



SeaForest LIFE

LIFE17 CCM/IT/000121

Action C.1 Definition of environmental services that habitat 1120* generates for the mitigation of climate change

Deliverable C.1 Report on activities carried out



Beneficiary responsible for implementation: UNITUS

31/03/2023



Abstract

The paper presents an economic evaluation of the mitigation services of *Posidonia oceanica* considering the costs related to the restoration of ecosystem services related to the habitat examined within the project "SEAFORST LIFE Posidonia meadows as carbon sinks of the Mediterranean" which, among its aims, is to promote a local market in which the emitter of CO₂ has the possibility of offsetting its emissions through activities of absorption and reduction of climate-altering gases that are carried out in the immediate vicinity. The benefit of offsetting is added to that of the possibility of enjoying the ecosystem services provided by the activity itself and increasing the visibility of the actions by the private sector. The social value of the tonnes of C potentially sequestered through the application of the SEAFORST methodology is considered equal to the avoided social damage resulting from the release of the same tonnes of C into the atmosphere. Alongside carbon storage, *Posidonia oceanica* generates a series of additional ecosystem services that, among other things, allow it to

- **produce large quantities of oxygen**, it is estimated that one square metre of *Posidonia oceanica* meadow can generate up to 20 litres of oxygen per day (Carannante, 2011)
- **provide food and shelter** for fish, plants and other marine species; specifically, prairies can host around 350 species per hectare (Bruno, 2001), making this habitat one of the richest places for biodiversity
- stabilising the seabed through the mats that are able to trap sediment (Carannante, 2011); and **preventing coastal erosion** thanks to the leaf apparatus that is able to attenuate wave energy (Alagna, et al., 2010).
- **water purification (bioremediation)** through the sequestration of nutrients and contaminants produced by organisms living within the grassland (Scanu et al., 2022)
- **carbon sequestration** (Scanu et al. 2022)

The methodology for assessing the ES (Ecosystem Services) of *Posidonia oceanica* seagrass beds adopted derives from a previous study (Scanu et al., 2022) in which the site-specific approach was applied to define benefits and services. The distribution of *Posidonia oceanica* was carried out thanks to the cartographic mapping made by ISPRA (action A.1) of the three Marine Protected Areas (MPAs) examined by the SEAFORST project: a) La Maddalena Archipelago National Park (PNALM); b) Asinara National Park - Marine Protected Area (PNAS); c) Cilento, Vallo di Diano and Alburni National Park (PNCVDA). The economic value of ES was calculated by referring to five essential ecosystem services (ES): carbon sequestration, bioremediation, oxygen production, erosion protection and food production.

The calculation of the **oxygen sequestration** value attributable to *Posidonia oceanica* is determined by the following equations:

Equation determining the value of oxygen sequestration attributable to biomass (Ob)

$$Ob = [B \times (Max \ 32)] \times 10C$$

Equation determining the value of oxygen sequestration attributable to the epiphytic community (Oe)

$$Oe = (Mc \times 32) \times 10C$$

in which:

- B is the biomass of *Posidonia oceanica* seagrass beds (gm-2 yr-1) (see Table 10);
- Ma are the moles of oxygen supplied in one year, a figure derived from literature data indicating 0.03 molm-2per day multiplied by 365 days (Duarte et al., 2010);
- Mc is the moles supplied in one year by epiphytic communities (equal to 0.018 mol m-2per day multiplied by 365 days) (Gazeau et al., 2005);
- 32 is the molecular mass of oxygen;
- 10 is the conversion factor of grams to kilograms and square metres to hectares to ha; and
- C is the industrial production cost of oxygen per kg (equal to €0.05).

Consequently, the total value is calculated by adding the 2 previous equations:

$$O_{tot} = Ob + Oe$$

With regard to the ecosystem service of oxygen production, an average economic value was calculated in the SEAFORST project areas of **€989.47 ha1year-1**.

The economic value of the ecosystem benefit related to **food production** is calculated according to the method presented in Marcelli et al, 2018, in which the historical data of *Posidonia oceanica* were supplemented with catch data of commercial fish species updated to 2012 and collected through the publications of the Institute of Economic Research for Fisheries and Aquaculture (IREPA), which has reported on the production of the 49 most commercially relevant fish species since 2004, with monthly data on fishing days, catches and revenues by region and fishing systems. The economic value of the food production of *Posidonia oceanica* meadows through the following equation

in which:

- P is the value of the benefit in euros per hectare per year;
- Rr is the revenue in euro of the species identified as resident
- Et is the total extension in hectares of *Posidonia oceanica* meadows (Table 13);
- Ed is the extension in hectares of degraded *Posidonia* meadows (Table 13);
- Em is the extent in hectares of dead mats; and
- Rv is the revenue in euro of the visiting species

With regard to the ecosystem service of food production, an average economic value in the SEAFORST project areas of **€16,099.60 ha1year-1** was calculated.

The economic value of **erosion protection** of *Posidonia oceanica* meadows is obtained by calculating the wave attenuation percentage (WAP) using the following equation:

$$\text{WAP} = H_c/H_0 \times 100$$

in which:

- H_0 is the incident wave height in the open sea and
- H_c is the resulting wave height after passing over the *Posidonia oceanica* meadow.

Furthermore, in order to achieve the economic estimate of the ecosystem service in question, the cost of obtaining protection from erosion through the construction of a submerged barrier used in coastal defence works was taken into account (Marcelli et al., 2018). The calculation of the estimate leads to a cost of approximately € 1 432.08 per m for a structure that allows an average energy dissipation of 20%. Considering this cost extended to one hectare, assuming an area of 100 square metres, and spreading it over a guarantee period of the structure of about 20 years, the benefit is calculated with the following equation:

in which:

- E is the value of the benefit in € per hectare per year;
- 1 432.08 is the cost per linear m of a barrier capable of providing wave attenuation of approximately 20%;
- $(H_{rms}/H_{rms0}) \times 100$ is the percentage of wave attenuation obtained from the model used by the Copernicus website (Copernicus Marine Service, 2021)
- 20 is the proportion for the calculation of the submerged barrier value
- 5 is a conversion factor given by the ratio between an area of 1 ha and the average life of a submerged reef (20 years).

Regarding the ecosystem service of erosion protection, an average economic value in the SEAFORREST project areas of **14 195.76 € ha¹year⁻¹** was calculated.

Bioremediation refers to the ability of *Posidonia oceanica* to carry out the degradation and remediation of pollutants through metabolic processes; more precisely, it succeeds, together with its associated organisms, in removing excess amounts of nitrogen (N) and phosphorous (P) from coastal waters and sediments, making these substances available again to the biological communities present. To perform the calculation, the amount of P and N used by the metabolic processes of *Posidonia oceanica* was also estimated using data on the number of bundles/m² (Marcelli et al., 2018) and literature data on the concentration of N and P as the minimum daily amount required by the plant (Gobert et al., 2005). Considering the values calculated in the study by Scanu et al., 2022 the relationship is described by the equation:

in which:

- B is the average annual bioremediation value of N and P per hectare of N expressed in euros,
- E is the minimum daily amount of N or P required by *Posidonia oceanica* meadows (respectively 0.09 mg bundles per day of nitrogen and 0.01 mg bundles per day of phosphorus)
- n is the number of bundles per m².
- A represents the days in a year (365)
- G is 3.78 (conversion factor from gallons to litres).
- m is 15 for nitrogen and 1.9 for phosphorus (the value indicates the average milligrams contained in 1 L of water entering the purification plant, a value obtained depending on the efficiency of the purification treatment), and
- C is the cost in euros for operating and managing an urban waste water treatment plant (€ 0.018 for nitrogen per litre and € 0.01 for phosphorus per litre)

With regard to the ecosystem service of bioremediation, an average economic value was calculated in the SEAFOREST project areas of **€ 9,356.84 ha¹year⁻¹**.

The calculation of **carbon sequestration** was carried out through the development of a methodology based on the Standard realised within the SEAFOREST project. This methodology for estimating the carbon sequestration value considered above- and below-ground biomass and the soil component, the latter of which includes both rhizomes and dead roots and their associated organic sediments (matte) and represents the main pool of organic carbon stored by *Posidonia oceanica* seagrass beds. Consequently, to determine the value of this ecosystem component, the equation $C = 0.01 \times CT \times 27.7$ was used, where C is the value of the carbon sequestration benefit for *Posidonia oceanica* seagrass beds (€ ha⁻¹year⁻¹), CT is the total organic carbon, 0.01 is the conversion factor from grams to tonnes per hectare, and \$27.7 is the average annual monetary exchange value of 1 tonne of CO₂ from Blue Carbon projects based on a report by OPIS (Oil Price Information Service) . For the ecosystem service of carbon sequestration, an average economic value in the SEAFOREST project areas of **€158.10 ha⁻¹year⁻¹** was calculated.

Sommario

Premessa	3
Introduzione.....	4
Area di studio	6
Servizi ecosistemici delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	13
Sequestro del carbonio.....	14
Produzione di ossigeno.....	15
Biorisanamento.....	17
Protezione dall'erosione.....	18
Produzione alimentare	20
Quantificazione del valore economico dei servizi ecosistemici delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i>	22
Analisi del mercato.....	23
Bibliografia.....	27

Premessa

Il documento presenta una valutazione economica dei servizi di mitigazione della *Posidonia oceanica* considerando i costi relativi al ripristino dei servizi ecosistemici relativi all'habitat esaminato nell'ambito del progetto “SEAFOREST LIFE Posidonia meadows as carbon sinks of the Mediterranean” che, tra gli scopi, ha quello di promuovere un mercato locale in cui il soggetto emettitore di CO₂ ha la possibilità di compensare le proprie emissioni attraverso attività di assorbimento e riduzione di gas climalteranti che siano realizzate nelle immediate vicinanze. Al beneficio della compensazione si aggiunge quello della possibilità di godere dei servizi ecosistemici forniti dall'attività stessa ed aumentare la visibilità delle azioni da parte del privato. Il valore sociale delle tonnellate di C potenzialmente sequestrabili attraverso l'applicazione della metodologia SEAFOREST è considerato uguale al danno sociale evitato conseguente al rilascio delle stesse tonnellate di C in atmosfera. Contestualmente allo stoccaggio di carbonio la *Posidonia oceanica* genera una serie di servizi ecosistemici aggiuntivi che, tra le altre cose, permettono di:

- produrre grandi quantità di ossigeno, si stima infatti che un metro quadrato di prateria di *Posidonia oceanica* può generare fino a 20 litri di ossigeno al giorno (Carannante, 2011);
- offrire cibo e rifugio a pesci, piante e altre specie marine, nello specifico le praterie permettono di ospitare circa 350 specie ad ettaro (Bruno, 2001), rendendolo tale habitat uno dei luoghi più ricchi di biodiversità;
- stabilizzare i fondali attraverso le matte che sono in grado di intrappolare il sedimento (Carannante, 2011); e prevenire l'erosione costiera grazie all'apparato fogliare che è in grado di attenuare dell'energia del moto ondoso (Alagna, et al., 2010).
- purificazione delle acque attraverso il sequestro di nutrienti e contaminanti prodotti dagli organismi che vivono all'interno della prateria (Scanu et al., 2022)
- sequestro del carbonio (Scanu et al. 2022)

La metodologia di valutazione dei SE (Servizi Ecosistemici) delle praterie di *Posidonia oceanica* adottata deriva da uno studio precedente (Scanu et al., 2022) in cui è stato applicato l'approccio sito-specifico per la definizione dei benefici e dei servizi. La distribuzione della *Posidonia oceanica* è stata realizzata grazie alla mappatura cartografica fatta da ISPRA delle tre Aree Marine Protette (AMP) prese in esame dal progetto SEAFOREST: a) Parco nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena (PNLM); b) Parco Nazionale dell'Asinara - Area Marina Protetta (PNA); c) Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (PNCVD). Il valore economico dei SE è stato calcolato facendo riferimento a cinque servizi ecosistemici (SE) essenziali: sequestro del carbonio, biorisanamento, produzione di ossigeno, protezione dall'erosione e produzione alimentare.

