

Il valore economico del servizio ecosistemico “sequestro del carbonio” del Parco Nazionale dell’Asinara

Referente azione progettuale
Prof. Marco Vannini

Hanno collaborato
Dott.ssa Marta Meleddu, Prof. Gianfranco Atzeni,
Dott. Giovanni Battista Concu, Dott. Antonio Sanna

Settembre 2020

Indice	
Executive Summary.....	3
Introduzione.....	5
1. Metodologie di valutazione.....	6
1.1 I metodi del valore di mercato.....	8
1.2 Il costo sociale del carbonio.....	10
2. Valutazione monetaria del carbonio sull'Isola dell'Asinara.....	13
2.1 Valutazione con il sistema di scambio di quote di emissioni ETS UE.....	13
2.2 Valutazione con il sistema della contribuzione volontaria.....	15
2.3 Valutazione con il sistema del costo sociale del carbonio.....	16
3. Compensazione delle emissioni di carbonio.....	18
Conclusioni.....	20
Appendice.....	21
Bibliografia.....	25

Questo lavoro è stato realizzato grazie all'accordo di collaborazione, siglato nell'ambito del progetto GIREPAM, tra la Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della difesa dell'ambiente – Servizio tutela della natura e politiche forestali -, e il Dipartimento di scienze economiche e Aziendali dell'Università degli Studi di Sassari.

Il documento deve essere citato nel seguente modo: *Il valore economico del servizio ecosistemico "sequestro del carbonio" del Parco Nazionale dell'Asinara. M. Vannini et al., 2020. Progetto GIREPAM, Interreg Italia Francia Marittimo 2014-2020.*

Copia del documento può essere richiesta ai seguenti indirizzi mail: girepam@gmail.com; lsantona@regione.sardegna.it; vannini@uniss.it o scaricata dal sito <http://interreg-maritime.eu/web/girepam> e <http://www.parcoasinara.org/>

Si ringrazia il Parco Nazionale dell'Asinara per il supporto fornito durante la realizzazione delle attività.

Executive Summary

I dati di inventario di stock di carbonio, messi a disposizione da ARPA SARDEGNA (*Individuazione e mappatura dei servizi ecosistemici nei siti pilota del Parco Nazionale dell'Asinara e del Parco Regionale di Porto Conte*. A. Motroni, M. Schirru., 2020. Progetto Girepam, Interreg Italia Francia Marittimo 2014-2020) nell'ambito del progetto GIREPAM "*Gestione integrata delle reti ecologiche attraverso i parchi e le aree marine*" finanziato nell'ambito del Programma Interreg Italia Francia Marittimo 2014-2020, permettono di stimare la quantità totale di carbonio assorbito in base alla tipologia d'uso o copertura del suolo dell'isola dell'Asinara. La valutazione economica del servizio ecosistemico *sequestro di carbonio* dell'Asinara si basa su due approcci: il valore di mercato ed il costo sociale. Nello specifico, lo studio quantifica i valori per tonnellata di CO₂ grazie all'approccio di mercato, basandosi sia sul sistema regolamentato dei permessi di emissione (EU ETS) che sulla contribuzione volontaria, e al costo sociale del carbonio (SCC).

Negli ultimi anni dello scorso secolo hanno iniziato a svilupparsi i mercati delle emissioni, regolamentati e non. A questi si associano i cosiddetti metodi di mercato che permettono di attribuire un valore ad una tonnellata di CO₂ in base al prezzo in questi mercati. Il sistema ETS EU è il primo mercato multinazionale della CO₂ ed a partire dal 2013 applica un unico tetto alle emissioni per tutta l'UE. Le misure di lockdown dovute all'emergenza sanitaria causata dalla diffusione del COVID-19 nei primi mesi del 2020 in Europa, hanno comportato una diminuzione dei prezzi dei certificati EUA. Per questo motivo, qui si considerano i prezzi dei mesi di gennaio e febbraio 2020 per il valore minimo e massimo. Il valore più alto registrato nell'arco del 2019, circa €30 per tonnellata, produce una stima di €3.710.405 per il totale del carbonio stoccato all'Asinara, mentre il prezzo più alto del 2020 (€25,15) un valore di €3.167.572.

Più di recente si è sviluppato un tipo di mercato non regolamentato consistente nella contribuzione volontaria per compensare la quantità di CO₂ emessa nell'ambito di azioni ordinarie da parte dei singoli individui, e nell'ambito della propria attività per le imprese o gruppi di imprese. Rivolte agli individui sono le piattaforme on-line dove è possibile scambiare dei carbon credits (1 credito = 1 tonnellata di CO₂ equivalente), con i quali si cerca di "compensare la CO₂" che si emette. Le piattaforme digitali esaminate per l'estrapolazione dei valori di mercato di una tonnellata di CO₂ sono 5: Treedom, Southpole, CarbonNeutral, Offsetmyemissions e Greenfleet. Ognuna di queste offre servizi basati sul sistema dei crediti di carbonio alternativi, anche molto diversi tra loro e spaziano tra il piantare alberi alla costruzione di impianti per energie rinnovabili con gradienti di spesa differenti e la possibilità di sottoscrivere abbonamenti mensili e/o annuali. Il valore medio del carbonio totale stoccato all'Asinara, valutato secondo questo approccio è stimale in circa €2.322.416 (mediana = €1.725.477) con una deviazione standard di €1.313.148.

Dall'analisi della letteratura scientifica emerge chiaramente che non esiste un unico valore monetario corretto per il SCC, ma i valori stimati differiscono tra loro notevolmente. Ai fini del calcolo del valore del carbonio presente all'Asinara si è scelto di utilizzare il valore medio espresso in euro (usd/eur 0,90) dei prezzi riportati da in ciascun articolo. La media di questi valori è uguale a 51 €/ton (mediana = €47). La valutazione del carbonio stoccato all'Asinara è in media uguale a €6.387.454 (mediana = €2.401.955) con una deviazione standard di €5.892.062. Il valore minimo del carbonio totale stoccato all'Asinara stimato è pari a €3.263.670, quello massimo, è pari a €10.201.723.

Nell'ambito della valutazione monetaria dei servizi ecosistemici, la derivazione di misure di surplus del consumatore ricavabili dalla visita a un'area protetta permette di capire se esistono margini per portare avanti iniziative di compensazione delle emissioni di carbonio. Per estrapolare questi valori il DISEA in collaborazione con l'Ente Parco dell'Asinara, nell'estate 2019 ha effettuato un'indagine campionaria tra i visitatori del Parco. Il questionario era incentrato sull'estrapolazione delle spese e del tempo di viaggio necessari per arrivare sull'Isola. Tali dati sono stati successivamente utilizzati per la stima del valore ricreativo del Parco attraverso il metodo del "costo di viaggio". Il beneficio netto della visita stimato è compreso fra €12,39 e €18 circa per visitatore. Questo risultato può essere interpretato come il valore netto generato dalle visite e quindi rappresenta una misura della disponibilità a pagare massima dei visitatori per la risorsa.

Il lavoro congiunto Arpa Sardegna-Disea nell'ambito del progetto GIREPAM ha mostrato la possibilità concreta di misurare il carbonio assorbito nell'area protetta e di valutarne la rilevanza economica. Ha inoltre evidenziato l'esistenza di un surplus del consumatore, e quindi della disponibilità a pagare del visitatore, significativo e potenzialmente utilizzabile per sostenere progetti di compensazione. Progetti che potrebbero avere uno spazio di mercato significativo e un impatto apprezzabile se sviluppati e gestiti in comune da più aree protette.

Introduzione

Mentre nel dibattito pubblico sulle misure di mitigazione dei rischi ambientali connessi al riscaldamento globale si fa spesso riferimento al valore economico del servizio ecosistemico “sequestro del carbonio”, nella realtà non esiste una misura univoca di tale servizio. La sua ricostruzione esatta richiede infatti una misurazione tanto degli effetti attesi di tipo bio/fisico quanto dei riflessi economici sul pianeta e sui suoi distretti in un lasso di tempo ragguardevole e con elevata incertezza sulla dinamica spontanea dei sistemi e della tecnologia. Esistono tuttavia diversi metodi che cercano di superare queste difficoltà per generare stime attendibili del fenomeno. Inoltre, esistono da diversi anni dei mercati, sia regolamentati sia spontanei, dove vengono scambiati crediti di carbonio, ovvero titoli negoziabili equivalenti a 1 tonnellata di CO₂, che danno luogo a un prezzo. Tipicamente, il titolo viene acquistato da un'impresa per compensare l'emissione di CO₂ e i proventi vanno in generale a finanziare progetti di sviluppo sostenibile. Esiste dunque un ampio intervallo, avente come estremi le stime più rigorose del valore del servizio ecosistemico ottenute con modelli multidimensionali a scala planetaria e i prezzi che si formano nei mercati reali dei crediti di carbonio.

