



PROVINCIA
DI LODI

Provincia di Lodi

Piano Cave

Relazione sui servizi ecosistemici

Timbro e firma del professionista responsabile



Codice Commessa		Codice Elaborato/Nome File		Numero Elaborato
1882-2020-DF		1882-2020-DF-9A-RTA1		9
Rev.	Redatto	Verificato (RGC)	Approvato (DT)	Data
01	Murgese/Cimini	Fazio	Quaglio	12/2021
02bis/a	Murgese/Cimini	Fazio	Quaglio	12/2021
03	Murgese/Cimini	Fazio	Quaglio	01/2025

STUDIO DI INGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA

Ing. Sandro Gennaro

Fraz. Valmaggione 79/4 - 14100 ASTI
CF GNNSDR78S22B885T - P.IVA 09052210011
gennarosandro@gmail.com -
sandro.gennaro@ingpec.eu
Mob. +39 328 326 97 13

SEAcop STP

Servizi per gli ecosistemi e le attività Agro-forestali e ambientali

SEDI E UFFICI:

C.so Palestro, 9 10122 Torino
Tel: 011/3290001 fax: 011/366844
Corso Italia 9, 12084 Mondovì (CN)
C.F. / P. IVA / C.C.I.A.A.
n. 04299460016
Albo Soc. coop n. A121447

web: www.seacop.com
mail: info@seacop.com



**STUDIO DI INGEGNERIA AMBIENTALE
E MINERARIA**

Ing. Sandro Gennaro

Fraz. Valmaggione 79/4 - 14100 ASTI
CF GNNSDR78S22B885T - P.IVA 09052210011
gennarosandro@gmail.com -
sandro.gennaro@ingpec.eu
Mob. +39 328 326 97 13

SEAc coop STP

Servizi per gli ecosistemi e le attività Agro-forestali e ambientali

SEDI E UFFICI:

C.so Palestro, 9 10122 Torino
Tel: 011/3290001 fax: 011/366844
Corso Italia 9, 12084 Mondovì (CN)
C.F. / P. IVA / C.C.I.A.A.
n. 04299460016
Albo Soc. coop n. A121447

web: www.seacoop.com
mail: info@seacoop.com



INDICE

1 Premessa	1
2 Metodologia di valutazione dei Servizi Ecosistemici	5
2.1 Sequestro del carbonio	5
2.2 Biodiversità e Qualità degli habitat	6
2.3 Produzione agricola	7
2.4 Capacità di ritenzione idrica	7
2.5 Impollinazione	7
2.6 Benefici sociali	8
3 Risultati	10
3.1 Sequestro del carbonio	10
3.2 Biodiversità e Qualità degli habitat	11
3.3 Produzione agricola	11
3.4 Capacità di ritenzione idrica	13
3.5 Impollinazione	14
3.6 Benefici sociali	15
4 Considerazioni finali	17
5 Bibliografia	19

1 Premessa

I Servizi Ecosistemici (SE) corrispondono alle funzioni degli ecosistemi che determinano dei benefici per la comunità umana (Millenium Ecosystem Assessment, 2005)¹. Esistono differenti sistemi di classificazione dei SE, riconosciute a livello internazionale. Al fine di definire una corrispondenza univoca tra le differenti tipologie esistenti, l'Unione Europea, tramite l'Agenzia Ambientale Europea (EEA), ha definito un sistema di classificazione (EEA, 2018)², soggetto a periodico aggiornamento: il sistema CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) nella versione attuale 5.1.

Secondo questo sistema di classificazione vengono distinte tre macrocategorie:

- i SE di approvvigionamento, che garantiscono la fornitura di cibo, acqua e materie prime;
- i SE di regolazione, che concernono la funzione regolatrice delle caratteristiche chimico-fisiche e biotiche delle componenti ambientali (es. regolazione della qualità dell'aria, dell'acqua, del suolo, protezione dai rischi naturali, delle avversità biotiche, ecc.);
- i SE culturali, che derivano dalle interazioni fisiche, intellettuali, emotive tra uomo e sistemi viventi (es. paesaggio, fruizione ricreativa).

A monte di queste macrocategorie vi sono i SE di supporto, che sono quelli necessari per la produzione di tutti gli altri e contribuiscono alla conservazione (in situ) della diversità biologica e genetica e dei processi evolutivi (es. produzione primaria, pedogenesi, ciclo dei nutrienti).

Nell'ambito delle tre macrocategorie (di approvvigionamento, di regolazione, culturali) la classificazione CICES distingue novanta diversi possibili SE.

Nel corso degli ultimi venti anni sono state condotte numerose ricerche finalizzate alla valutazione biofisica dei servizi ecosistemici (Bordt and Saner, 2018), basate sulla misurazione dei flussi generati dagli ecosistemi. Queste analisi sono state accompagnate da valutazioni economiche dei flussi misurati. La valutazione economica dei servizi ecosistemici consente una comparazione tra metriche differenti, legate a processi diversi tra loro, che espressi in termini monetari consentono un'analisi complessiva dei benefici connessi ad un determinato ambiente.

¹ Millenium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington DC

² EEA. 2018. Common International Classification of Ecosystem Services [WWW Document]. URL <https://cices.eu/>

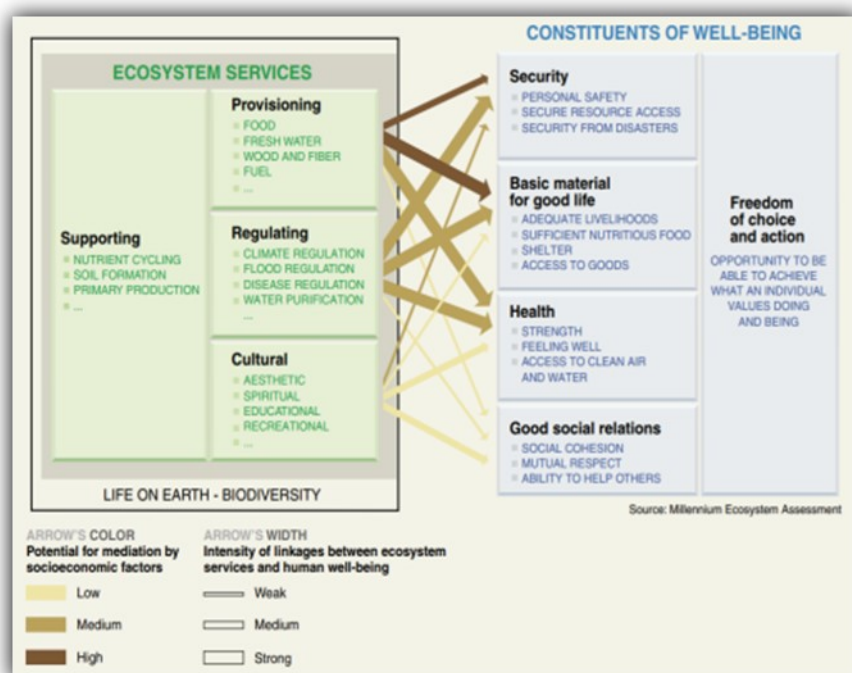


Figura 1 – Relazioni tra le differenti tipologie di SE con indicazione dei benefici derivanti per la comunità umana

Da questo tipo di valutazioni sono esclusi i SE di supporto, poiché la loro relazione con la componente socioeconomica è indiretta in quanto mediata dalla relazione diretta che lega le comunità umane ai SE di approvvigionamento, di regolazione e culturali (si veda lo schema precedente). Il loro contributo è pertanto implicitamente valutato considerando le altre tre macrocategorie.

