

# Report tecnico Azione B1 / Sintesi - Valutazione e quantificazione dei benefici ecosistemici resi dal suolo

A cura del gruppo di lavoro ISPRA per il LIFE SAM4CP: Michele Munafò, Francesca Assennato, Francesca Bottinelli, Marco Di Leginio, Giovanni Finocchiaro, Fiorenzo Fumanti, Alessandra Galosi, Ines Marinosci, Stefano Pranzo, Mariangela Soraci e di Andrea Strollo, Andrea De Toni, Lorenzo Sallustio e Marco Marchetti

## 1 La mappatura e la valutazione dei servizi ecosistemici e il modello InVEST

I servizi ecosistemici (SE) rappresentano le condizioni e i processi attraverso cui gli ecosistemi naturali e le specie che li costituiscono sostengono la vita dell'uomo e ne favoriscono il benessere (Daily, 1997). Recentemente, i SE sono stati classificati a scala globale (Costanza *et al.*, 2007; De Groot *et al.*, 2002; Kremen, 2005; Luck *et al.*, 2009) e sono stati progressivamente definiti, valutati e spazializzati (De Groot *et al.*, 2010). Con il *Millennium Ecosystem Assessment* (MA, 2005), e successivamente con il programma *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB, 2010), la tematica dei SE ha fatto il suo ingresso nei contesti politici, sociali e scientifici. Per la prima volta a scala globale, il MA ha predisposto una classificazione condivisa dei SE, suddividendoli in grandi raggruppamenti: (a) approvvigionamento (disponibilità di cibo, acqua potabile, fibra o altro materiale grezzo, materiale genetico, prodotti curativi e medicinali); (b) regolazione (miglioramento della qualità dell'aria, mitigazione dei cambiamenti climatici e degli eventi naturali catastrofici, formazione del suolo e rigenerazione, assimilazione del materiale di scarto); (c) supporto (conservazione degli habitat naturali, protezione del pool genetico e della funzionalità ecosistemica); (d) culturali, estetici e ricreativi (opportunità per il turismo e le attività ricreative, ispirazione artistica, culturale e religiosa).

Fenomeni come l'intensificazione dell'uso del suolo e la frammentazione costituiscono le cause principali di alterazione delle strutture e funzioni degli ecosistemi e della capacità degli stessi di sostenere la fornitura dei servizi (Mace *et al.*, 2012). Il principale fattore che determina le dinamiche di trasformazione del paesaggio e dei suoi processi di funzionamento è dunque l'uso del suolo, le cui modifiche alterano la fisionomia della copertura biofisica del suolo e influenzano lo svolgersi degli effetti ecologici intorno ai cambiamenti di stato degli ecosistemi e dei sistemi antropogenici.

Un approccio cartografico alla valutazione dei servizi ecosistemici permette di avere la precisa localizzazione spaziale dei fenomeni e ben si presta all'utilizzo semplificato nell'ambito di operazioni di modellistica. Lo stesso modello InVEST, al pari di altri modelli per la valutazione spazialmente esplicita dei SE, basa il suo funzionamento sulla disponibilità di carte d'uso del suolo in formato raster. Il principio su cui il modello si fonda è infatti quello di associare a ciascun uso del suolo una particolare capacità di fornire diversi SE, che sono quindi soggetti a variazione nel momento in cui si assiste alla variazione dell'uso/copertura sulla medesima unità di superficie che, nel caso particolare di InVEST, è rappresentata dal pixel.

Un altro fattore molto importante e determinante nella qualità delle analisi riguardanti i SE è la disponibilità di dati di input dettagliati e in grado di descrivere la complessità di situazioni riconducibili alle diverse classi d'uso ed alle altre tante transizioni osservabili nel tempo tra le stesse. A titolo esemplificativo, si pensi ad esempio al modello InVEST che analizza la depurazione delle acque. La funzione di depurazione dipende, tra le altre, dalla capacità della vegetazione di filtrare e trattenere microelementi quali fosforo e potassio. Come diretta conseguenza, avremo che tanto più si hanno a disposizione dati relativi alla capacità di una determinata consociazione di specie vegetali (siano esse riferite a coltivazioni agrarie o a categorie e tipi forestali) di svolgere tale funzione, tanto maggiore saranno le differenze osservabili in termini di output e soprattutto gli effetti relativi a determinati tipi di cambiamento d'uso del suolo. In maniera più generica, quindi, alla base di qualsiasi tipo di applicazione riguardante l'utilizzo dei SE per la pianificazione territoriale non si può

prescindere dall'analisi della letteratura riguardante soprattutto gli aspetti legati alla scala ed al dettaglio tematico ed informativo. L'analisi bibliografica ha infatti dimostrato come tali aspetti risultino estremamente rilevanti al fine di condurre valutazioni e offrire un supporto effettivamente valido e non fuorviante ai processi di pianificazione. Tra i tanti lavori si citano, a titolo di esempio: Andersson et al. (2015), Pelorosso et al. (2015), Malinga et al. (2015), Dick et al. (2014), Roces-Díaz et al. (2014) e Everard et al. (2014).

Un ultimo fattore chiave su cui porre l'attenzione è rappresentato dalla limitazione di tipo tecnico legato all'utilizzo del modello InVEST. Tale considerazione deriva da alcuni test condotti a diverse scale di analisi e di dettaglio dei dati di input. Ne è conseguito che, in alcuni casi, l'elevata risoluzione spaziale (es: utilizzo di carte d'uso del suolo con pixel di 5 m di lato), unita alla notevole mole di informazioni connesse alle diverse classi d'uso del suolo, può generare errori nel modello che possono portare all'inutilizzabilità di InVEST o, in altri casi, a tempi di elaborazione estremamente lunghi. In tali casi si può optare per la riduzione della scala spaziale di riferimento e dell'accuratezza dei dati di input nel modello o alla suddivisione dell'area di analisi in più sotto-aree di estensioni minori e quindi meno soggette ad errori legati alle capacità di calcolo dei processori utilizzati. Da un punto di vista concettuale, è altresì importante evidenziare che, trattandosi di modelli che tendono di per sé a semplificare le condizioni reali, aumentare la complessità ed il numero dei dati in input permette sì di cogliere meglio alcune sfumature e considerare diversi aspetti della problematica osservata, ma dall'altro si rischia di creare sistemi talmente complessi da non essere poi più in grado di comprendere quale sia il contributo dei vari fattori al raggiungimento dell'output finale e, pertanto, avere grosse difficoltà nell'interpretazione dello stesso e delle dinamiche territoriali a cui esso è legato.

