



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

arpa **FVG**

agenzia regionale per la
PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
DEL FRIULI VENEZIA GIULIA



STUDIO CONOSCITIVO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DI ALCUNI LORO IMPATTI IN FRIULI VENEZIA GIULIA

PRIMO REPORT – marzo 2018

Supporto alla predisposizione di una strategia
regionale di adattamento ai cambiamenti climatici
e per le azioni di mitigazione

in collaborazione con



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE



The Abdus Salam
International Centre
for Theoretical Physics



ISTITUTO NAZIONALE
DI OCEANOGRAFIA e DI GEOFISICA SPERIMENTALE

FOCUS Valutazione dei Servizi Ecosistemici in ambiente urbano come strumento per l'adattamento ai Cambiamenti Climatici

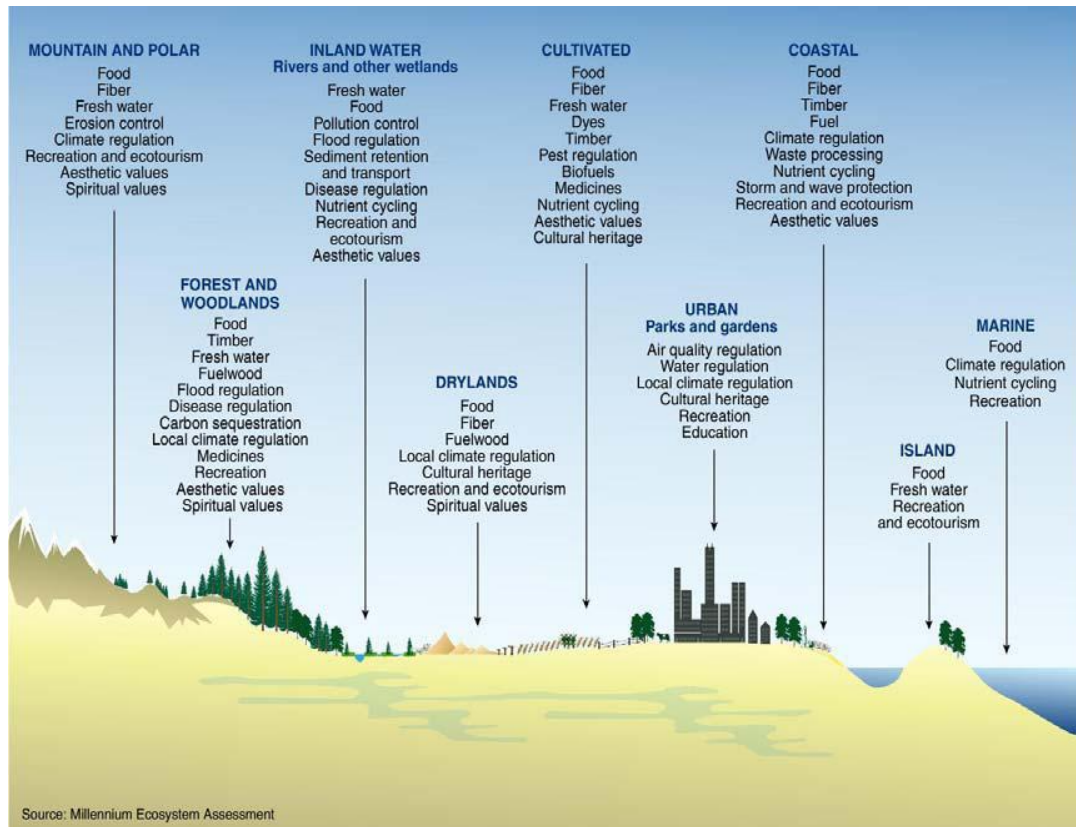
Giovanni Bacaro, Marco Carpona, Enrico Tordoni, Rossella Napolitano, Stefano Martellos - Università di Trieste