Le tecniche di valutazione economica sono differenti, in funzione della scala dell'analisi, del tipo di processo considerato e della disponibilità di dati di riferimento. Una sintesi delle modalità di valutazione è fornita nella figura seguente.



Figura 2 – Metodi di valutazione economica dei SE

La selezione dei SE oggetto di valutazione è stata condotta seguendo l'approccio proposto in Burkhard *et al.* (2014)³ e Schirpke *et al.* (2013)⁴.

Pertanto, è stata sviluppata una matrice di valutazione per l'analisi e definizione, in termini qualitativi, dei servizi ecosistemici di maggior interesse per l'area di studio. Tale matrice pone a confronto le classi di uso del suolo e le diverse tipologie di servizi ecosistemici da esse erogabili, permettendo di individuare un insieme di SE tra i quali selezionare quelli maggiormente indicati e utili al processo di VAS. Di questi è stata quindi condotta una valutazione espressa in termini biofisici.

La selezione ha consentito di individuare i SE indicati nella tabella seguente facendo riferimento alla classificazione CICES V5.1, a supporto del Rapporto Ambientale e, in particolare, ai fini della definizione di linee di indirizzo e la valutazione degli effetti delle modalità di recupero ambientale delle aree estrattive.

Tabella 1 - Servizi Ecosistemici oggetto della valutazione (classificazione CICES V5.1.)

Servizio Ecosistemico	Sezione	Divisione	Gruppo	Classe	Codice
Sequestro del carbonio	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Atmospheric composition and conditions	Regulation of chemical composition of atmosphere and oceans	2.2.6.1
Biodiversità e Qualità degli habitat	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Maintaining nursery populations and habitats (Including gene pool protection)	2.2.2.3
Regolazione delle acque (ricarica delle falde)	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Hydrological cycle and water flow regulation (Including flood control, and coastal protection)	2.2.1.3
Impollinazione	Regulation & Maintenance (Biotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Pollination (or 'gamete' dispersal in a marine context)	2.2.2.1
Produzione agricola	Provisioning (Biotic)	Biomass	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Cultivated terrestrial plants (including fungi, algae) grown for nutritional purposes	1.1.1.1
Valore ricreativo (ecoturismo, attività all'aperto)	Cultural (Biotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that are resonant in terms of culture or heritage	3.1.2.3

³ Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F. 2014. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape online*, 34, 1-32.

⁴ Schirpke, U., Scolozzi, R., De Marco, C. 2013. Analisi dei servizi ecosistemici nei siti pilota. Parte 4: Selezione dei servizi ecosistemici. Report del progetto Making Good Natura (LIFE+11 ENV/IT/000168), EURAC research, Bolzano, p. 43

La valutazione dei suddetti SE è stata effettuata mediante la suite di modelli InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) ver. 3.10.2., sviluppato dal Natural Capital Project, che permette di valutare e mappare i SE erogati da un territorio. Il software utilizza come dato di base comune a tutti i modelli la mappa di uso e copertura del suolo (Land Use/Land Cover) e dati di input geografici e alfanumerici specifici a seconda del modello di valutazione considerato.

Pertanto, come fase preliminare all'intero processo di valutazione, si è proceduto alla definizione dei seguenti scenari di uso del suolo:

a) scenario *ex-ante*: rappresentante lo scenario definito dall'uso del suolo attuale. A tal fine sono stati utilizzati i tematismi "Uso e copertura del suolo 2018" (DUSAF 6.0 - Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e forestali) e "Carta dell'uso agricolo 2019" (SIARL). Quest'ultima per i soli SE "Produzione agricola" e "Impollinazione";

b) scenario *ex-post*: relativo ad uno uso del suolo caratterizzato dalle seguenti tre modalità di recupero ambientale: (1) ripristino dell'agroecosistema, (2) ripristino naturalistico, (3) espansione del lago di cava. A tal fine è stato prodotto uno *shapefile* dell'uso del suolo basato sulla classificazione adottata nel DUSAF 6.0 e coerente con le tipologie di recupero come riportato nella tabella seguente.

Tabella 2 - Scenario *ex-post*: classi di uso del suolo

CODICE DUSAF	CLASSE DI USO DEL SUOLO	TIPOLOGIE DI RECUPERO AMBIENTALE
2112	Seminativi arborati	Ripristino dell'agroecosistema
3113	Formazioni ripariali	Ripristino naturalistico
31111	Boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo	
5123	Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda	Espansione del lago

La valutazione dei SE in oggetto è stata condotta a scala di Ambito Territoriale Estrattivo (ATE) relativamente allo scenario *ex-ante* (corrispondente alla situazione attuale, che definisce la *baseline*) e allo scenario di uso del suolo *ex-post* (corrispondente alla configurazione nella quale gli interventi di ripristino ambientale sono completati). Per questo scenario si è fatto pertanto riferimento agli interventi di ripristino di aree boscate e il recupero ad uso agricolo per produzione prevalentemente orticola con pratiche a basso impatto ambientale. Di seguito vengono illustrate le metodologie ed i risultati della valutazione proponendo il confronto tra i due scenari.

