

DAVIDE ROSATI, SILVIA FERRINI

# *Valutazione economica dei servizi ecosistemici forestali: sfide e difficoltà a livello locale*



## *1. Introduzione*

A partire dagli anni '70 la tutela e salvaguardia del capitale naturale – gli ecosistemi e le risorse abiotiche del pianeta che forniscono alle persone risorse sfruttabili generando un flusso di benefici attraverso i servizi ecosistemici (EEA, 2018) – hanno raccolto un progressivo interesse da parte dei decisori politici e la rete europea delle aree protette “Natura 2000” istituita ai sensi della Direttiva Uccelli (79/409/CEE) e della Direttiva Habitat (92/43/CEE) ne rappresenta un segno tangibile. L’attenzione sul capitale naturale è ulteriormente cresciuta nell’ultimo decennio e la *EU Biodiversity Strategy for 2030* intende perseguire il ripristino della biodiversità europea per il benessere delle comunità, del clima e del pianeta. In questo contesto l’*Environment Action Plan (EAP)* pubblicato il 14 ottobre 2020 costituisce un supporto operativo al raggiungimento degli obiettivi del Green Deal europeo mirando ad accelerare la transizione energetica verso la neutralità climatica, l’efficientamento delle risorse e l’economia rigenerativa riuscendo così a garantire un ritorno positivo per il pianeta (EUROPEAN UNION, 2020).

In Italia si istituisce il comitato per il capitale naturale nel 2015, con il compito di redigere annualmente un rapporto sullo stato del capitale naturale del Paese oltre che promuovere l’adozione di un sistema di contabilità ambientale da parte degli enti locali, e nel 2020 viene pubblicato il terzo rapporto con una rassegna sistematica dei principali habitat e risorse naturali a rischio.

A queste iniziative Europee e nazionali si sono poi affiancate iniziative internaziona-

li come il *Mapping and Ecosystem Assessment* (2005), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB 2010)*, *United Nations System of Environmental-Economic Accounting – Experimental Ecosystem Accounts (SEEA EEA 2012, 2017, 2021)* e il panel-intergovernativo *IPBES (The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)*. L’obiettivo di queste iniziative è informare il decisore politico e la cittadinanza dello stato dell’ambiente e delle iniziative a favore del benessere comune e della salute degli ecosistemi.

Tra i vari ecosistemi, la foresta è il più grande ecosistema terrestre d’Europa e ospita gran parte della biodiversità del continente. Occupa circa il 33% della superficie totale della regione (215 milioni ha) e queste aree offrono servizi essenziali per il benessere umano: regolazione del clima, fornitura di acqua, legname, aria pulita, controllo dell’erosione e molti altri ancora (DE RIGO *et al.*, 2016). Data l’importanza di tale ecosistema, nel 2013 l’UE adotta la *EU Forest Strategy*, che mira ad una gestione sostenibile delle foreste e alla valorizzazione dei molteplici servizi ecosistemici. È importante sottolineare, come a differenza del passato, i servizi non monetari delle foreste sono valorizzati così come quelli di mercato (es. fornitura di legname) tuttavia le difficoltà a quantificarli e contabilizzarli economicamente per raggiungere una gestione sostenibile rimangono irrisolti.

Obiettivo di questo lavoro è applicare la contabilità del capitale naturale alle risorse

forestali di un'area comunale così da evidenziare quali sfide ed opportunità esistono per poter incrementare una gestione efficiente delle foreste.

Nonostante i principali documenti a sostegno delle foreste, come il *SEEA AFF (System of Environmental-Economic Accounting for Agriculture, Forestry and Fisheries)*<sup>1</sup>, siano pensati per una gestione nazionale, si è ritenuto opportuno testarle anche a livello locale così da valorizzare le diverse realtà forestali esistenti in Europa. I piccoli comuni, le aree montane e le aree marginali richiedono politiche di gestione delle foreste *ad hoc* e la contabilità nazionale necessita di una calibrazione dal basso che includa nel processo di valutazione biofisica ed economica sia servizi ecosistemici connessi al mercato, e quindi facilmente riconducibili al valore della foresta, sia quei servizi fuori mercato i cui benefici sono goduti dalle popolazioni locali e contribuiscono al benessere umano.

Il comune oggetto di studio (Lenola) si trova nella provincia di Latina e si presenta come un centro collinare di origine alto-medievale, con un'economia basata quasi esclusivamente sulle attività primarie quali agricoltura, zootecnia e silvicoltura. In base alla zonizzazione del Piano di Sviluppo Rurale (PSR) 2014-2020 il territorio viene classificato come "area rurale intermedia" ricadente per il 70% in una ZPS (Zona Protezione Speciale) e per lo 0,8% in una zona SIC (Sito di Interesse Comunitario). Sono proprio queste caratteristiche che rendono il territorio unico ma allo stesso tempo molto simile alle innumerevoli aree rurali italiane ed europee evidenziando quindi l'elevato potenziale benefico di un sistema di gestione efficiente delle risorse naturali facilmente applicabile e replicabile in tali aree.

L'articolo è organizzato in una sezione descrittiva e metodologica dove vengono riportati i processi di contabilità dei Servizi Ecosistemici (SE) delle foreste e in una parte empirica in cui sono dettagliati i dati fisi-

ci ed economici necessari per quantificare i benefici prodotti dal patrimonio naturale per il territorio comunale.

## 2. Materiali e metodi

Il capitale naturale e i servizi ecosistemici sono fattori essenziali per la vita ed il benessere umano ma la comprensione dei complessi funzionamenti delle componenti biotiche e abiotiche e i servizi utili alla società sono stati formalizzati solo agli inizi degli anni '90 (DE GROOT, 1992). La Figura 1 sintetizza come le risorse naturali forniscono numerosi servizi ecosistemici che consentono il funzionamento del sistema economico ed il benessere sociale.

La definizione di servizi ecosistemici ci permette di generare una maggiore consapevolezza sul funzionamento di un ecosistema, dei suoi limiti, delle sue potenzialità e del suo contributo al benessere dell'umanità, e di favorire attraverso la valutazione economica, la loro inclusione nei processi decisionali. La Figura 2 riporta le quattro principali categorie di servizi.

- Servizi di supporto (*supporting services*): comprendono servizi quali il ciclo dei nutrienti e la formazione del suolo, necessari per la produzione di tutti gli altri servizi.
- Servizi di approvvigionamento (*provisioning services*): comprende i prodotti ottenuti direttamente dagli ecosistemi quali ad esempio la fornitura di acqua, cibo, legname, energia.
- Servizi di regolazione (*regulating services*): costituiscono i benefici ottenuti dalla regolazione degli ecosistemi quali ad esempio la purificazione dell'acqua, il controllo delle inondazioni o la regolazione del clima tramite il sequestro del carbonio.
- Servizi culturali (*cultural services*): i benefici che le persone ottengono dagli ecosistemi attraverso l'arricchimento spirituale, lo sviluppo cognitivo, le esperienze ricreative ed estetiche.

<sup>1</sup> Sistema statistico per l'organizzazione di dati ai fini della descrizione e successiva analisi delle relazioni tra l'ambiente e le attività economiche collegate al settore agricolo, forestale ed ittico.

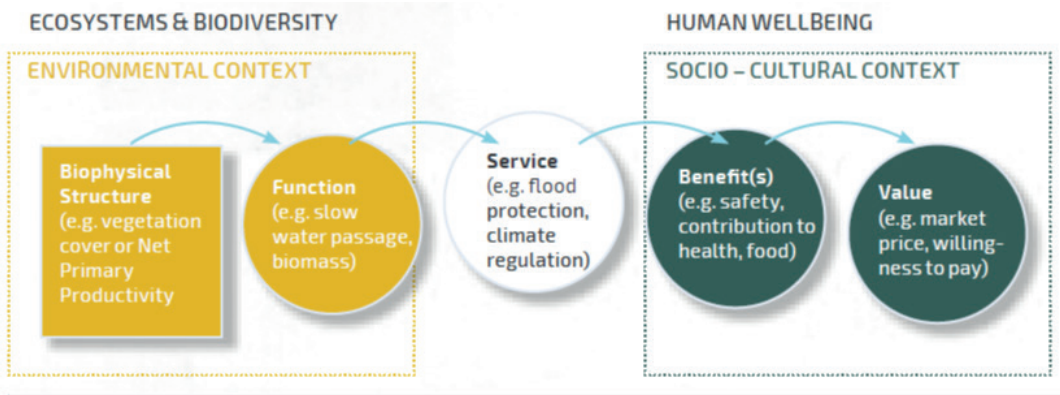


Figura 1: Framework a cascata che collega gli ecosistemi ed il benessere umano (Fonte: HAINES-YOUNG et al., 2010).

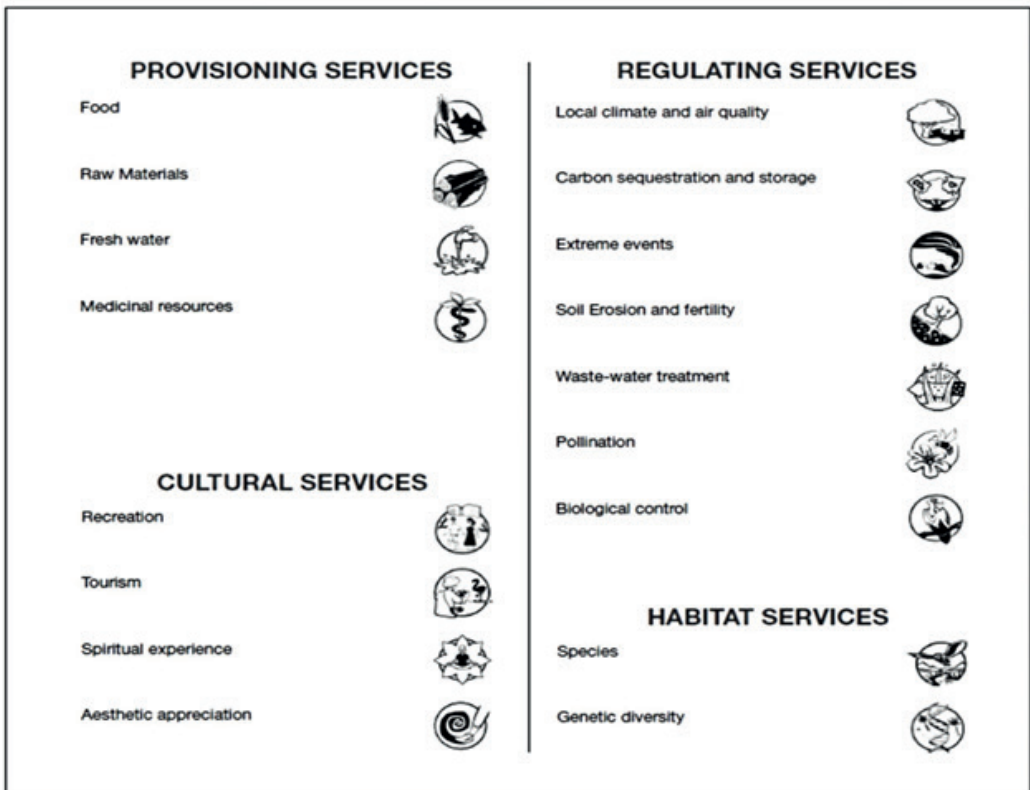


Figura 2: Classificazione dei SE adottata dal MA e riadattata dal TEEB con l'aggiunta di immagini stilizzate (Fonte: TEEB, 2010).