## 2 Pre-processing e valutazione strati di input del modello InVEST

Il modello InVEST (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*), sviluppato dal Natural Capital Project e applicato sia a scala globale che a diverse aree di interesse situate soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, ha lo scopo di valutare dal punto di vista biofisico ed economico i SE forniti ed erogati in diverse porzioni del territorio (Tallis *et al.*, 2013). La fornitura di output cartografici, oltre a statistiche di vario genere, consente una forte applicabilità dei risultati a processi decisionali nell'ambito della pianificazione territoriale o di valutazioni tipiche della *Strategic Environmental Assessment*. Il modello è composto da diversi pacchetti indipendenti tra di loro e tesi alla valutazione di SE di regolazione, supporto, approvvigionamento ed estetico-culturali. Sono inoltre presenti dei pacchetti aggiuntivi di aiuto sia in fase di pre-processing (es: creazione di scenari futuri di cambiamento d'uso del suolo) che di analisi dei risultati (*overlap e trade-offs analysis*).

**Uso del suolo.** La carta di uso del suolo è l'elemento chiave per l'utilizzo di tutti i modelli, rappresentando lo strato di base su cui procedere all'effettiva valutazione dei diversi SE. Nell'ambito del progetto Life la scelta è ricaduta su una nuova carta derivata dal confronto tra la cartografia CORINE Land Cover (CLC) e la carta nazionale di copertura del suolo (HRL, Congedo et al., 2016), frutto dell'unione dei vari *High Resolution Layers* di Copernicus, entrambe riferite all'anno 2012. L'obiettivo di tale procedura è quello di mantenere l'elevatissima risoluzione geometrica della carta HRL (20 m) migliorandone però il dettaglio tematico grazie all'utilizzo di CLC (fino al quarto livello tematico). La scelta di mantenere una risoluzione spaziale così elevata è legata all'opportunità di poter procedere ad analisi multi-scala che altrimenti sarebbero difficilmente perseguibili utilizzando dati di input con una scala di riferimento meno accurata. A livello tematico, pur restando consistente con la

classificazione originaria HRL, la riclassificazione ha portato alla creazione di 62 classi d'uso del suolo a cui è stato attribuito un codice numerico univoco.

### 3 Analisi e mappatura biofisica dei servizi ecosistemici resi dal suolo

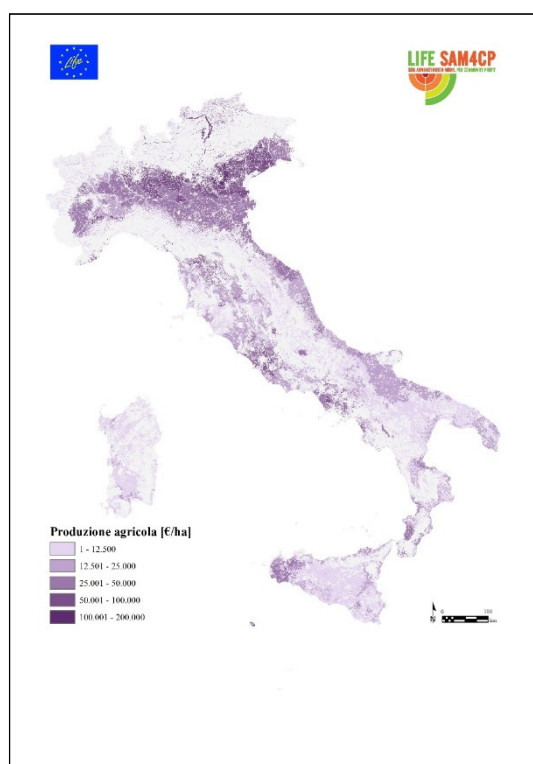
#### 3.1 Produzione agricola

Il pacchetto “Crop Production” di InVEST non è più disponibile per problemi tecnici e metodologici che hanno portato il Natural Capital Project a ritirarlo. Tra l'altro, un approccio basato sul conto colturale delle singole colture (che tenga quindi in considerazione input e output del sistema agricolo) risulta troppo complesso e richiederebbe un quantitativo di informazioni difficilmente reperibile e gestibile a scala sovracomunale, non ultimo la conoscenza degli ordinamenti colturali a cui sono destinati i singoli appezzamenti.

Valutate tali limitazioni, il metodo ritenuto valido ed effettivamente implementabile per lo scopo prefissato nel progetto si basa sulla spazializzazione dei Valori Agricoli Medi (VAM) proposti dall'Agenzia delle Entrate suddivisi per regioni agrarie (seguendo lo schema di

classificazione definito da ISTAT). I VAM sono determinati ogni anno dalla Commissione Provinciale Espropri e pubblicati in Euro per ettaro per le singole Regioni Agrarie. La limitazione di tale metodologia è legata al fatto di non prendere in considerazione il processo produttivo, ma esclusivamente il valore potenziale del terreno, fornendo quindi un output di tipo esclusivamente economico e non biofisico (e.g.: quantitativi di produzione). Inoltre, utilizzando il VAM quale proxy, non si analizza di per sé il valore del SE di produzione, bensì un valore potenziale che però non è necessariamente legato all'effettivo utilizzo di un terreno. I tipi colturali di riferimento dei VAM sono stati di volta in volta aggregati in funzione della corrispondenza con le diverse classi d'uso del suolo agricole, in particolar modo in funzione del tipo di produzione.

L'unità di misura dell'output Crop Production, Euro per ettaro (figura 1), presenta valori potenziali da 1 a circa 196 mila euro. Va sottolineato che la stima del valore della produzione agricola non ha riguardato esclusivamente i terreni propriamente agricoli, bensì anche quelli destinati alla produzione di foraggio



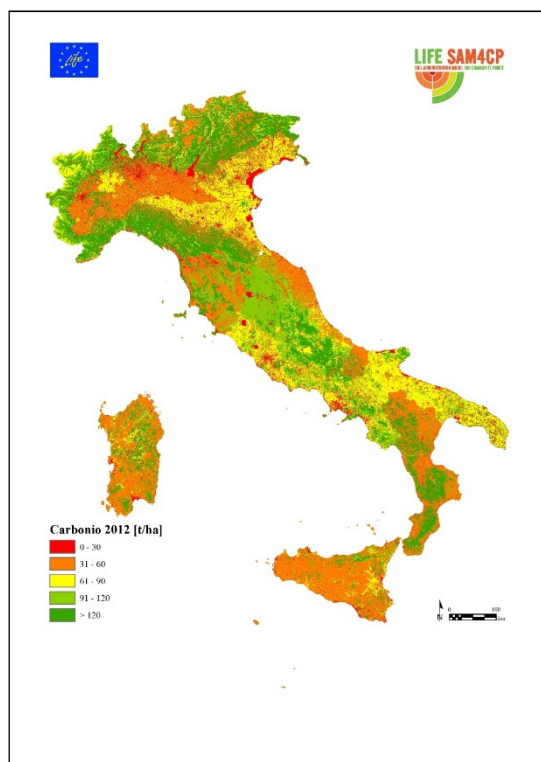
**Figura 1-** Valore Agricolo Medio delle classi agricole di uso del suolo (€ per ettaro)

(prati) ed al pascolo.