Sulla Terra la maggior parte della popolazione vive in aree urbane. Se nel 1950, il 30% della popolazione mondiale viveva in zone urbanizzate, nel 2014 il valore è aumentato al 54%. Inoltre, si stima che nel 2050 questo valore raggiungerà il 66% (UN, 2014). Il rapido accrescimento della popolazione urbana, coniugato al crescente effetto dei cambiamenti climatici, richiede con ritmo crescente l'elaborazione di strategie per l'adattamento a circostanze climatiche antropologicamente modificate. Una di queste strategie è quella di considerare la componente vegetazionale delle città come parte di un ecosistema naturale urbano, il quale ha la capacità di intervenire favorevolmente sulla salute pubblica, migliorando la qualità sia della vita dei cittadini (Kiss et al., 2015) che dell'ambiente stesso. Tutto ciò ha portato alla definizione dei cosiddetti servizi ecosistemici come parte del del "Capitale Naturale", ovvero l'intero stock di beni naturali (organismi viventi, aria, acqua, suolo e risorse geologiche) che contribuiscono alla sopravvivenza del genere umano e dell'ambiente stesso, fornendo beni e servizi di valore, in modo diretto ed indiretto (Comitato Capitale Naturale, 2017). In figura 1 vengono identificati vari tipi di ecosistemi, che forniscono una moltitudine di servizi dipendenti da complesse relazioni biologiche, fisiche e chimiche, condizionate a loro volta dalle attività umane, in particolare negli ecosistemi urbani.

Gli ecosistemi urbani naturali contribuiscono alla salute pubblica, migliorando la qualità di vita dei cittadini, grazie alla fornitura di beni e servizi, diretti ed indiretti, capaci di risolvere problemi locali tipici delle città, come l'inquinamento acustico, o il traffico. Bolund et al. (1999) prendono in considerazione diversi SE legati all'ecosistema urbano, in particolare per la città di Stoccolma, focalizzandosi su 6 SE (come definiti nello studio di Costanza et al., 1997), fornendo una descrizione specifica di ogni SE, e concentrandosi sui seguenti quesiti:

- 1) Quali problematiche può risolvere ciascun SE?
- 2) Quali ecosistemi sono coinvolti nell'erogazione di ciascun SE?
- 3) Come può venire valutato e quantificato ciascun SE?

Figura 1: Panoramica dei servizi ecosistemici forniti dai principali ecosistemi, tra cui quello urbano (fonte: Millennium Ecosystem Assessment, 2005).



In questo studio, vengono analizzati i seguenti SE.

- **Riduzione dell'inquinamento atmosferico:** il ruolo della vegetazione nel controllare la qualità dell'aria è considerato uno dei maggiori benefici che gli ecosistemi urbani possono fornire. L'inquinamento atmosferico è causato principalmente dagli impianti di riscaldamento e dai trasporti, ma può venire attenuato dalla vegetazione urbana, sia direttamente, tramite l'assorbimento dalle foglie, sia indirettamente, in quanto le piante possono essere un ostacolo per il vento, influenzando la concentrazione locale degli inquinanti atmosferici. La capacità di filtrare l'aria è dipendente dalla superficie delle foglie, quindi gli aghi di conifera risultano avere maggiori capacità di filtrazione rispetto alle foglie decidue (Stolt, 1982). Questi inoltre permangono anche d'inverno, continuando così a fornire questo SE in tutto il corso dell'anno. Nel 1994, gli alberi di New York hanno rimosso circa 1821 tonnellate di aria inquinata, con un valore stimato di tale SE di 9.5 milioni di dollari (https://www.nrs.fs.fed.us/units/urban/local-resources/downloads/Tree_Air_Qual.pdf).

- **Miglioramento del clima:** i materiali con cui vengono costruiti gli edifici e le strade (principalmente asfalto e cemento) modificano il microclima delle città, creando considerabili differenze di temperatura rispetto alle zone adiacenti di periferia. Inoltre, il grande quantitativo di energia prodotto dalle città, non fa altro che aumentare

questo fenomeno, conosciuto come Isola di calore urbano (UHI, Urban Heat Island); nello studio di Akbari e Rose (2001) si evidenziano differenze di temperatura misurate in città e in zone rurali. Durante il giorno, la differenza di temperatura tra le aree urbane e quelle rurali va dai 10°C ai 15°C, mentre di notte la differenza è inferiore, dai 5°C ai 10°C. Come spiega lo studio di Bolund et al. (1999), questo servizio viene fornito da tutti gli ecosistemi naturali nelle zone urbane. Infatti, non sono solo i corpi idrici come laghi e fiumi a mitigare le differenze di temperatura. Anche la vegetazione può diminuire l'effetto isola di calore riducendo l'energia usata nelle città, ad esempio ombreggiando le pareti delle abitazioni, e quindi facendo risparmiare energia per il condizionamento in estate, o diminuendo la forza del vento in inverno, limitando così l'impiego del riscaldamento domestico.

