, per aver creduto in me incondizionatamente e agli zii e i cugini colligiani, per essermi stati vicino in questi anni di soggiorno senese. Un grande grazie a Davide, per il sostegno morale e i preziosi consigli.

Infine, esprimo la mia riconoscenza a Siena e il suo contesto stimolante, per aver contribuito all'arricchimento personale e alla crescita accademica.

Al fine di ridurre l'impatto ambientale e dare visibilità al risvolto pratico dello scopo dell'elaborato, la presente tesi di laurea è stampata su Shiro Alga carta, linea ecologica dell'azienda Favini Srl che utilizza alghe in eccesso provenienti da ambienti lagunari inquinati.