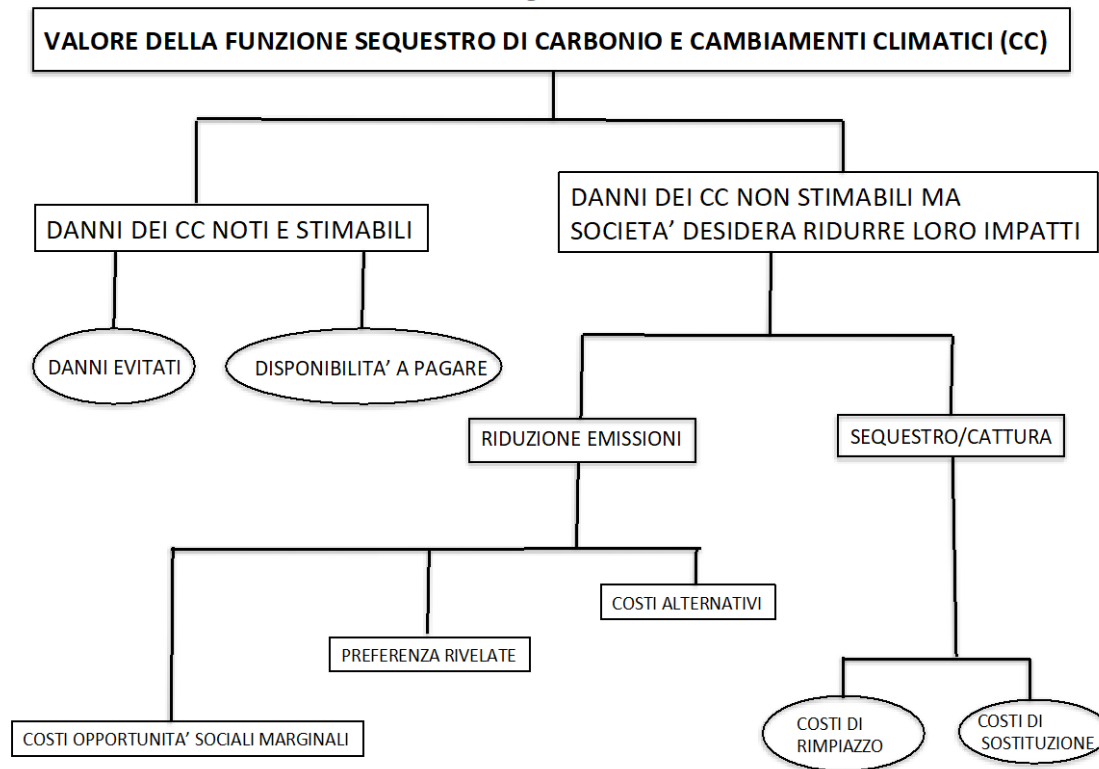
Nelle pagine che seguono vengono illustrati i metodi principali utilizzati per stimare il valore del carbonio, con un'attenzione particolare rivolta alle possibili applicazioni riguardanti le aree protette. Su questa base viene poi effettuata una simulazione del valore del carbonio stoccato nell'Isola dell'Asinara seguendo tre diversi approcci. Infine, considerato che un'area protetta che non fosse *carbon-neutral* sarebbe oggi un controsenso (ancorché possibile visto che le norme in vigore, elaborate anni orsono, non sono così esplicite al riguardo), viene presentata un'applicazione apposita tesa a valutare i margini esistenti, in termini di surplus del consumatore-visitatore, per operazioni di compensazione specifiche riguardanti il Parco Nazionale dell'Asinara (replicabili evidentemente anche nelle altre aree protette della rete GIREPAM).

1. Metodologie di valutazione

I servizi ecosistemici non sono scambiati sul mercato e di conseguenza la loro valutazione richiede un approccio completamente diverso dai metodi standard per i beni e servizi ordinari, il cui valore viene tipicamente (ed erroneamente) identificato col prezzo di mercato. Quest'ultimo infatti riflette solo la somma minima che un individuo è disposto a spendere (rinunciando all'acquisto di altri beni/servizi) per quel dato bene o servizio. In generale la disponibilità a pagare di un consumatore (WTP, *willingness to pay*) per un bene è positiva e decrescente al crescere delle unità del bene acquistate. Dunque il consumatore in generale realizza un beneficio netto (differenza fra quanto sarebbe stato disposto a pagare e quanto in realtà paga per acquistare una certa quantità di un dato bene ai prezzi di mercato) dal partecipare al mercato che va sotto il nome di *Surplus del consumatore*. In modo analogo, chi vende il bene o servizio sul mercato realizza per ogni unità venduta uno scarto fra il prezzo incassato e il costo di produzione dell'unità venduta che va sotto il nome di *Surplus del produttore*. Il valore economico di un bene di mercato è dunque pari alla somma dei surplus (benefici netti) ottenuti dagli scambisti.

Quando i beni non sono scambiati sul mercato, come nel caso di molti beni e servizi forniti dagli ecosistemi, la valutazione economica diventa più complessa. L'approccio più comunemente usato fa riferimento al Valore Economico Totale (VET, Total Economic Value (Pearce, 1993)). Il VET è costituito da due componenti principali: valori d'uso e valori di non d'uso. Questi valori possono provenire da usi presenti o futuri, diretti e indiretti. I valori di uso diretto derivano dai benefici generati dall'utilizzo dei diversi prodotti dell'ecosistema naturale, come il legname o i frutti di bosco di una foresta o le risorse ittiche di un'area marina. I valori di uso indiretto derivano dai benefici legati alle funzioni ecologiche fondamentali, come lo stoccaggio del carbonio nelle piante e nei suoli o la raccolta e purificazione delle acque o più in generale la biodiversità. Numerosi contributi scientifici negli ultimi decenni hanno tentato di stimare il valore monetario dei servizi ecosistemici partendo dal TEV. Nel caso del servizio di sequestro di carbonio, i valori da stimare sono strettamente legati alla dinamica dei cambiamenti climatici e agli impatti diretti e indiretti, nonché ai danni provocati da questi ultimi sulle attività economiche e sulla salute degli individui. Se tali danni fossero noti, la valutazione risulterebbe relativamente agevole. Ma così non è a causa dell'incertezza che avvolge tanto gli aspetti strettamente scientifici del CC quanto una pluralità di elementi di contesto spesso riferiti al futuro (sviluppi della tecnologia, distribuzione territoriale degli effetti, valori economici in gioco, eventi estremi etc.) indispensabili per una corretta quantificazione. Nella Figura 1, ripresa da Kulshreshtha et. al. (2000), vengono indicati i metodi utilizzabili sotto le due diramazioni principali, ovvero A) danni dei cambiamenti climatici noti e stimabili e B) danni dei cambiamenti climatici non stimabili (o difficilmente stimabili) ma società determinata contrastarli.

Figura 1



Fonte: Elaborazione da Kulshreshtha et. al. (2000)

Nell'ipotesi A la valutazione potrebbe utilizzare il metodo del risarcimento dei danni o delle spese difensive (*Method of Avoided damages* o *Defensive Expenditures*) sotto l'ipotesi che nel momento in cui si verifica, o si prevede, uno *shock* ambientale le famiglie reagiscono con azioni costose per evitare tali eventi. Così facendo esse forniscono una stima del valore creato dai servizi di regolazione del clima. I benefici della regolazione vengono stimati almeno pari al costo delle azioni intraprese dalle famiglie per assicurarsi nel momento in cui la funzione ecosistemica di regolazione viene meno. Sempre nella diramazione A si possono ovviamente utilizzare metodi di rilevazione diretta delle preferenze e della disponibilità a pagare, come la Valutazione Contingente o gli Esperimenti di Scelta (*choice experiments*). Tuttavia, tali metodi risultano di difficile applicazione per la valutazione del sequestro di carbonio.

Nella diramazione B, che ricordiamo riguarda il caso più realistico di incertezza che impedisce la stima dei danni e contestuale desiderio della società di contrastarli, troviamo invece una pluralità di metodi e tecniche applicabili a seconda della strategia adottata per ottenere una riduzione delle emissioni nette: B1, riduzione delle emissioni o B2, sequestro di carbonio. Sotto B1 l'approccio delle opzioni di mitigazione (*Mitigation options*) considera come perfetti sostituti la riduzione delle emissioni di un certo livello o il sequestro di una quantità analoga. Limitare le emissioni significa agire direttamente sulle fonti, e per la stima si potrebbe utilizzare il metodo del costo alternativo (*Alternative cost method*) incentrato sui costi aggiuntivi indotti dalle azioni di mitigazione. Con le azioni del tipo *Recapture* si ottimizzano le prestazioni degli impianti esistenti al fine di ridurre le emissioni. Un esempio sono gli *scrubber* amminici. Il valore della

CO₂ viene estrapolato dal costo aggiuntivo sostenuto per rendere gli impianti capaci di inibire una parte delle emissioni. Un'altra opzione è l'*Alternative Technology* che sfrutta le scelte individuali, come l'utilizzo di veicoli più efficienti o il passaggio a motori a gas o ibridi o elettrici, per ridurre le emissioni. In questo caso si stima il numero di veicoli inquinanti (es. costruiti prima di una certa data) e il costo per rimpiazzarli. Il valore del carbonio non emesso dai veicoli vecchi è pari al costo che si sosterebbe per rottamarli. L'altra via percorribile è quella della *Renewable fuel use* che presuppone la sostituzione delle fonti di energia fossile con energia rinnovabile per poi quantificare di quanto le emissioni sono diminuite. Infine, il *Retrofitting* consiste nell'aggiungere nuove tecnologie o funzionalità a sistemi esistenti (es. abitazioni) tale da ridurre il fabbisogno energetico. Per ottenere questo risultato è spesso necessario incoraggiare le persone attraverso incentivi e contributi, per poi quantificare le emissioni di carbonio risparmiate in base ai costi sostenuti e ai contributi erogati.

In teoria, gli approcci alla valutazione sopra elencati sono tutti percorribili, ma all'atto pratico sono costosi da realizzare.