Introduzione

Come gli ecosistemi naturali, gli ecosistemi marini sono capaci di generare flussi di Servizi Ecosistemici (SE) contribuendo al benessere della collettività. Ciò avviene grazie ai processi generati dalle interazioni tra acqua, suolo e vegetazione, in base ai quali vengono generati servizi di fornitura, regolazione e culturali. Con il termine *blue carbon* si intende il sequestro di carbonio operato dagli ecosistemi marini con particolare riferimento a quelli che si sviluppano principalmente nella parte costiera e che possono essere influenzati più direttamente dall'attività umana: mangrovie, paludi di marea e fanerogame marine. Tali ecosistemi sequestrano e immagazzinano grandi quantità di *blue carbon* sia nella biomassa che nel sedimento sottostante. Le piante marine in particolare costituiscono l'habitat costiero vegetato più esteso e produttivo, con un elevato potenziale di sequestro (Krause-Jensen & Duarte, 2016). Tra queste la *Posidonia oceanica* costituisce un importante habitat marino, situato in gran parte delle coste del Mar Mediterraneo (Cullen-Unsworth&Unsworth, 2016), che sta affrontando un calo in tutto il mondo a causa di minacce globali e locali come l'aumento delle temperature oceaniche, l'indiscriminato sviluppo delle coste e l'inquinamento derivante da scarichi fognari e agricoltura (Tan et al., 2020). Per ridurre il processo di regressione di *Posidonia oceanica* e per facilitare la conservazione di questo importante ecosistema e delle comunità ecologiche e costiere che supportano, nel corso degli anni sono state attivate in tutto il pianeta molteplici azioni di ripristino (Tan et al., 2020) e di riduzione d'impatto degli usi costieri attraverso una migliore gestione dei processi ecologici coinvolti (Marcelli et al., 2018). La conservazione delle comunità di *Posidonia oceanica* ha una diretta influenza sia sulla qualità che sulla quantità dei suoi servizi ecosistemici, che sono definiti come "*i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano*" (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). I servizi ecosistemici si possono dividere in quattro grandi categorie (Millennium Ecosystem Assessment, 2005):

- ✓ supporto alla vita (come ciclo dei nutrienti, formazione del suolo e produzione primaria);
- ✓ approvvigionamento (come la produzione di cibo, acqua potabile, materiali o combustibile);
- ✓ regolazione (come regolazione del clima e delle maree, depurazione dell'acqua, impollinazione e controllo delle infestazioni);
- ✓ valori culturali (fra cui quelli estetici, spirituali, educativi e ricreativi).

I SE quindi, non soltanto includono quelli forniti direttamente dalla natura, ma comprendono anche i servizi legati più a concetti di tipo socio-economico (Daily, 1997). In particolare la quantificazione economica dei SE permette di ottenere una informazione più dettagliata per effettuare scelte di tipo gestionale e di allocazione delle risorse (Scanu et al. 2022). Nel Mediterraneo, le praterie di *Posidonia oceanica* ospitano circa il 25% di tutte le specie presenti in questo bacino (MATTM, 2008). Ciò nonostante negli ultimi anni è stata registrata una perdita di superficie a causa dei cambiamenti climatici e delle attività antropiche, come successo in alcune aree della Sardegna nelle quali sono state individuate 23 215 ha di matte morta (Telesca et al. 2015). In questo contesto le Aree Marine Protette (AMP) rappresentano un mezzo altamente efficace nella mitigazione degli impatti antropici sugli ecosistemi marini preservandone la biodiversità (Zupan et al., 2018) e svolgendo un compito fondamentale per l'espansione sostenibile del turismo costiero che rappresenta una risorsa essenziale nell'area mediterranea sia dal punto di vista economico che occupazionale.

Le stime economiche dei servizi ecosistemici delle praterie di *Posidonia oceanica* sono importanti per riuscire a dare la percezione dell'importanza delle risorse naturali ai gestori e ai responsabili politici coinvolti nello sviluppo e nell'attuazione di quelle strategie necessarie per la fornitura sostenibile dei servizi ecosistemici stessi (Börger et al., 2014; Maes et al., 2016). La valutazione economica del capitale naturale e soprattutto dei servizi ecosistemici connessi consente di analizzare alcuni aspetti peculiari degli ecosistemi marini quali: i costi da affrontare per lo sviluppo ed il mantenimento del capitale naturale e delle funzioni ecosistemiche associate; i benefici ricevuti (cioè i servizi ecosistemici) e gli impatti generati dalle attività umane per l'uso delle risorse marine (Franzese et al., 2015). Tale valutazione dei SE presenta delle oggettive difficoltà nella sua realizzazione (Townsend et al., 2018), a causa della diffusa distribuzione spaziale dei processi ecologici e della estrema variabilità degli ecosistemi marini (Manea et al., 2019). Malgrado tali difficoltà negli ultimi anni la ricerca ha cercato di trovare alcune metodologie per determinare il valore del capitale naturale e dei servizi ecosistemici negli ecosistemi marini in modo da includerli tra i fattori necessari per una pianificazione marina sostenibile (Börger et al., 2014; Buonocore et al., 2018). In letteratura esistono vari esempi di stima dei servizi ecosistemici legati alla *Posidonia oceanica*, molti di essi sono stati riuniti nel rapporto tecnico dell'Unione Europea redatto dal World Conservation Monitoring Center del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP-WCMC) in collaborazione con l'Institute for European Environmental Policy (IEEP) e il Center for Social and Economic Research on il Global Environment (CSERGE) presso l'Università dell'East Anglia (Weatherdon et al. 2017).

Area di studio

La valutazione economica dei servizi di mitigazione riguarda i posidonieti presenti all'interno delle aree protette che fanno parte del progetto SEAFORREST LIFE, appartenenti a tre Parchi Nazionali italiani (Parco Nazionale dell'Asinara, Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena e Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni), dentro le quali saranno selezionate delle sub-aree denominate Aree Blue Carbon.

Parco Nazionale dell'Asinara

Il Parco Nazionale dell'Asinara comprende l'AMP Isola dell'Asinara (EUAP0552), il Sito di Interesse Comunitario (SIC) Isola dell'Asinara (ITB010082) e l'omonima ZPS (ITB010001). L'AMP interessa un'area di circa 10 732 ha e una porzione di costa di 79 635 m. I confini del SIC delimitano un'area di 17 192 ha, di cui 11 682 a mare, e comprendono l'isola dell'Asinara, l'isola Piana e un'ampia porzione di mare di larghezza variabile dalla costa (1.5 – 5 km circa). I confini coincidono in parte con quelli dell'Area marina protetta "Isola dell'Asinara" e in parte con quelli del "Santuario per i Mammiferi Marini". I confini della ZPS, invece, racchiudono un'area di 9 669 ha, di cui 4 544 a mare, e comprendono l'isola dell'Asinara e una fascia di mare circostante di larghezza variabile (300 – 1200 m). Attualmente in questa zona sono presenti 20 habitat di interesse comunitario, di cui 4 prioritari, tra i quali spicca la presenza di "Praterie di Posidonia (*Posidonium oceanica*, habitat 1120*). La limitata profondità, la pendenza dei fondali e le caratteristiche meteo-marine favoriscono lo sviluppo di praterie a *Posidonia oceanica*, estese lungo tutto il periplo per una superficie totale di 5 200 ha. La prateria più estesa è quella orientale, favorita dalla presenza di un fondale con bassa inclinazione. La maggior parte del posidonieto (circa il 78%) è diffuso su sabbie medie, caratterizzate dall'elevato contenuto bioclastico, mentre il 12,5 % si sviluppa su roccia. Le porzioni morte o degradate, che rappresentano meno del 6%, si concentrano nelle zone più interne, dove la regressione è una conseguenza dell'ancoraggio eccessivo e della pesca a strascico (Chessa & Cossu, 2012).

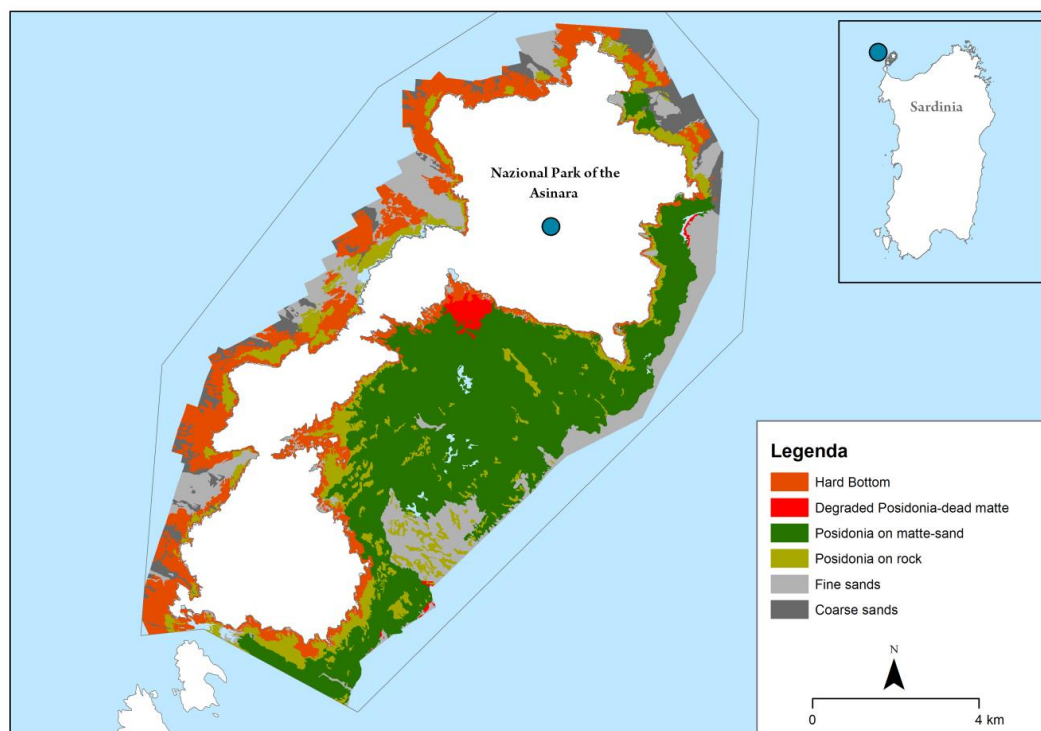


Figura 1. Parco Nazionale dell'Asinara: mappatura praterie *Posidonia oceanica* - anno 1999 (Elaborazione ISPRA)

Le superfici complessive delle tipologie di ecomorfosi di *Posidonia oceanica* presenti nel parco sono riportate nella seguente tabella (il dato è riferito alla mappatura del 2018).