2 Metodologia di valutazione dei Servizi Ecosistemici

2.1 Sequestro del carbonio

Il SE “Sequestro del carbonio” è stato valutato mediante il modello “Carbon” (InVEST ver. 3.10.2.). L’applicativo stima il quantitativo di carbonio atmosferico assorbito e stoccato (espresso in tCorg/ha) in funzione del carbonio presente nei quattro principali *pools* associati a diverse forme d’uso e copertura del suolo. I *pools* di carbonio potenzialmente considerabili ai fini della stima sono quattro: (1) Biomassa epigea, (2) Biomassa ipogea, (3) Suolo e (4) Lettiera. Come detto, il dato geografico di input è rappresentato dalla mappa di uso e copertura del suolo, nello specifico è stato utilizzato, in riferimento all’uso del suolo attuale, il DUSAF 6.0 (2018) formato raster con risoluzione a 5 metri. Per lo scenario *ex-post* l’uso del suolo è quello relativo agli interventi di recupero ambientale previsti per le aree estrattive, anch’esso in formato raster e a risoluzione 5 metri. Per ogni modellazione l’applicativo “Carbon” calcola una differenza in stock di carbonio sequestrato tra due scenari di riferimento. Alla luce di ciò, la valutazione è stata condotta mediante confronto tra lo scenario da esaminare, corrispondente alla condizione *ex-ante* o alla condizione *ex-post*, ed uno scenario ipotetico di confronto, caratterizzato da un uso del suolo che esprime valori di stoccaggio del carbonio nulli. Per i valori di densità del carbonio organico per unità di superficie nei quattro *pools* delle diverse tipologie di coperture del suolo si è fatto riferimento a dati di letteratura. In particolare, per la determinazione dello stock riferito alla biomassa epigea sono stati considerati i valori calcolati su base dendrometrica per differenti coperture del territorio italiano (Gasparini *et al.*, 2013⁵), mentre la biomassa ipogea è stata stimata mediante l’impiego di valori relativi al rapporto tra massa epigea e massa ipogea (*root-to-shoot ratio*). Per i valori relativi al *pool* “suolo” (considerando una profondità di 0.3 m) si è fatto riferimento a quanto indicato in “*Il ruolo dell’agricoltura conservativa nel bilancio del carbonio*. Quaderni della ricerca, n. 153. Regione Lombardia”. Infine, in ragione dello scopo dello studio, si è assunto che il contributo del legno morto, come di eventuali prodotti legnosi (*harvested wood products*, HWP) potesse essere considerato trascurabile.

⁵ 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

2.2 Biodiversità e Qualità degli habitat

La stima del servizio ecosistemico relativo alla conservazione della biodiversità e alla qualità degli habitat è stata realizzata mediante il modello “Habitat Quality” (InVEST ver. 3.10.2.). Il modello considera la qualità degli habitat come la capacità di un determinato ecosistema di fornire condizioni adatte alla presenza e persistenza di un individuo e di una popolazione, e come tale, la qualità degli habitat viene considerata un indicatore *proxy* di biodiversità e dello stato ecologico. La valutazione della qualità degli habitat viene realizzata a partire dalla copertura del suolo e prendendo in esame molteplici parametri. In particolare, similmente all’approccio seguito in altre ricerche relative al territorio in esame (Salata *et al.*, 2017)⁶, sono stati identificati i possibili fattori di minaccia, rappresentati da categorie di uso del suolo associate a un maggior grado di artificialità e di interruzione della continuità degli habitat (es. strade, urbanizzato, o altre forme di copertura artificiale del suolo). Per ciascuno di tali fattori è stata definita la massima distanza (espressa in chilometri) alla quale tale fattore è in grado di esercitare un’azione di interferenza, l’importanza relativa di ciascun fattore rispetto alla qualità degli habitat – range [0,1] – e la funzione di decadimento degli effetti in relazione alla distanza (binaria: lineare o esponenziale). Inoltre, per ciascuna classe di uso del suolo è stato definito il valore di habitat – range [0,1] – e la sensibilità – range [0,1] – rispetto a ciascuno dei fattori di minaccia considerati valutata sulla base di quanto indicato da (Ingegnoli e Giglio, 2008)⁷ ed in coerenza con quanto proposto da Salata *et al.* (2017). Infine, si è proceduto alla definizione del parametro accessibilità relativo alle aree soggette a forme di tutela e protezione ai fini ambientali nell’ambito del territorio considerato. A tal fine sono stati presi in esame i siti della Rete Natura 2000 (SIC e ZPS), le aree naturali protette (Parchi nazionali e regionali), le aree prioritarie per la biodiversità, gli elementi della rete ecologica regionale di primo e secondo livello e i parchi locali di interesse sovracomunale (PLIS). Sono stati attribuiti coefficienti di accessibilità, secondo un range compreso tra 0 (massima protezione) e 1 (minima protezione e piena accessibilità). Il modello restituisce un indice relativo di qualità degli habitat (Habitat Quality Index) avente valori compresi tra 0 e 1.

⁶ Salata, S., Ronchi, S., Arcidiacono, A., Ghirardelli, F. (2017) Mapping Habitat Quality in the Lombardy Region, Italy. One Ecosystem 2: e11402. <https://doi.org/10.3897/oneeco.2.e11402>

⁷ Ingegnoli, V., Giglio, E. (2008). Landscape biodiversity changes in forest vegetation and the case study of the Lavazé Pass (Trentino, Italy). *Annali di botanica* 8: 21-29.

2.3 Produzione agricola

La valutazione del SE “Produzione agricola” è stata condotta mediante l’applicativo InVEST “Crop Production” (InVEST ver. 3.10.2.). Nello specifico è stato applicato il modello percentile che stima la produzione totale, espressa in tonnellate, e la produzione totale annua (ton/anno) a partire dall’uso del suolo e dalle serie definite sulla base dei dati indicati da Monfreda *et al.* 2008⁸. La stima del servizio ecosistemico è stata condotta utilizzando, per lo scenario *ex-ante*, la Carta dell’uso agricolo. Per lo scenario *ex-post* è stato considerato l’uso del suolo relativo agli interventi di recupero ambientale; entrambi i dati sono stati prodotti in formato raster e con risoluzione a 5 metri.

2.4 Capacità di ritenzione idrica

Per la stima del SE “Capacità di ritenzione idrica” è stato impiegato il modello “Seasonal Water Yield” (InVEST ver. 3.10.2.). L’applicativo stima la capacità di ritenzione del terreno in funzione della topografia e della classe di uso del suolo. Nel caso in esame sono stati utilizzati i seguenti dati geografici di input: mappe di uso e copertura del suolo relative agli scenari *ex-ante* ed *ex-post* (formato raster– risoluzione a 5 metri), modello digitale del terreno (DTM con risoluzione a 5 metri), limiti dei bacini idrografici dell’area di studio (formato vettoriale), precipitazione media mensile (formato raster– risoluzione a 5 metri), evapotraspirazione potenziale (ET0) mensile (formato raster– risoluzione a 5 metri), gruppi idrologici dei terreni (formato raster– risoluzione a 5 metri). Inoltre, è stata prodotta la matrice dei valori di curve number, uno per ciascun gruppo idrologico potenzialmente previsto (da A a D), e del coefficiente colturale (kc) per le categorie di uso del suolo di tipo agricolo. Il modello restituisce dal bilancio idrologico a partire dai valori di precipitazione, deflusso superficiale ed evapotraspirazione.