Dal Sistema di Contabilità Ambientale ed Economica (*SEEA*)<sup>2</sup> guidato dalla Divisione Statistica delle Nazioni Unite (*UNSD*) è nata la “Classificazione dei Servizi Ecosistemici” (*CICES*) volta a fornire un quadro di riferimento adeguato che aiuti a identificare ciò che costituisce un servizio ecosistemico finale e riuscire ad inquadrarlo tra le diverse tipologie. Il *CICES* ha preso come punto di partenza la tipologia di servizi ecosistemici suggerita nel *Millennium Ecosystem Assessment (MA)* e l'ha perfezionata per riflettere alcune delle questioni chiave identificate nella più ampia letteratura di ricerca. Al livello più alto o più generale ci sono le tre categorie utilizzate nel *MA*: approvvigionamento, regolazione, culturali. Al di sotto di queste "Sezioni" si trovano una serie di "Divisioni", "Gruppi" e "Classi". Tale struttura gerarchica (Fig. 3), permette agli utenti di scendere al livello di dettaglio puntuale, oppure di raggruppare o combinare risultati quando si effettuano confronti o rapporti più generici dal momento che a qualsiasi livello della gerarchia le categorie sono da intendersi esclusive e non sovrapposte, in modo che il *CICES* possa essere considerato un sistema di classificazione piuttosto che una nomenclatura arbitraria.

In *CICES* i servizi ecosistemici sono definiti come i contributi che gli ecosistemi apportano al benessere umano e distinti dai beni e dai benefici che le persone successivamente traggono da essi e i cui output vengono riconosciuti come servizi di approvvigionamento, di regolazione e culturali, escludendo i cosiddetti servizi di supporto originariamente definiti dal *Millennium Ecosystem Assessment* essendo questi ultimi trattati come parte delle strutture, dei processi e delle funzioni che caratterizzano gli ecosistemi. Le Nazioni Unite, assieme alla classificazione dei SE, hanno anche formalizzato le procedure di contabilizzazione descritte nel *SEEA AFF* che consiste semplicemente nell'applicazione delle strutture e dei principi contabili contenuti nel Sistema Nazionale dei Conti (*SNA*) e nel *SEEA Central Framework* con particolare attenzione all'integrazione di dati rilevanti per il settore agricolo, forestale e marino all'interno dei conti statistici nazionali. Secondo lo *United Nations System of Environmental-Economic Accounting - Experimental Ecosystem Accounts (SEEA EEA)*, uno dei principali obiettivi della contabilità ambientale è quello di fornire informazioni rilevanti su come le attività economiche e

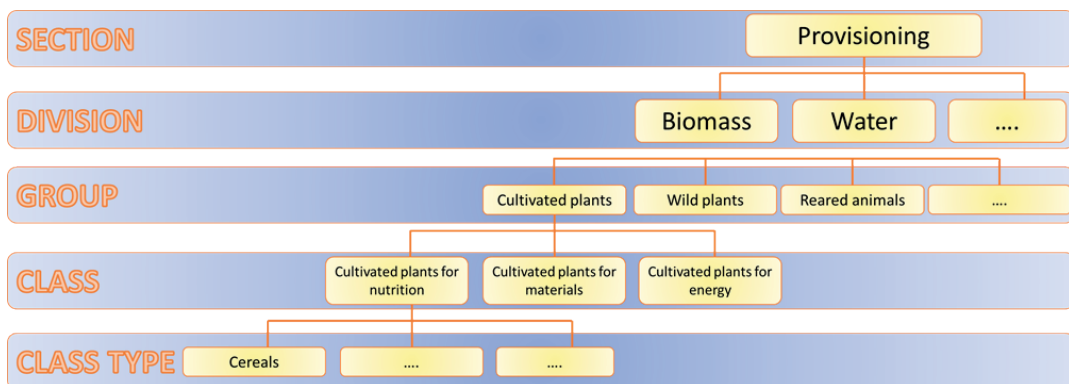


Figura 3: Esempio della struttura gerarchica *CICES* (Fonte: HAINES-YOUNG et al., 2010).

<sup>2</sup> Il *SEEA Experimental Ecosystem Accounting* costituisce un quadro statistico integrato per l'organizzazione dei dati biofisici, la misurazione dei servizi ecosistemici, il monitoraggio delle variazioni degli asset ecosistemici e il collegamento di queste informazioni alle attività economiche e alle altre attività umane.

gli esseri umani dipendono dai servizi ecosistemici e come possibili impatti di tali attività possano compromettere la loro fornitura. Lo schema contabile richiede di realizzare una prima valutazione ecologica dei servizi che ci permetta in seguito di assegnare

un valore economico adeguato all'effettiva produzione dei servizi. Per stabilire quest'ultimo aspetto, bisogna quantificare le funzioni di produzione degli ecosistemi generatrici di detti servizi e le varie interazioni che intercorrono tra essi. Una volta completato questo step, si procederà secondo varie tecniche, ad una valutazione economica dei flussi dei servizi quantificati fisicamente. È importante però effettuare una distinzione tra i beni ed i servizi ecosistemici; i beni sono definiti dal *SEEA Experimental Ecosystem Accounting* come aree spaziali contenenti una combinazione di elementi biotici e abiotici che interagiscono tra loro, costituendo la base funzionale dell'ecosistema per poter fornire i flussi di servizi ecosistemici. I SE costituiscono il collegamento tra i beni dell'ecosistema da un lato e i benefici ricevuti dalla società dall'altro. Tali benefici solitamente sono rivolti alle persone di quell'area geografica e possono essere sia materiali (ad esempio la raccolta del legname) che immateriali (come i benefici dell'aria o dell'acqua pulita filtrata da un ecosistema). L'obiettivo della contabilità dei servizi ecosistemici è quello di organizzare le informazioni sui flussi dei servizi ecosistemici per tipo di servizio, per asset ecosistemici e per unità economiche coinvolte nella generazione e nel loro utilizzo (UN, 2014). Una serie di fattori e condizioni determina la scelta del metodo di valutazione economica dei servizi forestali. Ad esempio, quando un servizio ecosistemico è di proprietà privata ed è commercializzato sul mercato, i suoi utenti hanno la possibilità di rivelare le loro preferenze per tale bene rispetto ad altri sostituti o materie prime complementari attraverso le loro scelte di mercato reali, dati i prezzi relativi e altri fattori economici. Per tali servizi ecosistemici, una curva della domanda può essere specificata direttamente in base al comportamento osservato sul mercato. Molti servizi ecosistemici, tuttavia, non sono di proprietà privata o non sono commercializzati, e quindi le loro curve di domanda non possono essere direttamente osservate e misurate. In questi casi sono stati utilizzati metodi alternativi per ricavarne dei valori. In assenza di tali informazioni, i dati sui valori devono essere ricavati da transa-

zioni di mercato parallele che sono associate indirettamente al bene da valutare. In assenza di informazioni dirette e indirette sui prezzi dei servizi ecosistemici, si può ricorrere alla creazione di valutazioni indirette.

Tuttavia, diversi metodi si possono utilizzare per valutare lo stesso servizio ecosistemico non di mercato e l'analista è incaricato di scegliere il metodo adeguato a seconda del tipo di servizio ecosistemico e come esso contribuisce all'attività economica e sociale dell'area analizzata. Di conseguenza, nel progettare un approccio di valutazione per uno specifico servizio ecosistemico è necessario comprendere: a) come tale servizio porta alla generazione di benefici e b) la relazione tra tali benefici e la contabilizzazione della relativa attività economica nei conti statistici nazionali (UN, 2014).

La Tabella 1 classifica i principali servizi forestali e le loro caratteristiche in termini di misurazioni biofisiche ed economiche distinguendo tre servizi principali:

- Servizi di approvvigionamento
- Servizi di regolazione
- Servizi culturali

Ecosystem Services	DESCRIZIONE	INDICATORE BIOFISICO	METODOLOGIA	FINALITÀ
<b>SERVIZI DI APPROVVIGIONAMENTO</b>	Beni estratti da, o raccolti in, un ecosistema che se non fossero disponibili per l'uso nel processo produttivo, allora dovrebbero essere sostituiti con altri fattori di produzione, con possibili cali di produzione o addirittura la sua cessazione. <b>(ad es. Materie prime legnose; Produzione foraggera; Prodotti secondari del bosco)</b>	Misurati in unità come Tonnellate o Metri Cubi	Approcci di valutazione diretta del mercato.	Determina il contributo al Prodotto Interno Lordo (PIL)
<b>SERVIZI DI REGOLAZIONE</b>	Servizi che impattano direttamente il benessere umano oltre che supportare attività economiche grazie alla produzione di esternalità positive. <b>(ad es. Controllo dell'erosione; Impollinazione; Sequestro Co2)</b>	In base all'indicatore utilizzato per esprimere il flusso del servizio	Si utilizza principalmente il metodo dei costi evitati, dei costi di sostituzione e mitigazione o la valutazione contingente.	Necessario determinare la disponibilità marginale dei consumatori a pagare per il servizio in questione.
<b>SERVIZI CULTURALI</b>	Servizi spirituali, simbolici o quelli di informazione e conoscenza unitamente ai servizi collegati al turismo o all'attività ricreativa. <b>(ad es. Valore ricreativo; Benessere spirituale; Valore estetico; Ispirazione per cultura, arti)</b>	Unità relative di persone che visitano un sito oppure il tempo trascorso utilizzando il servizio.	Solitamente si utilizza il metodo del prezzo edonico, del costo del viaggio oppure della valutazione contingente	Determinare il contributo specifico dell'ecosistema

Tabella 1: Descrizione di alcuni SE forestali (Fonte: Propria elaborazione).

Questi servizi contribuiscono in maniera variegata al benessere umano e i vari metodi di valutazione utilizzati per determinarne il valore economico riflette la complessità delle connessioni uomo-natura a livello locale. I servizi di approvvigionamento sono già inclusi nei conti statistici nazionali e quindi concorrono già alla formazione del prodotto Interno Lordo (PIL), tuttavia il *SEEA EEA* richiede la specifica attribuzione di questi benefici all'ecosistema forestale. Pertanto, i costi associati alla raccolta o estrazione del capitale naturale che prevedono l'impiego di capitale umano e tecnico devono essere dedotti dal valore della produzione di detto servizio (*resource rent*), così come il valore di eventuali tasse o sussidi sulla produzione. L'assegnazione del contributo dei servizi di approvvigionamento alla foresta risulta utile per poter riconoscere che se i servizi ecosistemici non fossero disponibili essi dovrebbero essere sostituiti con altri fattori di produzione, con possibili cali di produzione o addirittura la sua cessazione. I servizi di regolazione sono generalmente i più difficili da valutare dal momento che il loro supporto all'attività economica de-

riva principalmente dalle esternalità positive prodotte. Dove questi servizi impattano direttamente il benessere umano, attraverso per esempio, impatti positivi sulla salute dovuti al filtraggio dell'aria, si genera un valore che può essere collegato ai risparmi in spese sanitarie o potrebbero contribuire genericamente al benessere umano (surplus del consumatore). Vi sono anche servizi che contribuiscono al surplus del produttore prevenendo danni alla produzione o permettendo alla produzione stessa di essere realizzata (ad es. i servizi di protezione dalle inondazioni). Per la valutazione di questi servizi si ricorre spesso a determinare la disponibilità marginale dei consumatori a pagare per il servizio in questione. Comunque, il fulcro della misurazione per la regolamentazione dei servizi è l'analisi del benessere. Di conseguenza, vengono utilizzati alcuni dei metodi di valutazione sviluppati nel campo dell'economia ambientale, principalmente il metodo dei costi evitati, dei costi di sostituzione e mitigazione o tramite la valutazione contingente. Per i servizi culturali la situazione differisce in base al servizio considerato.