Ecomorfosi	Superficie ¹ (ha)
Posidonia oceanica su roccia	830.62
Posidonia oceanica su matte e sabbia	3188.21
Posidonia oceanica degradata - matte morta	90.25

Tabella 1. Parco Nazionale dell'Asinara: superfici ecomorfosi di Posidonia oceanica

Per quanto riguarda il Parco Nazionale dell'Asinara sono state identificate le seguenti aree Blue Carbon all'interno delle quali è stata analizzata con maggior dettaglio la distribuzione delle ecomorfosi di *Posidonia oceanica* in Figura 2²:

- ✓ SIC Isola Piana
- ✓ Cala Reale

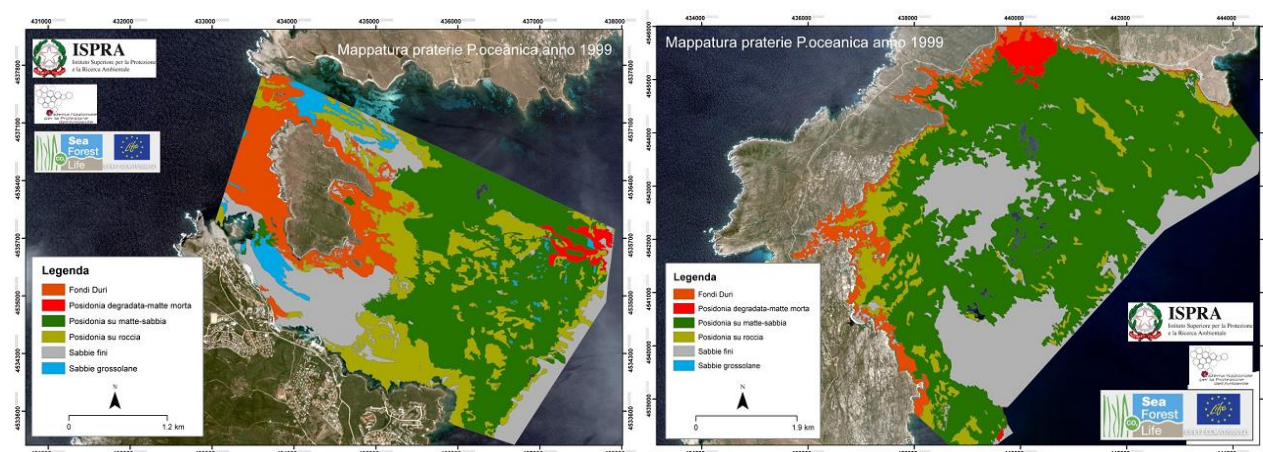


Figura 2. SIC Isola Piana (a destra) e Cala reale a sinistra

Dal confronto tra la situazione del 1999 e quella del 2018 è stata stimata la differenza dell'estensione superficiale delle ecomorfosi presenti (Tabella 2).

Area Blue Carbon	Ecomorfosi	Superficie totale (1999)	Differenza di superficie (+/- ha)
SIC Isola Piana	P. oceanica su roccia	251.30	- 21.8 ha
	P. oceanica su matte e sabbia	468.96	+ 11 ha
	P. oceanica degradata - matte morta	19.53	+1. ha
Cala Reale	P. oceanica su roccia	294.68	0
	P. oceanica su matte e sabbia	2370.80	- 34.1 ha
	P. oceanica degradata - matte morta	67.91	0

Tabella 2. Parco Nazionale dell'Asinara: differenza dell'estensione superficiale delle ecomorfosi tra il 1999 ed il 2018

¹I conteggi delle aree comprendono anche il SIC di Isola Piana

²Vedere Deliverable A1Progetto SEAFORST

Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena

Il Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena (EUAP0018) si estende su una superficie di circa 20 000 ha, di cui 5 100 ha di superficie terrestre e 15 046 ha di superficie marina, e 180 km di costa, comprendendo tutte le isole e gli isolotti appartenenti al territorio del comune di La Maddalena. La quasi totalità dell'estensione del Parco è un Sito di Interesse Comunitario (SIC "ITB010008 Arcipelago La Maddalena"), che coincide spazialmente con la Zona di Protezione Speciale (ZPS ITB010008 Arcipelago La Maddalena). Qui si trovano 19 habitat di interesse comunitario (Allegato I Direttiva Habitat), dei quali tre di interesse prioritario. La varietà delle biocenosi marine è legata sia all'ampio sviluppo delle linee di costa sia alle diverse morfologie dei fondali. Alcune delle praterie di *Posidonia oceanica* presentano uno stato degenerativo attribuibile all'elevata torbidità dell'acqua nelle zone più antropizzate. Altre, invece, mostrano le conseguenze dell'ancoraggio nei mesi estivi (Giani & Cossu, 2003).

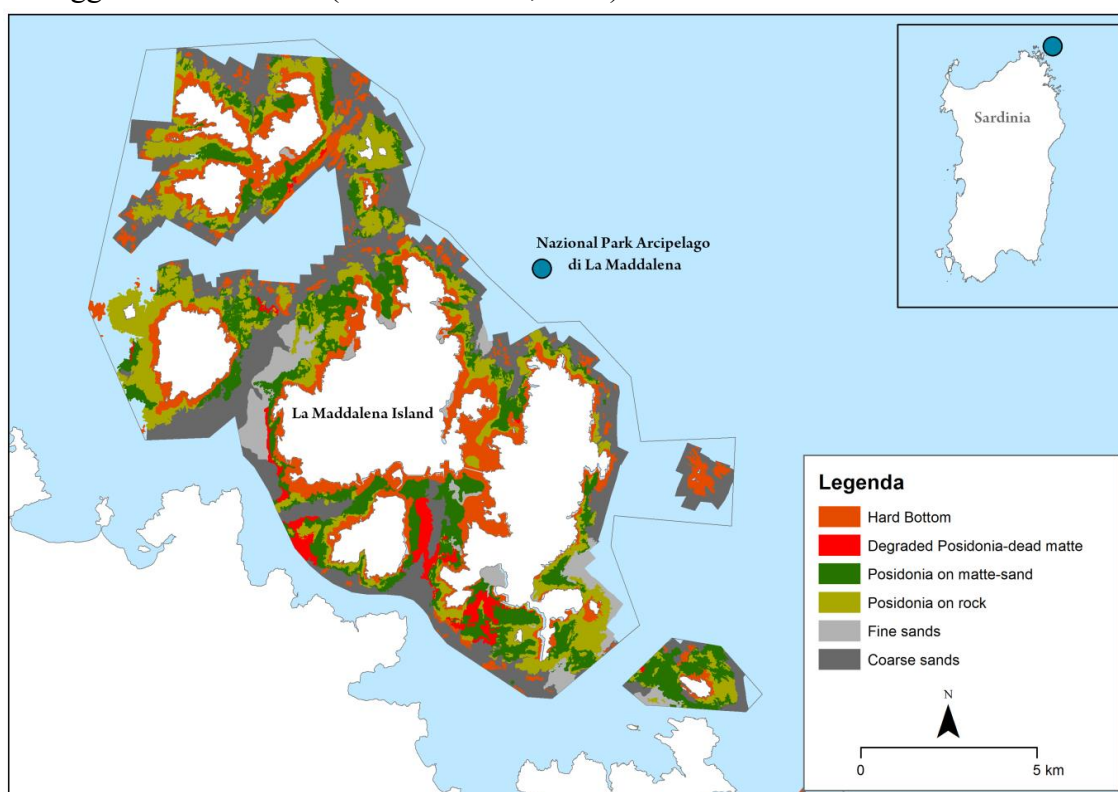


Figura 3. Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena. Mappatura praterie *Posidonia oceanica* - anno 1999 (Elaborazione ISPRA)

Le superfici complessive delle tipologie di ecomorfosi di *Posidonia oceanica* presenti nel parco sono riportate nella seguente tabella (il dato è riferito alla mappatura del 2018).

Ecomorfosi	Superficie (ha)
P. oceanica su roccia	2358.24
P. oceanica su matte e sabbia	2295.79
P. oceanica degradata - matte morta	271.31

Tabella 3. Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena: superfici ecomorfosi di *Posidonia oceanica*

Per quanto riguarda il Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena sono state identificate le seguenti aree Blue Carbon all'interno delle quali è stata analizzata con maggior dettaglio la distribuzione delle ecomorfosi (vedi Deliverable A1) di *Posidonia oceanica* (Figura 4):

- ✓ Cala Caprese e Porto Palma
- ✓ Porto della Madonna e Cala Santa Maria

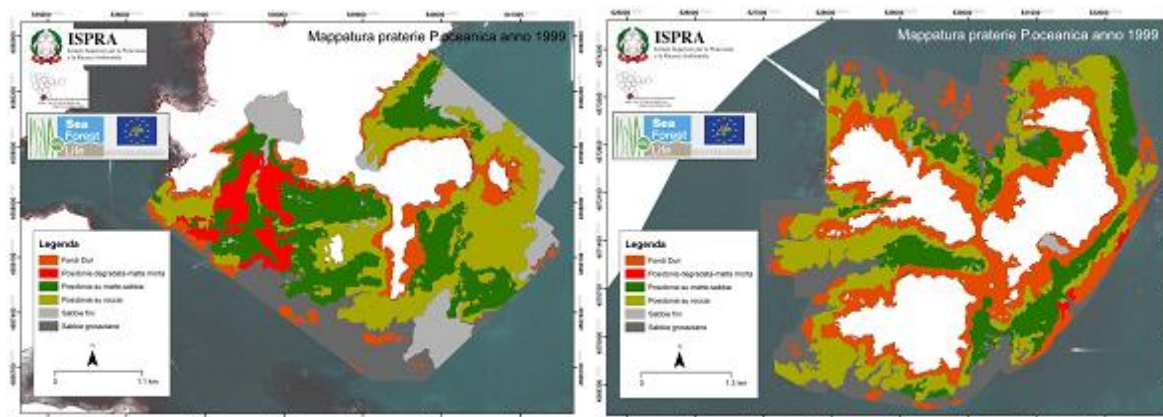


Figura 4. SIC Cala Caprese e Porto Palma (a sinistra), Porto della Madonna e Cala Santa Maria (a destra)

Dal confronto tra la situazione del 1999 e quella del 2018 è stata stimata la differenza dell'estensione superficiale delle ecomorfosi presenti in Tabella 4.

Area Blue Carbon	Ecomorfosi	Superficie totale (1999)	Differenza di superficie (+/- ha)
Cala Caprese - PortoPalma	P. oceanica su roccia	319.59	- 5.3 ha
	P. oceanica su matite e sabbia	285.66	- 4.7 ha
	P. oceanica degradata - matite morta	79.96	- 0.6 ha
Porto della Madonna- Cala Santa Maria	P. oceanica su roccia	488.37	- 3.8 ha
	P. oceanica su matite e sabbia	265.18	-3.2 ha
	P. oceanica degradata - matite morta	7.26	0

Tabella 4. Parco Nazionale dell'Arcipelago di La Maddalena: differenza dell'estensione superficiale delle ecomorfosi tra il 1999 ed il 2018

Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni

Il Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (PNCVD, EUAP0003), che si estende su una superficie a terra di 181 048 ha, comprende 28 Siti di Interesse Comunitario (SIC), 2 Aree Marine Protette (AMP), 5 Zona di Protezione Speciale (ZPS), 1 Zona Speciale di Conservazione (ZSC) e 1 Riserva MAB (Man and Biosphere). Per il seguente studio, si evidenziano l'AMP Costa degli Infreschi e della Masseta (PI, EUAP1228) e l'AMP Santa Maria di Castellabate (SMC, EUAP1225). All'interno di entrambe le AMP è possibile evidenziare la presenza dell'habitat 1120* "Praterie di Posidonia oceanica", con un'estensione di 268 ha per PI e 1 685 ha per SMC. Per quanto riguarda la prima AMP, i posidonieti ricoprono gran parte dei substrati incoerenti tra i 6 e i 35 m di profondità. Questi sono per lo più impiantati su matite nella parte più superficiale (fino a 20 metri di profondità). Le matite appaiono incise da profondi canali di 2 m di altezza, prodotti da forti correnti di fondo. La presenza dei canali intermatite contribuisce all'eterogeneità degli habitat e favorisce rifugio e l'alimentazione delle diverse specie ittiche. Nell'AMP di Santa Maria di

Castellabate, invece, i posidonieti si presentano come ampie e dense praterie, che ricoprono i substrati, anche in questo caso incoerenti, tra i 6 e i 25 m di profondità.