2.5 Impollinazione

La valutazione del servizio ecosistemico di impollinazione è stata svolta tramite il modello “Crop Pollination” (InVEST 3.10.2.) a partire dall’uso del suolo, rappresentato anche in questo caso dalla Carta dell’uso agricolo (scenario *ex-ante*) e l’uso del suolo futuro (scenario *ex-post*) in formato raster e con risoluzione a 5 metri. Il modello permette di calcolare il valore del servizio

⁸ Monfreda, C., Ramankutty, N., Foley, J. 2008. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Biogeochemical Cycles*, Vol.22, GB1022. doi:10.1029/2007GB002947.

ecosistemico conoscendo i tipi di coltura, la loro dipendenza dall'impollinazione, la presenza e il comportamento degli impollinatori e alcune altre variabili relative alla disponibilità dei siti di nidificazione per gli insetti impollinatori. Ai fini della valutazione sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti e i dati biofisici: (1) copertura del suolo con un grado di risoluzione sufficientemente fine da risultare compatibile con le distanze coperte in volo dai principali impollinatori; (2) valori biofisici di rilievo per gli impollinatori (indice di disponibilità di aree di nidificazione, abbondanza e stagionalità della fioritura, ecc.), associati a ciascuna classe di copertura del suolo; (3) valori relativi alla tipologia, abbondanza, mobilità ecc. dei singoli impollinatori considerati; (4) file vettoriale con dati relativi alle colture agricole nonché al livello di dipendenza dagli impollinatori valutata ed in coerenza con quanto indicato da Klein *et al.* 2007⁹. Il modello restituisce, per le diverse tipologie di colture considerate, l'aliquota di produzione agricola totale attribuibile all'attività degli impollinatori selvatici espressa dall'indice y_{wild} .

2.6 Benefici sociali

Ai fini della stima dei benefici sociali si è fatto ricorso a una versione rivista del modello per la valutazione dei servizi ecosistemici culturali (in particolare del valore turistico-ricreativo) presente nella suite ESTIMAP sviluppata dal Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea (Zulian *et al.*, 2013)¹⁰. Secondo quanto previsto dal suddetto modello, e tenendo conto degli aggiustamenti fatti da Cortinovis *et al.* (2018), i benefici sociali associati al valore ricreativo possono essere valutati sulla base di tre dimensioni principali:

- **potenziale ricreativo** di una determinata area derivante dalla somma di tre diverse componenti: (1) classi d'uso del suolo attualmente presenti all'interno dell'area di studio; (2) caratteristiche naturali (es. prossimità a corsi d'acqua, presenza di alberi monumentali, ecc.); (3) infrastrutture verdi urbane (classi di dimensioni area verde o caratteri specifici della stessa es. giardino/parco storico). Questi elementi sono stati espressi in forma di punteggio, ricalibrato a partire dai valori disponibili in Cortinovis *et al.* (2018)¹¹. I tre valori sono stati quindi aggregati come somma normalizzata.

⁹ Klein, A. M. et al. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), 303-313.

¹⁰ Zulian, G., Paracchini, M.L., Maes, J., Liqueste, C. 2013. ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. JRC Technical Reports. European Commission, Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, Ispra (VA) - Italy.

¹¹ Cortinovis, C., Zulian, G., Geneletti, D. 2018. Assessing Nature-Based Recreation to Support Urban Green Infrastructure Planning in Trento (Italy). *Land* 2018, 7, 112; doi: <https://doi.org/10.3390/land7040112>

- **accessibilità e fruibilità** di una determinata area, derivante dalla somma di due componenti: (1) prossimità a infrastrutture che ne facilitino il raggiungimento e l'accesso alla stessa (es. fermate di mezzi pubblici di trasporto, piste ciclabili, parcheggi...) e (2) presenza di strutture/risorse che ne consentano la fruizione ricreativa (es. aree-giochi per bambini, campi da gioco, aree e sentieri attrezzati per attività fisica, percorsi, aree cani, aree pic-nic, servizi igienici, punti ristoro, ecc.). Come per il potenziale ricreativo, a ciascuna componente è stato attribuito un punteggio, ricalibrato a partire dai valori disponibili in Cortinovis *et al.* (2018). Per ogni area considerata si è ottenuto pertanto un punteggio finale pari alla somma, normalizzata, delle due diverse componenti;
- **ventaglio delle opportunità ricreative** (Recreation Opportunity Spectrum, ROS), derivante dalla combinazione delle due dimensioni precedenti e conseguente attribuzione di punteggio e classificazione di ciascuna area considerata.

3 Risultati

Nei paragrafi seguenti vengono presentati i risultati ottenuti della valutazione dei Servizi Ecosistemici considerati, fornendo il confronto per ciascun ambito estrattivo tra la situazione *ex-ante* e quella *ex-post*.

3.1 Sequestro del carbonio

Nella figura seguente si riporta il confronto tra i valori di carbonio stoccato per lo scenario *ex-ante* ed *ex-post*, espressi in tonnellate di C organico totale, per ciascun ambito estrattivo. Il grafico mostra un incremento dell'erogazione del servizio ecosistemico a seguito degli interventi di ripristino ambientale per tutti i casi considerati. Ciò si realizza sia negli ambiti per i quali sono previste modalità di ripristino di tipo naturalistico con l'impianto di formazioni boschive naturaliformi (ATEg1, ATEg2, ATEg3, ATEg4, ATEg6, ATEg7), sia per le aree estrattive che sono caratterizzate da recuperi di tipo agricolo con modalità di agricoltura sostenibile (ATEa1, ATEg8, ATEg9). Tali destinazioni di uso del suolo forniscono un importante contributo alla fornitura del servizio determinando un aumento del carbonio organico totale stoccato.

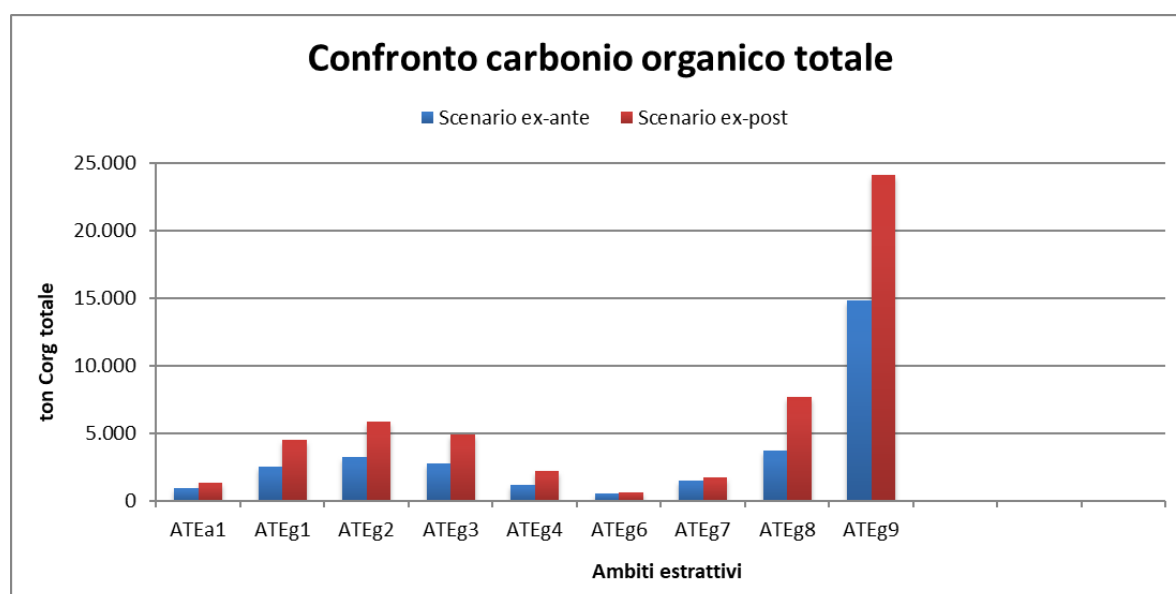


Figura 3 – Confronto del Carbonio organico totale stoccato nei due scenari di uso del suolo