#### 3.2 Stoccaggio e sequestro di Carbonio

Il modello InVEST “Carbon Storage and Sequestration” fornisce mappe della quantità di carbonio immagazzinato dagli ecosistemi terrestri in termini biofisici (Mg di C ad ettaro) ed economici (€ ad ha). La risoluzione spaziale delle mappe di *output*, dipende da quella della

carta d'uso del suolo utilizzata (20 m nel nostro caso). Il *software* stima il carbonio di ogni categoria di uso del suolo secondo i valori relativi alla quantità di carbonio contenuta nei quattro principali pools presenti in natura e riconosciuti dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo e sostanza organica morta. I dati vanno inseriti tramite una tabella in formato CSV, che permette l'associazione dei quantitativi di C alle diverse classi di uso del suolo.



Per le categorie forestali di uso del suolo, i valori in ingresso di carbonio sono stati ricavati partendo dai dati di provvigione dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC) (<http://www.sian.it/inventarioforestale/>). Da questi è stato possibile stimare il contenuto di carbonio nei quattro pool richiesti tramite l'utilizzo di apposite metodologie e coefficienti di conversione (Di Cosmo et al., 2016) (Vitullo et al., 2007) (NIR, 2012). Per le altre categorie (urbanizzato e agricolo) i dati per la biomassa epigea, ipogea e per la sostanza organica morta sono stati dedotti grazie ad un'approfondita analisi bibliografica; per il carbonio contenuto nel suolo sono state invece intersecate le mappe di uso e copertura e quelle pubblicate all'interno del progetto SIAS (Sviluppo Indicatori Ambientali sul Suolo) a livello regionale.

In figura 2 è possibile osservare il risultato di output del modello, che rappresenta il quantitativo di C fissato ad ettaro.

Figura 2 - Mappa dello stoccaggio di carbonio (tonnellate per ettaro)

### 3.3 Produzione legnosa

Il SE di produzione legnosa si basa sul valore economico connesso alle utilizzazioni forestali, quindi è strettamente connesso ad aspetti di tipo gestionale oltre che economico. Affinché la risorsa abbia un valore per quanto riguarda questo SE, occorre che la stessa sia utilizzata e conoscere come, quando e quanto le utilizzazioni vengono effettuate. Altra informazione importante è quella legata alla destinazione d'uso del materiale legnoso (carta, combustibile, pannelli, legname da opera ecc.) che ne determina il prezzo di mercato, ed i costi legati alle operazioni di utilizzazione. Questi valori, combinati, permettono di stimare il valore della risorsa forestale. Il tutto però subordinato alla conoscenza del tipo di gestione effettuata, che determina, in buona sostanza, i quantitativi di prodotto ritraibile. Tutte informazioni direttamente desumibili dai piani di assestamento forestale a scala comunale o comprensoriale, in cui sono esplicitamente riportate le modalità di utilizzazione ed il loro utilizzo. In assenza di tali informazioni si possono solo fare delle previsioni che però non avendo nessun tipo di legame con l'effettivo uso della risorsa, rischiano di essere fuorvianti, sovrastimando o sottostimando il valore della stessa. Pertanto, a livello nazionale, l'utilizzo di tale modello sembra da sconsigliare, mentre la sua applicazione a scala più fine è comunque vincolata alla disponibilità di dati gestionali (es: Piano d'Assestamento forestale, Piani

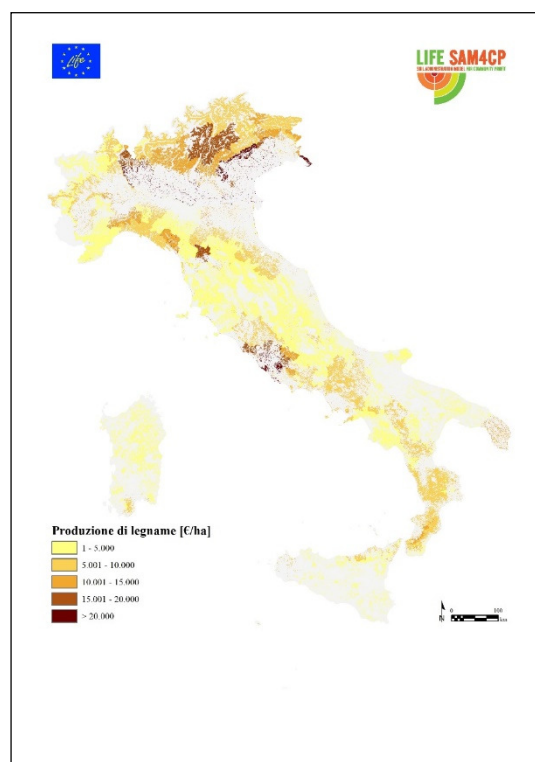


Forestali d'indirizzo Territoriale) o alla possibilità di fare previsioni o ipotesi quanto più possibile realistiche sull'utilizzo del bosco.

Per tale motivo, al fine di fornire una proxy del potenziale di produzione legnosa su larga scala, si è optato per l'utilizzo della stessa metodologia proposta per la valutazione della produzione agricola. A scala nazionale, questa sembra la metodologia più facilmente percorribile, essendo non vincolata alla disponibilità di dati e cartografie di dettaglio (tipi forestali, età, provvigione, forme di gestione) attualmente non disponibili. Nonostante le già menzionate limitazioni legate all'utilizzo di questa metodologia, il punto di forza, oltre che alla disponibilità di dati ufficiali per l'intero territorio nazionale, risiede nel fatto che la proxy utilizzata riesce ad ogni modo a cogliere le differenze relative tra usi del suolo agricoli differenti (es: seminativi rispetto a vigneti) e tra realtà territoriali molto diverse tra loro e con un valore produttivo estremamente diverso (es: regioni agrarie caratterizzate da pianure fertili, specializzate e molto produttive rispetto a regioni agrarie dove domina un'agricoltura estensiva con un valore economico sicuramente inferiore).

Come per la produzione agricola, anche in questo caso si è ritenuto opportuno aggregare classi d'uso del suolo in categorie più generiche e più facilmente riconducibili ai criteri di classificazione dei VAM. Le classi forestali sono state quindi accorpate al secondo livello tematico di CLC.

In figura 3 è possibile osservare la mappa di output del valore economico dei boschi. Come è possibile notare, i valori più alti sono concentrati e particolarmente rappresentativi soprattutto nelle Alpi orientali, grazie all'elevato valore economico degli assortimenti ritraibili dalle utilizzazioni forestali.