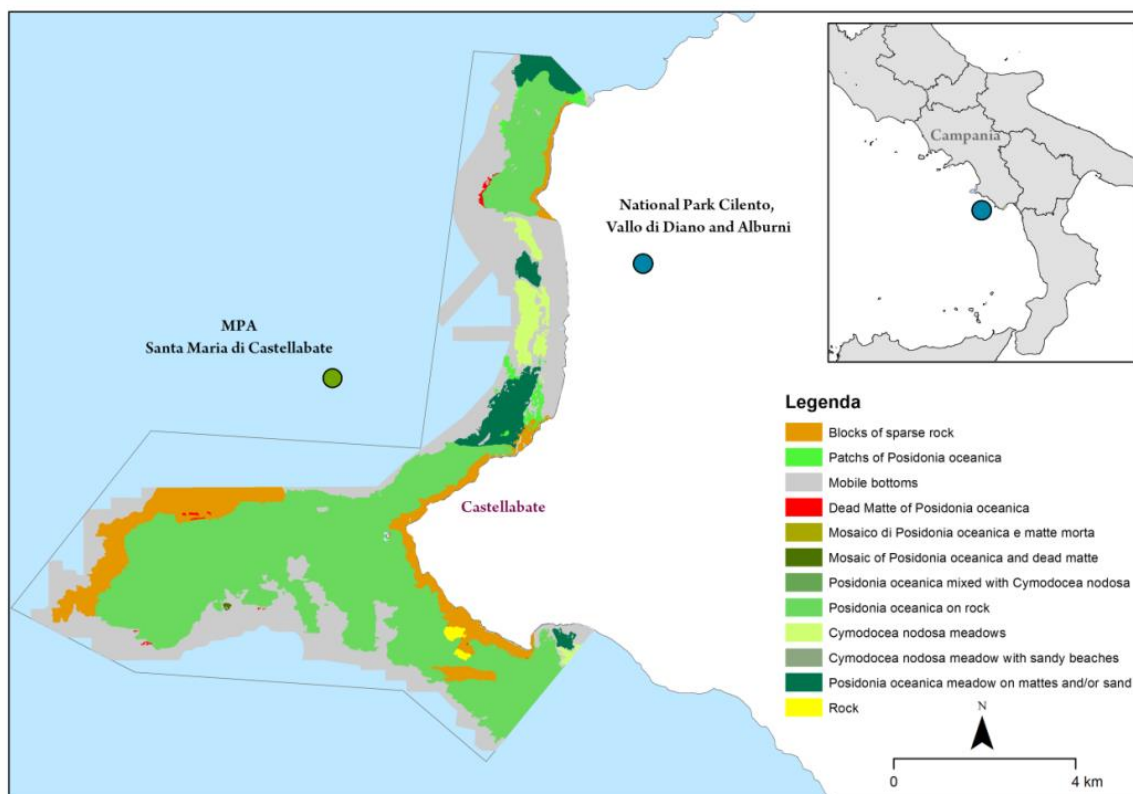


Figura 5. Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni: AMP Santa Marina di Castellabate: mappatura praterie *P. oceanica* - anno 2003 (Elaborazione ISPRA)

Le superfici complessive delle tipologie di ecomorfosi di *Posidonia oceanica* presenti nell'AMP Santa Marina di Castellabate del parco sono riportate nella seguente Tabella 5 (il dato è riferito alla mappatura del 2019).

Ecomorfosi	Superficie (ha)
P. oceanica su roccia	2515.14
P. oceanica su matte e sabbia	233.12
P. oceanica degradata - matte morta	9.56
P. oceanica frammista ad affioramenti rocciosi	1.99
Chiazze e ciuffi di P.oceanica	45.28

Tabella 5. Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni-AMP Santa Marina di Castellabate: superfici ecomorfosi di *Posidonia oceanica*

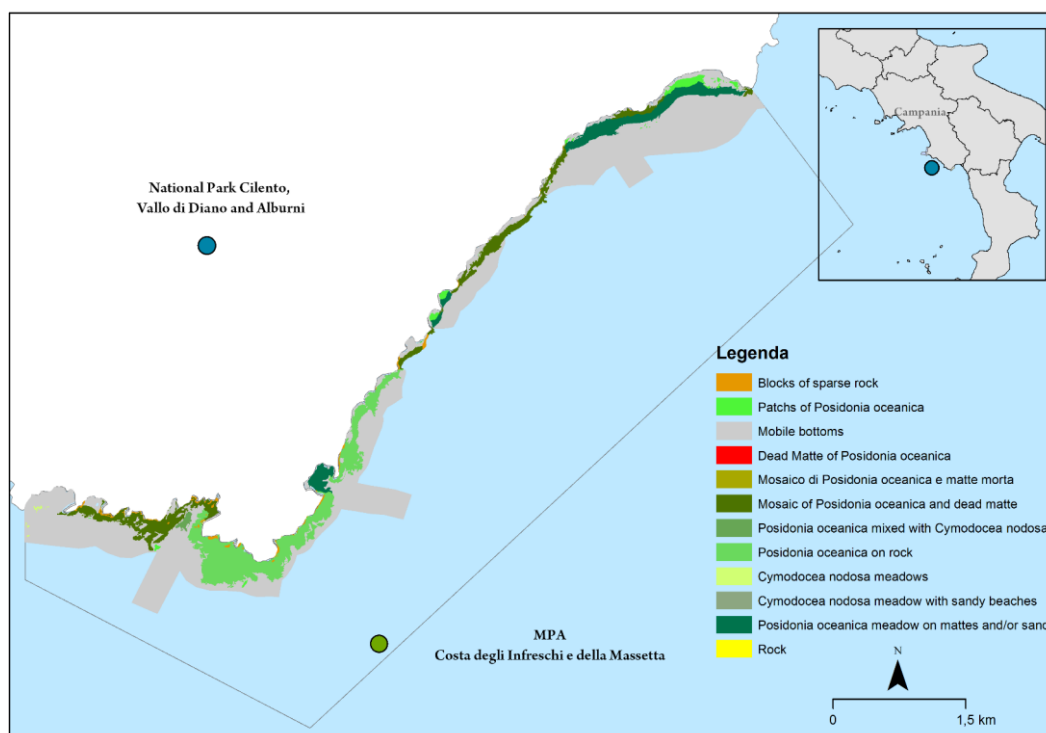


Figura 6. Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni: AMP Costa degli Infreschi e della Masseta. Mappatura praterie *Posidonia oceanica* - anno 2003 (Elaborazione ISPRA)

Le superfici complessive delle tipologie di ecomorfosi di *Posidonia oceanica* presenti nell'AMP Costa degli Infreschi e della Masseta del parco sono riportate nella seguente tabella (il dato è riferito alla mappatura del 2019).

Ecomorfosi	Superficie (ha)
P. oceanica su roccia	65.80
P. oceanica su matte e sabbia	30.98
P. oceanica frammista Cymodocea nodosa	0.01
P. oceanica frammista ad affioramenti rocciosi	51.19
Chiazze e ciuffi di P. oceanica	2.51

Tabella 6. Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni-AMP Costa degli Infreschi e della Masseta: superfici ecomorfosi di *Posidonia oceanica*

Per quanto riguarda il Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni sono state identificate due aree Blue Carbon, di cui una all'interno dell'Area Marina Protetta Santa Maria di Castellabate e comprendente la Baia di Ogliastro e Punta Licosa, mentre la seconda area Blue Carbon è stata posta all'interno dell'Area Marina Protetta Costa degli Infreschi e della Masseta, comprendente Cala Bianca, Cala degli Infreschi e Punta Spinosa (vedi Deliverable A1.)

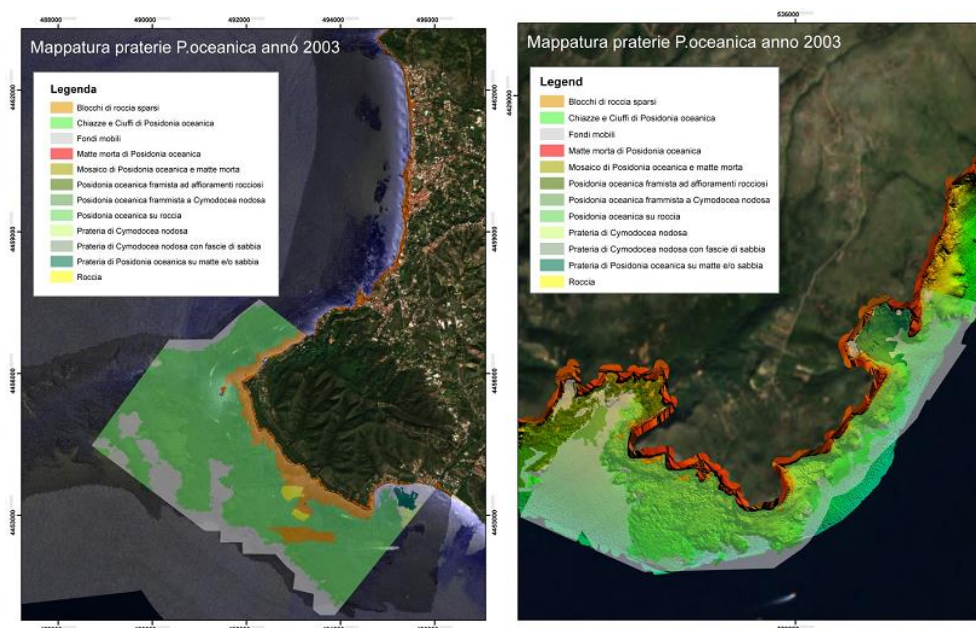


Figura 7. Aree Blue Carbon Baia di Ogliastro e Punta Licosa(a sinistra), Cala Bianca, Cala degli Infreschi e Punta Spinosa (a destra)

Dal confronto tra la situazione del 2003 e quella del 2019 è stata stimata la differenza dell'estensione superficiale delle ecomorfosi presenti in Tabella 7.