3.2 Biodiversità e Qualità degli habitat

L'output del modello è rappresentato dall'Habitat Quality Index. Si tratta di un indice relativo che esprime la qualità dell'habitat, su una scala che varia tra 0 e 1 (dove 0 identifica aree classificate come non aventi valore legato alla qualità dell'habitat e 1 corrisponde al valore massimo relativo della qualità dell'habitat), in relazione alle condizioni di uso del suolo e dei fattori di minaccia. Nella figura seguente viene riportato il confronto tra i valori dell'indice, per ciascun ambito estrattivo, relativamente allo scenario *ex-ante* ed *ex-post*. Come si evince dal grafico, i valori di qualità dell'habitat aumentano per tutti i casi in esame testimoniando un incremento del valore di qualità degli habitat attribuibile alla variazione di uso del suolo. Tale condizione è particolarmente legata all'aumento delle porzioni di territorio corrispondenti ad aree naturali quali le formazioni boschive di latifoglie e ripariali e all'espansione degli specchi d'acqua (ATEg1, ATEg2, ATEg3, ATEg4, ATEg6, ATEg7), ma anche ad usi del suolo a vocazione agricola caratterizzati dalla presenza di elementi lineari (siepi e filari) come nel caso degli ambiti ATEa1, ATEg8, ATEg9.

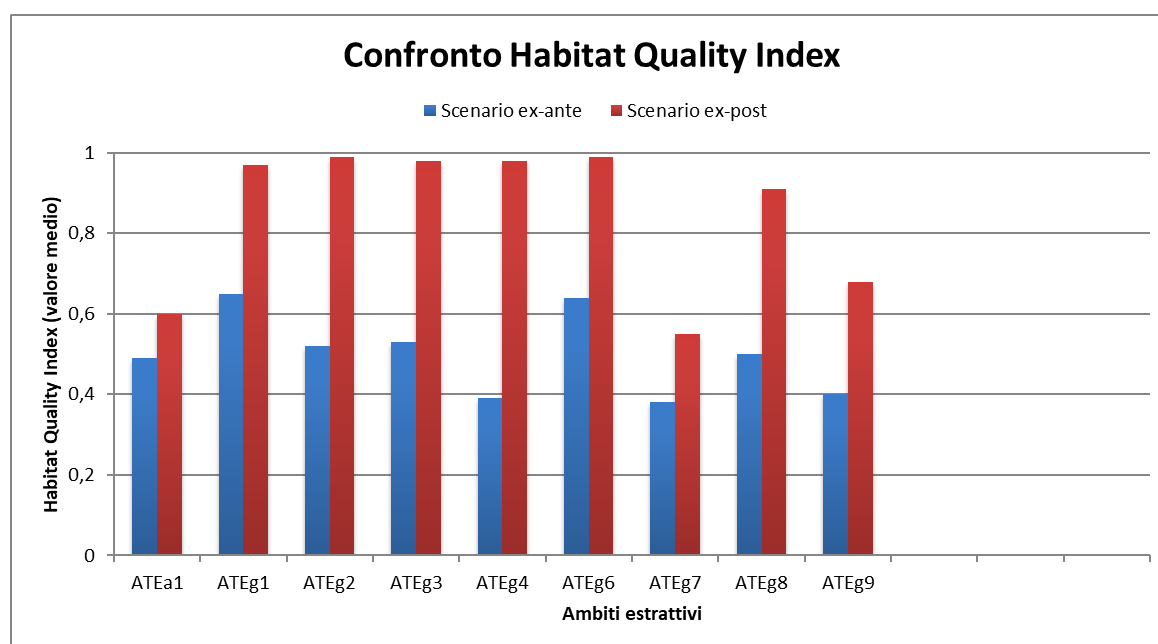


Figura 4 – Confronto dell'Habitat Quality Index nei due scenari di uso del suolo

3.3 Produzione agricola

L'output è rappresentato dai valori di produzione totale osservata, espressa in tonnellate, per ciascuna coltura agricola considerata all'attuale livello di intensità di coltivazione. Il modello fornisce inoltre i dati di produzione annua, espressa in tonnellate/anno, per ciascuna area di

studio indagata e nella fattispecie per ogni ambito estrattivo. Nelle tabelle seguenti si riportano i valori stimati di produzione annua nelle condizioni di uso del suolo *ex-ante* ed *ex-post*.

Tabella 3 - Produzione osservata annua scenario ex-ante

Ambito	area ambito (ha)	Produzione osservata (ton/anno)						
		orzo	mais	foragge	coltivazioni industriali	riso	coltivazioni orticole	frumento
ATEa1	17.58	-	-	0.21	-	-	-	0.05
ATEg1	77.95	-	-	-	-	-	-	-
ATEg2	70.63	-	8.00	0.05	-	-	-	0.04
ATEg3	65.08	-	1.88	0.28	-	-	-	-
ATEg4	24.82	-	2.05	-	-	-	-	-
ATEg6	12.32	-	0.45	0.04	1.66	-	-	-
ATEg7	35.57	-	2.88	0.05	6.67	-	-	-
ATEg8	59.16	-	0.62	0.34	51.85	0.21	1.74	0.73
ATEg9	231.89	-	11.49	2.34	5.29	-	-	3.27

Tabella 4 - Produzione osservata annua scenario ex-post

Ambito	area ambito (ha)	Produzione osservata (ton/anno)
		coltivazioni orticole
ATEa1	17.58	132.86
ATEg1	77.95	-
ATEg2	70.63	-
ATEg3	65.08	-
ATEg4	24.82	-
ATEg6	12.32	-
ATEg7	35.57	118.51
ATEg8	59.16	95.60
ATEg9	231.89	1076.04

Nel grafico sottostante viene restituito il confronto della produzione osservata annua, a scala di ambito, per i due scenari. Per gli **ambiti ATEa1, ATEg1, ATEg7, ATEg8 e ATEg9** lo scenario *ex-post* prevede il ripristino delle aree estrattive e degli attuali usi agricoli del suolo, in larga parte seminativi semplici, verso pratiche agricole a basso impatto ambientale volte alla produzione orticola in pieno campo e dall'impianto di siepi e filari (seminativi arborati). Ciò determina un aumento della fornitura del SE Produzione agricola in termini di produzione annua come evidenziato nelle tabelle precedenti e nel grafico di confronto. Relativamente invece agli ambiti ATEg2, ATEg3, ATEg4 e ATEg6 lo scenario *ex-post* determina una minima riduzione del SE in esame, largamente compensata dall'incremento dell'erogazione degli altri SE considerati.