Un altro grappolo di metodi usa l'approccio *Marginal Social Opportunity Cost Method*. Si pensi a una foresta ed ai servizi ecosistemici che produce fra cui l'assorbimento di CO₂. Se la foresta venisse meno non ci sarebbe più assorbimento. Il valore dei servizi ecosistemici in questione viene equiparato al valore aggiunto di un'attività industriale che genera un ammontare di CO₂ pari all'ammontare che la foresta avrebbe catturato. Il valore aggiunto è pari al valore monetario dell'output (o prodotto) meno il valore monetario degli inputs (o beni e servizi intermedi utilizzati nel processo produttivo) e corrisponde alla somma dei redditi percepiti dai partecipanti alla produzione. Dunque per la società perdere una foresta vale quanto perdere un'attività industriale che avrebbe generato tante emissioni quanto ne avrebbe sequestrato la foresta.

1.1 I metodi del valore di mercato

Negli ultimi anni dello scorso secolo hanno iniziato a svilupparsi i mercati delle emissioni, regolamentati e non. A questi si associano i cosiddetti metodi di mercato (*Market methods*) che permettono di attribuire un valore ad una tonnellata di CO₂ guardando alla formazione del prezzo in questi mercati. Un primo esempio in proposito è stato lo scambio di Carbon Bonds, a metà degli anni Novanta, da parte della Costa Rica per 200000 tonnellate di CO₂, acquistati dalla Norvegia per un totale di 2000000 \$ (Segura e Lindegaard, 2001). Il ricavato è stato distribuito tra i proprietari di foreste (impegnati per 25 anni in progetti di riforestazione e gestione della foresta) ed il valore del carbonio sequestrato dagli alberi è stato calcolato a partire dal beneficio economico che un contadino ottiene dal suolo se quest'ultimo viene utilizzato per qualcosa di diverso dalla mera conservazione. Nel caso specifico il valore è risultato di 50 dollari per ettaro. Data una stima sul sequestro per ettaro all'anno di 5 tonnellate si è arrivati alla cifra di 10 dollari per tonnellata sequestrata. La vendita di 200000 tonnellate di CO₂ si è tradotta in 25 anni di progetti di riforestazione e conservazione delle foreste su una superficie di 142Km². Oggi questo tipo di mercato è molto più sviluppato rispetto ad allora.

Un'altro mercato che attribuisce un prezzo al carbonio è quello dei permessi di emissione o *Carbon credits*. Quello dell'Unione Europea (*European Union Emission Trading System*, EU ETS)

è stato il primo esempio di programma *cap-and-trade* multinazionale (limite alle emissioni consentite più possibilità di scambio dei permessi di emissione) adottato in attuazione del protocollo di Kyoto (European Commission, 2015). Il sistema ETS UE è attivo dal 2005 ed attualmente include 31 paesi, e copre circa il 45% delle emissioni di gas a effetto serra dell'Unione. Secondo la Direttiva ETS, gli impianti che hanno un alto livello di emissione non possono operare senza un'autorizzazione ad emettere gas serra. L'autorizzazione consiste nell'assegnazione di un certo numero di permessi di emissione (*European Union Allowances*). Ciascun permesso consente al possessore di emettere una tonnellata di CO₂ equivalente in un dato periodo di tempo. Questo ammontare deve comunque rispettare il *cap*, ovvero il limite massimo di emissioni ammesse nel periodo. Tipicamente il *cap* declina nel tempo in funzione degli obiettivi di abbattimento dei GHG fissati a livello nazionale e/o comunitario. Poiché i permessi sono negoziabili, un'impresa può decidere di vendere in tutto o in parte l'assegnazione di permessi iniziale ad altre imprese (che desiderano emettere ammontari maggiori di quelli corrispondenti alla loro assegnazione iniziale). Nasce così un mercato con un prezzo per ogni tonnellata di CO₂ scambiata. L'esistenza di questo mercato garantisce che le emissioni vengano ridotte nei processi in cui costa meno farlo, e un prezzo crescente degli ETS induce a investimenti in energia pulita e tecnologia a basso impatto ambientale.

Una forma di mercato non regolamentato, sviluppatasi più di recente, è quella della contribuzione volontaria per compensare la quantità di CO₂ emessa nell'ambito di azioni ordinarie da parte dei singoli individui, e nell'ambito della propria attività per le imprese o gruppi di imprese.

Rivolte agli individui sono le piattaforme on-line dove è possibile scambiare dei carbon credits (1 credito = 1 tonnellata di CO₂ equivalente), con i quali si cerca di "compensare la CO₂" che si emette. Alcuni propongono di piantare alberi in numero sufficiente ad assorbire le tonnellate di CO₂ emesse, oppure effettuare donazioni proporzionate alla quantità da compensare a favore di progetti meritevoli. È il caso di *Treedom.net* che consente di piantare un albero a distanza e seguire online la sua evoluzione. Questa piattaforma propone abbonamenti mensili con offerte differenziate a seconda delle quantità annue che si desidera compensare e con intervalli di prezzi variabili per tonnellata di CO₂ (28,40€ - 37,62 €). *Southpolecarbon.com* offre invece un ventaglio di alternative sempre con intervalli di prezzo variabili. A titolo di esempio, con 9 € per una tonnellata di CO₂ è possibile contribuire alla sostituzione di combustibili fossili con energia prodotta dalla biomassa in cinque fabbriche di cemento in Thailandia; con 15 €/ton, contribuire alla produzione di energia eolica per le regioni rurali di Taiwan; con 17 €/ton aiutare il riciclo di biciclette usate in Svizzera e invio in stati africani, per promuovere la mobilità a basse emissioni e creare opportunità di mercato in Africa oppure partecipare al progetto di conservazione delle foreste nella zona del nord Zimbabwe, affetta da forte deforestazione, povertà e siccità. *Treedom*, *CarbonNeutral* e *Greenfleet* offrono la possibilità di compensare le emissioni specifiche di singoli e imprese, eventualmente raggruppati, attraverso progetti per la forestazione. *Greenfleet*, una delle prime iniziative in questo campo, venne lanciata nell'ottobre 1997 (on-line dal 2002) per offrire agli automobilisti australiani la possibilità di compensare le proprie emissioni di CO₂ piantando alberi e promuovendo tecnologie a basso consumo in modo da ridurre le emissioni alla fonte.

Tra le misure di sequestro (vedi Figura 1) è possibile optare per il *Replacement Cost Method* oppure per il *Substitute Cost Method*. Il primo si ispira al modo in cui vengono spesso risolte le controversie sui danni, ovvero compensando il danno con una spesa capace di ripristinare la situazione o funzione originaria ove possibile. Nel caso dei danni ambientali, il metodo identifica il valore di una funzione ecosistemica (come il sequestro di CO₂) con il costo necessario per produrre la stessa funzione/servizio mediante sistemi ingegneristici/gestionali/colturali disegnati dall'uomo.

Sempre tra le misure di sequestro, il metodo del costo di ricambio (*Substitute Cost Method*) valuta i servizi ecosistemici basandosi sui costi che si sostengono per creare dei servizi sostitutivi che apportino gli stessi benefici. Ad esempio, il valore per tonnellata di carbonio sequestrato si ottiene equiparandolo al costo che si sosterebbe per sequestrare la stessa quantità di carbonio ma non attraverso foreste e praterie (alternative ammissibili potrebbero essere usi diversi del suolo etc.).

Dall'analisi di questo filone della letteratura emerge che la stima del costo delle emissioni è possibile ma è allo stesso tempo soggetta a incertezza specialmente a causa degli sviluppi tecnologici.

1.2 Il costo sociale del carbonio

L'approccio che prende il nome di costo sociale del carbonio (Social cost of carbon, SCC) nasce per stimare il costo del danno marginale derivante dal cambiamento climatico, definito come il costo attuale di una tonnellata aggiuntiva di emissioni di CO₂ (Pearce 2003). Equivale a misurare il costo del danno marginale del carbonio, ovvero l'impatto che produce sul sistema socioeconomico l'emissione di una tonnellata aggiuntiva di anidride carbonica nell'atmosfera, o il beneficio derivante dalla riduzione delle stesse.

Come osserva l'OECD (Smith e Braathen, 2016), le stime del costo sociale del carbonio divergono sostanzialmente a seconda del paese considerato ed in generale sono adottate *in tandem* con analisi costi benefici per la valutazione di politiche o di progetti volti alla riduzione delle emissioni. I modelli di riferimento più accreditati sono stati sviluppati da esperti tra i quali anche William Nordhaus, premio Nobel per l'economia 2018. Negli anni Novanta Nordhaus ha elaborato il modello *Dynamic Integrated Climate Economy (DICE)*. Sempre riferibile allo stesso periodo è il modello di Chris Hope, *Policy Analysis for the Greenhouse Effect (PAGE)* e quello di Richard Tol, *Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND)*. Questi modelli hanno in comune di essere di tipo IAM (*Integrated Assessment Model*) e simulano il processo attraverso il quale le emissioni di gas dannosi si ripercuotono sul clima e sull'economia globale. Il modello DICE analizza l'impatto e i costi provocati dal cambiamento climatico. L'ipotesi di fondo è che la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera influenza la temperatura globale con conseguenti impatti sull'output prodotto. Se una parte dell'output sopra citato venisse dedicata alla riduzione delle emissioni, il futuro aumento delle temperature e i danni ad esso associati potrebbero essere evitati a spese dei consumi attuali. Questo modello è concepito per trovare un giusto equilibrio tra i costi di breve periodo per la riduzione delle emissioni e i benefici futuri su scala globale derivanti dai danni climatici evitati. Simile al

precedente, il modello FUND integra scenari e modelli semplici di popolazione, tecnologia, economia, emissioni, chimica dell'atmosfera, clima, livello del mare e impatto climatico.