Area Blue Carbon	Ecomorfosi	Superficie totale (2003)	Differenza di superficie (+/- ha)
AMP Santa Maria di Castellabate	P. oceanica su roccia	2515.14	- 15.9 ha
	P. oceanica su matte e sabbia	233.12	+0.3 ha
	P. oceanica degradata - matte morta	9.56	- 0 ha
AMP Costa degli Infreschi e della Masseta	P. oceanica su roccia	65.80	- 1.3 ha
	P. oceanica su matte e sabbia	30.98	0 ha
	P. oceanica degradata - matte morta	DNP ³	0
	Chiazze e ciuffi di P.oceanica	2.51	-0.2 ha
	P.oceanica frammista a Cymodocea nodosa	-	- 1.7 ha
	P.oceanica frammista ad affioramenti rocciosi	51.19	+ 0.1 ha

Tabella 7.Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni: differenza dell'estensione superficiale delle ecomorfosi tra il 2003 ed il 2019

³ DNP: Dato Non Presente

Servizi ecosistemici delle praterie di *Posidonia oceanica*

Secondo una definizione delle Nazioni Unite (UN et al., 2014) la *Posidonia oceanica* può essere definita, come tutte le altre fanerogame marine, una risorsa spaziale ecosistemica che comprende sia componenti biotiche quanto abiotiche misurabili dal punto di vista delle condizioni e dell'estensione dell'ecosistema stesso, oltre che dei servizi ecosistemici. L'estensione fa riferimento alla "dimensione" complessiva o allo stock di un bene ecosistemico, come in questo caso la *Posidonia oceanica*, mentre la condizione dell'ecosistema si riferisce alla qualità complessiva di un bene ecosistemico in termini delle sue caratteristiche, cioè quelle relative alla sua salute. Di conseguenza per definire un conteggio complessivo e quindi un valore di una prateria di *Posidonia oceanica* vengono individuati i dati relativi a 4 componenti principali:

- ✓ Estensione (vale a dire misura dell'estensione di una o più risorse ecosistemiche);
- ✓ Condizione (cioè misura della condizione dell'ecosistema, o stato/salute);
- ✓ Servizi (ossia misura del flusso di servizi ecosistemici); e
- ✓ Benefici (vale a dire misura del valore dei benefici)

La determinazione dei primi due fattori è stata realizzata dal progetto SEAFOREST tramite l'esecuzione di alcune attività specifiche presenti nell'azione A1 del progetto SEAFOREST, mentre per la definizione e la stima dei servizi ecosistemici della zona considerata dal progetto è stato preso in esame lo studio di Scanu et al. 2022 nel quale una metodologia sito specifica viene associata alle indicazioni descritte nel report di Costanza et al. 1997. I benefici ecosistemici considerati attraverso questo approccio sono 5:

1. *Sequestro del carbonio;*
2. *Produzione di ossigeno;*
3. *Biorisanamento;*
4. *Protezione dall'erosione;*
5. *Produzione alimentare*

Di seguito vengono riportati i dati necessari per la stima del valore dei benefici ecosistemici e le sorgenti a cui si è fatto riferimento. Parte di tali dati sono stati raccolti/stimati all'interno del progetto SEAFOREST LIFE (Tabella 8).

Beneficio ecosistemico	Dati progetto Sea Forest Life	Altre fonti
Sequestro di carbonio	Biomassa epi/ipogea Produzione epi/ipogea Densità (Fascio/m ²)	Suolo (Life Blue Natura) Litter (Bibliografia)
Produzione di ossigeno	Biomassa/Produzione Densità (Fascio/m ²)	O ₂ prodotto per unità di biomassa pianta +comunità epifita (Bibliografia)
Biorisanamento	Densità (Fascio/m ²)	Quantità minima di N e P richiesta dalla pianta (Bibliografia)
Protezione dall'erosione	Estensione cross-shore della prateria Lunghezza foglia	Dati di Hs, Tp e Dir offshore (COPERNICUS)

	Densità Area superficiale della pianta per unità di lunghezza	
Produzione alimentare	Superficie totale di P. oceanica Superficie di P.degradata	Dati pesca (IREPA)

Tabella 8. Dati e relative fonti per la stima dei benefici ecosistemici

La stima del valore economico dei benefici ecosistemici generati dalla *Posidonia oceanica* verrà espressa in € ha⁻¹anno⁻¹.

Il calcolo di alcuni benefici (come sequestro del carbonio, protezione dall'erosione e produzione alimentare) è stato realizzato considerando la distribuzione spaziale delle diverse tipologie di substrati su cui sorge la *Posidonia oceanica*. Nello specifico sono stati considerati i seguenti substrati: *Posidonia oceanica* degradata e matte morta, *Posidonia oceanica* su matte e sabbia e *Posidonia oceanica* su roccia. Gli altri substrati presenti nel Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni (Chiazze e ciuffi di *Posidonia oceanica*, *Posidonia oceanica* frammista a *Cymodoceanodosa*, *Posidonia oceanica* frammista ad affioramenti rocciosi) vengono assimilati alla *Posidonia oceanica* degradata.

Sequestro del carbonio

Le praterie marine svolgono un ruolo importante anche nella mitigazione dei cambiamenti climatici. Hanno un potenziale significativo per il sequestro del carbonio attraverso la loro biomassa e filtrando il materiale organico fine dall'acqua circostante. A livello globale, le praterie marine sono responsabili di oltre il 10% del carbonio sepolto nell'oceano, anche se occupano solo lo 0,2% del fondo marino mondiale (Fourqurean et al., 2012).

Il calcolo del sequestro di carbonio è stato realizzato attraverso lo sviluppo di una metodologia alla base dello Standard realizzato nell'ambito del progetto SEAFOREST, che ha delineato una serie di procedure per stimare le riduzioni e le rimozioni nette delle emissioni di gas a effetto serra risultanti dall'implementazione delle previste attività del progetto SEAFOREST, attuate per il ripristino delle praterie *Posidonia oceanica* nelle aree marine protette inserite nel progetto stesso. Questa metodologia per la stima del valore di sequestro del carbonio ha considerato la biomassa sopra e sotto il livello del terreno e la componente suolo, quest'ultimo comprende sia i rizomi quanto le radici morte ed i relativi sedimenti organici (matte) e rappresenta il principale bacino di carbonio organico stoccato dalle praterie di *Posidonia oceanica*. Per tale motivo lo spessore delle matte ci dà un'indicazione sulla quantità di carbonio sequestrato e la sua distribuzione (Serrano et al., 2012). Prendendo in considerazione proprio lo studio di Serrano et al., 2012 la stima della quantità di carbonio risulta pari a 39.5 e 53.44 kg C_{org}m⁻² rispettivamente per la posidonia su roccia e per posidonia su sabbia.

Per lettiera invece si intende l'apparato fogliare che si stacca dalle piantine di *Posidonia oceanica* e che arenandosi sulla costa dà origine a depositi denominati banquettes. In questo caso attraverso il calcolo del peso secco fogliare da parte di Romero et al., 1992 e la classificazione in base alla densità dei germogli per m² fatta da Giraud, 1977. Infine lo stock di carbonio nella biomassa di *Posidonia oceanica* sopra e sotto il livello del terreno è stato calcolato utilizzando i dati della biomassa fogliare (Be) e rizomale (Bi), rispettivamente secondo Marcelli et al. 2018 (Tabella 9).

Di conseguenza per la determinazione del valore di questa componente ecosistemica si è fatto ricorso all'equazione $C = 0.01 \times C_T \times 27.7$ in cui C è il valore del beneficio di sequestro del carbonio per le praterie di *Posidonia oceanica* ($\text{€ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$), C_T è il carbonio organico totale, 0.01 è il fattore di conversione da grammi a tonnellata all'ettaro, e 27.7 dollari è il valore monetario di scambio medio annuo di 1 tonnellata di CO_2 da progetti Blue Carbon basato su un report di OPIS (Oil Price Information Service)⁴.

Aree	Ecomorfosi	Flusso annuale di Carbonio organico totale (C_T)		
		Biomassa (t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{yr}$)	Suolo (t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{yr}$)	Litter (t $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{yr}$)
Parco Nazionale dell'Asinara	P. oceanica degradata - matte morta	0.60	0	8.35×10^{-7}
	P. oceanica su matte e sabbia	1.58	1.42	3.75×10^{-6}
	P. oceanica su roccia	1.70	0.60	3.75×10^{-6}
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	P. oceanica degradata - matte morta	1.17	0	8.35×10^{-7}
	P. oceanica su matte e sabbia	2.18	1.42	3.75×10^{-6}
	P. oceanica su roccia	1.80	0.60	3.75×10^{-6}
AMP Santa Maria di Castellabate	P. oceanica degradata - matte morta	8.42	0	8.35×10^{-7}
	P. oceanica su matte e sabbia	8.37	1.42	3.75×10^{-6}
	P. oceanica su roccia	5.35	0.60	3.75×10^{-6}
AMP Costa degli Infreschi e della Masseta	P. oceanica degradata - matte morta	7.14	0	8.35×10^{-7}
	P. oceanica su matte e sabbia	12.58	1.42	3.75×10^{-6}
	P. oceanica su roccia	9.68	0.60	3.75×10^{-6}

Tabella 9. Valori stock di carbonio nella biomassa di *Posidonia oceanica* sopra e sotto il livello del terreno, nel suolo e nella lettiera

Per quanto riguarda il servizio ecosistemico di sequestro del carbonio, è stato calcolato un valore economico medio nelle aree del progetto SEAFORST di **158.10 € ha⁻¹anno⁻¹**.

Produzione di ossigeno

La posidonia svolge, grazie al suo sviluppo fogliare, un ruolo fondamentale nel fornire alle acque costiere ingenti quantità di ossigeno, tanto da essere definita “i polmoni del Mediterraneo”. La popolazione di posidonia produce da 14 a 20 litri di ossigeno per metro quadrato ogni giorno nel

⁴ <https://www.opisnet.com/product/pricing/spot/carbon-offsets-report/>

Mediterraneo⁵. Il calcolo di questa produzione da parte della *Posidonia oceanica* e soprattutto l'attribuzione di un valore a questa produzione è stata realizzata prendendo come riferimento la pubblicazione di Marcelli et al., 2018, nella quale, utilizzando i dati di letteratura, la produzione netta di ossigeno viene stimata in circa 5 mmol (millimoli) di O₂ per grammo di peso secco della biomassa prodotta giornalmente durante i cicli metabolici di *Posidonia oceanica* (Duarte et al., 2010). Inoltre la stima di O₂ è ulteriormente affinata considerando il tasso relativo attribuibile alle comunità associate alle praterie di *Posidonia oceanica*, che è di circa 0.018 mol m⁻² giorno⁻¹, data la condizione di autotrofia riscontrata nelle comunità epifite di *Posidonia oceanica* (Gazeau et al., 2005). Per determinare il valore economico della produzione di O₂ di *Posidonia oceanica* è stato quindi utilizzato il costo che è stato calcolato per la produzione di ossigeno con metodologie industriali, fissato in circa 0.05 € kg⁻¹ (Li et al., 2006), per ettaro annuo. Il calcolo del valore del sequestro di ossigeno attribuibile alla *Posidonia oceanica* è determinato dalle seguenti equazioni:

Equazione che determina il valore del sequestro di ossigeno attribuibile alla biomassa (O_b)

$$O_b = [B \times (M_a \times 32)] \times 10C$$

Equazione che determina il valore del sequestro di ossigeno attribuibile alla comunità epifita

(O_e)

$$O_e = (M_c \times 32) \times 10C$$

nelle quali:

- ✓ B è la biomassa delle praterie di *posidonia oceanica* (gm⁻² yr⁻¹) (vedi Tabella 10);
- ✓ M_a sono le moli di ossigeno fornite in un anno, dato ricavato attraverso i dati di letteratura che indicano 0.03 molm⁻²al giorno moltiplicato per 365 giorni (Duarte et al., 2010);
- ✓ M_c sono le moli fornite in un anno dalle comunità epifite (pari a 0.018 mol m⁻²al giorno moltiplicato per 365 giorni) (Gazeau et al., 2005);
- ✓ 32 è la massa molecolare dell'ossigeno;
- ✓ 10 è il fattore di conversione di grammi in chilogrammi e metri quadrati in ettari in ha; e
- ✓ C è il costo di produzione industriale dell'ossigeno per kg (pari a € 0.05).