**Figura 3 - Valore Agricolo Medio delle classi forestali (€ per ettaro)**

### 3.4 Qualità degli habitat

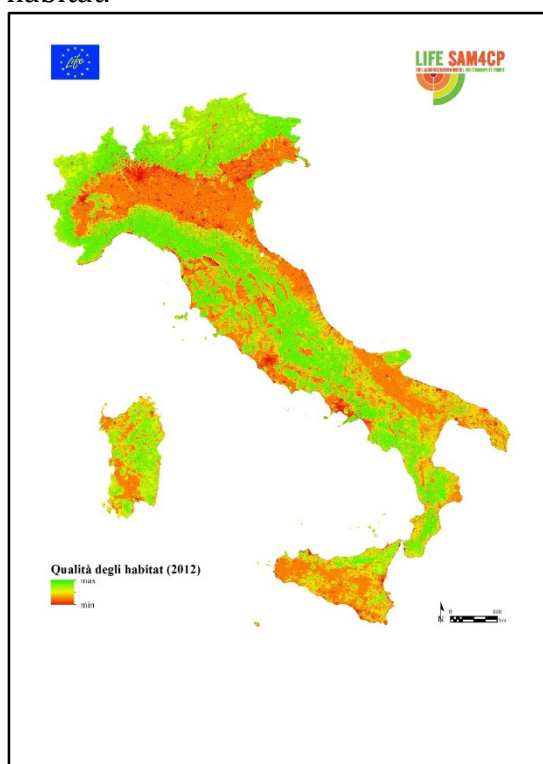
Il modello "Habitat Quality" utilizza la qualità degli habitat come *proxy* della biodiversità ed i rischi di degrado ad essa connessi. Il modello genera due mappe che rappresentano la qualità degli habitat e il loro livello di degrado. Il valore associato ad ogni cella è in relazione alle altre celle dell'area che viene presa in considerazione e quindi non ha unità di misura ma esprime un valore relativo da 0 a 1, che permette semplicemente di fare analisi di tipo comparativo tra pixel diversi. Tale modello non genera quindi *output* di tipo economico, né biofisico, ma solo delle mappe di indici relativi che esprimono le condizioni degli habitat. Pertanto, in un'ottica di analisi integrata dei diversi SE, tali *output* non possono essere analizzati grazie a semplici funzioni di *overlay*, ma richiedono prima la standardizzazione in indici relativi degli altri SE e, solo a valle di tale processo, la loro valutazione congiunta.

La qualità dell'habitat si riferisce alla capacità dell'ecosistema di fornire le condizioni necessarie per la sopravvivenza dell'individuo e della popolazione nel suo complesso, considerata nel medesimo modello come una variabile continua. La qualità dipende inoltre

dalla vicinanza di un habitat agli usi antropici del suolo e dall'intensità di quest'ultimi, intesi dunque come fattori di criticità e minaccia all'integrità e funzionalità degli ecosistemi.

Il modello InVEST determina, quindi, la qualità relativa ad uno specifico habitat in base a quattro fattori: l'impatto di ciascuna minaccia; la sensibilità dei diversi tipi di habitat in relazione a ciascuna minaccia; la distanza degli habitat dalle relative fonti di alterazione dell'equilibrio proprio; la presenza di eventuali vincoli di attori di protezione di qualsiasi tipo (Sharp et al., 2014), quest'ultimo non considerato nell'applicazione del modello.

Per quanto riguarda la carta d'uso del suolo, nel caso del modello Habitat Quality si è proceduto ad una leggera modifica della classificazione tematica, con l'individuazione di 12 habitat.



**Figura 4 - Mappa della qualità degli habitat a scala nazionale**

Gli indicatori che da una parte qualificano le categorie LULC in quanto habitat e che dall'altra caratterizzano le minacce agli stessi (*suitability* dei diversi habitat, *sensitivity to threats*, *maximum distance* e *weight*), sono stati acquisiti grazie ad un approccio *expert based*. È stato somministrato un questionario creato *ad hoc* a più di 80 esperti con background e afferenze differenti (pianificazione urbanistica e territoriale, biologia, ecologia, scienze forestali e agroforestali, pedologia, etc.). Queste figure sono state scelte tra professori, ricercatori e altre figure tecniche ritenute competenti nell'ambito di temi legati alla biodiversità dell'intero panorama nazionale, lasciando la possibilità agli stessi di indicare altri esperti di loro conoscenza a cui sottoporre il questionario. I diversi autorevoli pareri ottenuti sono stati alla fine comparati, mediati e standardizzati per assicurare una valida stima dei coefficienti richiesti (Sallustio et al., 2017).

Al suddetto questionario hanno risposto 41 esperti,

distribuiti in 8 Regioni italiane; si tratta in prevalenza di ricercatori e di personale addetto alle valutazioni ambientali (Valutazione d'Impatto

Ambientale, Valutazione Ambientale Strategica) in seno alle diverse strutture regionali di appartenenza. In figura 4 è rappresentata la qualità degli habitat a livello nazionale con gradazioni di colori dal rosso (*low quality*) al verde (*high quality*).

### 3.5 Purificazione delle acque

Il modello restituisce in output due mappe di capacità di purificazione dell'acqua da parte dell'attuale o futura configurazione d'uso del suolo: una che rappresenta la quantità di inquinanti (azoto e fosforo) che raggiunge il corpo idrico, un'altra che indica invece il carico dei nutrienti che viene assorbito dal capitale naturale. Entrambe le mappe esprimono i quantitativi in termini di kg/pixel.

I dati richiesti dal modello, sono stati ottenuti dopo numerose ricerche e con il coinvolgimento di più esperti afferenti ai vari settori disciplinari interessati dall'indagine. In particolare, i dati sull'agricoltura sono stati ottenuti dal progetto MARSALa (Lupia, 2013), da Tesi & Lenzi

(2005) e dal sito agraria.org mentre i dati sul suolo sono stati scaricati principalmente dal sito del Joint Research Centre.

Per il carico di inquinanti è stata scelta come *proxy* una coltivazione per ogni categoria agricola della carta di uso del suolo. Questo approccio, seppur generale, è stato ritenuto il più adatto per un'applicazione a livello nazionale in termini di tempi di elaborazione, dimensioni della cartella di lavoro del *software* e interpretazione dei risultati. Naturalmente, per un'applicazione a scala locale, una specificazione delle coltivazioni applicate ai vari terreni agricoli renderebbe la stima dei nutrienti più accurata e affidabile.

Molti dati di input utilizzati in formato raster hanno una risoluzione con pixel di lato molto maggiore di 20 m, per questo motivo si è optato per una riclassificazione della carta d'uso ad una risoluzione spaziale di 100 m, onde evitare tempi di processamento eccessivamente lunghi.