Un altro approccio per la stima del SCC è stato proposto da Bansal et al. (2016) con dati dei mercati finanziari per determinare come i mutamenti attesi delle temperature influenzino i prezzi del capitale di rischio (*equity*). L'assunzione alla base è che questi riflettono l'evoluzione dell'economia compresi gli effetti negativi derivanti dai mutamenti delle temperature. Il modello mette in relazione l'andamento atteso delle temperature con quello dei consumi, dei fattori di sconto dati dal risk-free rate (tasso di interesse privo di rischio, i.e BUND tedeschi) e dei rendimenti dell'*equity*, considerando l'elasticità negativa dei prezzi dell'*equity* rispetto alla temperatura documentata dai dati.

Più di recente Pindyck (2019) solleva dubbi sui modelli citati notando che alcune equazioni chiave traslano gli aumenti della temperatura in future riduzioni del PIL con ipotesi *ad hoc* e senza una robusta evidenza teorica o empirica a supporto. Pindyck (2019) discute e applica una metodologia alternativa per superare tali inconvenienti tipici dei modelli IAMs. Per giungere alla stima del Social Cost of Carbon si fa riferimento al parere di esperti in materia riguardo due aspetti: la probabilità che un evento climatico estremo condizioni l'economia (senza focalizzarsi sulle cause dello stesso) e la riduzione di emissioni necessarie affinché questo evento venga evitato.

Ciò che emerge da questa breve rassegna della letteratura è che non esiste una stima univoca e corretta del SCC, poiché questo viene calcolato con diversi approcci e metodologie ed è il frutto di scenari di andamento delle temperature, ipotetici e diversi tra loro che tra le altre cose dipendono anche dalla sensibilità al clima, da ipotesi sulle emissioni future e posizioni etiche dei decisori.

Un altro fattore che influenza in maniera considerevole la stima ottenuta è il fattore di sconto scelto ed il periodo di riferimento considerato, essendo il *social cost of carbon* il valore attualizzato della riduzione dei consumi futuri causata dall'aumento delle temperature. È importante sottolineare che nella valutazione del costo sociale le stime possono essere notevolmente più alte rispetto a quelle normalmente provenienti da altri strumenti di valutazione proprio per via delle ipotesi dei modelli in merito ai fattori sopra riportati. Da qui la grande variabilità dei risultati sul SCC riepilogati nella Tabella 1.

Tabella 1 - Riepilogo dei lavori che stimano il costo sociale del carbonio

	Titolo	Anno	Autore	Breve descrizione metodo	Stima ottenuta \$/ton CO₂
1	A social cost of carbon for (almost) every country	2019	Tol Richard S.J.	Uso di varie funzioni di impatto del cambiamento climatico per stimare il SCC	14,64 \$ - 55,51 \$
2	The Social Cost of Carbon Revisited	2019	Pindyck Robert S.	Utilizzo pareri esperti per stimare i vari scenari derivanti dal cambiamento climatico	80\$ - 100\$
3	Country-level social cost of carbon	2018	Ricke Katharine, Drouet Laurent, Caldeira Ken, Tavoni Massimo	Utilizzo proiezioni sul cambiamento climatico e stime basate su dati empirici dei danni economici causati da esso	417 \$
4	Best cost estimate of greenhouse gases	2017	Revesz R.M., Greenstone M., Hanemann, M., Livermore M., Sterner T., Grab D., Howard P., Schwartz J.	Analisi dei dati prodotti dalla U.S. Interagency Working Group on the Social Cost of Greenhouse Gases	50 \$
5	Climate Change and Growth Risks	2016	Bansal Ravi, Ochoa Marcelo, Kiku Dana	Utilizzo dati dei mercati finanziari per determinare come cambi nelle temperature influenzino i prezzi dell'equity	4,32 \$ - 103,6 \$ a seconda dello scenario ipotizzato (\$ 2012)
6	Monetary Carbon Values in Policy Appraisal: an Overview of Current Practice and Key Issues	2016	Smith Stephen, Braathen Nils Axel	Utilizzo modelli IAMs per diversi paesi	12 \$ - 128 \$ (US) (\$2010) 35 £ - 105 £ (UK) (£2009) 43 \$ - 128 \$ * (Canada) *pg 28
7	Developing a Social Cost of Carbon for US Regulatory Analysis: a Methodology and Interpretation	2013	Greenstone Michael, Kopitsy Elizabeth, Wolvertony Ann	Utilizzo modelli IAMs	5,2 \$ - 142,4 \$ (\$2007)

2. Valutazione monetaria del carbonio sull'Isola dell'Asinara

Questa sezione dell'elaborato è dedicata alla valutazione del carbonio potenziale dell'Isola dell'Asinara. I dati di inventario utilizzati, messi a disposizione da ARPA SARDEGNA nell'ambito del progetto, permettono di stimare la quantità totale di carbonio assorbito in base alla tipologia d'uso/copertura del suolo dell'isola.

La valutazione economica del servizio ecosistemico sequestro di carbonio utilizza due degli approcci sopra riportati: il valore di mercato ed il costo sociale. Nello specifico, lo studio effettuato si basa sui valori per tonnellata di CO₂ ottenuti dall'analisi del valore di mercato sia del sistema regolamentato dei permessi di emissione (EU ETS) sia del mercato dei contributi volontari.

Come visto nella sezione precedente non esiste un unico valore monetario corretto per il SCC ma i valori stimati differiscono tra loro notevolmente. Questo approccio metodologico prende il nome di trasferimento dei benefici (*Benefit transfer*) e consiste nel trasferire al caso di studio le informazioni disponibili da studi già completati in un altro contesto. Si ricorre al trasferimento dei benefici quando è troppo costoso, sia in termini monetari che in termini di tempo, effettuare una valutazione ex-novo oppure quando la valutazione risulta oltremodo complessa a causa delle peculiarità del bene in oggetto. Questo è senz'altro il caso ove si voglia attribuire un valore monetario non solo allo stock ma anche al flusso annuale del servizio ecosistemico "sequestro del carbonio". Questa sezione del lavoro fornisce la valutazione monetaria di una tonnellata di carbonio stoccato, non essendo disponibili dati di flusso.

2.1 Valutazione con il sistema di scambio di quote di emissioni ETS UE

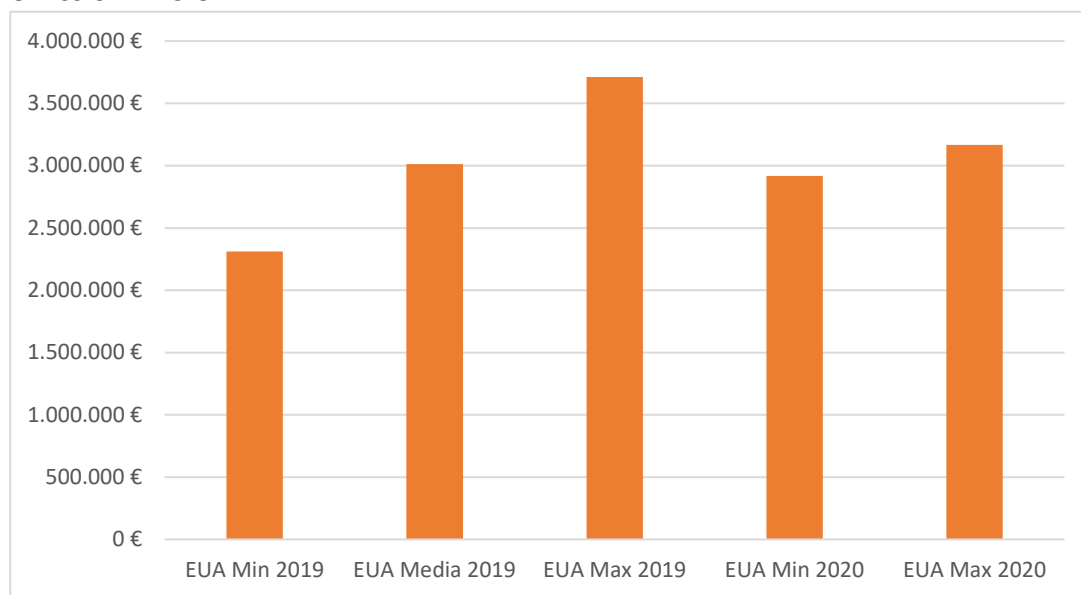
Il sistema ETS EU, come anticipato, è il primo mercato multinazionale della CO₂ ed a partire dal 2013 applica un unico tetto alle emissioni per tutta l'UE. Le quote di emissione vengono assegnate prevalentemente attraverso aste pubbliche europee mentre gli impianti a rischio di delocalizzazione a causa dei costi del carbonio (impianti manifatturieri) ricevono una parte di quote a titolo gratuito in base a parametri di riferimento stabiliti a livello europeo. Gli impianti possono anche scambiare quote attraverso accordi privati oppure rivolgersi al mercato secondario del carbonio. Per poter tracciare i passaggi di proprietà delle quote e dei livelli di compensazione raggiunti dagli impianti, è stata istituita una banca dati elettronica, il Registro unico dell'Unione europea, che permette agli operatori di monitorare annualmente il mercato consentendo, se è il caso, la restituzione delle quote agli Stati membri. Il totale delle quote in circolazione è determinato a livello europeo rispetto agli obiettivi specifici di ciascuna fase: entro il 2020 l'obiettivo è diminuire del 20% le emissioni rispetto ai livelli del 1990, ed entro il 2030 diminuirle del 43% rispetto ai livelli del 2005. Il prezzo delle quote di emissioni europee di CO₂ è stabilito quotidianamente sulla base dell'interazione tra domanda e offerta. La domanda e l'offerta di certificati EUA sono influenzate da molteplici fattori quali, prezzo del combustibile, meteo, Prodotto interno lordo, progresso tecnologico e situazione politica. In seguito alle misure di *lockdown*, dovute all'emergenza sanitaria causata dalla diffusione del COVID-19 nei primi mesi del 2020 in Europa, la produzione e i viaggi hanno subito un crollo che ha necessariamente portato ad un decremento della domanda di energia che, a sua volta, ha comportato una diminuzione dei prezzi dei certificati EUA. Considerato che al momento della

stesura di questa relazione lo shock di questo eccezionale evento non è ancora rilevabile nei mercati non regolamentati e nella stima del costo sociale del carbonio, qui si considerano i prezzi dei mesi di gennaio e febbraio 2020 per il valore minimo e massimo. La Tabella 2 (Grafico 1) riporta i valori per il 2019 ed i primi mesi del 2020 (gennaio- febbraio) in euro per tonnellata e la corrispondente stima per l'Asinara. Il valore più alto registrato nel 2019, circa €30, produce una stima di €3.710.405 per il totale del carbonio stoccato all'Asinara, mentre il prezzo più alto del 2020 (€25,15) un valore di €3.167.572.