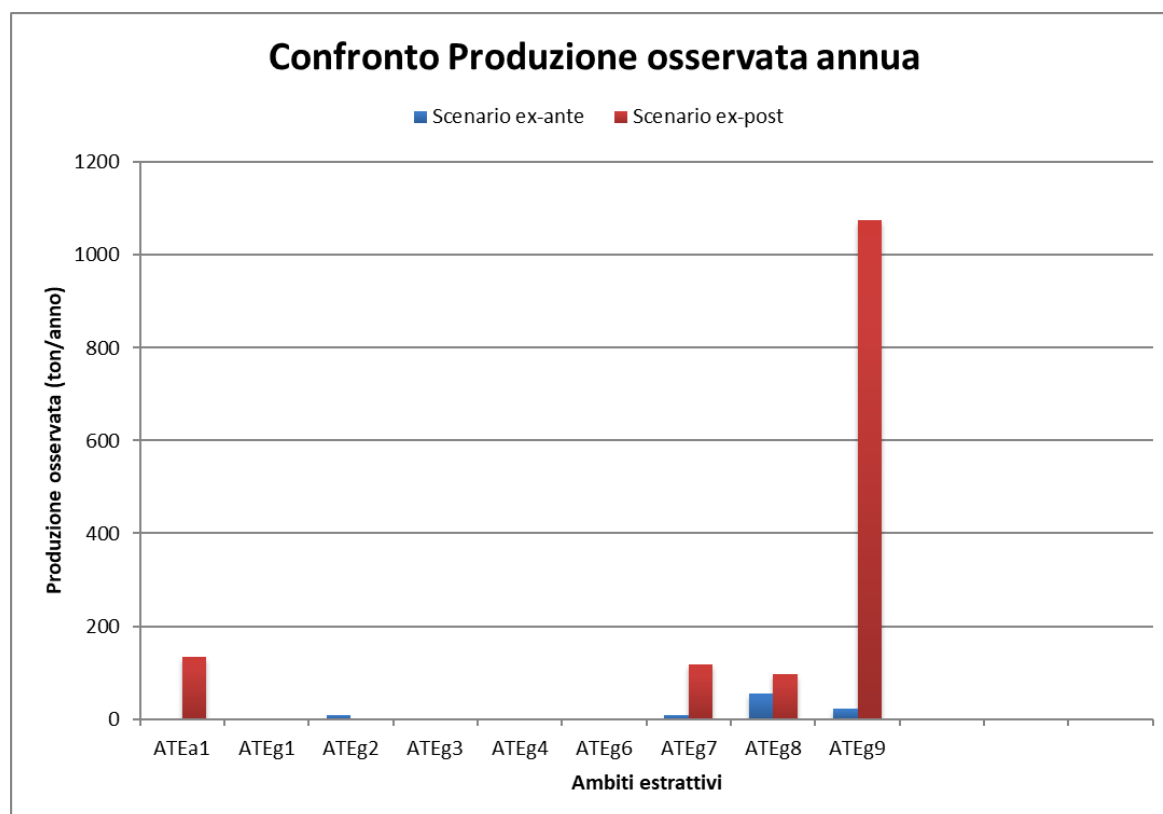


Figura 5 – Confronto della Produzione annua nei due scenari di uso del suolo

3.4 Capacità di ritenzione idrica

L'output del modello è rappresentato dal bilancio idrologico tra precipitazione, deflusso superficiale e evapotraspirazione. L'applicativo restituisce quindi il valore di ricarica degli acquiferi, espresso in mm. Il quantitativo calcolato non è da intendersi come un valore assoluto, ma quanto un indicatore utile ad identificare aree a maggiore ricarica e aree meno idonee per questo tipo di SE. Per questa ragione, per ciascuna area considerata, i valori sono stati normalizzati rispetto a quello maggiore, ottenendo un indicatore variabile tra 0 (nessuna ricarica) e 1 (massima capacità di erogazione del SE). Nel grafico seguente viene riportato il confronto tra i valori normalizzati di ricarica degli acquiferi per ciascun ambito estrattivo, relativamente agli scenari di uso del suolo *ex-ante* ed *ex-post*. Così come indicato in figura, si registra, per lo scenario *ex-post*, un incremento della capacità di ricarica attribuibile alle variazioni di uso del suolo derivanti dagli interventi di ripristino ambientale. In particolare tale incremento è ben visibile per le aree estrattive dove sono previsti interventi di recupero di aree naturali quali le formazioni boschive di latifoglie e ripariali (ATEg1, ATEg2, ATEg3, ATEg4, ATEg6, ATEg7, ATEg8 e ATEg9).

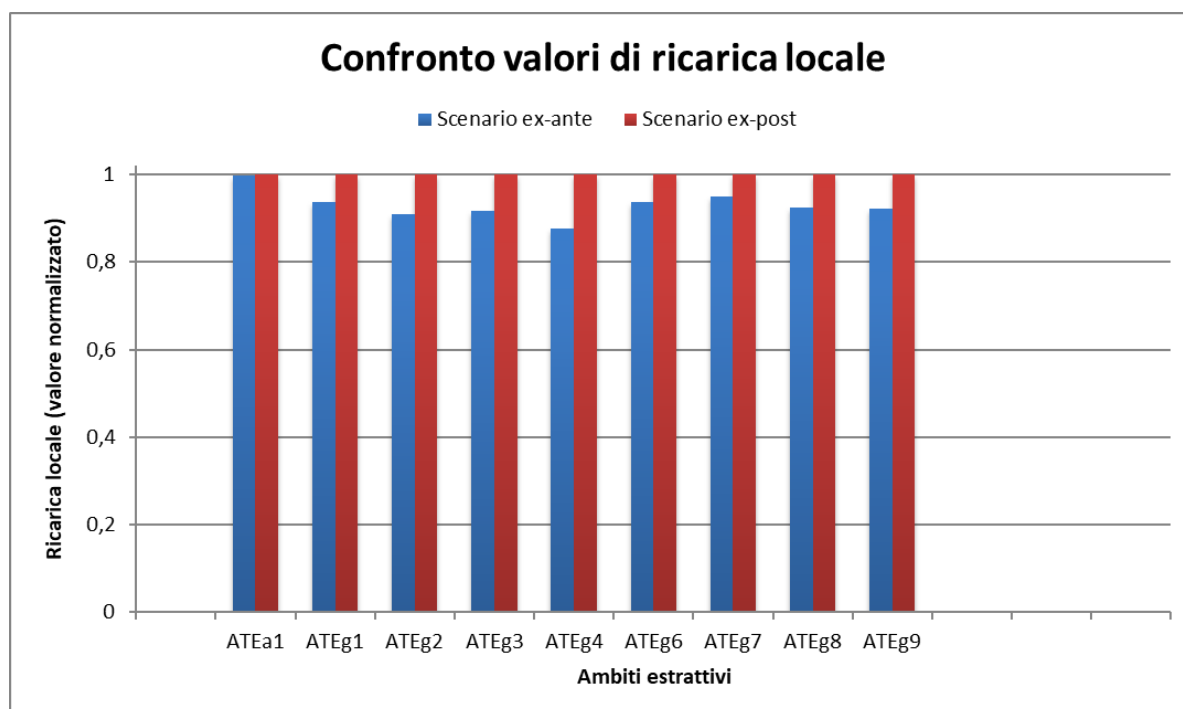


Figura 6 – Confronto dei valori di ricarica locale degli acquiferi nei due scenari di uso del suolo