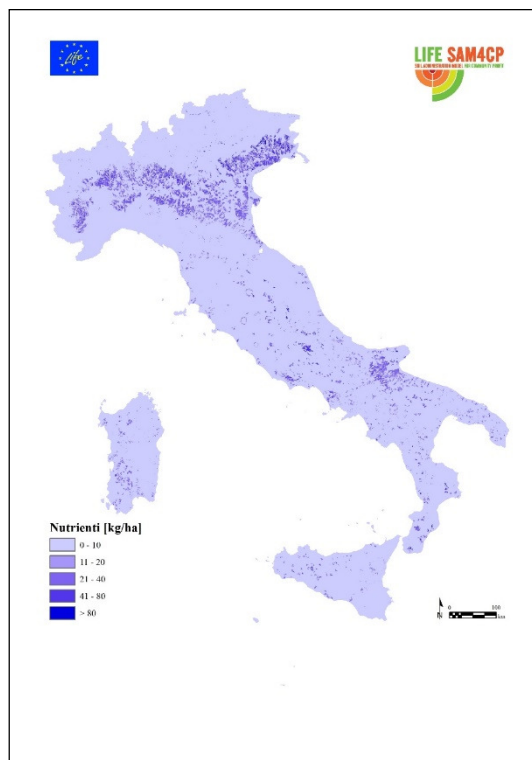


Figura 5 - Mappa dei nutrienti (azoto e fosforo) a scala nazionale che raggiungono i corpi idrici (Kg per ettaro).

### 3.6 Trattenimento dei sedimenti

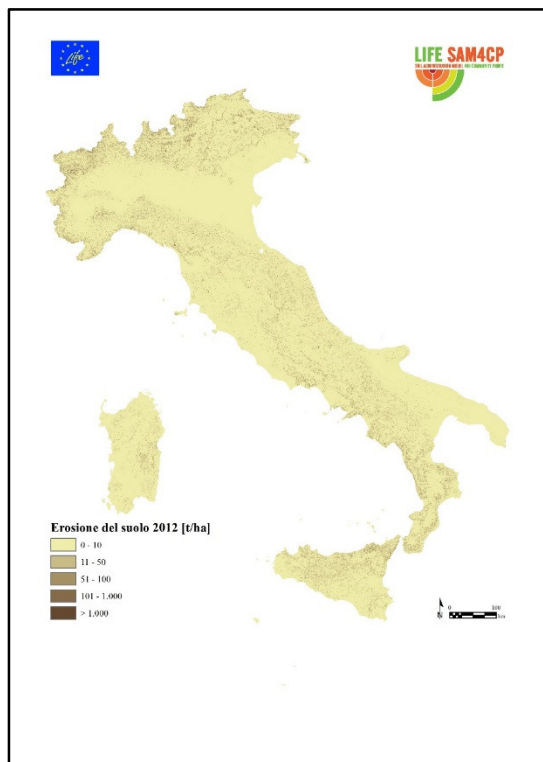


Figura 6 - Mappa dei sedimenti a scala nazionale che raggiungono i corpi idrici (tonnellate per ettaro) complessi.

Il modello restituisce in output le mappe della capacità dei diversi usi del suolo attuali e futuri di evitare l'asportazione di suolo ed il suo accumulo all'interno dei corsi d'acqua utilizzando informazioni relative alla geomorfologia, clima, vegetazione e pratiche di gestione. Il modello di InVEST SDR (*Sediment Delivery Ratio Model*) restituisce mappe che rappresentano la capacità dei diversi usi del suolo di evitare l'asportazione della parte superficiale del terreno, la parte che risulta più ricca di sostanza organica, per mezzo dell'azione delle acque di ruscellamento superficiale e delle piogge. Vengono utilizzate a tal fine informazioni relative alle caratteristiche geologiche, pedologiche, idrologiche, morfologiche e vegetazionali specifiche del territorio, e dati sulle condizioni climatiche alle quali è soggetto.

La perdita annuale di suolo (valore medio del tasso di perdita) è data dall'equazione matematica RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) ovvero la revisione dell'equazione USLE (*Universal Soil Loss Equation*) adattata ad ambiente topografici



Il Sediment Retention model di InVEST applica quindi ad una mappa di uso e copertura del suolo, la formula RUSLE per la valutazione dell'erosione del suolo. I diversi termini dell'equazione sono pubblicati e scaricabili dal sito (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/Data/Datarequest/Rfactor.cfm>) del *Joint Research Centre* (JRC), il quale attualmente fornisce mappe in formato raster (risoluzione spaziale 500 o 250 metri) relative alla stima del tasso di perdita di suolo. Tuttavia, l'utilizzo del modello InVEST, è comunque auspicabile innanzitutto per ottenere mappe ad una risoluzione più alta e in secondo luogo per poter valutare, in un secondo momento, la variazione di tale servizio ecosistemico in relazione a diversi scenari di cambiamento di uso del suolo (reali o ipotizzabili).

Per costruire la tabella dei dati biofisici sono stati utilizzati i raster (250 m) dei fattori *c* e *p* forniti dal JRC. Questi valori, attraverso una *zonal statistics* sono stati successivamente mediati in base alle classi di uso del suolo. La media è stata fatta provvisoriamente a livello nazionale per avere degli output disponibili in tempi consoni a quelli del progetto. Un possibile miglioramento futuro dovrebbe prevedere un'analisi più accurata per il calcolo di *c* e *p* per le classi di uso del suolo mediandoli su scala regionale o, meglio ancora, provinciale.

### 3.7 Abbondanza degli impollinatori

Il modello *Pollinator Abundance - Crop Pollination* di InVEST restituisce come *output* mappe relative al contributo degli impollinatori selvatici alla produzione agricola in funzione dell'attuale configurazione del paesaggio e delle sue eventuali modificazioni nel tempo.

Sono richieste diverse caratteristiche per ciascuna specie di impollinatori considerata: la tipologia di nidificazione, il periodo di attività di impollinazione e il *range* di volo poiché influenza il servizio offerto alle colture. Ai fini dell'accuratezza dell'analisi il suddetto *range* deve essere maggiore rispetto alla dimensione dei pixel della mappa di copertura del suolo: ad esempio utilizzare una mappa con risoluzione pari a 100 metri e una distanza di volo di 150 metri porterà a risultati poco significativi ai fini dell'analisi. Ad ogni categoria di uso del suolo viene inoltre associato un valore che indica l'abbondanza di fiori nei vari periodi dell'anno (con valori compresi fra 0 e 1) e un altro che indica la disponibilità ad ospitare le varie specie in base alla tipologia di nidificazione.