Tabella 2 - Valore CO₂ Totale Isola dell'Asinara: sistema di scambio di quote di emissioni ETS UE

	€/ton	Valore CO ₂ Totale Asinara(€)
EUA Min 2019	18,35	2.311.131
EUA Media 2019	23,91	3.011.398
EUA Max 2019	29,46	3.710.405
EUA Min 2020	23,17	2.918.197
EUA Max 2020	25,15	3.167.572

Grafico 1 - Valore CO₂ Totale Isola dell'Asinara: sistema di scambio di quote di emissioni ETS UE



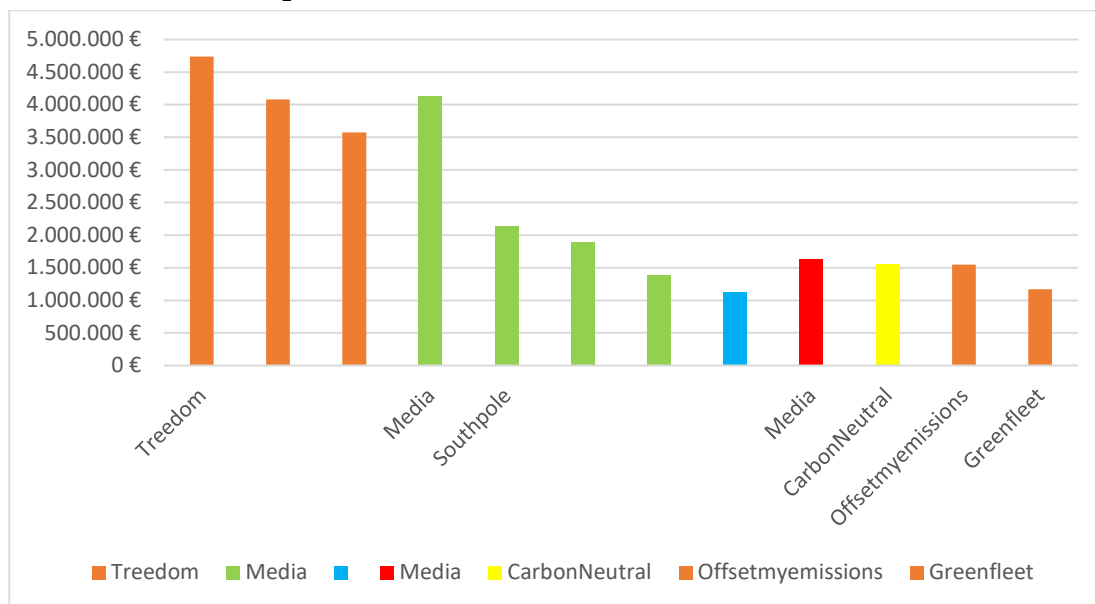
2.2 Valutazione con il sistema della contribuzione volontaria

Le piattaforme digitali esaminate per l'estrapolazione dei valori di mercato di una tonnellata di CO₂ sono 5: *Treedom*, *Southpole*, *CarbonNeutral*, *Offsetmyemissions* e *Greenfleet*. Come descritto nella sezione precedente, ognuna di queste offre servizi basati sul sistema dei crediti di carbonio alternativi, anche molto diversi tra loro e spaziano tra il piantare alberi alla costruzione di impianti per energie rinnovabili. *Treedom*, un'azienda italiana, si differenzia leggermente dalle altre per la sua unità di misura (il Treedom Standard) che è costituita dal singolo albero e non dal credito di carbonio. Per singolo albero piantato è quantificabile l'assorbimento di CO₂ durante la crescita e considerato che la capacità di stoccaggio viene espressa in kg, è facilmente comparabile col numero di crediti di carbonio corrispondenti. Ciascuna piattaforma spesso offre più di una modalità di compensazione, con gradienti di spesa differenti e la possibilità di sottoscrivere abbonamenti mensili e/o annuali. Per ciascuna piattaforma online considerata, Tabella 3 riporta il prezzo in termini di 1 tonnellata di CO₂ equivalente (€/ton) per alcuni progetti o pacchetti rappresentativi di prodotti e/o servizi. L'ultima colonna riporta invece la monetizzazione per il totale del carbonio potenziale dell'Isola dell'Asinara senza distinzione per tipologia d'uso e copertura del suolo. Il dettaglio del valore per copertura del suolo è riportato nella Tabella A1 dell'Appendice. Il valore medio del carbonio totale stoccato all'Asinara, valutato considerando la contribuzione volontaria di individui e aziende è stimale in circa €2.322.416 (mediana = €1.725.477) con una deviazione standard di €1.313.148. Come si evince anche dal Grafico 1 i valori più alti si ottengono quando si considera la piattaforma *Treedom* (max=4.738.134), mentre valori più bassi si registrano per un progetto proposto da *Southpole* e per *Greenfleet* (min =€1.133.525).

Tabella 3 - Valore CO₂ Totale Isola dell'Asinara: contribuzione volontaria

Piattaforma	€/ton	Valore CO2 Totale Asinara
Treedom	37,62 €	4.738.134 €
	32,40 €	4.080.689 €
	28,40 €	3.576.900 €
Media	32,81 €	4.131.908 €
Southpole	17,00 €	2.141.102 €
	15,00 €	1.889.208 €
	11,00 €	1.385.419 €
	9,00 €	1.133.525 €
Media	13,00 €	1.637.314 €
CarbonNeutral	12,40 €	1.561.745 €
Offsetmyemissions	12,28 €	1.546.128 €
Greenfleet	9,30 €	1.171.309 €

Grafico 2 - Valore CO₂ Totale Isola dell'Asinara: contribuzione volontaria



2.3 Valutazione con il sistema del costo sociale del carbonio

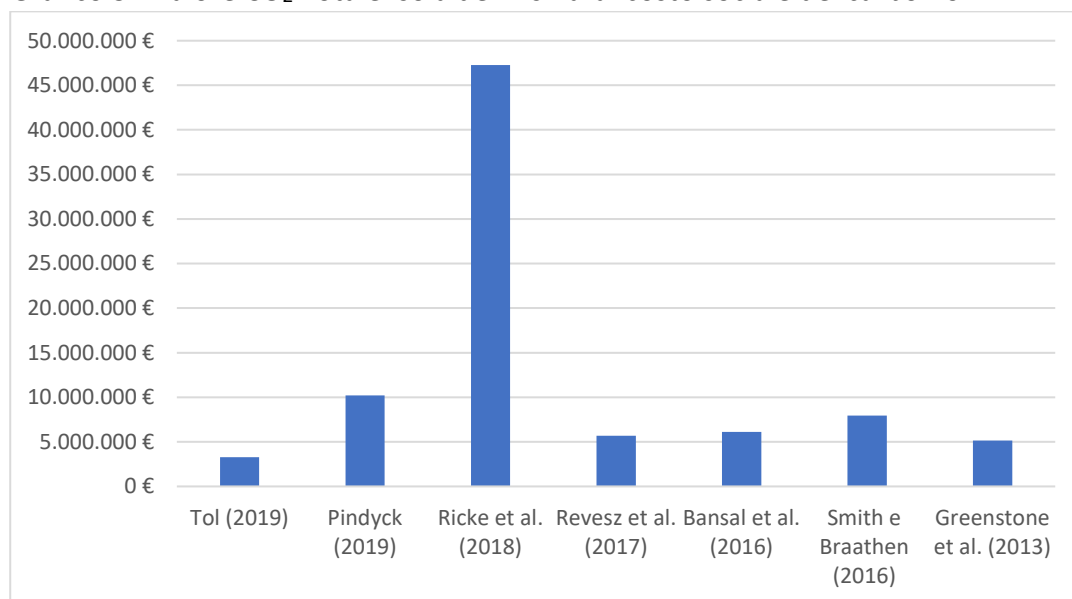
Dall'analisi della letteratura è emersa molto chiaramente l'eterogeneità delle stime del costo sociale del carbonio (SCC). La Tabella A2 in Appendice riporta i valori attualizzati dei prezzi della CO₂ stimati da ciascuno studio analizzato con le differenti ipotesi che danno luogo a un differente scenario. Ai fini del calcolo del valore del carbonio presente all'Asinara si è scelto di utilizzare il valore medio espresso in euro (usd/eur 0,90) dei prezzi riportati in ciascun articolo. La media di questi valori è uguale a 51 €/ton (mediana = €47), se si esclude il lavoro di Ricke et al. (2018) che chiaramente rappresenta un valore che si discosta notevolmente dai valori medi computati nella maggioranza degli studi sul tema (Tabella 4, Grafico 3). La valutazione del carbonio stoccato all'Asinara è in media uguale a €6.387.454 (mediana = €2.401.955) con una deviazione standard di €5.892.062 , al netto del lavoro di Ricke et al. (2018); se invece si effettua il calcolo su tutti i valori, la media sale a €12.227.530 (mediana = €15.606.192) con deviazione standard uguale a €6.116.500. Il valore minimo del carbonio totale stoccato all'Asinara stimato è pari a €3.263.670, quello massimo, sempre escludendo Ricke et. al. (2018) è pari a € 10.201.723. Il dettaglio del valore per copertura del suolo con ciascun approccio è riportato nella Tabella A1 dell'Appendice.