Molti di essi come i servizi spirituali o simbolici o quelli di informazione e conoscenza, generano un surplus del consumatore che risulta difficile da valutare in termini monetari. I servizi collegati al turismo o all'attività ricreativa impattano sia il surplus del consumatore che del produttore e sono frequentemente già inclusi nei conti statistici nazionali.

Tuttavia, come per i servizi di approvvigionamento, il contributo specifico dell'ecosistema deve essere specificatamente identificato. Solitamente questo viene effettuato attraverso l'utilizzo del metodo del costo del viaggio, del metodo del prezzo edonico o della valutazione contingente. Tradizionalmente i servizi di approvvigionamento sono i più analizzati negli studi sulla contabilità degli ecosistemi (NGWENYA, HASSAN, 2005; OJEA *et al.*, 2012; BIRCH *et al.*, 2014; KIBRIA *et al.*, 2017) al contrario i servizi di regolazione e culturali sono invece scarsamente analizzati.

Una volta delineato l'ecosistema e prese in considerazione le connessioni con la sfera economica e sociale, è importante considerare anche i confini spaziali dell'analisi. La contabilità degli ecosistemi ha un grande potenziale per strutturare l'informazione, la comunicazione e il supporto alle decisioni per una varietà di scale e livelli di governance. Per raggiungere questi obiettivi, e per tenere adeguatamente conto dei compromessi tra i diversi servizi a livello locale, sono necessari conti disaggregati dal punto di vista spaziale. Ciò permette di valutare il potenziale di utilizzo e la dipendenza delle aree locali dalle diverse componenti del capitale naturale.

Per qualsiasi applicazione contabile, il *SEEA Experimental Ecosystem Accounts* definisce tre scale di analisi collegate: *Basic Spatial Units (BSU)*, *Land Cover/Ecosystem Functional Units (LCEU)* ed *Ecosystem Accounting Units (EAU)*.

- Le *BSU* comprendono suddivisioni abbastanza piccole, formate da una griglia standard (ad es. celle da 1 km<sup>2</sup>) o definite da particelle di terreno delineate dal catasto.
- Le *LCEU* sono definite come l'insieme

delle *BSU* contigue che soddisfano un insieme di fattori relativi alle caratteristiche e al funzionamento di un ecosistema (ad es. tipo di copertura del suolo), definite in modo tale che l'insieme di queste unità all'intero di una *LCEU* operi in modo relativamente congiunto e allo stesso tempo indipendente dalle *LCEU* adiacenti.

- Le *EAU* sono aree più ampie e solitamente già delineate che tengono conto dei confini amministrativi/gestionali e delle caratteristiche fisiche e naturali (ad es. i bacini fluviali).

In questo studio sono stati utilizzati i dati del Piano di Gestione ed Assestamento Forestale (PGAF) e, dove possibile ed opportuno, sono stati integrati con i dati spaziali (es. raster dataset) per rendere i calcoli più accurati possibili. In particolare, per stimare i valori dei servizi di approvvigionamento, le metodologie hanno previsto esclusivamente l'utilizzo di dati presenti nel PGAF, provenienti da campionamenti realizzati sul territorio in esame. Viceversa, per i servizi di regolazione, le informazioni rinvenibili dal PGAF sono state integrate con dati spaziali opportunamente adattati al contesto di valutazione grazie all'utilizzo dei software *InVEST*<sup>3</sup> e *QGis*. La valutazione economica dei servizi forestali locali è stata svolta utilizzando:

- prezzi di mercato provenienti da indagini sul contesto socioeconomico del territorio (Produzione foraggera; Produzione legnosa)
- benefici trasferiti, eseguendo un'analisi dei valori utilizzati da studi di letteratura che valutano il servizio ecosistemico in esame con la medesima metodologia utilizzata nel nostro studio (Sequestro e stoccaggio carbonio; Controllo dell'erosione; Carbonio contenuto nel suolo).

---

<sup>3</sup> È una suite di modelli software gratuiti e open-source usati per mappare e valutare i beni e i servizi della natura che sostengono e soddisfano la vita umana. Vengono principalmente impiegati per indagare come i cambiamenti negli ecosistemi possano portare a cambiamenti nei benefici che giungono alle persone (SHARP *et al.*, 2020)

Tutto ciò risulta conforme a quanto previsto dal *SEEA AFF* in cui viene consigliato di integrare i dati con informazioni provenienti da studi e censimenti, da fonti amministrative e, sempre più frequentemente, dai sistemi informativi georeferenziati essendo considerato quest'ultimo un importante aspetto nella contabilità degli ecosistemi (FAO, UN, 2020)

### 2.1 Area di studio

Il territorio comunale oggetto di analisi presenta un'estensione totale di 45,24 km<sup>2</sup>, di cui il 13% appartenente al "Parco naturale dei monti Aurunci"<sup>4</sup> (il più meridionale del sistema delle aree naturali protette del Lazio) e circa il 16% al "Parco naturale monti Ausoni e lago di Fondi"<sup>5</sup>. Altra importante caratteristica geografica consiste in una fascia altimetrica tra i 125 e i 1.104 m s.l.m. (classificata dall'ISTAT come "collina litoranea") in grado di offrire una grande varietà di paesaggi (Figura 4).

Partendo dalla mappa europea di uso e copertura del suolo *Corine Land Cover (CLC)* 2018 IV livello (risoluzione 100 m), ed utilizzando alcune funzionalità del software *QGIS* si è ricavata la prima mappa *CLC* riferita al territorio comunale che ha consentito l'individuazione delle diverse classi di utilizzo del suolo (Figura 5). In tal modo è possibile effettuare un'analisi spaziale che ci permetta così di comprendere quale è la classe dominante all'interno dell'area di studio.

<sup>4</sup> <http://www.parchilazio.it/montiaurunci>

<sup>5</sup> <http://www.parchilazio.it/montiausoni>



Figura 4: Area di studio (Fonte: Propria elaborazione).



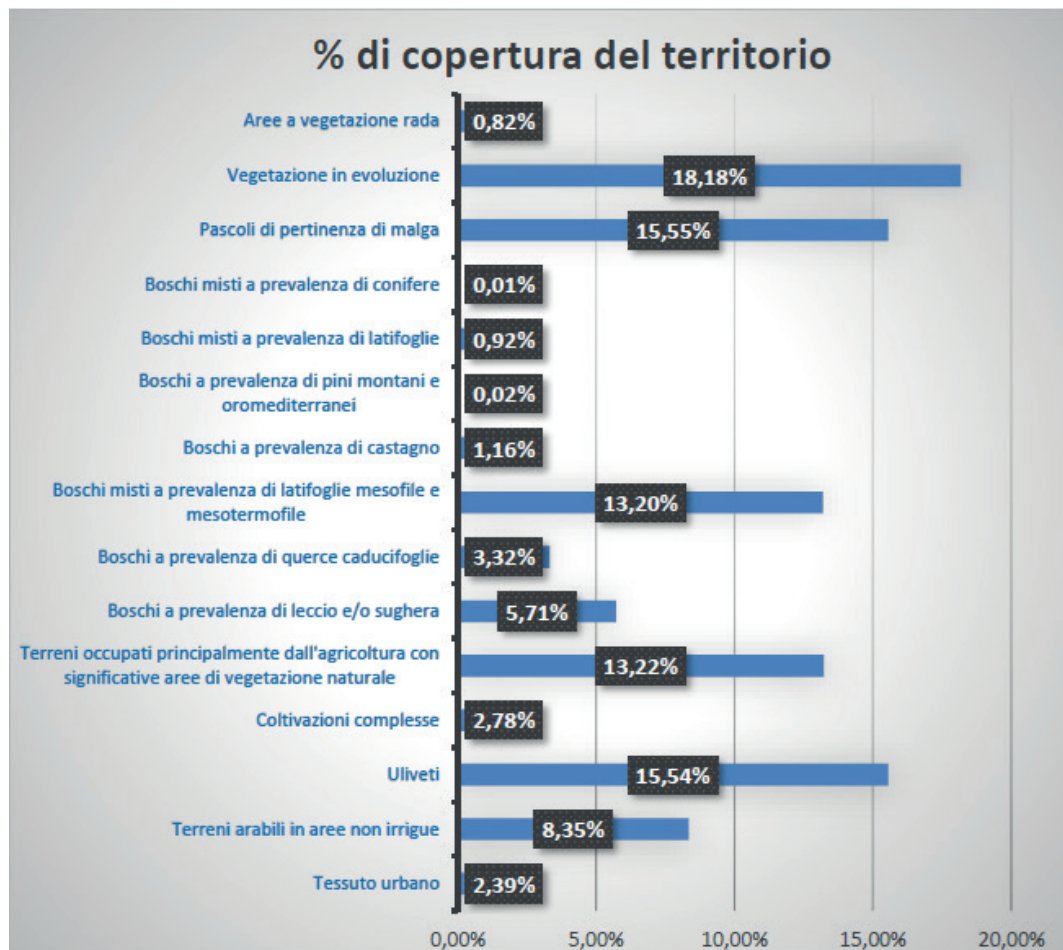


Figura 5: Percentuale di territorio distinta per singola classe di copertura del suolo (Fonte: Propria elaborazione).

Le classi **ecosistemi forestali/boschivi** risultano predominanti sul territorio comunale. La scelta dei servizi ecosistemici da sottoporre a valutazione è stata effettuata considerando il contesto socio-economico territoriale e la disponibilità di dati per effettuare la valutazione. A livello locale risulta pertanto fondamentale basarsi sui dati primari reperibili sul territorio, ovvero seguire un approccio *bottom-up*. In riferimento a tale aspetto, l'unica base dati accurata per il territorio di riferimento è stata riscontrata nel PGAF. Il PGAF sottolinea come il territorio, oc-

cupato prevalentemente da pascoli e boschi, favorisca la silvicoltura e l'allevamento. L'attività zootecnica è costituita principalmente da piccoli allevamenti a conduzione familiare mentre, in merito alle attività forestali nel territorio comunale, vi sono poche imprese boschive che si dedicano al taglio di piccoli appezzamenti che vengono acquistati solitamente dai privati ed in cui l'unico assortimento prodotto è la legna da ardere per uso domestico. Dei 45,27 km<sup>2</sup> di estensione comunale, il PGAF in questione ha riguardato 10,96 km<sup>2</sup> suddivisi a loro volta in 5 classi (tipologie

di particelle) come riportato in Figura 6. Questo documento tecnico, elaborato dal comune di Lenola avvalendosi di esperti del settore ha permesso l'identificazione di quattro specifici servizi ecosistemici:

- Produzione foraggera;
- Produzione legnosa;
- Sequestro e stoccaggio del carbonio;
- Controllo dell'erosione.

TIPOLOGIA DI PARTICELLE		TOTALI HA
100	BOSCHI CEDUI IN PRODUZIONE	193,685
200	RIMBOSCHIMENTI DI CONIFERE	516,87
300	BOSCHI DI PROTEZIONE IDROGEOLOGICA ED AMBIENTALE	48,6362
400	PASCOLI, PASCOLI CEPUSGLIATI E CESPUGLIETI	293,0807
500	ALTRE SUPERFICI	43,8484
<b>TOTALE</b>		<b>1.096,1226</b>

Figura 6: Tipologie di Particelle (Fonte: PGAF).

## 2.2 Servizi di approvvigionamento

### 2.2.1 Produzione foraggera

Tale servizio rientra nella categoria dei servizi di approvvigionamento poiché la produzione è destinata esclusivamente all'alimentazione del bestiame, sia in modo diretto che dopo la trasformazione.