Di conseguenza il valore totale viene calcolato sommando le 2 equazioni precedenti:

$$O_{tot} = O_b + O_e$$

Aree	Ecomorfosi	Biomassa (B) flusso (g ps/m ² /yr)
Parco Nazionale dell'Asinara	P. oceanica degradata - matte morta	48.91
	P. oceanica su matte e sabbia	128.60
	P. oceanica su roccia	138.86
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	P. oceanica degradata - matte morta	95.35

⁵ medwet.org

	P. oceanica su matite e sabbia	177.02
	P. oceanica su roccia	145.93
AMP Santa Maria di Castellabate	P. oceanica degradata - matite morta	684.63
	P. oceanica su matite e sabbia	681.13
	P. oceanica su roccia	435.03
AMP Costa degli Infreschi e della Masseta	P. oceanica degradata - matite morta	581.03
	P. oceanica su matite e sabbia	1022.84
	P. oceanica su roccia	787.44

Tabella 10. Flussi della Biomassa Epigea

Per quanto riguarda il servizio ecosistemico di produzione di ossigeno, è stato calcolato un valore economico medio nelle aree del progetto SEAFORST di **989.47 € ha¹anno⁻¹**.

Biorisanamento

Il biorisanamento si riferisce alla capacità della *Posidonia oceanica* di realizzare la degradazione e la bonifica di sostanze inquinanti attraverso processi metabolici; più precisamente riesce, insieme agli organismi ad essa associati a rimuovere le quantità di azoto (N) e fosforo (P) in eccesso dalle acque costiere e dai sedimenti, mettendo queste sostanze nuovamente a disposizione delle comunità biologiche presenti. Questa rimozione permette di controllare il proliferare di alghe e batteri ed i conseguenti processi eutrofizzazione che si instaurerebbero qualora i carichi in eccesso di nutrienti, come fosforo e azoto, rimanessero a disposizione degli organismi fotosintetici (Scanu et al. 2022). Il calcolo del valore economico del suddetto servizio ecosistemico è stato realizzato attraverso l'utilizzo di dati estrapolati da studi che hanno calcolato i costi per i sistemi di trattamento delle acque reflue degli impianti municipali negli Stati Uniti d'America⁶(EPA, 2015). Per operare il calcolo si è stimata anche la quantità di P e N utilizzata dai processi metabolici della *Posidonia oceanica* attraverso i dati riguardanti il numero di fasci/m² (Marcelli et al., 2018)(vedi Tabella 11) e dati di letteratura sulla concentrazione di N e P come quantità minima giornaliera richiesta dalla pianta (Gobert et al., 2005). Considerando i valori calcolati nello studio di Scanu et al., 2022 la relazione è descritta dall'equazione:

$$B = \left\{ \frac{[E \times (n \times 10^4) \times A]}{[G \times m]} \right\} \times C$$

nella quale:

- ✓ **B** è il valore medio annuo di biorisanamento di N e P per ettaro di N espresso in euro,
- ✓ **E** è la quantità minima giornaliera di N o P richiesta dalle praterie di *Posidonia oceanica* (rispettivamente 0.09 mg di fasci al giorno di azoto e 0.01 mg fasci al giorno di fosforo)
- ✓ **n** è il numero di fasci per m².

⁶<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/nutrient-economics-report-2015.pdf>

- ✓ **A** rappresenta i giorni in un anno (365)
- ✓ **G** è 3.78 (fattore di conversione da galloni a litri).
- ✓ **m** è 15 per l'azoto e 1.9 per il fosforo (il valore indica i milligrammi medi contenuti in 1 L di acqua in ingresso al depuratore, valore ottenuto in funzione dell'efficienza del trattamento di depurazione), e
- ✓ **C** è il costo in euro per l'esercizio e la gestione di un impianto di trattamento delle acque reflue urbane (€ 0.018 per l'azoto per litro e € 0.01 per il fosforo per litro)

Il calcolo del costo prende in considerazione l'esercizio e la manutenzione annuale degli impianti esistenti, non considerando il costo di investimento in conto capitale per la realizzazione di nuovi impianti di trattamento dei rifiuti urbani (Scanu et al., 2022 e EPA, 2015).

Aree	Ecomorfosi	Densità (fasci/m ²)
Parco Nazionale dell'Asinara	P. oceanica su roccia	65
	P. oceanica su matte e sabbia	197.50
	P. oceanica degradata - matte morta	156.80
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	P. oceanica su roccia	209.40
	P. oceanica su matte e sabbia	250.50
	P. oceanica degradata - matte morta	167.50
AMP Santa Maria di Castellabate	P. oceanica su roccia	400
	P. oceanica su matte e sabbia	470.40
	P. oceanica degradata - matte morta	392
AMP Costa degli Infreschi e della Masseta	P. oceanica su roccia	423.20
	P. oceanica su matte e sabbia	488.80
	P. oceanica degradata - matte morta	398.40

Tabella 11. Densità fasci al m² della *Posidonia oceanica*

Per quanto riguarda il servizio ecosistemico di biorisanamento, è stato calcolato un valore economico medio nelle aree del progetto SEAFOREST di **9 356.84 € ha¹anno⁻¹**.

Protezione dall'erosione

Le praterie di *Posidonia oceanica* svolgono un importante “ruolo di difesa” dai fenomeni erosivi di spiaggia/costa, infatti, attraverso l'intrappolamento del sedimento, stabilizzano il fondo marino e quindi prevengono l'erosione delle coste. Quando le praterie intrappolano il sedimento, il fondo diventa meno profondo e le onde si infrangono più lontano dalla costa, con conseguente minore erosione costiera durante le mareggiate. Le praterie marine rallentano anche il movimento delle correnti tra il fondale e le punte delle foglie. Il valore economico della protezione dall'erosione delle praterie di *Posidonia oceanica* si ottiene calcolando la percentuale di attenuazione delle onde (WAP)⁷ attraverso la seguente equazione:

$$\text{WAP} = H_c/H_0 \times 100$$

⁷ WAP = WaveAttenuationPercentage

nella quale:

- ✓ H_0 è l'altezza dell'onda incidente in mare aperto e
- ✓ H_c è l'altezza dell'onda risultante dopo il passaggio sulla prateria di *Posidonia oceanica*.

Per quanto riguarda i valori di H_0 e H_c sono stati utilizzati i valori indicati in Scanu et al., 2022 che riporta i dati ottenuti attraverso il prodotto Copernicus “Mediterranean Sea Wave Reanalysis”⁸ (Korres et al., 2019). Questi dati includono i principali parametri dell'onda (altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione media) calcolati con le risoluzioni spaziali e temporali rispettivamente di 0.042° (circa 4,5 km) e 1 h; mentre il periodo coperto è quello tra il 1993 e il 2020. Tra le caratteristiche della *Posidonia oceanica* prese in considerazione nei vari siti di campionamento vi sono state la densità dei fasci, lunghezza (Tabella 12) e l'area delle lame fogliari. Inoltre per il conseguimento della stima economica del servizio ecosistemico in oggetto è stato preso in considerazione il costo per ottenere la protezione dall'erosione attraverso la realizzazione di una barriera sommersa utilizzata nelle opere di difesa costiera (Marcelli et al., 2018). Il calcolo della stima porta ad un costo di circa € 1 432.08 al m per una struttura che consente una dissipazione energetica media del 20%. Considerando tale costo esteso ad un ettaro, ipotizzando una superficie di 100 mq, e ripartendolo su un periodo di garanzia della struttura di circa 20 anni, il beneficio viene calcolato con la seguente equazione:

$$E = \left[\frac{1432.08 \times \left(\frac{H_{rms}}{H_{rms0}} \times 100 \right)}{20} \right] \times 5$$

nella quale:

- ✓ E è il valore del beneficio in €all'ettaro all'anno;
- ✓ **1 432.08** è il costo al m lineare di una barriera in grado di garantire un'attenuazione delle onde di circa il 20%;
- ✓ **(H_{rms}/H_{rms0}) x 100** è la percentuale di attenuazione delle onde ottenuta dal modello utilizzato dal sito web di Copernicus⁹ (Copernicus Marine Service, 2021)
- ✓ **20** è la proporzione per il calcolo del valore relativo alla barriera sommersa¹⁰
- ✓ **5** è un fattore di conversione dato dal rapporto tra una superficie di 1 ha e la vita media di una barriera sommersa (20 anni).

⁸https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/MEDSEA_MULTITYEAR_WAV_006_012, accesso il 9 dicembre 2021

⁹<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>, accesso il 9 dicembre 2021

¹⁰ strutture modulari in cemento armato, posate sul fondo del mare lungo una linea continua, parallela alla costa, e ad una distanza di almeno cento metri da essa. Questo assetto dissipa l'energia del moto ondoso, e favorisce lo scorrimento della sabbia verso riva e il suo ritorno per limitare l'erosione delle coste.

Aree	Lunghezza foglia Intermedie (cm)	Densità (fasci/m ²)
Parco Nazionale dell'Asinara	36.28	139.77
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	42.24	209.13
AMP Santa Maria di Castellabate	59.79	420.80
AMP Costa degli Infreschi e della Masseta	54.54	436.80

Tabella 12. Valori di densità e lunghezza delle lame fogliari

Per quanto riguarda il servizio ecosistemico di protezione dall'erosione, è stato calcolato un valore economico medio nelle aree del progetto SEAFOREST di **14 195.76 € ha¹anno⁻¹**.

Produzione alimentare

La *Posidonia oceanica* ha una produttività molto elevata e costituisce il punto di partenza di una rete alimentare complessa. Sebbene le foglie - che contengono sostanze repellenti - possano essere consumate direttamente soltanto da poche specie (ricci, salpe e qualche crostaceo), la sostanza organica prodotta durante il ciclo vitale della pianta è in grado di alimentare un gran numero di altre specie, anche a grande distanza dalle praterie stesse. Inoltre, durante l'inverno l'accumulo di foglie morte lungo la riva non solo supporta la rete alimentare delle specie che vivono sul bagnasciuga, ma funziona anche da riserva temporanea di nutrienti. Tali sostanze vengono rimesse in circolo dai processi di dinamica costiera: mentre una gran parte ritorna alle praterie di posidonia stesse, la parte restante viene trasportata nella zona delle dune dove, agendo da fertilizzante, favorisce la crescita di specie vegetali pioniere.