- **Riduzione dell'inquinamento acustico:** il traffico, i cantieri, ed altre attività umane, creano livelli di rumore che portano a diversi problemi di salute per gli abitanti delle zone urbane. In questo caso, gli ecosistemi naturali urbani migliorano le condizioni di vita dei cittadini. Ad esempio, l'uso di suoli naturali come i prati, rispetto ai pavimenti cementati, può ridurre i rumori di 3 dB (Sou, 1993). Inoltre, la vegetazione, specialmente se densa, come nel caso delle siepi, funge da elemento fonoassorbente. Il valore economico di questo servizio fornito dagli ecosistemi naturali urbani deriva principalmente dai costi sanitari ridotti per la comunità. L'esposizione al rumore costante infatti provoca una varietà di effetti negativi sia psicologici e fisiologici.

- **Sequestro di carbonio dall'atmosfera:** Il diossido di carbonio è riconosciuto come una delle principali cause del cambiamento climatico globale, rappresentando oltre l'80% di tutte le emissioni di gas serra nell'Unione Europea (EEA, 2009). Nelle città, uno dei problemi principali è l'elevato numero di trasporti privati, che aumenta le emissioni di questi gas. Inoltre, si stima che le emissioni di diossido di carbonio dovute al traffico stradale, aumenteranno del 92% entro il 2020 (Gorham, 2002; Gratani et al., 2016). La vegetazione urbana, come i parchi pubblici e privati, i giardini, le siepi o i viali alberati, ha un ruolo importante nel ridurre i livelli di diossido di carbonio tramite i processi fotosintetici, ed immagazzinando il carbonio tramite i processi di crescita (Nowak and Crane, 2002; Gratani and Varone, 2006; Novak et al., 2006; Liu and Li, 2012, Gratani et al., 2016). Mediante tali processi, il carbonio sottratto all'atmosfera viene fissato ed accumulato tramite delle componenti ecosistemiche definite come serbatoi agro-forestali di carbonio, o carbon pools.

La quantità di carbonio fissato nei serbatoi agro-forestali e l'equivalente monossido di carbonio sottratto all'atmosfera si quantificano attraverso la misura della biomassa, espressa in termini di peso secco (INFC, 2005). Nel 2003, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha codificato delle linee guida, al fine creare delle stime sui flussi di carbonio nei diversi usi del suolo, tra le parti aderenti al Protocollo di Kyoto, individuando cinque diversi serbatoi agro-forestali:

Biomassa epigea (above-ground biomass), costituita dai tessuti che compongono le parti aeree degli organismi vegetali viventi (fusti, rami, corteccia, foglie, semi e frutti);

Biomassa ipogea (below-ground biomass), costituita dagli apparati radicali degli organismi vegetali viventi;

Necromassa (deadwood), composta dai residui degli organismi vegetali morti;

Lettiera (litter), costituita dai residui più fini della necromassa, come foglie, fiori e frutti non ancora decomposti,

Suolo (soil), costituito dal carbonio organico degli strati organici e minerali.

- **Valori ricreazionali e culturali:** gli aspetti ricreazionali di tutti gli ecosistemi naturali urbani, corrispondono ai SE valutati di più, in quanto forniscono alla città valori estetici e culturali. Un esempio di valori ricreazionali potrebbe essere associato alla presenza di fauna, come uccelli e pesci, nei parchi e giardini. Gli spazi verdi sono in ogni caso psicologicamente importanti, specialmente in strutture come gli ospedali: uno studio ha dimostrato che i pazienti nelle stanze affacciate sul parco hanno avuto una degenza del 10% più veloce rispetto agli altri pazienti. Inoltre, sempre i pazienti ospitati in stanze affacciate sul verde hanno avuto bisogno di trattamenti anti-dolorifici con una percentuale del 50% inferiore rispetto ai pazienti ospitati in stanze affacciate sulle strade (Ulrich, 1984; Bolund & Hunhammar, 1999).

Applicazione del modello “Stoccaggio e sequestro di carbonio” (*INVEST Carbon Storage and Sequestration*) per la stima del quantitativo di carbonio immagazzinato dal verde urbano della città di Trieste.