Tabella 4 - Stime del Costo Sociale del Carbonio

Articolo di riferimento per Costo sociale del carbonio (SCC)	€/ton	Valore CO ₂ Totale Asinara
Tol (2019)	25,91 €	3.263.670 €
Pindyck (2019)	81,00 €	10.201.723 €
Ricke et al. (2018)	375,30 €	47.267.984 €
Revesz et al. (2017)	45,00 €	5.667.624 €
Bansal et al. (2016)	48,56 €	6.116.500 €
Smith e Braathen (2016)	63,00 €	7.934.674 €
Greenstone et al. (2013)	40,82 €	5.140.535 €

Note: il costo sociale del carbonio è la media in euro (usd/eur 0,90) dei valori riportati in ciascun articolo

Grafico 3 - Valore CO₂ Totale Isola dell'Asinara: costo sociale del carbonio



3. Compensazione delle emissioni di carbonio

Tra i metodi di analisi utilizzati per la valutazione monetaria di un servizio ecosistemico e quindi del TEV, molti sfruttano l'analisi delle preferenze individuali. Si distinguono in particolare due approcci: preferenze rivelate (*Revealed Preferences*) e preferenze espresse (*Stated Preferences*). Nel primo caso si osserva il comportamento del consumatore e si estrapola la sua disponibilità a pagare (DAP) sulla base delle scelte per le quali ha optato (es. metodo del costo del viaggio), mentre nel secondo caso viene proposto ad un campione della popolazione di interesse di valutare scenari ipotetici sempre per estrapolare la DAP (es. Valutazione contingente ed Esperimenti di scelta discreta). L'utilità di questa misura monetaria è data dalla possibilità di stimare la funzione di domanda per il bene o servizio in esame e quindi anche il surplus del consumatore. Nell'ambito della valutazione monetaria dei servizi ecosistemici delle aree protette e non solo, in una prospettiva *carbon-free*, la derivazione di misure di surplus del consumatore permette di capire se esistono margini per portare avanti iniziative di compensazione delle emissioni di carbonio. In particolare, i visitatori di queste aree hanno la possibilità di fruire di una serie di servizi ecosistemici che determinano l'utilità complessiva della loro esperienza, declinabili in termini di benefici privati. Al fine di comprendere quali sono i margini per implementare possibili azioni di compensazione è utile considerare il surplus derivante dalla visita in un'area protetta. Per estrapolare questi valori il DISEA in collaborazione con l'Ente Parco dell'Asinara, nell'estate 2019 ha effettuato un'indagine campionaria tra i visitatori del Parco. Il questionario era incentrato sull'estrapolazione delle spese e del tempo di viaggio necessari per arrivare sull'Isola per poter applicare il metodo del costo di viaggio. Questa tecnica trova applicazione in letteratura per stimare i valori di uso economico associati a beni e servizi ambientali con funzioni tipicamente ricreative. L'ipotesi fondamentale è che le spese di viaggio e di tempo che le persone sostengono per visitare un sito rappresentano il "prezzo" di accesso al sito. Sono stati intervistati 750 visitatori nel parco nazionale dell'Asinara, selezionati secondo una tecnica di campionamento casuale, realizzato sia nei giorni feriali che festivi nella stagione estiva.

I dati raccolti sono stati elaborati per applicare il metodo del costo di viaggio zonale che consiste nella suddivisione dei visitatori sulla base della zona di provenienza. Sulla base di queste informazioni sono stati calcolati i tassi di visita per mille abitanti in ciascuna zona (totale delle visite all'anno dalla zona, diviso per la popolazione della zona in migliaia). Successivamente si è calcolata la distanza media di viaggio (andata e ritorno) e il tempo di viaggio verso il sito per ciascuna zona. Poi, utilizzando il costo medio per km utilizzando le tabelle ACI con i costi chilometrici per i rimborsi, si è calcolato il costo del viaggio da ciascuna zona. Queste informazioni vengono utilizzate nell'analisi di regressione (che collega le visite pro-capite ai costi di viaggio) per costruire la funzione di domanda per il sito e stimare il surplus del consumatore. Tabella 5 riporta i valori del surplus del consumatore ottenuti a seconda della forma funzionale utilizzata (Modello 1, lineare; Modello 2, log-lineare, Modello 3 log-log). I risultati sono statisticamente significativi in tutte e tre le specificazioni.

Tabella 5 - Valori monetari del beneficio derivante dalla visita

	Modello 1	Modello 2	Modello 3
Beneficio privato per visitatore (€/anno)	17,25	12,39	17,98
Benefici privati totali (€/anno)	1.725.138	1.238.740	1.797.512

Il campo di variazione del surplus è compreso fra €12,39 e €18 circa per visitatore. moltiplicati per il numero medio di visitatori annuali del Parco, questi valori restituiscono una valutazione monetaria del beneficio che ciascun individuo ottiene dalla fruizione dell'area e dai servizi ecosistemici associati. Questo risultato può essere letto in un'altra prospettiva che si interroga su quanto le visite, o meglio i visitatori, potrebbero generare ancora in termini monetari. Generalmente i visitatori di parchi naturali e aree marine protette sono persone con una certa sensibilità ambientale e disponibili a pagare un *premium-price* anche per contribuire a progetti ecologici (Meleddu e Pulina, 2016). I parchi e le aree marine protette, considerati avamposti di eccellenza nella protezione della natura, sono chiamati a dare il buon esempio anche sull'abbattimento delle emissioni di CO₂ generate nell'ambito della gestione dell'area, ma anche della fruizione da parte dei visitatori. Molte aree protette, ed il Parco dell'Asinara stesso, stanno portando avanti misure di gestione che contribuiscono all'abbattimento, come il passaggio a opzioni di energia rinnovabile e alternativa o il mantenimento di *habitat* fragili. Questa tipologia di iniziative ha però necessità di risorse per poter essere implementata e non sempre le risorse degli enti sono sufficienti. Allo scopo di reperire risorse addizionali si potrebbe sfruttare proprio il surplus del consumatore proponendo ai fruitori, potenziali e non, progetti di compensazione e di contribuzione all'abbattimento della CO₂. Queste operazioni permetterebbero, tra le altre cose, di ridurre la produzione di carbonio nell'area. Ma la realizzazione di progetti di compensazione attraenti e spendibili sui mercati volontari rimanda a un livello che non può essere esclusivamente locale, di conseguenza anche l'ambito di applicazione proposto dev'essere esteso. Una collaborazione fra aree protette potrebbe aumentare enormemente il richiamo dei progetti e il loro effettivo impatto. La stessa rete dei parchi potrebbe fare da portavoce, coordinare e proporre progetti di abbattimento e compensazione della CO₂ in mercati non regolamentati e in quest'ottica il potenziale finanziatore contribuirebbe al rafforzamento di una rete ecologica europea. Peraltro, i valori del surplus del consumatore calcolato per l'Isola dell'Asinara sono in linea con i prezzi dei progetti di compensazione proposti dalle piattaforme on-line sopra descritte ed in particolare con *Southpole*, *Corboneutral* e *Offsetmyemissions*. Queste offrono operazioni di compensazione in media a €13 per tonnellata di CO₂ con un minimo di €9 ed un massimo di €17.

Conclusioni

Il lavoro congiunto Arpa Sardegna-Disea nell'ambito del progetto Girepam ha mostrato la possibilità concreta di misurare il carbonio assorbito nell'area protetta e di valutarne la rilevanza economica. Ha inoltre evidenziato l'esistenza di un surplus del consumatore (visitatore) significativo e potenzialmente utilizzabile per sostenere progetti di compensazione. Progetti che potrebbero avere uno spazio di mercato significativo e un impatto apprezzabile se sviluppati e gestiti in comune da più aree protette.