L'analisi effettuata si concentra su 50 specie impollinatrici, scelte in base alla loro diffusione e distribuzione sul territorio italiano. I dati di input sono stati ottenuti grazie a dettagliate ricerche bibliografiche, inoltre, per le specie impollinatrici è stata aggiunta l'altitudine massima raggiungibile suddivisa in 4 fasce (meno di 800 m, da 800 a 1600 m, da 1600 a 2100 m, oltre 2100 m) e le categorie di uso del suolo sono state suddivise in base a tre ecoregioni (alpina, continentale e mediterranea) considerando piante diverse, e quindi periodi di produzione di pollini diverse

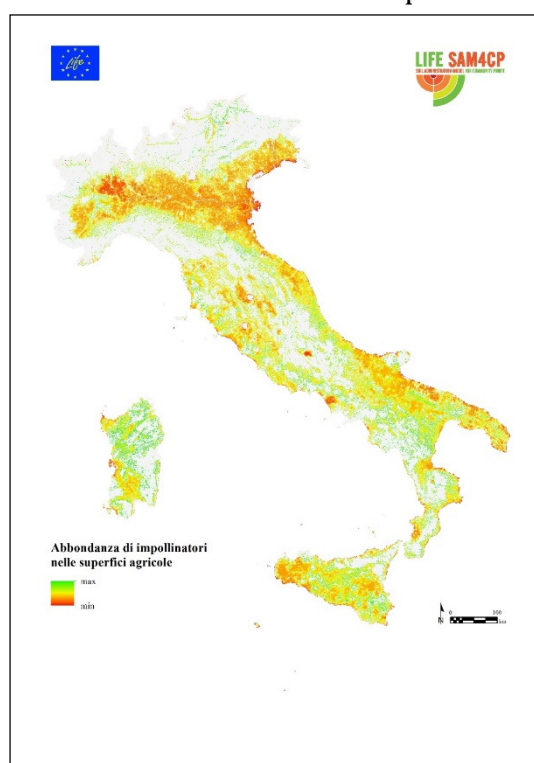


Figura 7 - Mappa dell'indice di abbondanza potenziale degli impollinatori per le superfici agricole.

nel tempo, per ogni ecoregione. Le tabelle finali sono state adattate in modo tale da non perdere queste informazioni negli output finali.

Gli output forniti dal modello sono principalmente due:

- Una mappa che fornisce un indice di abbondanza di impollinatori per ogni cella del raster basato sulla disponibilità della classe di uso del suolo ad ospitare tipologie di nidi idonee per le varie specie e sulla quantità di risorse floreali (cibo) disponibile nelle aree limitrofe
- Una mappa di abbondanza potenziale di impollinatori che potrebbero raggiungere i pixel relativi alle sole superfici agricole (figura 10).

Vista la notevole mole di dati di input delle tabelle (50 specie di impollinatori) e considerando che per ogni specie il modello produce 5 raster temporanei necessari per la stima degli output, i tempi di elaborazione e le dimensioni occupate dalla cartella di lavoro non sono risultati di dimensioni ragionevoli per un'applicazione a scala nazionale con la mappa di uso del suolo a 20 m. Per tali motivi, a scala nazionale, la mappa di uso e copertura del suolo è stata ricampionata a 100 m.

## 4 Abaco delle situazioni omogenee

Partendo dai risultati cartografici ottenuti con l'applicazione dei modelli e dei metodi di stima dei sette servizi ecosistemici presi in considerazione, sono state delineate delle situazioni ritenute omogenee per le caratteristiche e per il valore dei servizi. Ognuno dei sette raster è stato riclassificato in 4 classi:

0 - assenza del servizio ecosistemico;

1 - basso livello di erogazione del servizio ecosistemico;

2 - livello medio di erogazione del servizio ecosistemico;

3 - alto livello di erogazione del servizio ecosistemico.

Una volta esclusa la classe 0, i tre diversi livelli di erogazione sono stati suddivisi in modo tale da avere lo stesso numero di pixel, evitando quindi di avere classi che rappresentassero solo casi molto particolari e poco distribuiti (un esempio pratico è dato dagli output ottenuti per la mitigazione dell'erosione: lo studio di questo servizio ecosistemico, che dipende soprattutto dalla pendenza del territorio, ha prodotto risultati molto elevati esclusivamente in piccole zone di aree montane ed è risultato pressoché nullo nelle aree di pianura).

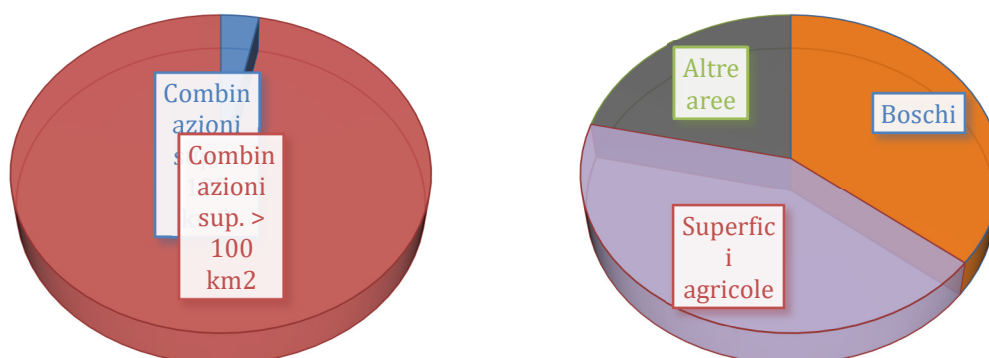
Sono stati quindi sovrapposti i sette layer dei servizi ecosistemici ottenuti su l'intero territorio nazionale, in particolare:

- Carbonio immagazzinato (Car);
- Indice di qualità degli Habitat (QHa);
- Indice di presenza di impollinatori (Imp);
- Produzione agricola (PAg);
- Produzione di legname (PLe);
- Indice di mitigazione dell'erosione (MEr);
- Quantità di nutrienti (azoto e fosforo) che vengono trattiene (PAc - purificazione dell'acqua).

Con la sovrapposizione sono state ottenute 1224 differenti combinazioni tra i valori dei servizi, di queste combinazioni la maggior parte (1025) occupano ognuna una superficie inferiore ai 100 km<sup>2</sup>, meno dello 0,033 % della superficie nazionale, e sono considerate quindi poco rappresentative. Le 199 classi rimanenti possono essere suddivise in tre macro categorie, secondo la copertura del suolo a cui appartengono:

- Boschi (57), in accordo con la metodologia applicata per la valutazione sono state selezionate tutte le combinazioni con un indice di produzione di legname diverso da 0;
- Aree agricole (82), caratterizzate da un valore di produzione agricola diverso da 0;
- Altre aree (60), tutte le combinazioni che non ricadevano nelle altre due classi, come ad esempio le aree impermeabili, le praterie, i corpi idrici, etc.

Nei seguenti grafici si nota come la somma delle superfici di tutte le combinazioni che occupano meno di 100 km<sup>2</sup> (primo diagramma) rappresenta circa il 3 % della superficie italiana, mentre il restante 97 % viene suddiviso nelle tre macro categorie con le percentuali mostrate nel secondo diagramma.



Di seguito (tabella 1) vengono riportate le prime cinque combinazioni di ogni macro categoria, in ordine di superficie occupata in Italia, ottenute con il confronto tra i servizi ecosistemici.

Visto l'elevato livello di naturalità e la presenza esclusiva di alberi che la caratterizza, la categoria dei boschi presenta i valori più alti sia di immagazzinamento di carbonio che di qualità degli habitat, un livello medio – alto di presenza di impollinatori e, ovviamente, tutti i valori diversi da 0 di produzione legnosa.