Il valore economico del beneficio ecosistemico connesso alla produzione alimentare viene calcolato secondo il metodo presentato in Marcelli et al., 2018, nel quale i dati storici di *Posidonia oceanica* sono stati integrati con i dati relativi alle catture di specie ittiche commerciali aggiornati al 2012 e rilevati attraverso le pubblicazioni dell'Istituto di ricerca economica per la pesca e l'acquacoltura (IREPA)¹¹ che a partire dal 2004 ha rendicontato la produzione delle 49 specie ittiche più rilevanti dal punto di vista commerciale, con l'indicazione dei dati mensili relativi a giorni di pesca, catture e ricavi per regioni e sistemi di pesca. Il valore economico della produzione alimentare delle praterie di *Posidonia oceanica* attraverso la seguente equazione:

$$P = \frac{R_r}{E_t - E_d - E_m} + \frac{R_v}{E_t}$$

nella quale:

- ✓ **P** è il valore del beneficio in euro all'ettaro all'anno;

¹¹ www.irepa.org

- ✓ **R_r** è il ricavo in euro delle specie identificate come residenti¹¹;
- ✓ **E_t** è l'estensione totale in ettari delle praterie di *Posidonia oceanica* (Tabella 13);
- ✓ **E_d** è l'estensione delle praterie di *Posidonia* degradata (Tabella 13);
- ✓ **E_m** è l'estensione in ettari della matta morta; e
- ✓ **R_v** è il ricavo in euro delle specie visitanti.

L'identificazione delle due tipologie di specie considerate nel calcolo del beneficio di produzione alimentare è stata effettuata estendendo quanto descritto da Marcelli et al., 2018 per le otto regioni italiane oggetto di studio nella pubblicazione.

Aree	Superficie totale di Posidonia (E_t)	Superficie di Posidonia degradata (E_d)
Parco Nazionale dell'Asinara	4109.08	90.25
Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena	4925.34	271.31
AMP Santa Maria di Castellabate	2805.09	56.83
AMP Costa degli Infreschi e della Masseta	150.49	2.52

Tabella 13. Estensione delle praterie di Posidonia oceanica e delle praterie di Posidonia degradata

Per quanto riguarda il servizio ecosistemico di produzione alimentare, è stato calcolato un valore economico medio nelle aree del progetto SEAFOREST di **16 099.60 € ha¹anno⁻¹**.

Quantificazione del valore economico dei servizi ecosistemici delle praterie di *Posidonia oceanica*

Nel documento in oggetto, si è proceduto alla quantificazione del valore economico dei SE delle praterie di *Posidonia oceanica* all'interno di tre Parchi Nazionali italiani (Parco Nazionale dell'Asinara, Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena e Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e Alburni) applicando la metodologia del trasferimento di valore e facendo riferimento a cinque servizi ecosistemici essenziali: sequestro del carbonio, produzione di ossigeno; biorisanamento; protezione dall'erosione; produzione alimentare. Per tale quantificazione per prima cosa sono stati raccolti i dati riguardanti la sua distribuzione, creando delle mappe per ciascuna AMP del progetto SEAFOREST LIFE che utilizzino i dati georeferenziati (vedi capitolo "Area di studio2). Le mappe hanno permesso di analizzare in dettaglio le caratteristiche e la distribuzione dei dati disponibili della *Posidonia oceanica*. Successivamente, basandosi sul lavoro di Scanu et al. 2022 sono stati calcolati i valori dei SE applicando le modalità descritte nel capitolo precedente "Servizi ecosistemici delle praterie di *Posidonia oceanica*" e i cui risultati complessivi per ognuno dei servizi ecosistemici considerati sono riportati nella Tabella 14.

Sequestro CO² (€ ha⁻¹anno⁻¹)	Produzione O² (€ ha⁻¹anno⁻¹)	Biorisanamento (€ ha⁻¹anno⁻¹)	Protezione erosione (€ ha⁻¹anno⁻¹)	Produzione alimentare (€ ha⁻¹anno⁻¹)	Totale (€ ha⁻¹anno⁻¹)
158.10	989.47	9 356.84	14 195.76	16 099.60	40 799.77

Tabella 14. Valori economici dei diversi ES di *Posidonia oceanica* ottenuti per le aree oggetto del progetto SEAFOREST LIFE

Il valore economico totale medio dei SE ottenuto per le aree oggetto del progetto SEAFOREST LIFE è di **40 799.77 € ha⁻¹ anno⁻¹**, che è confrontabile con i dati di altri studi di letteratura riguardanti il valore economico dei ES di *Posidonia oceanica* (come Scanu et al. 2022; Marcelli et al., 2018; Costanza et al. 1997). L'aspetto economico sottolinea non solo l'importanza in termini di valore delle praterie di *Posidonia oceanica* nel Mar Mediterraneo, ma anche la possibilità dell'utilizzo di questa metodologia di stima economica dei SE come strumento di confronto per la gestione delle aree costiere, per la risoluzione dei conflitti d'uso esistenti, e per l'analisi degli impatti antropici in termini di perdita di valore del capitale naturale. I risultati ottenuti in questo documento possono rappresentare un punto di partenza per futuri lavori riguardanti il calcolo del valore dei servizi ecosistemici offerti dalle praterie di *Posidonia oceanica* nelle aree oggetto del progetto SEAFOREST LIFE soprattutto nel caso in cui fossero disponibili dati più precisi o fosse pubblicato un metodo più aggiornato in letteratura.

Analisi del mercato

La gestione e la conservazione degli ecosistemi anche attraverso l'utilizzo del mercato e dei relativi strumenti di regolazione costituisce oggi una strategia che sta attraendo interesse crescente. I mercati del carbonio hanno avuto uno sviluppo sempre più imponente negli ultimi anni, tanto che a conferma di tutto ciò, le stime di una delle ultime pubblicazioni di Ecosystem Marketplace (Donofrio et al., 2021), indicano che il valore totale nel 2020 delle transazioni sul mercato volontario dei crediti carbonio è stato di 473 milioni di dollari (il più alto dal 2012) e che questo trend è stato più che confermato dall'andamento del 2021, anno in cui il valore delle transazioni nei mercati globali volontari del carbonio è quasi quadruplicato raggiungendo i 2 miliardi di dollari, grazie a alle nature base solutions e all'aumento dei prezzi (Donofrio et al., 2022).



Figura 8. Dimensione del mercato volontaria del carbonio in base al valore dei crediti di carbonio scambiati, dal 2005 al 31 dicembre 2021

Per quanto riguarda i volumi di scambio di compensazioni di carbonio nel mercato volontario i dati di Ecosystem Marketplace (Donofrio et al., 2022) indicano che nel 2021 si è avuto un incremento di 2.5 volte rispetto al valore toccato in tutto il 2020 (188.2 MtCO₂e) raggiungendo i 493.1 MtCO₂e come indicato nella Figura 9.

	2020			2021		
	VOLUME (MtCO ₂ e)	PRICE (USD)	VALUE (USD)	VOLUME (MtCO ₂ e)	PRICE (USD)	VALUE (USD)
FORESTRY AND LAND USE	57.8M	\$5.40	\$315.4M	227.7M	\$5.80	\$1,327.5M
RENEWABLE ENERGY	93.8M	\$1.08	\$101.5M	211.4M	\$2.26	\$479.1M
CHEMICAL PROCESSES / INDUSTRIAL MANUFACTURING	1.8M	\$2.15	\$3.9M	17.3M	\$3.12	\$53.9M
WASTE DISPOSAL	8.5M	\$2.69	\$22.8M	11.4M	\$3.62	\$41.2M
ENERGY EFFICIENCY / FUEL SWITCHING	30.9M	\$0.98	\$30.4M	10.9M	\$1.99	\$21.9M
HOUSEHOLD / COMMUNITY DEVICES	8.3M	\$4.34	\$36.2M	8.0M	\$5.36	\$43.3M
TRANSPORTATION	1.1M	\$0.64	\$0.7M	5.4M	\$1.16	\$6.3M
AGRICULTURE	0.5M	\$10.38	\$4.7M	1.0M	\$8.81	\$8.7M

Figura 9. Volumi, prezzi e valori per categoria delle transazioni sul mercato volontario del carbonio 2020-2021

Allo stesso tempo, il prezzo medio globale è aumentato di quasi il 60% rispetto al 2020 raggiungendo un prezzo medio ponderato globale annuo per tonnellata di \$ 4.00 per tutte le transazioni, rispetto ai \$ 2.52 del 2020, un risultato mai toccato dal 2013¹². C'è da specificare che tali prezzi riguardano volumi di tCO₂ aggregati a livello globale dando un punto di riferimento generale per quanto riguarda movimenti e tendenze del mercato; tuttavia non fornisce indicazioni sulla diversità dei progetti, sui crediti che producono e il modo in cui vengono valutati che varia notevolmente da progetto a progetto e rappresenta una delle caratteristiche più distintive dei mercati volontari del carbonio. Inoltre le caratteristiche di un progetto riguardano tra le altre la tipologia, l'ubicazione, lo standard utilizzato. Infatti un'analisi più dettagliata del mercato e dei prezzi associati mostra una situazione sempre più segmentata quando si analizzano tipologie diverse di progetti.

Parallelamente durante il 2021 si è osservato un aumento dei prezzi della tonnellata di carbonio per i progetti che presentassero benefici ambientali e sociali, i cosiddetti co-benefici. Tali co-benefici, come il sostegno alle comunità locali e ai piccoli proprietari e la conservazione della biodiversità, al pari degli obiettivi di sviluppo sostenibile, sono integrati in alcuni degli Standard sul carbonio riconosciuti internazionalmente come Gold Standard e Plan Vivo, o certificate successivamente da organismi terzi quali The Climate, Community & Biodiversity (CCB) Standards, The Sustainable Development Verified Impact Standard (SD VISta)¹³. In questi casi, i crediti venduti da progetti con i co-benefici certificati, incorporati dallo Standard sul carbonio o con certificazioni aggiuntive, hanno mostrato un sovrapprezzo rispetto al benchmark globale del prezzo del carbonio globale del 2021 che è stato di \$ 4.00/tCO₂e. Nello specifico progetti Gold Standard hanno visto un aumento del 35% del prezzo medio ponderato dal 2020 al 2021 da \$ 3.74 a tonnellata a \$ 5.05 a tonnellata. Plan Vivo ha invece registrato un aumento del prezzo da \$ 8.13 nel 2020 a \$ 9.34 nel 2021, un aumento del 15%. La maggior parte del volume delle transazioni di Plan Vivo nel 2021, il 79%,

¹² Nel 2014, Ecosystem Marketplace ha riportato un prezzo medio ponderato globale di \$ 4,93 per l'anno di transazione 2013

¹³ Both run and managed by Verra

proveniva da progetti di imboscimento, riforestazione e rivegetazione (ARR). Il più utilizzato di tutti gli standard di certificazione dei co-benefici è stato CCB, che accompagna solitamente i crediti di carbonio VCS¹⁴, che sono aumentati del 277% in volume dal 2020 al 2021, passando da 17.4 MtCO₂e a 65,9 MtCO₂e, registrando parallelamente un aumento di prezzo da \$ 4.57 a \$ 5.25 a tonnellata tra i due anni. Allo stesso modo, i VCU SD VISta-Labed hanno attirato in media 4.43 dollari nel 2021, rispetto ai 3.96 dollari del 2020, con volumi in aumento del 715% da 5.5 MtCO₂e nel 2020 a 45.3 MtCO₂e nel corso dei due anni (Donofrio et al., 2022).

Oltre agli esempi appena fatti sulle tipologia di crediti venduti sui mercati volontari dei crediti carbonio, negli ultimi anni, sono nati nuovi mercati per la transazione di crediti generati dal sequestro di carbonio da ecosistemi acquatici, il cosiddetto Blue Carbon. I mercati del carbonio blu sono relativamente nuovi rispetto ai mercati per il sequestro del carbonio su ambiente terrestre, come la piantumazione di alberi, ma si prevede che avranno un grande potenziale come parte della domanda globale di crediti di carbonio che si prevede aumenterà fino a raggiungere un valore interno ai 50 miliardi di dollari entro il 2030, secondo la Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM, 2021).