Appendice

Tabella A1 - Valore CO₂ per copertura del suolo Isola dell'Asinara e per metodologia

		€/Ton	Bosco di Latifoglie	Macchia Mediterranea	Gariga	Aree con Vegetazione Rada >5% e <40%	Aree a Pascolo Naturale	Oliveti	Totale
Contribuzione volontaria	Treedom	32,81 €	49.969 €	1.363.624 €	893.558 €	1.704.127 €	117.065 €	3.564 €	4.131.908 €
	Southpole	13,00 €	19.801 €	540.351 €	354.082 €	675.279 €	46.388 €	1.412 €	1.637.314 €
	CarbonNeutral	12,40 €	18.887 €	515.412 €	337.740 €	644.112 €	44.247 €	1.347 €	1.561.745 €
	Offsemyemissions	12,28 €	18.698 €	510.258 €	334.363 €	637.671 €	43.805 €	1.334 €	1.546.128 €
	Greenfleet	9,30 €	14.165 €	386.559 €	253.305 €	483.084 €	33.185 €	1.010 €	1.171.309 €
ETS	EUA Min 2019	18,35 €	27.950 €	762.726 €	499.801 €	953.182 €	65.479 €	1.994 €	2.311.131 €
	EUA Max 2019	29,46 €	44.872 €	1.224.518 €	802.405 €	1.530.286 €	105.123 €	3.201 €	3.710.405 €
SCC	Tol (2019)	25,91 €	39.469 €	1.077.086 €	705.795 €	1.346.039 €	92.466 €	2.815 €	3.263.670 €
	Pindyck (2019)	81,00 €	123.374 €	3.366.802 €	2.206.204 €	4.207.508 €	289.034 €	8.801 €	10.201.723 €
	Ricke et al. (2018)	375,30 €	571.634 €	15.599.517 €	10.222.080 €	19.494.786 €	1.339.190 €	40.776 €	47.267.984 €
	Revesz et al. (2017)	45,00 €	68.541 €	1.870.446 €	1.225.669 €	2.337.504 €	160.574 €	4.889 €	5.667.624 €
	Bansal et al. (2016)	48,56 €	73.970 €	2.018.585 €	1.322.742 €	2.522.635 €	173.292 €	5.276 €	6.116.500 €
	Smith e Braathen (2016)	63,00 €	95.958 €	2.618.624 €	1.715.937 €	3.272.506 €	224.804 €	6.845 €	7.934.674 €
	Greenstone et al. (2013)	40,82 €	62.167 €	1.696.494 €	1.111.682 €	2.120.116 €	145.641 €	4.435 €	5.140.535 €

Tabella A2 - Stime del Costo Sociale del Carbonio

Articolo e scenario	Stima	SCC (valuta alla data indicata dai paper)	SCC (valuta al 2019, utilizzando il CPI index per la conversione)	SCC in € (\$/€ 0.90 £/€ 1.13)
1 Tol (2019) SRES A1	\$ 19,69	\$ 1.866.671,86		1.642.671,23 €
1 Tol (2019) SRES A2	\$ 55,51	\$ 5.262.516,75		4.631.014,74 €
1 Tol (2019) SRES B1	\$ 25,39	\$ 2.407.049,19		2.118.203,28 €
1 Tol (2019) SRES B2	\$ 34,46	\$ 3.266.912,76		2.874.883,23 €
1 Tol (2019) SSP1	\$ 7,78	\$1.685.598,05		1.483.326,29 €
1 Tol (2019) SSP2	\$ 24,02	\$ 2.277.169,02		2.003.908,74 €
1 Tol (2019) SSP3	\$ 42,02	\$ 3.983.623,74		3.505.588,89 €
1 Tol (2019) SSP4	\$ 25,59	\$ 2.426.009,79		2.134.888,62 €
1 Tol (2019) SSP5	\$ 14,67	\$ 1.390.760,60		1.223.869,33 €
2 Pindyck (2019)	\$ 80,00	\$ 7.584.243,20		6.674.134,02 €
2 Pindyck (2019)	100,00	\$ 9.480.304,00		8.342.667,52 €
3 Ricke et al. (2018)	\$ 417,00	\$ 39.532.867,68		34.788.923,56 €
4 Revesz et al. (2017)	\$ 50,00	\$ 4.740.152,00		4.171.333,76 €
5 Bansal et al. (2016)	\$ 4,32	\$ 409.549,13	\$ 458.695,03	412.825,53 €
5 Bansal et al. (2016)	\$ 103,60	\$ 9.821.594,94	\$ 11.000.186,34	9.900.167,71 €
6 Smith et al. (2016) US	\$ 12,00	\$ 1.137.636,48	\$ 1.331.034,68	1.197.931,21 €
6 Smith et al. (2016) US	\$ 70,00	\$ 6.636.212,80	\$ 7.764.368,98	6.987.932,08 €
6 Smith et al. (2016) US	\$ 128,00	\$ 12.134.789,12	\$ 14.197.703,27	12.777.932,94 €
6 Smith et al. (2016) UK	£ 35,00	£ 3.318.106,40	£ 4.147.633,00	4.686.825,29 €
6 Smith et al. (2016) UK	£ 70,00	£ 6.636.212,80	£ 8.295.266,00	9.373.650,58 €
6 Smith et al. (2016) UK	£ 105,00	£ 9.954.319,20	£ 12.442.899,00	14.060.475,87 €
6 Smith et al. (2016) Canada	\$ 43,00	\$ 4.076.530,72	\$ 4.769.540,94	4.292.586,85 €
6 Smith et al. (2016) Canada	\$ 85,50	\$ 8.105.659,92	\$ 9.483.622,11	8.535.259,90 €
6 Smith et al. (2016) Canada	\$ 128,00	\$ 12.134.789,12	\$ 14.197.703,27	12.777.932,94 €
7 Greenstone et al. (2013) DICE model (min)	\$ 7,50	\$ 711.022,80	\$ 888.778,50	799.900,65 €
7 Greenstone et al. (2013) DICE model (max)	\$ 70,80	\$ 6.712.055,23	\$ 8.390.069,04	7.551.062,14 €
7 Greenstone et al. (2013) PAGE model (min)	\$ 5,20	\$ 492.975,81	\$ 616.219,76	554.597,78 €
7 Greenstone et al. (2013) PAGE model (max)	\$ 142,40	\$ 13.499.952,90	\$ 16.874.941,12	15.187.447,01 €
7 Greenstone et al. (2013) FUND model (min)	\$ 3,60	\$ 341.290,94	\$ 426.613,68	383.952,31 €
7 Greenstone et al. (2013) FUND model (max)	\$ 42,60	\$ 4.038.609,50	\$ 5.048.261,88	4.543.435,69 €