Il PGAF ha previsto dei rilievi sulla vegetazione, effettuati applicando il metodo fitosociologico (BRAUN-BLANQUET, 1932) e quello dei rilievi puntiformi (DAGET, POISSONET, 1969) in modo da ottenere il valore pastorale<sup>6</sup> delle associazioni vegetali riscontrate. Da tale valore è stato poi possibile, applicando alcuni coefficienti di conversione, ottenere la capacità produttiva del cotico (espressa in UF/Ha/anno<sup>7</sup>) da cui è stato possibile giungere al calcolo del carico ottimale

di bestiame (espresso in UBA/Ha/anno<sup>8</sup>).

Essendo il carico di bestiame calcolato in base alla capacità di carico del cotico e conoscendo che un'unità di bovino adulto consuma 3000 Kg di sostanza secca all'anno è stato possibile calcolare per ogni particella, partendo dalle UBA totali previste in essa, la sua produttività.

Ottenuto l'indicatore biofisico del servizio si procede alla sua quantificazione in termini monetari. La valutazione economica dei servizi di approvvigionamento è spesso impostata sull'utilizzo dei prezzi di mercato (SCHIRPKE, 2014; HÄYHÄ, 2015; MUNAFÒ, 2019), e pertanto anche in questo caso si è provveduto a ricercare le varie fonti di dati sui prezzi dei beni forestali venduti nei mercati locali. A tal fine è stato utilizzato quanto riportato nel foglio di calcolo Excel elaborato dal Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) sull'analisi settoriale delle colture foraggere

<sup>6</sup> Indice foraggero della comunità ottenuto come media ponderata degli indici delle singole specie, con ponderazione eseguita sui contributi produttivi delle specie.

<sup>7</sup> UF= Kg di sostanza secca

<sup>8</sup> UBA = Unità bovino adulto

in pieno campo nella regione Lazio in riferimento alle principali categorie di colture foraggere ed il loro prezzo. Come valore da utilizzare nello studio è stato scelto il prezzo corrispondente alla coltura denominata Graminacee e Leguminose in pieno campo poiché rappresenta la principale coltura riscontrata nei rilievi del PGAF.

### 2.2.2 Produzione legnosa

La produzione di materie prime legnose è un servizio ecosistemico di approvvigionamento, garantito in larga misura dalle superfici forestali naturali e dagli impianti di arboricoltura da legno. La produzione riguarda legna e legname (rispettivamente da ardere o ad uso industriale e destinata alla prima trasformazione) reso disponibile in termini di legname maturo asportabile. Anche per la valutazione di questo servizio sono stati utilizzati i dati presenti nel PGAF in cui viene evidenziato come l'unico assortimento prodotto dal territorio consista nella legna da ardere per uso domestico riscontrando, inoltre, la presenza di un paio di aziende boschive di piccole dimensioni distribuite sul territorio. Esse sono solite acquistare particelle di bosco per procedere al taglio ed alla successiva vendita della legna da ardere configurandosi quindi come i principali fruitori di tale servizio.

Per la tipologia di particelle denominata "Boschi cedui in produzione", il PGAF ha previsto dei rilievi campionari (aree di saggio) grazie ai quali è stato possibile ricavare dati specifici che hanno consentito il calcolo sia del volume legnoso, dell'incremento medio ad ettaro e della massa legnosa al momento del taglio. In particolare, quest'ultimo dato risulta estremamente importante in quanto permette all'Ente di avere un quadro abbastanza preciso delle potenziali entrate economiche provenienti dai boschi di proprietà quantificandone la biomassa utilizzabile. Essa costituisce la quantità di massa legnosa che, dopo accurate analisi (campionamenti) su ogni specifica particella forestale, è stato stimato possa essere asportata dai popolamenti esistenti senza intaccare la loro

salute e garantendo, attraverso il rilascio a dote delle matricine e dei polloni, la rigenerazione della particella campionata.

Essendo un servizio di approvvigionamento, la valutazione economica viene solitamente impostata utilizzando i prezzi di mercato, in particolare alcuni studi come HÄYHÄ *et al.* (2015) e SCHIRPKE *et al.* (2014) riportano una valutazione economica basata sui valori agricoli medi dei boschi sia per valutare lo stock di risorsa che il flusso. Nel nostro studio si è pertanto applicato il prezzo di vendita applicato dalle varie aziende boschive presenti in zona il cui servizio principale consiste nella consegna di legna da ardere.

## 2.3 Servizi di regolazione

### 2.3.1 Sequestro e stoccaggio del Carbonio

Tale servizio ecosistemico contribuisce alla regolazione del clima a livello globale giocando un ruolo fondamentale nell'ambito delle strategie di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici. È un servizio assicurato dai diversi ecosistemi terrestri e marini e fra tutti, le forestali naturali e seminaturali presentano un alto potenziale di sequestro di carbonio. Questo servizio ecosistemico risulta opportuno calcolarlo separatamente come stock (quantità di C immagazzinato nella massa legnosa, carbon storage) e come flusso (tasso annuo di sequestro, carbon sequestration) come avviene in molti studi scientifici (SCHIRPKE *et al.* 2014; MUNAFÒ 2019; GASPARINI *et al.* 2013). Seguendo l'*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, la maggior parte del carbonio presente negli ecosistemi terrestri è contenuta in cinque principali pools costituiti da: biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo, lettiera e sostanza organica morta. Si raccomanda quindi, per un'accurata valutazione del servizio, di calcolare il contenuto di carbonio stoccato in ognuno di questi pools seguendo specifiche metodologie.

Alcuni studi (SCHIRPKE *et al.* 2014; MUNAFÒ 2019) utilizzano come dati primari quelli riportati nel secondo Inventario Nazionale

delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC) (incremento corrente epigeo ad ettaro; fitomassa epigea per ettaro) riferiti alle varie tipologie forestali, procedendo in seguito all'applicazione degli opportuni coefficienti (*basic expansion factor*; *wood basic density*; *rappporto roots/shoot*) riportati in VITULLO *et al.*, (2007). Anche l'INFC, nella sua terza edizione ha previsto la stima del contenuto di carbonio organico (Corg) presente nelle foreste italiane.

Nel presente studio sono stati adottati due differenti tipologie di calcolo del carbonio stoccato ed immagazzinato nelle sole particelle riconducibili a bosco presenti nel PGAF (100, 200, 300). Il primo ci consente di determinare solamente il contributo del pool costituito dalla biomassa arborea epigea mentre il secondo consente una quantificazione del contributo di tutti i cinque pools previsti dall'IPCC.

1. I dati su altezza e diametro medio delle varie specie forestali sono stati utilizzati come variabili da inserire nelle tavole di cubatura fornite da TABACCHI *et al.*, (2011). Dai valori di fitomassa secca determinati a partire dalle tavole di cubatura del territorio comunale il valore finale è stato moltiplicato per 0,5<sup>9</sup> come suggerito dalla letteratura internazionale. Questo calcolo fornisce solamente lo stock di carbonio organico ad ettaro della singola particella.

2. Inserendo i dati presenti nel PGAF riferiti al volume di provvigione (m<sup>3</sup>/ha) e all'incremento corrente annuo ad ettaro (m<sup>3</sup>/ha/anno) nelle specifiche equazioni basate sulla metodologia IPCC ed utilizzate da MORRI *et al.* (2013) e VITULLO *et al.* (2007), viene

<sup>9</sup> Si è assunto come valore di default una frazione di carbonio della sostanza secca pari a 0.5 (IPCC, 1997).

<sup>10</sup> Ciò consiste nella produzione annuale di carbonio organico per via della funzione di accrescimento degli alberi e viene calcolata utilizzando la sola equazione utilizzata nel calcolo dello stock per la componente arborea epigea, essendo l'unico pool interessato dalla funzione accrescitiva arborea. Ciò che cambia rispetto alla precedente sono i dati di input che, mentre per lo stock veniva utilizzato il dato di approvvigionamento (m<sup>3</sup>/ha), per il calcolo del flusso viene utilizzato come valore di input l'incremento corrente annuale ad ettaro (m<sup>3</sup>/ha/yr).

stimato sia lo stock che il flusso di carbonio nei vari pools.

Per ciò che attiene alla quantificazione monetaria di tale servizio, dall'analisi di alcuni articoli scientifici (MORRI *et al.*, 2013; BIRCH *et al.*, 2014; HÄYHÄ *et al.*, 2015; KAZAK *et al.*, 2016; HOLT, ROQUETTE, 2017) è possibile ricondurre la metodologia di valutazione a due principali approcci: uno basato sui prezzi osservati nel mercato del carbonio, l'altro sul costo sociale del carbone. Nel primo approccio ci si riferisce ai prezzi osservati negli schemi di *Emission trading (EU-ETS)* e *Marginal Abatement Cost (MAC)* mentre nel secondo, il *Social Cost of Carbon (SCC)*, viene definito il costo dei danni (benefici) globali causati da un'unità addizionale di carbonio emessa (rimossa) considerando il suo intero ciclo di vita ed opportuno sconto in termini di valore attuale. Essendo tale studio incentrato sulla valutazione dei servizi ecosistemici rientranti in un'area di studio generatrice di valore per la comunità locale, si è deciso di adottare il coerente approccio sociale piuttosto che quello di mercato nonostante non esista un unico valore monetario corretto per il SCC. In letteratura è disponibile un rilevante numero di stime, che tuttavia differiscono per diversi ordini di grandezza, lasciando ambiguità e confusione su quale è più opportuno usare. Nel presente studio si utilizza il valore mediano ottenuto dal modello di RICKE *et al.*, (2018) specificatamente per l'Italia poiché risulta uno degli studi più recenti in merito alla stima del Social Cost of Carbon. Tale valore risulta essere pari a 7,153 \$/tCO<sub>2</sub> che equivale a 6,34 €/tCO<sub>2</sub>.

### 2.3.2 Carbonio contenuto nel suolo

È stato scelto di approfondire la valutazione della componente "Stock di Carbonio" presente nel suolo poiché, come sottolineato in VALLECILLO *et al.*, (2018), il suolo rappresenta una delle principali riserve di carbonio negli ecosistemi terrestri e i risultati ottenuti nel secondo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio italiani mostrano come tale pool sia responsabile dello

stoccaggio di oltre il 57,6 % (715,7 t) della CO<sub>2</sub> totale stoccata dal bosco.

Il contributo del suolo allo stoccaggio del carbonio è stato possibile grazie ai calcoli descritti nella sezione precedente. Tuttavia esistono metodologie alternative ed è stato scelto di applicare una seconda metodologia per il suo calcolo, la quale prevede l'utilizzo combinato dei software *QGIS* e dello specifico modulo *InVEST<sup>11</sup> Carbon Storage and Sequestration*. L'utilizzo di tale metodologia risulta più accurata della precedente dal momento che lo stoccaggio di carbonio viene ottenuto in relazione alle classi di uso e copertura del suolo. Ciò permette di prendere in considerazione la caratteristica del suolo e quindi il suo contributo al processo di stoccaggio del carbonio. La procedura di stima risulta così più accurata e maggiormente rappresentativa della condizione territoriale dell'area di studio.

Seguendo la procedura riportata in *SHARP et al., (2020)* sono stati ricavati attraverso l'utilizzo del software *QGIS* gli opportuni dati di input (la mappa corrente di uso e copertura del suolo in formato raster ed una tabella in formato .csv contenente i dati sul contenuto di carbonio in ognuno dei cinque pools, per ogni classe di uso e copertura del suolo). Una volta avviato il modulo, esso ci restituisce come dato di output una mappa in formato raster, contenente la quantità di carbonio stoccata in ogni pixel (t/px) dell'area di studio. È risultato necessario effettuare ulteriori trattazioni attraverso il software *QGIS* sulla mappa di output per permetterci di ottenere la quantità di carbonio stoccato in ogni particella forestale successivamente valutata in termini monetari applicando il *Social Cost of Carbon (SCC)*.