Per la valutazione dei Servizi Ecosistemici offerti dal verde urbano della città di Trieste è stato utilizzato il modello “Stoccaggio e sequestro di carbonio” (*INVEST Carbon Storage and Sequestration*), che permette di stimare il quantitativo di carbonio immagazzinato in quattro serbatoi di carbonio legati alla vegetazione (aboveground mass, belowground mass, soil, dead organic matter). Lo stesso modello permette di calcolare il sequestro di carbonio avvenuto in un dato intervallo temporale, in quanto alcuni ecosistemi continuano ad accumulare carbonio nel tempo. Tuttavia, i disturbi provocati a questi sistemi, come gli incendi o i cambiamenti sull'uso del suolo, rilasciano grandi quantità di CO₂. Possedere dei dati spaziali che informino sull'immagazzinamento e il sequestro di carbonio nel tempo permette di eseguire delle migliori politiche gestionali sulle zone di studio interessate, e alcune di queste informazioni possono essere utilizzate per salvaguardare gli ecosistemi.

Classificazione del verde urbano della città di Trieste

I dati inerenti all'area urbana di Trieste sono stati ricavati *inizialmente* dal lavoro di tesi magistrale (Zago, AA 2017). L'area di studio è compresa fra 45°35'51.3233" e 45°40'41.2981" N fra 13°43'59.1594" e 13°48'50.3493" E (*datum*WGS84) e include l'area portuale di Trieste, che si estende anche nel Comune di Muggia, i rioni storici di Chiarbola e Servola sconfinando in quelli di San Vito, San Giacomo, Rozzol, Santa Maria Maddalena superiore e inferiore. La realtà urbana nell'area di studio è stata rappresentata da una classificazione del verde urbano (tabella 1), alla quale è stata impostata un'organizzazione gerarchica, in modo da poter scendere ad un adeguato livello di dettaglio, in funzione dell'uso stesso della classificazione.

Tabella 1: classificazione gerarchica del verde urbano; con gestito si intende un'area sottoposta ad almeno una delle seguenti: irrigazione, sfalcio, concimazione, diserbo, potatura, piantumazione di essenze, presenza di strutture ricreative

