



Università degli Studi di Padova

SCUOLA DI AGRARIA E MEDICINA VETERINARIA
Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali ed Ambientali

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**Analisi e mappatura dei Servizi Ecosistemici a scala locale:
applicazione dei Modelli InVEST nel Parco Oglio Sud**

Candidato:

Fosco Mattia Vesely

Matricola 1056560

Relatore:

Prof.ssa Paola Gatto

Correlatore:

Dott. Raul Polato

Sommario

Il riferimento ai Servizi Ecosistemici, ovvero ai benefici forniti dagli ecosistemi al genere umano, è sempre più diffuso nell'ambito della tutela ambientale.

Soluzioni per includere i Servizi Ecosistemici entro il sistema economico di mercato oggi vigente costituiscono una nuova frontiera delle politiche forestali. Per alcune applicazioni di questo approccio è necessario procedere alla localizzazione quanto più esatta possibile delle sorgenti dei rispettivi Servizi. Tra le diverse soluzioni a quest'ultima difficoltà, l'approccio mediante modelli digitali della generazione e del flusso dei Servizi si pone come uno dei più sensibili alle specificità locali. L'adozione di questo approccio è inficiata da problematiche legate all'uso stesso dei modelli ed alla configurazione dei parametri. Tra le diverse soluzioni software disponibili per questo tipo di modellistica, InVEST offre un ottimo compromesso tra adattabilità al contesto ed usabilità per l'utente. Il programma è progettato per operare a scala di paesaggio confrontando possibili alternative di uso del suolo. Nel corso del lavoro si valuterà l'applicabilità del software in una situazione rappresentativa delle possibili condizioni d'uso in siti italiani. Caratterizzati, ovvero, da una ridotta estensione e da limitato margine d'operatività per progetti d'intervento. Il sito selezionato per la prova è il Parco dell'Oglio Sud, situato in Lombardia tra le provincie di Mantova e Cremona.

L'adozione di una scala ridotta pone interrogativi riguardanti il grado minimo di accuratezza dei dati di input per i modelli. Come solitamente accade non sono disponibili informazioni proprie ed i dati necessari devono essere assunti da altre fonti geografiche.

La sensibilità dei modelli agli interventi di riqualificazione e, parallelamente, l'efficacia di alcuni schemi d'intervento verranno testate ricorrendo ad analogie e differenze fra diversi possibili scenari d'intervento che spaziano dal *Business as usual* ad un ottimistico sviluppo sostenibile rilevando le differenze in termini di erogazione dei Servizi Ecosistemici sussistenti tra essi.

L'analisi degli output dei modelli in differenti condizioni consentirà inoltre di verificare l'applicabilità degli stessi al caso di studio.

Abstract

Environmental protection is getting more and more used in approaching the Ecosystem Services (ES) topic. ES are the *benefits human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions*. Several adoptions of ES's approach require a link to the spatial side of ES'flow, so that ES servers and clients get found. Amongst the ways available for that estimation, simulation offers huge gains at the cost of the necessary knowns about the ecosystem process's dynamics. NatCap provides the InVEST software suite, purposed to model each ES. The software is designed to compare consequences of choices in Land Use alternatives. Using this tools on italian protected sites may face disadvantages related to the really lower extension involved as to the size of feasible actions.

Moreover the data required by the analysis are, usually, not available from the local authority interested so that the regional (or even national) scale ones have to be adopted.

The use of not model oriented data as input across with parameters transferred from several bibliographical sources drive the configurations to fork. All the chances were chosen and used and their outputs compared.

The outputs from the models describe assessments for the alternative choices in Land Use. The analysis performed here suggest those results to be reasonably accounted for conseil only, due to variability associated with configuration forks. Absolute change in ES provision, as well as the choices based on them, resulted to be ambiguous.

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Il quesito di ricerca	1
1.2	Struttura della Tesi	2
1.3	I Servizi Ecosistemici	3
1.3.1	Aspetto economico	5
1.4	Mappatura dei Servizi Ecosistemici	6
1.5	Un esempio applicativo: ECOPLAY CONNECT OGLIO-SUD	9
2	Materiali e Metodi	11
2.1	Descrizione dell'Area di Studio	11
2.1.1	Il Parco "Oglio Sud"	13
2.1.2	Rete Ecologica Regionale	14
2.2	InVEST	16
2.2.1	I tool InVEST	17
2.2.1.1	Generatore di Scenari	17
2.2.1.2	Ritenzione di Nutrienti	18
2.2.1.3	Ricreazione	18
2.2.1.4	Qualità degli Habitat	19
2.3	Applicazione all'area di studio	20
2.3.1	I Servizi Ecosistemici nel Parco dell'Oglio Sud	20
2.3.2	Ritenzione dei Nutrienti	21
2.3.3	Ricreazione	22
2.3.3.1	Campionamento ed intervista dei visitatori del Parco Oglio Sud	23
2.3.4	Qualità degli Habitat	27
2.3.5	Generatore di Scenari	28