### 2.3.3 Controllo dell'erosione

Le frane sono eventi dannosi che sembrano ripetersi con maggiore frequenza e, dopo i terremoti, sono gli eventi che causano il maggior numero di vittime e di danni nei centri abitati, alle infrastrutture, ai beni ambientali, storici e culturali e quando in-

teressa suoli fertili può causare ingenti perdite nella produttività agricola e forestale (*VATANASLAR et al., 2020; BRANDERA et al., 2018*). *VALECILLO et al., (2018)* nel loro studio effettuano una valutazione atta a stimare l'erosione potenziale dei suoli utilizzando la *USLE (Universal Soli Loss Equation)*. Attraverso la *USLE* viene calcolata la perdita di suolo (potenziale) dalla singola porzione di territorio, in funzione delle caratteristiche relative alla geomorfologia, clima, vegetazione e pratiche di gestione. Tale metodologia viene applicata anche dal modulo di *InVEST (Sediment Delivery Ratio)* utilizzato per la valutazione del servizio in esame nell'area di studio. Il modulo *Sediment Delivery Ratio* è un modello spazialmente esplicitato e si basa sulla risoluzione spaziale del modello digitale del terreno (*DEM<sup>12</sup>*) come dato di input. Per ogni pixel, il modello calcola prima la quantità di perdita annuale di suolo da quella zona, poi calcola il rapporto di consegna dei sedimenti (*SDR*), che è la proporzione della perdita di suolo che raggiunge effettivamente il flusso, e infine determina la perdita totale. Seguendo *SHARP et al., (2020)* è stato possibile identificare la perdita di suolo per il territorio comunale considerando le varie caratteristiche territoriali. Tra di essi è stata utilizzata la mappa raster *sed\_retention\_index* che riporta il suolo trattenuto in tonnellate per ettaro all'anno così come descritto anche in *MUNAFÒ (2019)*. Il servizio è stato poi valutato seguendo *VAN DER MEULEN et al., (2018)* e *GÖRLACH (2004)* e calibrando a livello locale le stime condotte su scala europea con valori tra 22 e 235 €/ha.

### 3. Risultati e discussione

La Tabella 2 riassume i servizi ecosistemici considerati e le metodologie utilizzate per le

---

<sup>11</sup> Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

<sup>12</sup> Digital Elevation Model

stime.

Ecosystem Services	DESCRIZIONE	METODOLOGIA	QUANTITÀ	INDICATORE ECONOMICO
<b>PRODUZIONE FORAGGERA</b>	Produttività delle superfici rientranti nella tipologia particellare denominata “pascoli, pascoli cespugliati e cespuglieti” destinata all’alimentazione del bestiame allevato in campo.	Valutazione diretta utilizzando dati esistenti	q / ha	Valori di mercato
<b>STOCK LEGNAME</b>	Biomassa totale disponibile nei soprassuoli campionati e potenzialmente disponibile sia per la vendita come legna da ardere che come bene da trasformazione.	Valutazione diretta utilizzando dati esistenti	t / ha	Valori di mercato
<b>FORNITURA LEGNAME</b>	Quantità di biomassa possibilmente asportabile dai popolamenti esistente senza compromettere la loro salute e garantendone la rigenerazione.	Valutazione diretta utilizzando dati esistenti	t / ha	Valori di mercato
<b>STOCK CARBONIO</b>	Quantità di carbonio organico immagazzinato nei quattro pools indicati dall’IPCC ad eccezione del suolo.	Valutazione diretta utilizzando dati esistenti	tCorg / ha	SCC Social Cost of Carbon
<b>FLUSSO CARBONIO</b>	Quantità di carbonio organico sequestrato dalla componente epigea per via della funzione accrescitiva degli alberi.	Valutazione diretta utilizzando dati esistenti	tCorg / ha	SCC Social Cost of Carbon
<b>CARBON SOIL (IPCC)</b>	Quantità di carbonio organico stoccato nel solo suolo assoggettato alle particelle forestali alberate.	Valutazione diretta utilizzando dati esistenti	tCorg / ha	SCC Social Cost of Carbon
<b>CARBON SOIL InVEST</b>	Contenuto di carbonio organico stoccato nel suolo di tutte le particelle forestali presenti nel PGAF.	Modellizzazione spaziale QGIS & InVEST	tCorg / ha	SCC Social Cost of Carbon
<b>CONTROLLO EROSIONE</b>	Q.tà di sedimenti trattenuti dalle sole particelle forestali riconducibili alla categoria “boschi a protezione idrogeologica”	Modellizzazione spaziale QGIS & InVEST	t / ha	Stima costi dei danni e della mitigazione

Tabella 2. Descrizione servizi ecosistemici valutati. (Fonte: Propria elaborazione)

Il territorio boschivo comunale è stato così analizzato e valutato per i suoi principali servizi. È importante sottolineare come i valori esposti in Tabella 3 siano riconducibili ad una minima porzione di territorio e precisamente quella interessata dai campionamenti effettuati sulle particelle forestali di esclusiva proprietà comunale. L’estensione complessiva comunale, come abbiamo visto, ammonta a 45,24 km<sup>2</sup>, corrispondenti a 4.524 ettari mentre la superficie, di proprietà comunale, interessata dallo studio in esame interessa 1.096 ettari e cioè il 24% dell’estensione complessiva, riconducibile quasi esclusivamente all’ecosistema boschivo/forestale.

### 3.1 Servizi di approvvigionamento

#### 3.1.1 Produzione foraggera

La metodologia utilizzata per la valutazione del servizio ha permesso di ottenere una pro-

duktività media di 9,9 q/ha che, rapportandolo alla superficie totale delle particelle, raggiunge una produttività totale di 2.582,43 q di sostanza secca disponibili per le 86 Unità Bovine Adulte (UBA) ammesse al pascolo. Applicando a tali quantità il valore monetario indicato precedentemente è stato ottenuto un range di valori che va da 1,39 € fino a 553,12 € riconducibili naturalmente alle particelle con la più bassa e la più alta produttività, rispettivamente (Figura 7). Nel complesso, la parte di territorio rientrante nella tipologia di particelle “pascoli, pascoli cespugliati e cespuglieti” presenta un valore totale pari a 18.077 € che potremmo benissimo considerare come il valore complessivo che dovranno sostenere gli allevatori assegnatari delle fide pascolo nel caso in cui, non potendo più usufruire del territorio, dovessero comprare del foraggio con simili proprietà per le proprie mandrie (ed ecco perché l’utilizzo del prezzo riferito alla specifica categoria culturale).

## Produttività Pascoli

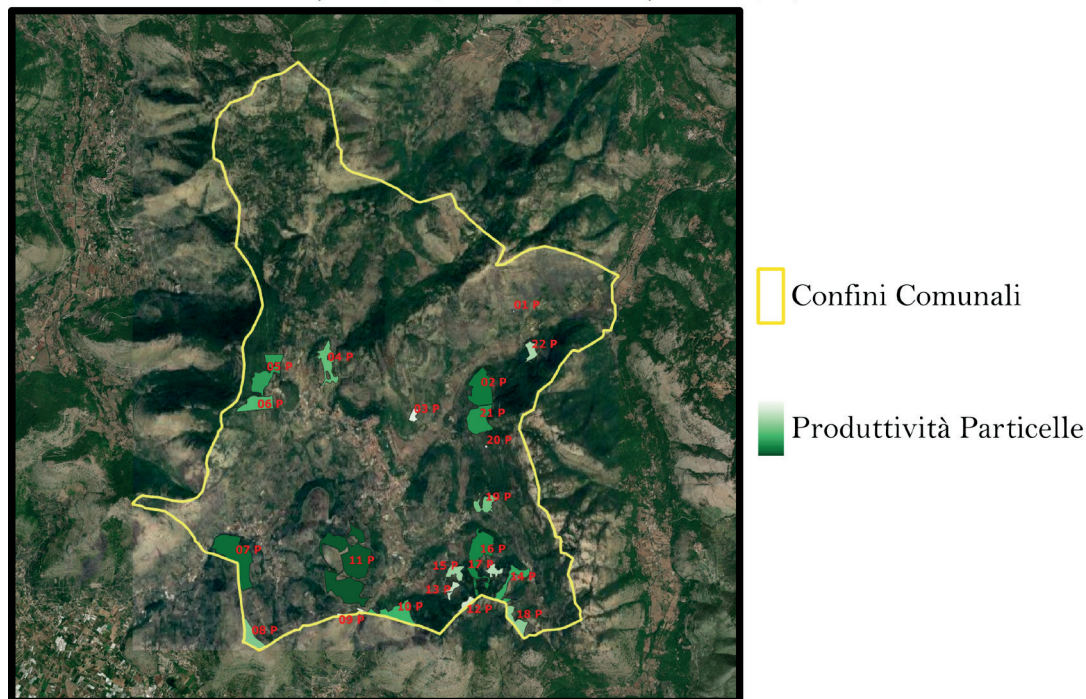


Figura 7: Cartografia della produttività delle particelle pascolive (Fonte: Propria elaborazione).

### 3.1.2 Produzione legnosa

Il valore produttivo medio è stato riscontrato in 111,2 t/ha che, rapportato alla superficie delle particelle generano un valore produttivo totale pari a 19.187,6 tonnellate di legname disponibile per l'asporto (Tabella 3). Applicando il valore monetario prescelto è stato ottenuto un valore totale pari a 1.726.885,74 € che è possibile assegnare alla fornitura di materiale legnoso da parte dei boschi di proprietà comunale. Tale importo è opportuno considerarlo come il valore del flusso atteso potenziale dei benefici della produzione legnosa e non come il flusso annuale che ne deriva dal proprio utilizzo. Questo perché i 686,76 tonnellate di materiale legnoso prelevabili, sono da considerarsi una quantità disponibile per tutto il periodo di validità del PGAF e quindi risulta opportuno considerarli come benefici potenziali. Il termine potenziale sta a

sottolineare l'incertezza incorporata in tale servizio dal momento che la disponibilità di materiale potrebbe essere soggetta a futuri cambiamenti che ne modifichino la portata del flusso nel tempo. Un esempio può essere rappresentato da un incendio interessante la maggior parte delle particelle forestali considerate. In tale ottica risulta importante sottolineare anche la presenza di un trade-off tra tale servizio e lo stoccaggio ed il sequestro del carbonio. Ciò significa che se l'intera tipologia di particelle in questione venisse disboscata, essa non produrrebbe più il servizio riferito al carbonio generando così una perdita addizionale che raramente viene presa in considerazione.

Per ottenere il valore del flusso annuale di tale servizio vengono utilizzate le informazioni presenti nel PGAF e precisamente nel piano dei tagli che prevede l'utilizzazione di tre specifiche particelle nelle prime

due annualità di validità del piano (2019-2020/2020-2021). Il flusso annuale coincide quindi con il valore della fornitura di materiale legnoso prelevabile da tali particelle da cui, applicando il prezzo di mercato scelto per l'analisi in questione, si ottiene un valore annuale di tale servizio pari a 189.992,68 €/anno da intendere sia come beneficio ricavabile dalle aziende boschive addette alla raccolta e vendita della legna da ardere in caso acquistino le particelle forestali in questione, sia come ricavo economico da parte dell'ente che potrebbe adoperare tali entrate per investire in una gestione più accurata ed efficiente del patrimonio boschivo.

ma invece la quantità di carbonio organico presente in tutti i pools forestali (biomassa epigea, ipogea, lettiera, suolo e sostanza organica morta), a partire dal volume di provvigione della particella e proprio per via di queste caratteristiche tale metodo risulta molto più accurato ed esplicativo rispetto all'altro, portandoci quindi all'esclusione del primo metodo e all'utilizzo del secondo per effettuare la valutazione economica.