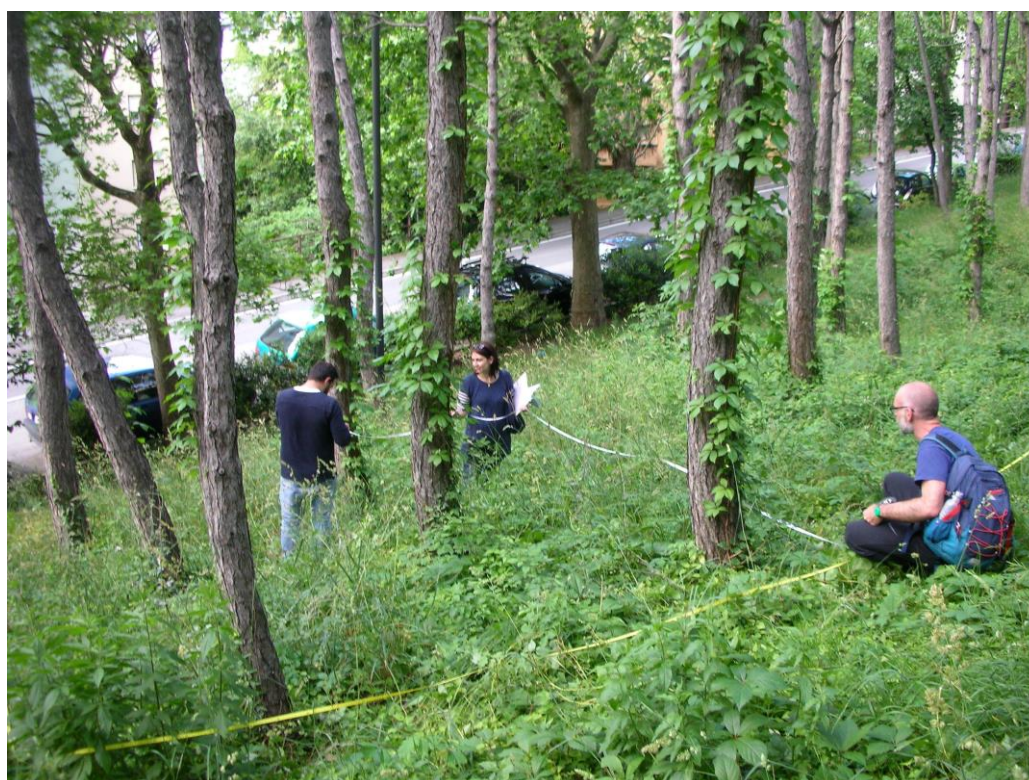
Legenda	Denominazione	Descrizione
1	Verde	Aree verdi
2	Non verde	Aree impermeabili
1.1	Verde non gestito	Aree verdi, sia pubbliche che private, non gestite
1.2	Verde gestito	Aree verdi, sia pubbliche che private, di ampia gestione
1.1.1	Praterie naturali	Superficie caratterizzata dalla presenza prevalente di graminacee e leguminose a provenienza spontanea
1.1.2	Arbusteti	Formazione di arbusti che si sviluppa su praterie abbandonate
1.1.3	Bosco	Aree verdi con almeno una copertura arborea del 50%
1.2.1	Prati Urbani e seminati	Superficie caratterizzata dalla presenza prevalente di graminacee e leguminose selezionate o di origine spontanea
1.2.2	Orti e coltivazioni	Superficie caratterizzata dalla copertura di coltivazione prettamente agricola (seminativi, seminativi alberati, orti propriamente detti, uliveti, vigneti, frutteti)
1.2.3	Parchi e giardini urbani	Aree urbane dove la crescita degli alberi è limitata e sono presenti per lo più specie coltivate. Comprende parchi e giardini pubblici, ma anche i giardini delle aziende, delle scuole, dei ricreatori, delle parrocchie, delle chiese oppure corti o cortili interni
1.2.4	Verde pensile	Superfici di verde realizzate con una tecnologia appropriata sopra un solaio e destinate alla copertura di tetti, in piano o inclinati, terrazze e superfici
1.2.5	Vivai	Area occupata da un'azienda specializzata nella produzione commerciale di piante
1.2.6	Viabilità	Verde collegato alla mobilità dei mezzi e dei pedoni
1.1.1.1	Praterie xeriche	Praterie che si instaurano su suoli poco profondi (es. calcare), dove il clima presenta periodi di siccità
1.1.1.2	Praterie umide	Praterie che si instaurano su suoli profondi, dove il clima non presenta periodi di siccità
1.2.6.1	Aiuole e siepi di spartitraffico, banchina e marciapiedi	Impianti posti a separazione di due carreggiate, ai margini della strada o sui marciapiedi, comprende anche singoli alberi in buche isolate nella pavimentazione
1.2.6.2	Rotonde verdi	Impianti posti nelle rotonde stradali
1.2.6.3	Ferrovia e tramvia	Vegetazione spontanea, spesso invasiva, lungo ferrovie e tramvie

Le categorie di uso del suolo sono state riclassificate in 6 classi (tab. 2), secondo lo schema e i valori dei quattro serbatoi di carbonio proposti da Li et al. (2017).

Tabella 2: classi di uso del suolo e valori di carbonio stoccati nei serbatoi agro-forestali

Classe	Descrizione	c_above	c_below	c_soil	c_dead
1	Urbano	0	0	0	0
2	Verde urbano	94	121	233	0
3	Corridoi ecologici e margini stradali	2	145	200	0
5	Aree boscate	147	140	226	15
8	Zone prative e arbustive	35	7	407	1
9	Aree coltivate	47	81	208	1
10	Mare	28	113	213	1

Rilievi della vegetazione in ambiente urbano (Trieste)



La mappa derivante da questa classificazione è riportata in figura 2.

Figura 2 – classificazione dell'area di studio sulla base delle classi di uso del suolo in tabella 2



Modello Applicato

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs) è un software open-source di modellazione, usato per mappare e valutare i beni e i servizi degli ecosistemi naturali.