3.5 Impollinazione

Il modello restituisce, per le diverse tipologie di colture considerate, l'indice della produzione totale attribuibile agli impollinatori selvatici (*y-wild*) che rappresenta l'aliquota della produzione agricola dipendente dall'azione degli impollinatori selvatici. Nella figura seguente è proposto il confronto del valore dell'indice per i due scenari considerati. Il grafico mostra un incremento dell'aliquota di produzione agricola riferibile agli impollinatori selvatici in tutti gli ambiti estrattivi nei quali è previsto, per lo scenario *ex-post*, l'istituzione di aree agricole caratterizzate da modelli di conduzione maggiormente sostenibili. Per le aree estrattive dove vengono ipotizzate modalità di ripristino naturalistiche, il grafico non riporta i valori relativi all'indice *y-wild* poiché l'applicativo calcola tale valore per le sole porzioni di territorio codificate come ad uso agricolo.

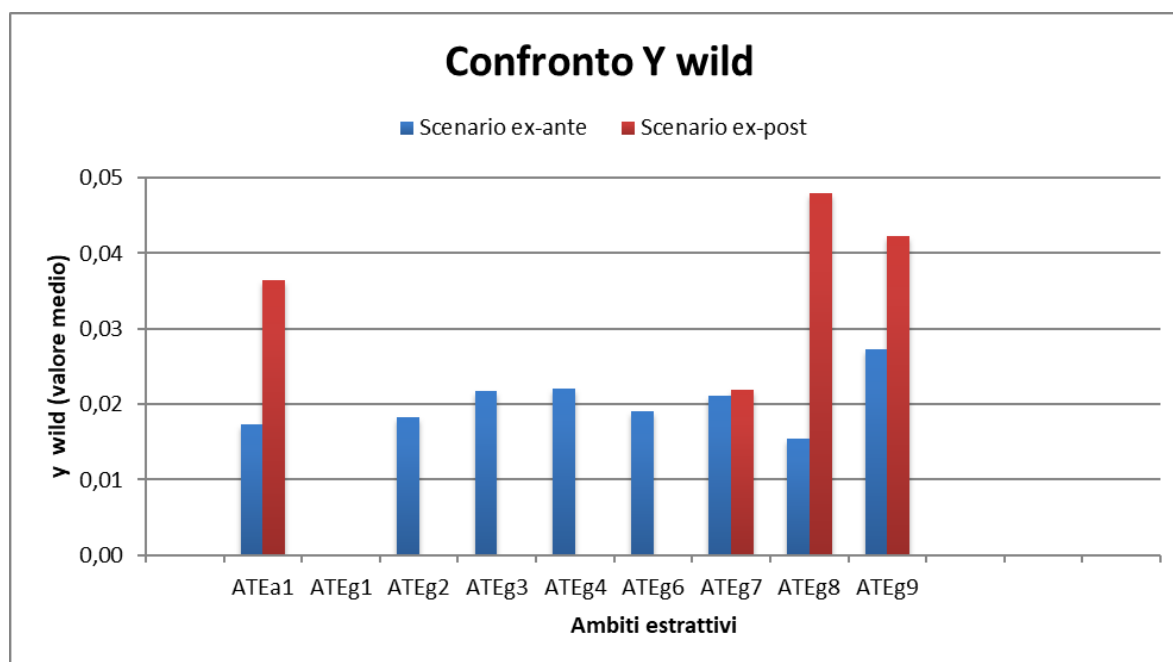


Figura 7 – Confronto dell'indice Y-wild nei due scenari di uso del suolo

3.6 Benefici sociali

Sulla base della metodologia precedentemente illustrata il modello ha restituito, in termini di output, il valore del Recreation Opportunity Spectrum – ROS. Tale indice, con range di variazione 0-1, classifica le aree e porzioni di territorio in funzione ai tipi di opportunità ed esperienze ricreative che forniscono. Nella figura seguente viene riportato il confronto tra i valori dell'indice, per ciascun ambito estrattivo, relativamente agli scenari di uso *ex-ante* ed *ex-post*. Anche per i benefici sociali gli interventi di ripristino ambientale determinano un incremento della fornitura del servizio ecosistemico Benefici sociali in tutti gli ambiti estrattivi, in particolare nelle aree dove è prevista la destinazione finale naturalistica e naturalistica-ricreativa (ATEg1, ATEg2, ATEg3, ATEg4, ATEg6, ATEg7).

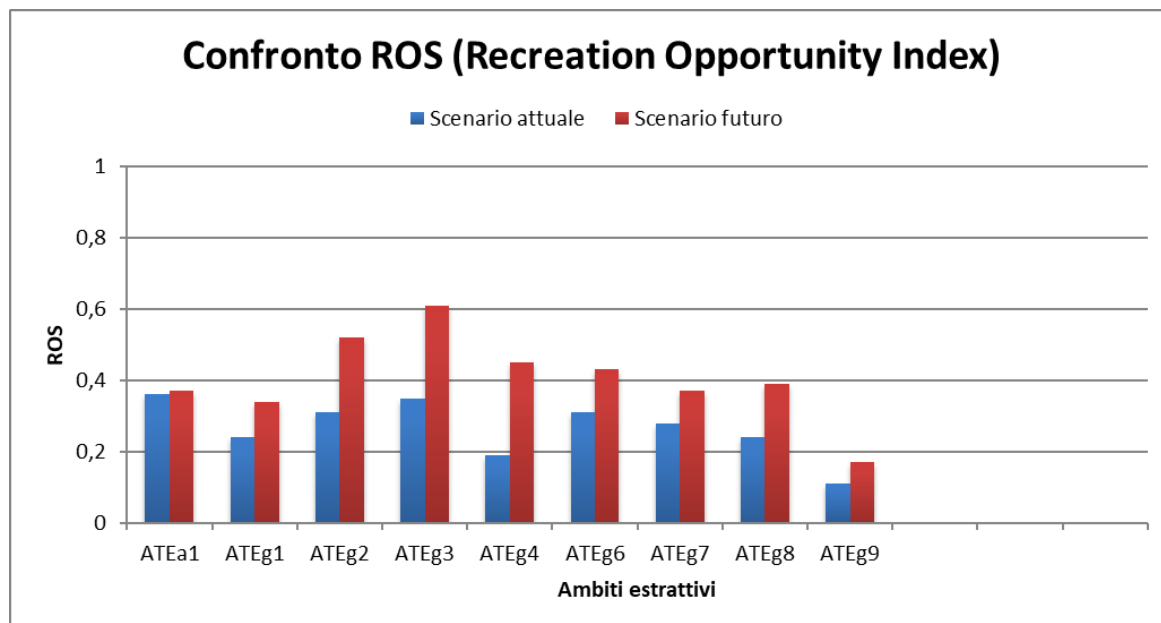


Figura 8 – Confronto del Recreation Opportunity Index - ROS nei due scenari di uso del suolo

4 Considerazioni finali

Le valutazioni condotte indicano come le aree a maggiore livello di naturalità siano responsabili di un flusso più consistente dei servizi ecosistemici (SE) considerati per il presente studio.