Si è deciso così di effettuare un confronto tra i risultati ottenuti con il secondo approccio e le stime del contenuto di carbonio organico nei differenti pools distinti per regione e per categoria forestale ricavate grazie all'in-

PARTICELLE FORESTALI	SUPERFICIE IN HA			ETA'	PROVVIGIONE		BIOMASSA PROVENIENTE DA UTILIZZAZIONE FORESTALE			
	ASSESTAMENTALE	TARE	PRODUTTIVA		PER ETTARO	PER INTERA SUP.	PER ETTARO		PER INTERA SUPERFICIE	
					m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Qli	m <sup>3</sup>	Qli
01 CL	6,2118	0,0158	6,1960	70	161,7	1.001,6	146,11	1.424	905,28	8.823,10
02 CL	6,1158	0,0236	6,0922	70	175,5	1.069,2	149,00	1.438,93	907,74	8.766,25
03 CL	9,6367	0,1023	9,5344	10	85,8	817,6	-	-	-	-
1 C	6,5428	0,8500	5,6928	68	140,4	799,2	124,94	1.190,93	711,26	6.779,73
2 C	6,4651	0,9000	5,5651	65	155,0	862,8	132,00	1.125,88	734,59	6.265,62
3 C	6,0191	0,3657	5,6534	61	147,0	831,0	129,03	1.206,83	729,47	6.822,70
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23 C	6,8910	0,0424	6,8486	66	189,0	1.294,2	165,00	1.479,83	1.130,02	10.134,73
24 C	6,9776	0,0424	6,9352	66	129,2	896,3	109,73	1.090,50	761,00	7.562,83
25 C	6,8877	0,0424	6,8453	66	122,6	839,4	101,00	1.141,03	691,38	7.810,67
<b>TOTALI</b>	<b>193,685</b>	<b>21,1226</b>	<b>172,5624</b>		<b>4.071,18</b>	<b>25.018,49</b>	<b>3.451,24</b>	<b>31.845,83</b>	<b>20989,31</b>	<b>191.876,19</b>

Tabella 3: Caratterizzazione della tipologia di particelle "cedui in produzione" (Fonte: Propria elaborazione.).

### 3.2 Servizi di regolazione

#### 3.2.1 Sequestro e stoccaggio del Carbonio

Data la difficoltà di quantificare i servizi di regolazione si ricorda che per la valutazione di tale servizio sono state utilizzate due differenti metodologie così da riportare dei range di stime che riflettono le diversità nelle misurazioni.

Importante sottolineare la differenza tra i due approcci utilizzati in quanto il primo (utilizzo delle tavole di cubatura) permette di ottenere solamente il valore del carbonio organico presente nella biomassa arborea epigea (AGB) a partire dall'altezza media e dal diametro medio della particella forestale presentando quindi un discreto livello di approssimazione. Il secondo approccio sti-

dagine integrativa dell'inventario forestale nazionale e riportati in GASPARINI *et al.*, (2013).

Per quanto riguarda la componente viva epigea, il documento riporta in riferimento alla regione Lazio ed alla specifica categoria forestale denominata *Ostrieti e Carpineti* (che risulta essere il popolamento più frequente nell'area di studio), un contenuto di carbonio organico pari a 29,6 t/ha che risulta inferiore rispetto ai valori ottenuti nell'area di studio, pari a 68 t/ha. Utilizzando la stessa categoria forestale è possibile anche paragonare la quantità di carbonio organico presente nella lettiera. L'INFC stima un valore di 2,2 t/ha contro i 6,7 t/ha rinvenute per ciò che riguarda la superficie assestata dal PGAF. Ulteriore confronto opportunamente effettuato consiste nella quantità di carbo-



nio presente nel suolo, qui riscontriamo un valore di 69,1 t/ha nell'INFC e di 80,7 t/ha nell'area di studio. In conclusione, riferendoci al flusso del sequestro, trattato in Gasparini et al. (2013) come la produzione annua di carbonio organico per accrescimento degli alberi, si riscontrano un valore pari a 0,9 t/ha che risulta simile al valore stimato nell'area di studio pari a 1,04 t/ha.

Dal confronto effettuato si può osservare come le stime prodotte per il territorio forestale comunale superino tutti i valori riportati dall'INFC, lo scostamento però non è molto significativo e ciò potrebbe riflettere delle condizioni ambientali particolari ed in grado di influire sulla crescita della componente arborea incidendo indubbiamente sui risultati finali. Ciò ci consente di accettare questa variabilità nei risultati supponendo come i valori riportati dall'INFC siano dei valori medi e quindi rientranti in un range in cui il territorio analizzato potrebbe magari collocarsi nella fascia dei valori più alti.

Per ciò che attiene alla valutazione economica del servizio, risulta opportuno convertire i valori da tCorg/ha in tCO<sub>2</sub>/ha applicando il rapporto tra i pesi molecolari del carbonio organico e del biossido di carbonio, pari a 3,67.

Applicando il *Social Cost of Carbon (SCC)*, l'area di studio presenta un valore per lo stoccaggio di carbonio (Stock) pari

a 2.121,74 €/ha e un valore pari a 27,44 €/ha per quanto riguarda la funzione di sequestro annuale (*Flow*). Entrambi questi valori sono però riferiti solo alle particelle forestali rientranti nella categoria dei boschi cedui in produzione. Per la categoria riferita ai rimboschimenti di conifere, si riscontra un valore dello stock pari a 294,38 €/ha ed un valore della funzione di sequestro pari a 33 €/ha.

Importante sottolineare come nei valori appena riportati è stato escluso, per quel che riguarda la parte riferita al calcolo dello stock, il valore da ricondurre al carbonio presente nel suolo poiché per la valutazione di tale componente viene utilizzata la metodologia introdotta precedentemente e i cui risultati vengono esposti di seguito.

### 3.2.2 Carbonio contenuto nel suolo

La quantità di carbonio stoccato nel suolo è stata derivata a partire dal software *INVEST*. La specie arborea "ostrieti e carpineti" (18% circa) risulta quella più diffusa nell'area di studio e la quantità media di carbonio stoccato nel suolo varia da 81,46 t/ha a 91,89 t/ha (Tabella 4). Applicando a tali quantità il *Social Cost of Carbon (SCC)*, viene ricavato un valore totale di tale servizio pari a 1.598.301,43 € che, riportato all'ettaro, diventano 1.457,78 €/ha.

COD	HA	Density Class 1	Density Class 2	Density Class 3	Density Class 4	Density Class 5	Density Class 6	Density Class 7	Density Class 8	Density Class 9	Density Class 10	Density Class 11	Density Class 12	Density Class 13	TOTALI	t/ha
01 CL	6,30	0	0	0	0	0	512,97	0	0	0	0	0	0	0	512,97	81,46
02 CL	6,17	0	0	0	0	0	350,05	0	0	0	0	0	197,32	0	547,38	88,72
03 CL	9,57	0	0	0	0	0	561,41	0	0	0	0	0	286,36	0	847,77	88,55
01 C	6,53	0	0	0	0	0	561,41	0	0	0	0	0	0	0	561,41	86,00
02 C	6,48	0	0	0	0	0	557,00	0	0	0	0	0	0	0	557,00	86,00
03 C	5,96	0	0	0	0	0	464,54	0	0	0	0	0	0	49,56	514,10	86,19
04 C	10,01	0	0	0	0	0	0	0	887,04	0	0	0	14,44	0	901,48	90,06
05 C	6,20	0	0	0	0	0	0	0	423,94	0	0	0	115,51	22,53	561,97	90,71
06 C	4,63	0	0	0	0	0	0	0	417,02	0	0	0	0	0	417,02	90,00
07 C	6,14	0	0	0	0	154,93	0	387,48	0	0	0	0	0	0	542,41	88,28
08 C	9,47	0	0	0	0	0	0	0	592,13	0	0	0	0	254,57	846,69	89,39
09 C	8,32	0	0	0	0	0	0	0	587,52	0	0	0	168,45	0	755,97	90,86
10 C	6,09	0	0	0	0	0	0	0	368,64	0	0	0	187,70	0	556,34	91,31
11 C	8,96	0	0	0	0	0	0	0	806,40	0	0	0	0	0	806,40	90,00
12 C	6,12	0	0	0	0	0	0	0	290,30	0	0	0	271,92	0	562,23	91,89
13 C	10,83	0	0	0	0	0	0	0	974,59	0	0	0	0	0	974,59	90,00
14 C	6,99	0	0	0	0	0	0	0	539,14	0	0	0	74,60	18,02	631,76	90,40
15 C	2,84	0	0	0	0	0	0	0	9,22	0	0	0	0	0	241,05	88,07
16 C	8,60	0	0	0	0	0	0	0	41,47	0	0	0	0	0	716,39	88,11
17 C	5,17	0	0	0	0	0	345,65	0	0	0	0	0	0	101,38	447,03	86,45
18 C	6,55	0	0	0	0	0	490,96	0	0	0	0	0	0	74,34	565,30	86,26
19 C	6,32	0	0	0	0	0	358,86	0	0	0	0	0	0	189,24	548,10	86,68
20 C	5,96	0	0	0	0	0	512,97	0	0	0	0	0	0	0	512,97	86,00
21 C	6,30	0	0	0	0	0	541,59	0	0	0	0	0	0	0	541,59	86,00
22 C	6,99	0	0	0	0	0	601,04	0	0	0	0	0	0	0	601,04	86,00
23 C	6,84	0	0	0	0	0	587,83	0	0	0	0	0	0	0	587,83	86,00
24 C	7,14	0	0	0	0	0	614,25	0	0	0	0	0	0	0	614,25	86,00
25 C	6,89	0	0	0	0	0	592,23	0	0	0	0	0	0	0	592,23	86,00
	194,38														17115,96	
															88,05	

Tabella 4: Risultati per la tipologia culturale cedui (tC/ha). (Fonte: Propria elaborazione).

### 3.2.3 Controllo dell'erosione

La scelta della valutazione di tale servizio è supportata dall'individuazione di una specifica categoria di particelle nel PGAF denominata "boschi a protezione idrogeologica". Questa tipologia di particelle è caratterizzata da boschi cedui di età elevata e ricadono in aree ad elevato rischio idrogeologico ubicati nella maggior parte dei casi in quei versanti ad elevata pendenza (superiore al 50%) con un elevato rischio di erosione superficiale. Si ritiene pertanto di valutare tale servizio esclusivamente per tali particelle forestali poiché producono un servizio di maggiore importanza rispetto ad altre particelle. Come sottolineato da MUNAFÒ (2019), l'analisi degli studi in letteratura sull'erosione, mostra valori sia economici che biofisici molto variabili sia per entità che per tipologia, oltre che nell'applicazione spaziale dello studio (contesto geografico). Analizzando i valori ottenuti nel presente studio è stato riscontrato un indice biofisico, riferito alla

quantità di sedimenti trasportati a valle, con valore medio pari a 17,5 t/ha che genera, dati i valori monetari scelti per eseguire la valutazione economica, valori compresi tra 9.422,40 € e 100.642,54 € che riportati all'ettaro diventano 193,73 €/ha e 2.069,29 €/ha. Di seguito viene riportata la mappa (Figura 8) ottenuta dal modello *InVEST* che mostra l'erosione potenziale evitata. Le zone colorate in verde mostrano un basso livello di erosione potenziale viceversa, le zone tendenti al giallo/arancio rappresentano le zone con un'elevata potenzialità erosiva. Ciò sembra coerente se confrontiamo tale mappa con quella prodotta dall'Ispra nel progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) volto a quantificare la probabilità di frane nel territorio italiano. Come possiamo notare, le zone che il nostro modello indica come quelle ad elevata potenzialità di erosione, combaciano con le zone identificate nel progetto IFFI come aree soggette a crolli e ribaltamenti diffusi.