Questo permette di calcolare sia il carbonio totale sequestrato nell'area di studio, che il valore netto di carbonio sequestrato in un lasso di tempo specifico, assieme alla valutazione economica di tale servizio ecosistemico. Il valore del sequestro di carbonio (e non dell'immagazzinamento, in quanto i prezzi di mercato sono associati solo al sequestro) è stimato in funzione del quantitativo di carbonio sequestrato, del valore monetario per unità di carbonio, e di due tassi di attualizzazione, uno monetario e un altro associato al cambio del valore del sequestro di carbonio nell'unità di tempo. Il tasso di attualizzazione monetaria è un moltiplicatore che solitamente riduce il valore del sequestro di carbonio, in quanto riflette il fatto che la società valuta tipicamente i benefici immediati maggiormente rispetto ai benefici futuri.

Al fine di valutare l'impatto sul servizio ecosistemico di sequestro del carbonio, e quindi della relative perdita di valore economico, è stato simulato uno scenario futuro (2050) in cui il 10% delle aree appartenenti alle classi 2, 3, 8 e 9 (tabella 2) diventi tessuto urbano (classe 1), e divenga quindi incapace di sequestrare carbonio.

L'equazione sotto riportata permette il calcolo del valore del carbonio sequestrato nel tempo per unità di superficie. In questa funzione, V rappresenta il valore del carbonio sequestrato, r il tasso di attualizzazione monetaria e c il tasso annuale del cambio nel prezzo del carbonio.

$$value_seq_x = V \frac{sequest_x}{yr_fut - yr_cur} \sum_{t=0}^{yr_fut - yr_cur - 1} \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t \left(1 + \frac{c}{100}\right)^t}$$

Per l'elaborazione dello scenario futuro, è stato assunto che il valore di carbonio sequestrato sia di 25\$/tonnellata (basato sul prezzo della CO₂ estrapolato da Spring 2016 National Carbon Dioxide Price Forecast), che il tasso di attualizzazione associato alla preferenza della società nel trarre benefici immediati a discapito dei benefici futuri sia del 5%, e che il tasso annuale del cambio nel prezzo del carbonio resti immutato nel tempo.

La figura 3 mostra la quantità di carbonio stoccata nell'area di studio espressa in t/m²

Figura 3: mappa della quantità di carbonio stoccata nell'area di studio, espresso in t/m².



Lo stock attuale di carbonio totale dell'area di studio è di 33219 t per un valore economico di quasi 610000 \$. Nello scenario ipotizzato (aumento del tasso di urbanizzazione del 10% entro il 2050) si osserva una perdita di carbonio totale pari a 1800 t (-23341\$).

In tabella 3 sono riportati gli stock di carbonio sequestrato e il rispettivo valore economico per ogni classe di uso del suolo sia attuale che futura. Come atteso, la maggior parte del carbonio viene sequestrato dalle aree naturali-seminaturali (71,6%) per un valore economico di circa 436458\$; la restante parte viene stoccata dal mare. All'interno

dell'area di studio, le zone che sequestrano una maggior quantità di carbonio (2566 t; 47100\$) sono l'area verde di Servola e l'area del Comprensorio ex Esso / discarica di via Errera che stoccano circa l'8% del carbonio totale sequestrato.

Tabella 3. Stock di carbonio sequestrato e il rispettivo valore economico per ogni classe di uso del suolo (2018 e 2050)

Classe	Descrizione	2018			2050		
		Stock C (t)	Valore (\$)	% C	Stock C (t)	Valore (\$)	% C
1	Urbano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Verde urbano	11039,85	202581,23	33,23	10130,61	185896,62	32,24
3	Corridoi ecologici	4351,52	79850,40	13,10	3829,58	70272,73	12,19
5	Aree boscate	4015,23	73679,50	12,09	4015,23	73679,50	12,78
8	Aree seminaturali	2264,11	41546,34	6,82	2163,94	39708,22	6,89
9	Aree coltivate	2114,45	38800,16	6,37	1845,25	33860,42	5,87
10	Mare	9433,91	173112,29	28,40	9433,91	173112,29	30,03

I costi qui stimati ovviamente si riferiscono alla situazione attuale. Nell'ottica della crescente pressione derivante dai cambiamenti climatici in atto, e dall'aumento della concentrazione di carbonio in atmosfera, è probabile che il valore V (valore del carbonio sequestrato) vada ad aumentare. Questo renderebbe il valore di questo servizio ecosistemico ancora maggiore, e di conseguenza ancora maggiore sarebbe la stima della sua perdita.