Grafico A1 - Valori CO₂ Isola dell'Asinara: bosco di latifoglie

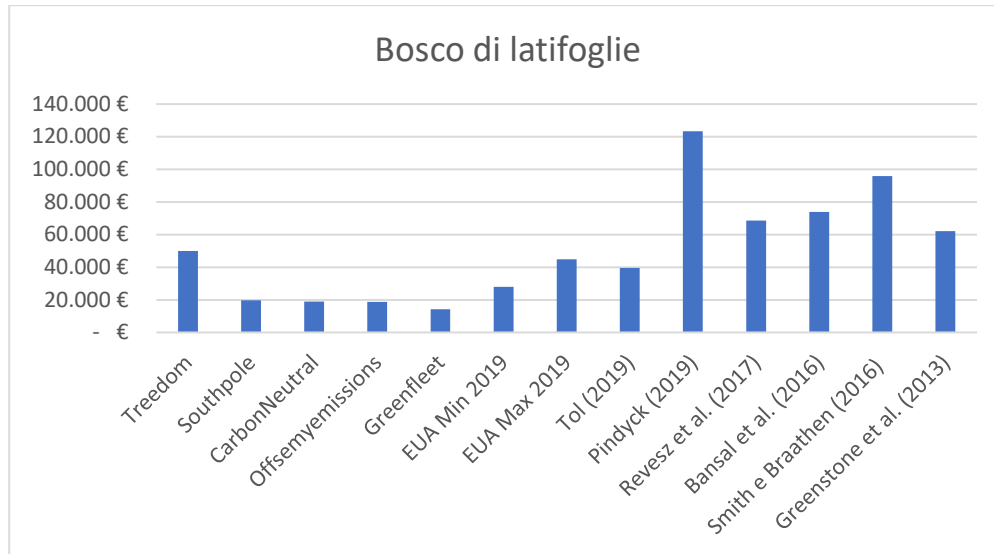


Grafico A2 - Valori CO₂ Isola dell'Asinara: macchia mediterranea

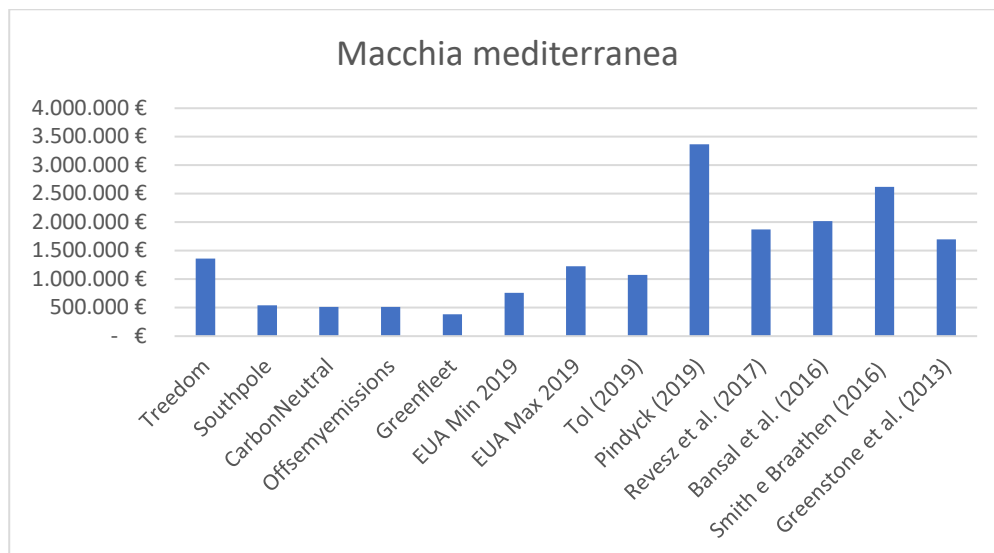


Grafico A3 - Valori CO₂ Isola dell'Asinara: gariga

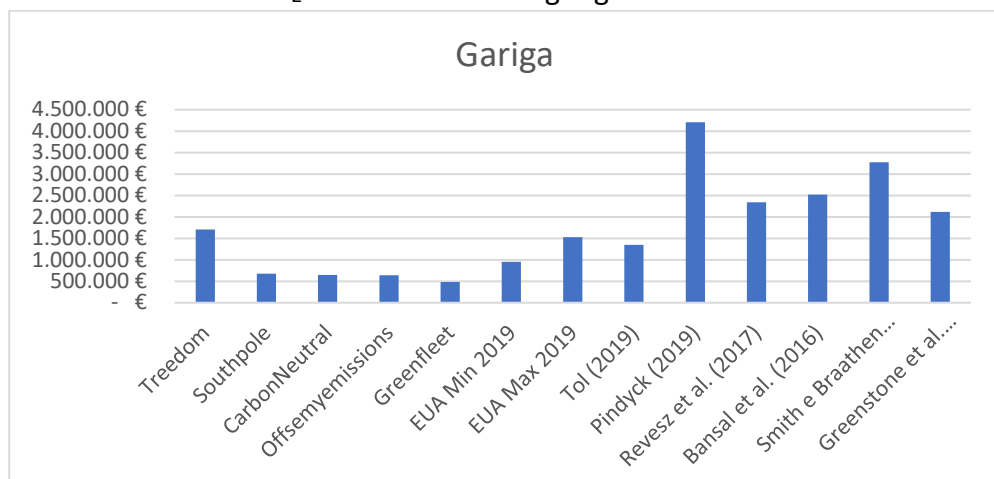


Grafico A4 - Valori CO₂ Isola dell'Asinara: aree a pascolo naturale

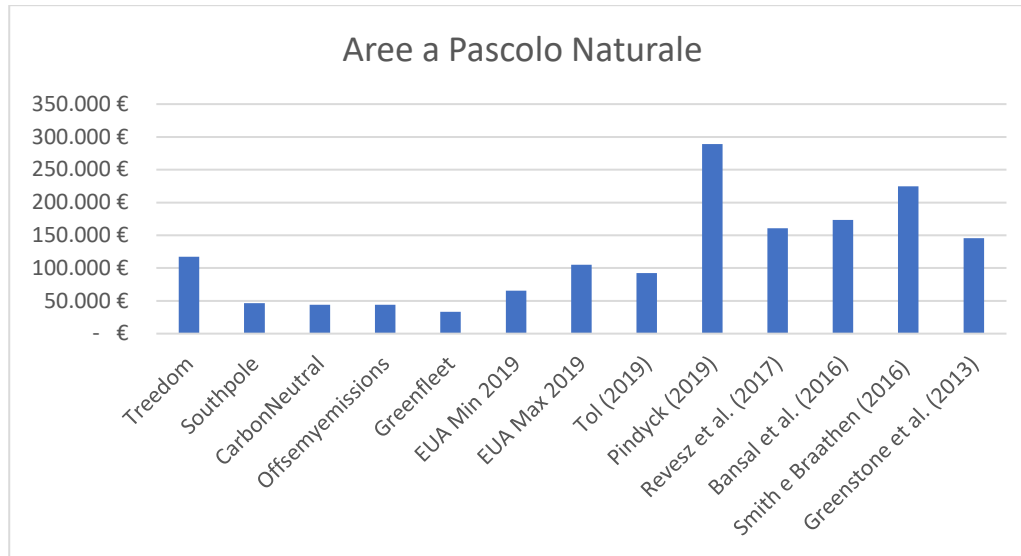


Grafico A5 - Valori CO₂ Isola dell'Asinara: oliveti

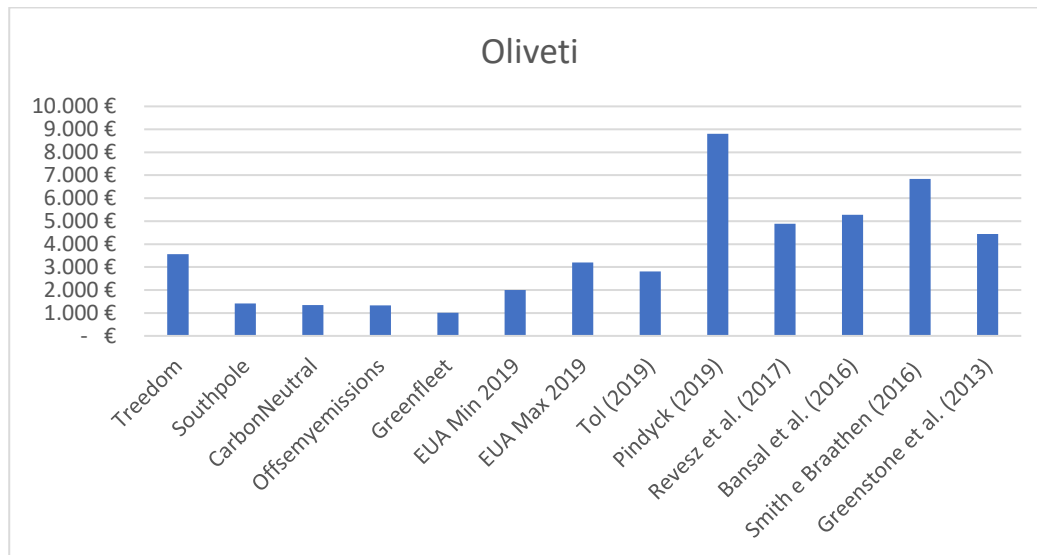
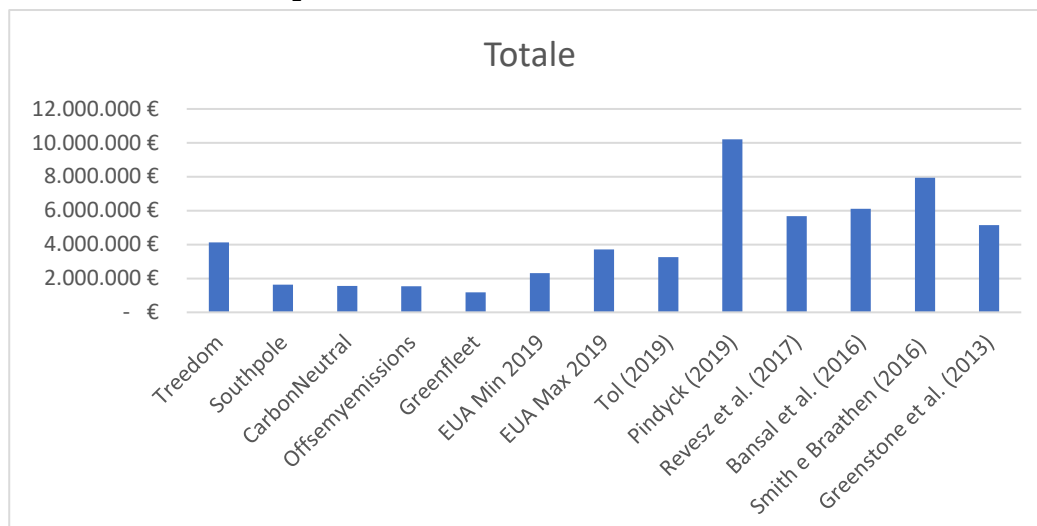


Grafico A6 - Valori CO₂ Isola dell'Asinara: totale



Bibliografia

Bansal, R., Ochoa, M., Kiku, D. 2016. Climate Change and Growth Risks. NBER Working Paper No. 23009.

European Commission 2015. EU ETS Handbook. Disponibile su https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf.

Greenstone, M., Kopitsy, E., Wolvertony, A. 2013. Developing a Social Cost of Carbon for US Regulatory Analysis: A Methodology and Interpretation Review of Environmental Economics and Policy, Volume 7, pag. 23–46, <https://doi.org/10.1093/reep/res015>.

Kulshreshtha, S.N.; Lac, S.; Johnston, M.; Kinar, C. 2000. Carbon Sequestration in Protected Areas of Canada: An Economic Valuation. Research Report for the Federal-Provincial Parks Council of Canada, Department of Agricultural Economics, University of Saskatchewan: Saskatoon, Saskatchewan 142; disponibile su <http://www.parks-parcs.ca/english/pdf/549.pdf>.

Meleddu, M., Pulina, M. 2016. Evaluation of individuals intention to pay a premium price for ecotourism: An exploratory study. Journal of Behavioral and Experimental Economics Vol. 65, 67-78. DOI: 10.1016/j.socec.2016.08.006

Pearce, D., 1993. Economic Values and the Natural world. The MIT Press.

Pearce D., 2003. The Social Cost of Carbon and Its Policy Implications. Oxford Review of Economic Policy 19(3):362–84.

Pindyck, R.S. 2019. The social cost of carbon revisited. Journal of Environmental Economics and Management, Volume 94, pag. 140-160.

Revesz, R., Greenstone, M., Hanemann, M., Livermore, M., Sterner, T., D. Grab, D., Howard, P., Schwartz, J. 2017. Best cost estimate of greenhouse gases, Science, Vol. 357, Issue 6352, pp. 655. DOI: 10.1126/science.aao4322.

Ricke, K., Drouet, L., Caldeira, K., Tavoni, M. 2018. Country-level social cost of carbon, Nature Climate Change, Volume 8, pag. 895–900.

Segura, O. and Lindegaard, K. 2001. Joint implementation in Costa Rica: A case study at the community level. Journal of Sustainable Forestry. 12 (1 and 2): 61-78.

Smith, S., Braathen, N.A. 2015. Monetary Carbon Values in Policy Appraisal: An Overview of Current Practice and Key Issues. OECD Environment Working Papers, ISSN: 19970900 (online) <https://doi.org/10.1787/19970900>.

Tol, R. 2019. A social cost of carbon for (almost) every country. Energy Economics, Volume 83, pag. 555-566 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.006>.