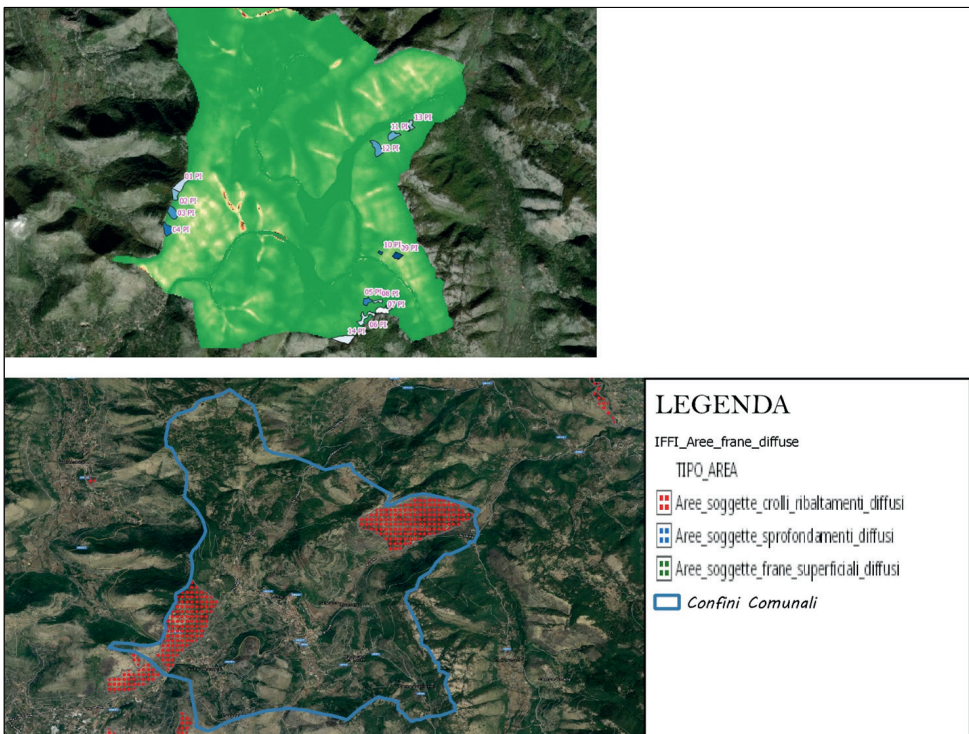


Figura 8: Mappa Erosione Potenziale + Particelle a protezione idrogeologica (sopra); Cartografia Progetto IFFI riferita al territorio in esame (sotto). (Fonte: Propria elaborazione)

La Figura 9 e la Tabella 5 riportano una sintesi dei risultati divisi per singoli servizi ecosistemici e riferiti dove possibile (produzione legnosa; sequestro e stoccaggio del carbonio) sia al valore del flusso annuale sia dello stock, anche se quest'ultimo dato non partecipa alla formazione del valore totale. Osservando bene la Figura 9 risulta evidente come il più alto valore economico è rappresentato dal servizio di sequestro del carbonio nel suolo. Come già accennato, sono state intraprese due specifiche metodologie per la sua valutazione e come è possibile notare dall'istogramma la metodologia che prevede l'utilizzo del modello *InVEST* mostra un valore economico maggiore rispetto all'altro e ciò può essere ricondotto al fatto che il modello utilizza in combinazione sia dati fisici (tCorg/ha) che dati spaziali (*map-pa CLC*) producendo così delle stime maggiormente rappresentative della condizione territoriale; dato non trascurabile dal momento che si sta stimando il servizio di stoccaggio del carbonio da parte del suolo in un'area geografica molto piccola. Detto questo, si è deciso di prendere in considerazione solamente il valore riferito alla metodolo-

gia *InVEST* ai fini del valore totale finale. Altro valore escluso dal calcolo finale è rappresentato dal potenziale flusso di benefici futuri generati dalla disponibilità di legname poiché esso costituisce la quantità totale disponibile in un arco di tempo pari a dieci anni (stock) ed essendo interessati a valutare i benefici attuali, questo valore non contribuisce alla formazione del valore economico complessivo ad oggi ma solo un potenziale flusso di benefici futuri. Per il servizio di controllo dall'erosione, non essendo stato possibile ottenere dei valori specifici per poter calcolare l'indicatore economico, sono state utilizzate delle stime ricavate dalla letteratura e quindi si è optato per l'inclusione sia del valore minimo che del valore massimo rinvenuti. Questo ha generato due valori totali di stima del servizio fornito dalle particelle con funzione di protezione idrogeologica permettendoci di concludere come i servizi ecosistemici selezionati per questo studio ed offerti dalla sola porzione di territorio interessata dal PGAF, sono economicamente stimati in un range tra i 2,3 M€/anno e i 2,4 M€/anno.

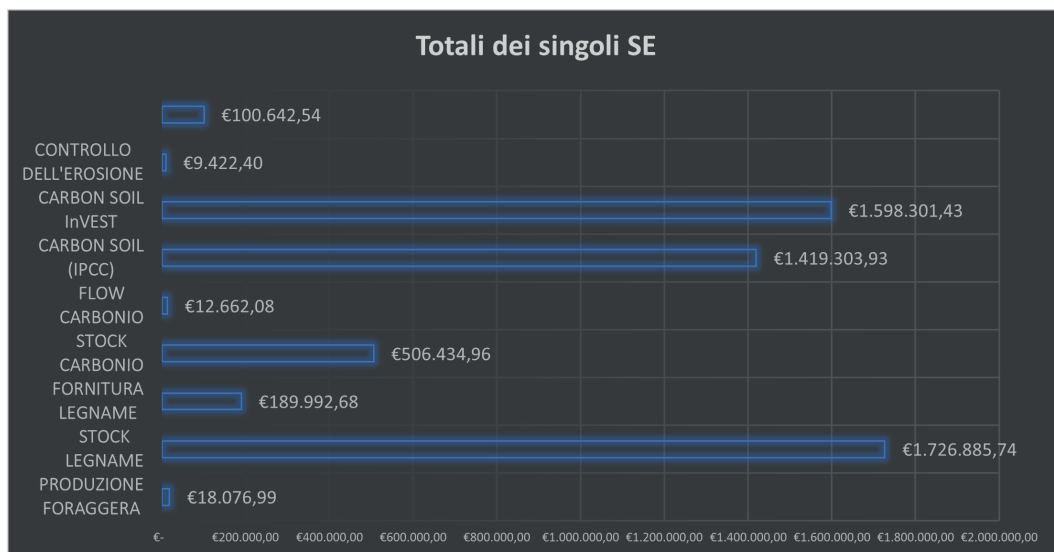


Figura 9: Totali dei singoli Servizi Ecosistemici valutati (Fonte: Propria elaborazione).

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva (Tabella 5) che mostra i metodi e i risultati di stima per i diversi servizi ecosistemici analizzati. Importante ricordare come i valori riferiti allo stock di legname e al carbonio contenuto nel suolo (IPCC) non partecipano alla formazione del valore totale finale.

Ecosystem Services	INDICATORE BIOFISICO	INDICATORE ECONOMICO	QUANTITÀ	VALORE MEDIO	TOTALI
<b>PRODUZIONE FORAGGERA</b>	Q.ta di sostanza secca prodotta dalle superfici	Prezzo di mercato	9,9 q/Ha	69,30 €/Ha	€ <b>18.076,99</b>
<b>STOCK LEGNAME</b>	Biomassa totale disponibile	Prezzo di mercato	111,2 t/Ha	10.007,31 €/Ha	€ <b>1.726.885,74</b>
<b>FORNITURA LEGNAME</b>	Biomassa asportabile	Prezzo di mercato	12,23 t/Ha	1.101,01 €/Ha	€ <b>189.992,68</b>
<b>STOCK CARBONIO</b>	Contenuto di carbonio organico (Biomassa epigea, ipogea e lettiera)	SCC Social Cost of Carbon	51,93 tCorg/ha	1.208,36 €/Ha	€ <b>506.434,96</b>
<b>FLUSSO CARBONIO</b>	Contenuto di carbonio organico (Accrescimento epigeo)	SCC Social Cost of Carbon	1,30 tCorg/ha	30,21 €/Ha	€ <b>12.662,08</b>
<b>CARBON SOIL (IPCC)</b>	Contenuto di carbonio organico	SCC Social Cost of Carbon	55,63 tCorg/ha	1.294,52 €/Ha	€ <b>1.419.303,93</b>
<b>CARBON SOIL INVEST</b>	Contenuto di carbonio organico	SCC Social Cost of Carbon	88,66 tCorg/ha	1.457,97 €/Ha	€ <b>1.598.301,43</b>
<b>CONTROLLO EROSIONE</b>	Q.tà di sedimenti trattiene	Stima costi dei danni e della mitigazione	17,5 tCorg/ha	min 193,73 €/Ha max 2.069,29 €/Ha	€ <b>9.422,40</b> € <b>100.642,54</b>
<b>Totali</b>				<b>Min</b> <b>Max</b>	€ <b>2.334.890,54</b> € <b>2.426.110,68</b>

Tabella 5: Risultati dei Servizi Ecosistemici riferiti al territorio comunale di Lenola (LT). Fonte: Propria elaborazione.

#### 4. Conclusioni

Molteplici motivi contribuiscono a promuovere e incentivare la valutazione degli ecosistemi naturali. Tra i principali motivi troviamo la necessità di stabilire il contributo complessivo degli ecosistemi al benessere sociale ed economico, comprendere come e quanto gli attori economici dipendono e impattano il capitale naturale, valutare come gestioni alternative del territorio potrebbero favorire la tutela dell'ambiente e il benessere umano. Il principale problema dei servizi ecosistemici è che molti di essi non vengono catturati nel sistema convenzionale dei conti nazionali come concorrenti alla formazione del reddito totale. Inoltre, nonostante il capitale naturale rappresenti una significativa quota nel totale della ricchezza nazionale, il valore del suo esaurimento o del suo apprezzamento non viene contabilizzato. Conseguentemente, le misure convenzionali del-

la ricchezza danno indicazioni errate sullo stato di benessere generale, generando scelte politiche poco informate e scelte sociali ed economiche locali poco lungimiranti. La valutazione monetaria può quindi aiutare a stabilire i valori degli ecosistemi che consentono di correggere i conti nazionali e meglio catturare cambiamenti di ricchezza e benessere. Tuttavia, la valutazione dei servizi ecosistemici a livello comunale è ancora scarsamente condotta e questo studio mira a contribuire alla realizzazione della loro contabilità a scala locale. Il valore totale dei principali servizi ecosistemici del comune di Lenola si aggira intorno ai 2,3 milioni di euro (2.100 €/ha) e tra questi lo stock del carbonio nel suolo è il servizio principale e rappresenta approssimativamente il 70% del valore totale. Ammettendo l'incertezza effettiva

del valore puntuale dei servizi ecosistemici ci preme sottolineare come questo esercizio di contabilità consente di identificare i soggetti beneficiari delle risorse naturali e i soggetti che invece si trovano a sopportare le esternalità negative di alcune attività e dunque prevedere dei meccanismi che inducano la messa in pratica di comportamenti virtuosi nei confronti dell'ambiente locale, che siano in grado di preservarne e migliorarne lo stato di salute e di produzione. Numerose difficoltà esistono nell'implementare una contabilità a livello locale e spesso i servizi più complessi da valutare sono quelli di regolazione poiché richiedono stime e valutazioni non disponibili sul mercato. Tuttavia, negli ultimi anni sono stati fatti molti progressi grazie alle informazioni georeferenziate e ad un crescente numero di studi e software a disposizione. Pertanto, la contabilità a livello subregionale potrebbe favorire una maggior conoscenza di informazioni inerenti le risorse naturali e un maggior supporto alle politiche di sviluppo sostenibile. Basti pensare ai servizi di stoccaggio e sequestro del carbonio così come il servizio di protezione dall'erosione. La popolazione locale potrebbe essere informata dei benefici indiretti prodotti dai servizi ecosistemici e sviluppare una coscienza del cittadino rivolta alla reale comprensione del valore del territorio.