Ad oggi, solamente le società di certificazione di offset Plan Vivo e Verra hanno certificato alcuni progetti per la vendita di crediti di carbonio blu, venduti sul mercato volontario del carbonio, con prezzi attualmente elevati poiché la domanda supera di gran lunga l'offerta. La percezione diffusa sul mercato è che i crediti di carbonio blu siano visti come di alta qualità grazie ai co-benefici che offrono al di fuori del cambiamento climatico e che possono essere misurati in termini di benefici economici e sociali e sulla biodiversità¹⁵, ottenendo come risultato molto di più della semplice compensazione dell'impatto del carbonio.

Ad oggi non sono disponibili molti dati sui prezzi dei crediti Blue carbon, alcuni di questi è possibile desumerli dall'analisi dei report della società OPIS¹⁶ che si occupa di fornire alle compagnie partner i dati sui prezzi; l'ultimo analizzato di giugno 2022¹⁷ mostra come le ultime acquisizioni di crediti Blue Carbon hanno raggiunto una quotazione variabile tra i **25 \$/ton. ed i 35 \$/ton.**

Anche l'Unione Europea, nella recente Strategia per la Bioeconomia (European Union, 2018) ha indicato e supportato l'applicazione di strumenti di mercato che possano rappresentare un completamento degli strumenti normativi esistenti nella lotta per la conservazione degli ecosistemi. Basandosi su tali presupposti i mercati dei Servizi Ecosistemici possono coinvolgere istituzioni, imprese, organizzazioni non-profit, singoli cittadini.

La Commissione a questo proposito sta esaminando e monitorando le iniziative che riguardano per l'assorbimento di carbonio e il loro commercio sui mercati volontari del carbonio. A livello comunitario si prevedono i seguenti sviluppi in merito agli ecosistemi di carbonio blu:

- ✓ Approfondimento delle conoscenze sull'identificazione delle regioni a rischio;

¹⁴ noti come Verified Carbon Units (VCU)

¹⁵<https://www.planvivo.org/blog/nature-based-solutions-the-opportunities-and-challenges-for-blue-carbon-webinar>

¹⁶<https://www.opisnet.com/>

¹⁷<https://www.opisnet.com/product/pricing/spot/carbon-offsets-report/>

- ✓ Investimenti per preservare o ripristinare gli habitat e per fornire soluzioni per migliorare la resilienza e la protezione delle zone costiere dell'UE contro i cambiamenti climatici e la perdita di biodiversità;
- ✓ Aumento delle conoscenze e dei dati sulla quantificazione del carbonio blu;
- ✓ Carbon farming attraverso nature based solutions, ad esempio nelle zone umide costiere, così come lo sviluppo di iniziative di acquacoltura rigenerativa di alghe e molluschi e di permacoltura marina

Lo sviluppo di iniziative sul carbonio blu porterebbe a molteplici benefici collaterali, come la rigenerazione degli oceani e la produzione di ossigeno, la sicurezza alimentare introducendo sul mercato proteine a base di alghe o nuove opportunità di lavoro sostenibile e locale.

Tornando al valore economico di una tonnellata di CO₂ sottratta dall'atmosfera dalle praterie di *Posidonia oceanica* se consideriamo invece l'ETS–Emission Trading Scheme¹⁸, il sistema di scambio di quote di emissione (ETS) dell'UE¹⁹ secondo il principio del "cap-and-trade" che limita la quantità consentita di emissioni di gas a effetto serra, il valore a cui è stata scambiata la quota di C, denominata EUA (EU Allowance)²⁰ è stato di 85.22 euro per tonnellata di anidride carbonica al 1° dicembre 2022²¹. Questo valore sta continuando a crescere tanto che il prezzo sul mercato del carbonio dell'UE ha toccato per la prima volta \$ 106.57 (€ 100) per tonnellata il 21/2/2023, riflettendo l'aumento dei costi che le aziende devono pagare per l'inquinamento. Seppur ad oggi l'ETS Europeo non includa i crediti derivanti da azioni nel settore agro-forestale e di gestione delle coste (Blue carbon), ciò non esclude che nel lungo termine sia prevista una transizione ad un mercato esteso a tutti i settori, per aumentare l'impegno pubblico e privato nella transizione ad un Europa ad emissioni negative.

¹⁸<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>

¹⁹35 paesi (di cui 28 nell'UE) e 20 giurisdizioni subnazionali hanno adottato programmi di scambio di emissioni

²⁰sono crediti climatici (o crediti di carbonio) utilizzati nel sistema di scambio di quote di emissioni dell'Unione europea (EU ETS)

²¹<https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>

Bibliografia

- Alagna, A., D'anna, G., Vega Fernández, T., & Badalamenti, F. (2010). Biologia, ecologia, metodologie ed esperienze di ripristino delle praterie di *Poseidonia oceanica*.
- Börger, T., Beaumont, N. J., Pendleton, L., Boyle, K. J., Cooper, P., Fletcher, S., ... & Austen, M. C. (2014). Incorporating ecosystem services in marine planning: the role of valuation. *Marine Policy*, 46, 161-170.
- Bruno, L. *cposidonia oceanica* (2001)
- Buonocore, E., Picone, F., Russo, G. F., & Franzese, P. P. (2018). The scientific research on natural capital: A bibliometric network analysis. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 6(4), 381-391
- Carannante, F. (2011). Monitoraggio a lungo termine di trapianti di *Posidonia oceanica* su vasta scala.
- Copernicus Marine Service. Available online: <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/> (accessed on 9 November 2021)
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.
- Cullen-Unsworth, L. C., and Unsworth, R. K. F. (2016). Strategies to enhance the resilience of the world's seagrass meadows. *J. Appl. Ecol.* 53, 967–972. doi: 10.1111/1365-2664.12637
- Daily, G.C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*; Yale University Press: New Haven, CT, USA, 1997; pp. 454–464.
- Donofrio, S., Maguire, P., Myers, K., Daley, C., Lin, K. (2021). State of the Voluntary Carbon Markets 2021. Installment 1. *Forest Trends & Ecosystem Marketplace*.
- Donofrio, S., Maguire, P., Daley, C., Calderon, C., Lin, K. (2022). The Art of Integrity Ecosystem Marketplace's State of the Voluntary Carbon Markets 2022 Q3. *Forest Trends & Ecosystem Marketplace*.
- Duarte, C. M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean, J. W., Beggins, J., Barrón, C., & Apostolaki, E. T. (2010). Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(4).
- EPA, U. (2015). A compilation of cost data associated with the impacts and control of nutrient pollution. *US EPA, Reports and Assessments*, 3, 1-25
- European Union (2018). A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment-Updated Bioeconomy Strategy. European Commission Directorate-General for Research and Innovation Unit F –Bioeconomy, Bruxelles

- Franzese, P.P., Buonocore, E., Paoli, C., Massa, F., Stefano, D., Fanciulli, G., et al., 2015. Environmental Accounting in Marine Protected Areas: the EAMPA Project. *J. Environ. Acc. Manage.* 3 (4), 324–332.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., ... & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature geoscience*, 5(7), 505-509
- Gazeau, F., Duarte, C. M., Gattuso, J. P., Barrón, C., Navarro, N., Ruiz, S., ... & Borges, A. V. (2005). Whole-system metabolism and CO₂ fluxes in a Mediterranean Bay dominated by seagrass beds (Palma Bay, NW Mediterranean). *Biogeosciences*, 2(1), 43-60.
- Giraud, G. (1977). Essai de classement des herbiers de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile.
- Gobert, S., Lejeune, P., Lepoint, G., & Bouqueneau, J. M. (2005). C, N, P concentrations and requirements of flowering *Posidonia oceanica*. *Hydrobiologia*, 533(1), 253-259.
- Istituto di Ricerche Economiche per la Pesca e l'Acquacoltura (IREPA). Available online: www.irepa.org (accessed on 9 November 2021).
- Korres, G., Ravdas, M., & Zacharioudaki, A. (2019). Mediterranean sea waves analysis and forecast (CMEMS MED-Waves).
- Krause-Jensen, D., & Duarte, C. M. (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, 9(10), 737-742.
- Li, J., Ren, Z., & Zhou, Z. (2006). Ecosystem services and their values: a case study in the Qinba mountains of China. *Ecological Research*, 21(4), 597-604.
- Manea, E., Di Carlo, D., Depellegrin, D., Agardy, T., & Gissi, E. (2019). Multidimensional assessment of supporting ecosystem services for marine spatial planning of the Adriatic Sea. *Ecological Indicators*, 101, 821-837.
- Marcelli, M., Scanu, S., Manfredi Frattarelli, F., Mancini, E., & Carli, F. M. (2018). A benthic zonation system as a fundamental tool for natural capital assessment in a marine environment: A case study in the Northern Tyrrhenian Sea, Italy. *Sustainability*, 10(10), 3786.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: wetlands and water*. World Resources Institute.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM). Praterie a Fanerogame Marine. Piante con Fiori nel Mediterraneo—Quaderni Habitat; MATTM: Rome, Italy, 2008.
- Romero, J., Pergent, G., Pergent-Martini, C., Mateo, M. A., & Regnier, C. (1992). The detritic compartment in a *Posidonia oceanica* meadow: litter features, decomposition rates, and mineral stocks. *Marine Ecology*, 13(1), 69-83.

- Scanu, S., Piazzolla, D., Bonamano, S., Penna, M., Piermattei, V., Madonia, A., ... & Marcelli, M. (2022). Economic Evaluation of *Posidonia oceanica* Ecosystem Services along the Italian Coast. *Sustainability*, 14(1), 489.
- Serrano, O., Mateo, M. A., Renom, P., & Julià, R. (2012). Characterization of soils beneath a *Posidonia oceanica* meadow. *Geoderma*, 185, 26-36.
- Tan, Y. M., Dalby, O., Kendrick, G. A., Statton, J., Sinclair, E. A., Fraser, M. W., ... & Sherman, C. D. (2020). Seagrass restoration is possible: insights and lessons from Australia and New Zealand. *Frontiers in Marine Science*, 7, 617.
- Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets (TSVCM). 2021
- Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E. T., Fraschetti, S., ... & Salomidi, M. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific reports*, 5(1), 1-14.
- Townsend, M., Davies, K., Hanley, N., Hewitt, J. E., Lundquist, C. J., & Lohrer, A. M. (2018). The challenge of implementing the marine ecosystem service concept. *Frontiers in Marine Science*, 5, 359.
- UN, European Commission, FAO, OECD, World Bank Group. (2014). System of Environmental-Economic Accounting 2012: Central Framework. *White cover publication* <https://doi.org/ST/ESA/STAT/Ser.F/109>.
- Weatherdon, L. V., Friedrich, L. A., Martin, C. S., & King, S. (2017). Experimental Seagrass Ecosystem Accounts: A pilot study for one component of marine ecosystem accounts. *Report prepared for the European Commission*
- Zupan, M., Bulleri, F., Evans, J., Fraschetti, S., Guidetti, P., Garcia-Rubies, A., ... & Claudet, J. (2018). How good is your marine protected area at curbing threats?. *Biological Conservation*, 221, 237-245.