I modelli della mitigazione dell'erosione e del servizio ecosistemico di purificazione dell'acqua sono fortemente influenzati dalla pendenza del suolo, hanno valori per lo più concentrati nella zona alpina e di conseguenza le combinazioni più diffuse, che si tratti di boschi, di aree agricole o di altre aree, riportano i livelli più bassi dei suddetti servizi.

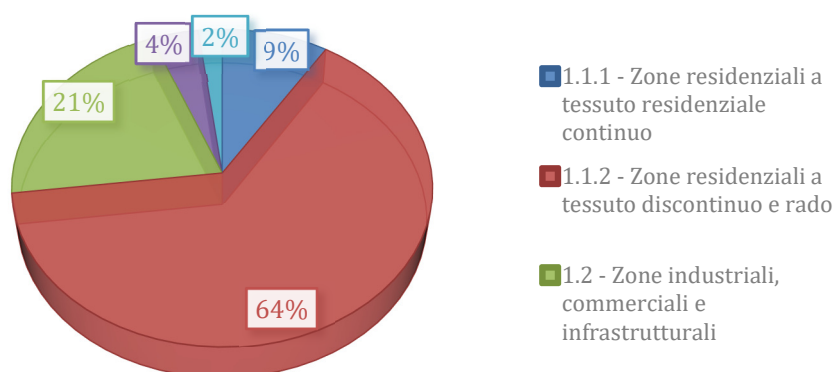
Le superfici agricole omogenee più diffuse presentano livelli medi di qualità degli habitat e bassi livelli di stoccaggio di carbonio.

Le combinazioni rimanenti occupano in gran parte le aree impermeabili e tutti i corpi idrici, rappresentano una scarsa riserva di carbonio (nel processo utilizzato non viene considerato il carbonio immagazzinato nella vegetazione dei corpi idrici, il cosiddetto "carbonio blu"), la qualità degli habitat è relativamente bassa nelle superfici artificiali mentre aumenta per le acque e il livello di presenza di impollinatori è medio alto.

**Tabella 1 - Macrocategorie, in ordine di superficie occupata in Italia, ottenute con il confronto tra i servizi ecosistemici**

Macro categoria	Car	QHa	Imp	PAg	PLe	MEr	PAC	Sup. (km <sup>2</sup> )	% sup. nazionale
Boschi	3	3	3	0	2	1	1	13755	4,56
	3	3	3	0	3	1	1	13616	4,51
	3	3	3	0	1	1	1	12204	4,04
	3	3	2	0	3	1	1	8001	2,65
	3	3	2	0	2	1	1	7949	2,63
Superfici agricole	1	2	2	1	0	1	1	12772	4,23
	2	2	1	2	0	1	1	11678	3,87
	1	2	1	1	0	1	1	9829	3,26
	1	2	1	2	0	1	1	9491	3,14
	2	2	1	3	0	1	1	9072	3,00
Altre aree	0	1	2	0	0	1	1	12341	4,09
	1	2	3	0	0	1	1	8232	2,73
	1	1	2	0	0	1	1	4542	1,50
	2	2	3	0	0	1	1	4297	1,42
	1	2	2	0	0	1	1	4129	1,37

Un'ulteriore analisi è stata eseguita sulle zone urbane. La superficie totale delle aree artificiali rappresenta, secondo il CORINE Land Cover del 2012, il 5,17 % dell'intero territorio nazionale, ed è così suddivisa:



Con la spazializzazione dei dati rispetto a queste classi è stata ottenuta la tabella 2, in cui sono riportate le cinque combinazioni più frequenti per le categorie di uso del suolo, la superficie occupata, la percentuale di superficie rispetto al totale di ciascuna classe CORINE a livello nazionale e rispetto al totale occupato da quella specifica combinazione di servizi ecosistemici sempre a livello nazionale.

Considerando che sono state selezionate zone urbane estese e che il modello dell'impollinazione non considera diversi parametri importanti per la presenza potenziale di impollinatori, come ad esempio l'inquinamento, l'estensione dell'area urbana, la vicinanza alle aree agricole, per il servizio ecosistemico dell'impollinazione è stato preso e inserito il

secondo output del modello: l'indice potenziale di abbondanza di impollinatori che raggiungono un'area agricola, che non viene ovviamente calcolato sulle superfici non agricole. Le combinazioni prevalenti per ogni classe sono tra loro molto simili, e in particolare le prime due rappresentano quasi sempre più del 60 % del totale. Si possono riconoscere quindi delle caratteristiche comuni di erogazione dei servizi ecosistemici che rappresentano determinate superfici artificiali.

Una eterogeneità leggermente più marcata è visibile nella classe 1.4, zone verdi artificiali non agricole, probabilmente dovuta sia alla esigua estensione totale (0,13 % circa della superficie nazionale) che non ne permette una caratterizzazione completa, sia alla definizione stessa della classe che, al terzo livello, è suddivisa in aree verdi urbane (1.4.1) e aree ricreative e sportive (1.4.2), due classi con un impatto ambientale e delle caratteristiche nettamente differenti.

**Tabella 2 - Combinazioni più frequenti per le categorie di uso del suolo, la superficie occupata, la percentuale di superficie rispetto al totale di ciascuna classe CORINE a livello nazionale e rispetto al totale occupato da quella specifica combinazione di servizi ecosistemici a livello nazionale**

CORINE LC	Car	QHa	Imp	PAG	PLe	MEr	PAC	Sup. (km <sup>2</sup> )	% classe CLC	% della comb.
111 Zone residenziali a tessuto continuo	0	1	0	0	0	1	1	815	58,24	6,28
	0	1	0	0	0	0	0	221	15,80	8,39
	1	1	0	0	0	1	1	169	12,04	2,84
	1	1	0	0	0	0	0	44	3,16	3,56
	0	1	0	0	0	1	0	36	2,56	14,11
112 Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	0	1	0	0	0	1	1	4286	42,83	33,01
	1	1	0	0	0	1	1	2527	25,25	42,60
	0	1	0	0	0	0	0	887	8,87	33,65
	1	1	0	0	0	0	0	524	5,24	42,15
	1	2	0	0	0	1	1	200	2,00	1,31
12 Zone industriali, commerciali e infrastrutturali	0	1	0	0	0	1	1	1581	48,41	12,18
	1	1	0	0	0	1	1	798	24,44	13,46
	0	1	0	0	0	0	0	349	10,68	13,23
	1	1	0	0	0	0	0	170	5,20	13,66
	0	1	0	0	0	0	1	37	1,13	13,62
13 Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati	0	1	0	0	0	1	1	218	38,73	1,68
	1	1	0	0	0	1	1	158	28,12	2,67
	0	1	0	0	0	0	0	30	5,29	1,13
	1	1	0	0	0	0	0	25	4,50	2,04
	1	2	0	0	0	1	1	23	4,02	0,15
14 Zone verdi artificiali non agricole	1	1	0	0	0	1	1	133	34,11	2,24
	1	1	0	0	0	0	0	54	13,91	4,36
	0	1	0	0	0	1	1	42	10,71	0,32
	0	1	0	0	0	0	0	23	5,92	0,87
	3	2	0	0	3	1	1	22	5,68	0,57



In base ai colori si riconoscono le stesse combinazioni prevalenti che si ripetono in tutte le categorie; generalizzando, le aree urbane sono quindi caratterizzate da un livello praticamente nullo di produzione agricola, di produzione di legname e di impollinazione e bassi livelli per tutti gli altri servizi ecosistemici presi in considerazione.