## 5. Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il comune di Lenola, unitamente agli enti "Parco naturale dei monti Aurunci" e "Parco naturale monti Ausoni e lago di Fondi" per la disponibilità e la cordialità dimostrata nel fornire tutti i dati in loro possesso, necessari per la realizzazione dello studio.

## BIBLIOGRAFIA

BIRCH J.C., ISHANA T., ANDREW B., RICHARD B. B., CLAIRE B., STUART H.M. B., HUM G., FRANCINE M.R. H., MARK M., BHO-PAL P., KELVIN S.-H. P., ALISON J. S., MATT W., DAVID H.L.T., 2014. *What benefits do community forests provide, and to*

*whom? A rapid assessment of ecosystem services from a Himalayan forest, Nepal.*

BRANDERA L.M., S. TANKHAB, C. SOVANN, G. SANADIRADZED, N. ZAZANASHVILID, D. KHARAZISHVILIE, N. MEMIADZEE, I. OSEPAHVILID, G. BERUCHASHVILID, N. AROBELIDZED. 2018. *Mapping the economic value of landslide regulation by forests.*

BRAUN-BLANQUET, J. 1932. *Plant sociology (Transl. G. D. Fuller and H. S. Conrad)*. McGraw-Hill, New York. 539 pp.

COMITATO CAPITALE NATURALE (2019), *Terzo Rapporto sullo Stato del Capitale Naturale in Italia*. Roma.

DAGET P., POISSONET J., 1969 – *Analyse phytologique des prairies. Document 48, Centre National de la Recherche Scientifique B.P., 1018 Montpellier*. 67 pp.

DE GROOT R., 1992. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management, and Decision Making*.

DI COSMO L., TABACCHI G., GASPARINI P., 2015. *A national-scale, stand-level model to predict total above-ground tree biomass from growing stock volume*.

EEA (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY), 2018. *Natural capital accounting in support of policymaking in Europe. A review based on EEA ecosystem accounting work*. EEA Report No. 26/2018.

EUROPEAN UNION (EU), 2020. *Proposal for a decision of the european parliament and of the council on a General Union Environment Action Programme to 2030*. Brussels, 14.10.2020 COM(2020) 652 final.

FAO AND UN. 2020. *System of Environmental-Economic Accounting for Agriculture, Forestry and Fisheries (SEEA AFF)*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca7735en>.

GASPARINI P., DI COSMO L., POMPEI E. (A CURA DI) 2013 – *Il contenuto di carbonio delle foreste italiane. Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC2005. Metodi e risultati dell'indagine integrativa. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato; Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale*. Trento, 284 pp.

GÖRLACH B., LANDGREBE-TRINKUNAIT E., INTERWIES E., 2004. *Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation (3 volumes)*. Ecologic—Institute for International und European Environmental Policy, Berlin. Draft Report for DG Environment, European Commission.

HAINES-YOUNG R. AND POTSCHIN M., 2011. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): 2011 Update*. Paper prepared for discussion at the expert meeting on ecosystem accounts organised by the UNSD, the EEA and the World Bank, London, December 2011. European Environment Agency.

HÄYHÄ T., FRANZESE P.P., PALETTO A., FATH B.D. 2015 *Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine*

forests.

HOLT A., ROQUETTE J., 2017. *The quantification and valuation of the environmental, social and economic impacts of the Forest of Marston Vale*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c09a570b-e189-4a92-82ff-9897ab49a6b1/language-en>.

IPCC (1997) - *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories*. Three volumes: Reference Manual, Reporting Guidelines and Workbook. IPCC/OECD/IEA. IPCC WG1 Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Office, Bracknell, UK.

KAZAK J., MALCZYK J., CASTRO D. G., SZEWRĄŃSKI S., 2016. *Carbon Sequestration in Forest Valuation, Real Estate Management and Valuation*, Vol. 24, No. 1, pp. 76-86.

KIBRIA ABU S.M.G., BEHIE A., COSTANZA R., GROVES C., FARRELL T., 2017. *The value of ecosystem services obtained from the protected forest of Cambodia: The case of Veun Sai-Siem Pang National Park*.

MORRI E., PRUSCINI F., SCOLOZZI R., SANTOLINI R., 2013. *A forest ecosystem services evaluation at the river basin scale: Supply and demand between coastal areas and upstream lands (Italy)*.

MUNAFÒ M. (A CURA DI), 2019. *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2019. Report SNPA 08/19.

NGWENYA P., HASSAN R. (2005) *An environmental accounting approach to valuing the services of natural forests and woodlands in Swaziland*, *Agrekon*, 44:2, 264-283, <https://doi.org/10.1080/03031853.2005.9523713>.

OJEA E., PALOMA R.-B., ANIL M., MIGUEL A. Z., 2012. *Wood provisioning in Mediterranean forests: A bottom-up spatial valuation approach*.

RICKE, K., DROUET, L., CALDEIRA, K. & TAVONI, M., 2018. *Country-Level Social Cost of Carbon, Nature Climate Change*.

SCHIRPKE U., SCOLOZZI R., DE MARCO C. (2014) *Modello dimostrativo di valutazione qualitativa e quantitativa dei servizi ecosistemici nei siti pilota. Parte I: Metodi di valutazione*. Report del progetto Making Good Natura (LIFE+11 ENV/IT/000168), EURAC research, Bolzano, p. 75.

SHARP R., TALLIS H.T., RICKETS T., GUERRY A.D., WOOD S.A., CHAPLIN-KRAMER R., NELSON E., ENNAANAY D., WOLNY S., OLWERO N., VIGERSTOL K., PENNINGTON D., MENDOZA G., AUKEMA J., FOSTER J., FORREST J., CAMERON D., ARKEMA K., LONSDORF E., KENNEDY C., VERUTES G., KIM C.K., GUANEL G., PAPPENFUS M., TOFT J., MARSIK M., BERNHARDT J., GRIFFIN R., GLOWINSKI K., CHAUMONT N., PERELMAN A., LACAYO M., MANDLE L., HAMEL P., VOGL A.L., ROGERS L., BIERBOWER W., DENU D., AND DOUGLASS J. 2020, *InVEST 3.8.4. User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

TABACCHI G., DI COSMO L., GASPARINI P., MORELLI S., 2011. *Stima del volume e della fitomassa delle principali specie*

*forestali italiane, equazioni di previsione, tavole del volume e tavole della fitomassa arborea epige*. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Trento. 412 pp.

UNITED NATIONS, 2014, *The System of Environmental-Economic Accounting 2012*—Experimental Ecosystem Accounting.

VALLECHILLO S., LA NOTTE A., POLCE C., ZULIAN G., ALEXANDRIS N., FERRINI S., MAES J. 2018. *Ecosystem services accounting: Part I - Outdoor recreation and crop pollination*, EUR 29024 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/619793, JRC110321.

VAN DER MEULEN S., MARING, L., 2018 *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services Soil ecosystems SOILS4EU/DGENV*.

VATANDASLAR C., YAVUZ M., LEUCHNER M., 2020. *Erosion Control Service of Forest Ecosystems: A Case Study from Northeastern Turkey*

VITULLO M., DE LAURENTIS R., FEDERICI S., 2007. *La contabilità del carbonio contenuto nelle foreste italiane*.

## **Davide Rosati**

Dipartimento di Economia e Statistica  
Università di Siena  
E-mail: [davide.rosati@yahoo.it](mailto:davide.rosati@yahoo.it)

## **Silvia Ferrini**

Dipartimento di Scienze Politiche e Internazionali  
Università di Siena  
E-mail: [silvia.ferrini@unisi.it](mailto:silvia.ferrini@unisi.it)

**PAROLE CHIAVE:** *Valutazione dei servizi ecosistemici, Contabilità servizi ecosistemici forestali, InVEST*

## **RIASSUNTO**

In Europa, l'ecosistema terrestre più grande è rappresentato dalle foreste e dalle terre boscate che coprono circa il 33% della superficie totale della regione. I servizi ecosistemici delle foreste, definiti come beni e servizi forniti dagli ecosistemi che contribuiscono al benessere della comunità, sono scarsamente contabilizzati e inseriti nei piani di gestione. Tuttavia, questi servizi possono rappresentare dei fattori chiave per la crescita sociale ed economica dei territori rurali e delle comunità. Questo studio mira ad evidenziare il contributo che alcuni servizi ecosistemici forestali forniscono al benessere

pubblico a scala locale. La quantificazione del benessere è stata effettuata considerando i benefici biofisici ed economici che i servizi forestali offrono al territorio. Sono stati identificati quattro servizi ecosistemici principali, due relativi ai servizi di approvvigionamento (produzione di foraggio; produzione di legno) e due relativi ai servizi di regolazione (stoccaggio e sequestro di CO<sub>2</sub>; controllo dell'erosione). I servizi di approvvigionamento sono stati mappati utilizzando i dati dell'inventario forestale locale e nazionale, mentre per la valutazione economica sono stati utilizzati i prezzi di mercato così da poter attribuire al patrimonio forestale quella parte di Prodotto Interno Lordo (PIL) già contabilizzata nei conti statistici nazionali ma non formalmente attribuita all'ecosistema forestale. I servizi di regolazione sono stati mappati e valutati con procedure ad hoc e attraverso software specifici (*GIS; InVEST*) sia per la valutazione biofisica che economica ottenendo un valore solitamente non attribuito agli ecosistemi forestali e quindi non presente nei conti statistici nazionali. I risultati rivelano che i servizi ecosistemici forestali sono valutati tra 2.334.890 € e 2.426.110 € con un valore medio di 2.100 €/ha. I servizi che contribuiscono maggiormente alla creazione di questo valore sono lo stoccaggio del carbonio nel suolo (1.598.301 €/tot) e lo stoccaggio del carbonio nella biomassa arborea (506.435 €/tot).

forest ecosystem services are valued between 2,334,890 € and 2,426,110 € with an average value of 2,100 €/ha. The services that contribute most to this value are carbon storage in the soil (1,598,301 €/tot) and carbon storage in the biomass (506,435 €/tot).

**KEYWORD:** *Ecosystem Services valuation, Local forest ecosystem services accounting, InVEST*

## ABSTRACT

In Europe, the largest ecosystem is represented by forests and other wooded lands, occupying 33% of the region's total land area. Forest ecosystem services, defined as goods and services provided by ecosystems that contribute to community well-being, are rarely accounted and presented in local resources management plan. However, they can be key elements for the social and economic growth of rural landscapes and communities. This study aims to highlight the contribution of some forest ecosystem services to wellbeing at local scale. The valuation process was carried out considering biophysical and economic benefits. Four main ecosystem services were identified, two related to Provisioning services (fodder production; wood production) and two related to Regulating services (CO<sub>2</sub> storage and sequestration; erosion control). Provisioning services were mapped using inventory data from local and national forest accounts while the economic assessment was conducted using market prices obtaining a value already present in the national statistical accounts that can be assigned to forest ecosystem. Regulation services were mapped using ad hoc methodologies and specific software (*GIS; InVEST*) for both biophysical and economic valuation, obtaining a value not usually assigned to forest ecosystems and therefore not present in the national statistical accounts. The results reveal that