Nel caso del Sequestro del Carbonio, la presenza di una copertura vegetale arborea si traduce in un pool di accumulo ulteriore rispetto a settori non impermeabilizzati, ma destinati ad uso agricolo. Allo stesso tempo, le aree boscate si caratterizzano per un livello di qualità degli habitat maggiore, così come da una capacità di ritenzione idrica superiore a quanto registrato nelle aree dei coltivi e delle aree edificate. Lo stesso risultato è stato ottenuto per l'impollinazione. In generale la maggiore capacità di erogazione di SE si traduce anche in un maggiore flusso in termini di benefici sociali, intesi come qualità del paesaggio e possibilità fruitivo/ricreative.

Le considerazioni sui risultati della valutazione dei SE sono state quindi applicate per definire delle linee di indirizzo per la definizione delle modalità di recupero ambientale delle aree estrattive individuate dal Piano Cave. Questo ulteriore esame prende in considerazione anche l'attuale assetto della rete ecologica provinciale, i cui elementi appaiono concentrati maggiormente lungo i corridoi fluviali, in particolare lungo il Fiume Adda, con elementi di interruzione e interferenza nei settori a maggiore antropizzazione. Sotto questo aspetto un ruolo importante è rivestito dal sistema delle infrastrutture della mobilità veicolare e ferroviaria. La presenza di direttrici continue con direzione NW-SE determina una riduzione della permeabilità del territorio, facendo diminuire le possibilità di connessione tra i due corridoi fluviali. Dovendo operare nell'ambito di applicazione del Piano Cave, sebbene questo tipo di criticità non possa essere affrontato, risulta invece possibile potenziare la funzione ecologica degli ambiti ripari, in particolare quelli lungo il Fiume Lambro. A differenza del Fiume Adda, la minore presenza di strumenti di tutela ha determinato nel tempo l'erosione dei corridoi di vegetazione ripariale a vantaggio dell'uso agricolo. Questo aspetto si traduce in una minore funzionalità in termini di habitat e connessioni ecologiche. A tale proposito, sulla base dei risultati della valutazione dei SE, risulta opportuno prevedere interventi di recupero ambientale che, se non per le intere aree, favoriscano quantomeno la rinaturalizzazione delle porzioni prossime al corso d'acqua per ricostituire una fascia di vegetazione riparia. Quest'ultima, oltre agli effetti citati dal punto di vista della rete ecologica, svolgerebbe un ruolo importante in termini di sequestro del carbonio, ritenzione delle acque di infiltrazione e ritenzione dei nutrienti che per dilavamento possono trasferirsi dai coltivi al copro idrico, con effetti per lo stato delle acque superficiali. Un'ulteriore misura di riqualificazione è la previsione della rinaturalizzazione delle aree prossime ai corsi d'acqua, accompagnata dal ripristino dell'uso agricolo per i settori distali con introduzione di pratiche a

basso impatto quali l'agricoltura biologica, le tecniche di agricoltura conservativa e la realizzazione di elementi naturaliformi (es. siepi e filari). Il miglioramento degli agroecosistemi consente di incrementare la capacità di erogazione di SE di approvvigionamento (fornitura di cibo e materie prime) e di quelli di regolazione (controllo fitofagi, regolazione idrica, mineralizzazione nutrienti, impollinazione, fissazione dell'azoto, sequestro di carbonio, protezione dall'erosione) (Sandhu et al., 2008)¹². Infine, le pratiche di agricoltura conservativa consentono di preservare la fertilità del suolo, di ridurre i tassi di erosione e di incrementare la sua capacità di sequestro del carbonio organico (Progetto LIFE HelpSoil - LIFE 12 ENV/IT/000578).

¹² Sandhu H.S., et al. 2008. The Future of Farming: The Value of Ecosystem Services in Conventional and Organic Arable Land. An Experimental Approach. Ecological Economics 64(4):835-848.<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.007>

5 Bibliografia

AA.VV., 2013. Il ruolo dell'agricoltura conservativa nel bilancio del carbonio. Quaderni della ricerca, n. 153. Regione Lombardia.

Burkhard, B., Maes, J. (Eds.). 2017. Mapping Ecosystem Services. Pensoft Publishers, Sofia, 374 pp.

Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F. 2014. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. Landscape online, 34, 1-32.

EEA. 2018. Common International Classification of Ecosystem Services [WWW Document]. URL <https://cices.eu/>

Cortinovis, C., Zulian, G., Geneletti, D. 2018. Assessing Nature-Based Recreation to Support Urban Green Infrastructure Planning in Trento (Italy). Land 2018, 7, 112; doi: <https://doi.org/10.3390/land7040112>

ERSAF. 2008. Progetto Kyoto – Ricerca Sui Cambiamenti Climatici E Il Controllo Dei Gas Serra In Lombardia. Stock di carbonio nei suoli regionali.

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.

Ingegnoli, V., Giglio, E. (2008). Landscape biodiversity changes in forest vegetation and the case study of the Lavazé Pass (Trentino, Italy). Annali di botanica 8: 21-29.

Klein, A. M. *et al.* 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the royal society B: biological sciences, 274(1608), 303-313.

Progetto LIFE HelpSoil - LIFE 12 ENV/IT/000578. <https://www.lifehelpsoil.eu/>

Millenium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington DC.

Monfreda, C., Ramankutty, N., Foley, J. 2008. Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. Biogeochemical Cycles, Vol.22, GB1022. doi:10.1029/2007GB002947.

Salata, S., Ronchi, S., Arcidiacono, A., Ghirardelli, F. 2017. Mapping Habitat Quality in the Lombardy Region, Italy. One Ecosystem 2: e11402. <https://doi.org/10.3897/oneeco.2.e11402>

Sandhu H.S., et al. 2008. The Future of Farming: The Value of Ecosystem Services in Conventional and Organic Arable Land. An Experimental Approach. Ecological Economics 64(4):835-848. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.007>

Schirpke, U., Scolozzi, R., De Marco, C. 2013. Analisi dei servizi ecosistemici nei siti pilota. Parte 4: Selezione dei servizi ecosistemici. Report del progetto Making Good Natura (LIFE+11 ENV/IT/000168), EURAC research, Bolzano, p. 43.

Sharp R., et al. 2020. InVEST 3.10.2 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Zulian, G., Paracchini, M.L., Maes, J., Liqueste, C. 2013. ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. JRC Technical Reports. European Commission, Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, Ispra (VA) - Italy.