Facendo la somma delle percentuali rispetto alla superficie totale della combinazione a livello nazionale (ultima colonna), ad esempio delle righe colorate in verde in tabella 2, si ottengono valori maggiori del 50%. Una percentuale decisamente alta considerando che nell'analisi molte aree impermeabili sono state scartate per la differente risoluzione tra il CLC, che ha un'unità minima mappabile di 25 ettari, e la cartografia di base utilizzata per la stima dei servizi ecosistemici, in formato raster con una risoluzione di 20 m.

## 5 Bibliografia

Alberti G, Leronni V, Piazzini M, Petrella F, Mairota P, Peressotti A, Piussi P, Valentini R, Gristina L, La Mantia T, Novara A, Rühl J. (2011) Impact of woody encroachment on soil organic carbon and nitrogen in abandoned agricultural lands along a rainfall gradient in Italy. *Reg Environ Change* 2011; 11: 917- 924. doi: 10.1007/s10113-011-0229-6

Andersson E., McPhearson T., Kremer P., Gomez-Baggethun E., Haase D., Tuvendal M., Wurster D. (2015). Scale and context dependence of ecosystem service providing units, *Ecosystem Services*, Volume 12, April 2015, Pages 157-164, ISSN 2212-0416, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.08.001>.

Chiti T, Gardin L, Perugini L, Quarantino R, Vaccari FP, Miglietta FR, Valentini R. (2012) Soil organic carbon stock assessment for the different cropland land uses in Italy. *Biol Fertil Soils* 2012; 48: 9-17. doi: 10.1007/s00374-011-0599-4

Congedo L., Sallustio L., Munafò M., Ottaviano M., Tonti D., Marchetti M. (2016). Copernicus High Resolution Layers for land cover classification in Italy. *Journal of Maps*, <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2016.1145151>

Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (6630): 253- 260.

Daily G.C. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington DC, 392 pp. ISBN 1-55963-475-8.

De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemen L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7 (3): 260- 272.

De Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3): 393- 408.

Dick J., Maes J., Smith R.I., Paracchini M.L., Zulian G. (2014). Cross-scale analysis of ecosystem services identified and assessed at local and European level, *Ecological Indicators*, Volume 38, March 2014, Pages 20-30, ISSN 1470-160X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.023>.

Di Cosmo, L., Gasparini, P., & Tabacchi, G. (2016). A national-scale, stand-level model to predict total above-ground tree biomass from growing stock volume. *Forest Ecology and Management*, 361, 269–276. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.008>

Everard M., Dick J., Kendall H., Smith R., Slee B., Couldrick L., Scott M., McDonald C. (2014). Improving coherence of ecosystem service provision between scales, *Ecosystem Services*, Volume 9, September 2014, Pages 66-74, ISSN 2212-0416, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.04.006>.

Gasparini P, Tabacchi G. (2011). *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*. 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. Edagricole-Il Sole 24 ore, Bologna. 653 pp.

IPCC (International Panel on Climate Change (2003). Good practice guidance for land Use, land use change and forestry 2003. Retrieved from <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html>

IPCC (International Panel on Climate Change) (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) 2006. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

ISPRA (2014). Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2012. National Inventory Report 2014. ISPRA, Rapporti 198/14. ISBN 978-88-448-0654-5 (2014). Retrieved from <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/italian-greenhouse-gas-inventory-1990-2012-national-inventory-report-2014>

Kremen C. (2005). Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? Ecology Letters, 8 (5): 468- 479.

Luck G.W., Harrington R., Harrison P.A., Kremen C., Berry P.M., Bugter R., Dawson T.P., de Bello F., Díaz S., Feld C.K., Haslett J.R., Hering D., Kontogianni A., Lavorel S., Rounsevell M., Samways M.J., Sandin L., Settele J., Sykes M.T., van den Hove S., Vandewalle M., Zobel M. (2009). Quantifying the Contribution of Organisms to the Provision of Ecosystem Services. BioScience, 59 (3): 223- 235.

Lupia, F. (2013). MARSALA - A Model-based irrigation water consumption estimation at farm level. INEA, 2013.

MA, Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and human well-being: current state and trends. Island Press, Washington DC, 23 pp.

Mace G.M., Norris K., Fitter A.H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. Trends in Ecology & Evolution, 27 (1): 19- 26.

Malinga R., Gordon L.J., Jewitt G., Lindborg R. (2015). Mapping ecosystem services across scales and continents – A review, Ecosystem Services, Available online 29 January 2015, ISSN 2212-0416, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.01.006>

Pelorusso R., Gobattoni F., Geri F., Monaco R., Leone A. (2015). Evaluation of Ecosystem Services related to Bio-Energy Landscape Connectivity (BELC) for land use decision making across different planning scales, Ecological Indicators, Available online 13 February 2015, ISSN 1470-160X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.016>.

Roces-Díaz J.V., Díaz-Varela E.R., Álvarez-Álvarez P. (2014). Analysis of spatial scales for ecosystem services: Application of the lacunarity concept at landscape level in Galicia (NW Spain), Ecological Indicators, Volume 36, January 2014, Pages 495-507, ISSN 1470-160X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.010>.

Sallustio L., Quatrini V., Geneletti D., Corona P., Marchetti M. (2015). Assessing land take by urban development and its impact on carbon storage: Findings from two case studies in Italy. Environmental Impact Assessment Review, 54: 80-90. doi:10.1016/j.eiar.2015.05.006.

Sallustio L., De Toni A., Strollo A., Di Febbraro M., Gissi E., Casella L., Geneletti D., Munafò M., Vizzarri M., Marchetti M., (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. Journal of Environmental Management 201 (2017), pp. 129-137.

Sharp R., Chaplin-Kramer R., Wood S., Guerry A., Tallis H., Ricketts T. (2014). InVEST 3.1.1 User's Guide.

Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, 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., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M., Mandle, L., Griffin, R., Hamel, P., Chaplin-Kramer, R. (2013). InVEST 2.6.0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, Stanford.

TEEB (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Retrieved from: <http://www.teebweb.org>

Tesi, R., Lenzi, A. (2005). Nutrizione azotata per un'orticoltura sostenibile. Italus Hortus12(1), 57-73, review n.1.