2.3.5.1	Baseline " <i>Business as usual</i> "	31
2.3.5.2	<i>Green Developement</i>	32
2.3.5.3	Riforestazione	32
2.3.5.4	Greening	35
2.3.5.5	Piantagioni Policicliche	37
3	Discussione dei risultati	41
3.1	Accuratezza dei dati di input	41
3.1.1	Differenze nella <i>Ritenzione dei Nutrienti</i>	42
3.1.2	Differenze nella stima della <i>Ricreazione</i>	43
3.2	Ruolo di elementi di micro-scala	46
3.3	Impiego di Valori Bibliografici	47
3.4	Spendibilità degli esiti	49
4	Conclusioni	53
Appendices		
A	Tabelle	lv
B	InVEST	lxiii
B.1	Scenario Generator	lxiii
B.1.1	Limite minimo di cambiamento assoluto	lxiv
B.2	Nutrient	lxvii
B.3	Funzione Ricreativa	lxviii
C	Analisi Spaziale Qualitativa	lxxv
D	Analisi di sensitività	lxxxii
E	Script impiegati	lxxxv
	Glossario	xcii
	Bibliografia	xcv

Introduzione

I Servizi Ecosistemici (SE) possono essere definiti come **benefici forniti al genere umano dagli ecosistemi naturali** [14]. Il loro apporto è essenziale al progresso umano e di basilare importanza nel lungo periodo.

La simulazione spaziale dei processi naturali che si ritrovano alla loro base consente l'individuazione dei siti e delle modalità d'intervento virtualmente più convenienti per coniugare lo sviluppo economico a breve termine con la sostenibilità.

La modellistica abbisogna di una fase preliminare di definizione dei parametri propri della realtà che si intende modellizzare: la configurazione del modello. La configurazione del modello ed i dati di input determinano gli output della simulazione.

La suite di strumenti InVEST, sviluppata da Natural Capital Project (NCP) offre un supporto tecnico specificatamente rivolto a creare modelli dei SE.

Sia la configurazione sia i dati di input riflettono necessariamente una semplificazione della realtà così come l'elaborazione operata dal modello. In linea di principio il grado della semplificazione e la risoluzione dei dati disponibili possono essere tali da pregiudicare la validità dei risultati, al pari dell'inapplicabilità del modello alla realtà che si intende studiare.

Sulla base della sperimentazione di diverse alternative di configurazione si intende verificare la solidità dei responsi tratti dalle simulazioni in funzione delle approssimazioni introdotte e della risoluzione dei dati disponibili in un caso applicativo esemplare del territorio italiano.

1.1 Il quesito di ricerca

L'impiego di strumenti di simulazione di SE a scala locale richiede la raccolta di dati da applicare ad un'area ristretta sulla quale si riscontrano leggere gradazioni

dei parametri. La minima variabilità, se da un lato agevola la semplificazione del sistema, dall'altro rende più difficile l'analisi.

La selezione del livello di dettaglio opportuno per l'analisi può essere basata sull'esperienza ma deve confrontarsi con la reale disponibilità del dato. Si intende qui controllare se siano disponibili dati sufficientemente accurati da consentire un'analisi sufficiente a giustificare una scelta gestionale.

In contesti fortemente antropizzati la riqualificazione ambientale mira, convenientemente, ad interventi anche di piccole dimensioni in grado di offrire risultati consistenti. Si dovrà verificare che i modelli siano in grado di rilevare i contributi portati da questa tipologia di interventi.

La configurazione dei modelli richiede parametri che non è sempre possibile misurare in sito per la mole di lavoro e l'anti-economicità che questo comporterebbe. Saranno vagliati i risultati conseguenti all'adozione di valori bibliografici provenienti da diverse fonti.

L'analisi degli output dei modelli dovrebbe suggerire alcune scelte come vantaggiose rispetto ad altre. Si verificherà se i risultati forniti dai modelli siano idonei ad orientare una scelta gestionale.

Si richiede, quindi, di valutare i limiti dall'applicazione della suite InVEST per la simulazione di SE in ambiti a scala locale. In particolare di considerare i limiti legati:

1. all'accuratezza dei dati di input
2. al ruolo chiave di elementi di micro-scala
3. all'impiego di valori bibliografici nell'elaborazione
4. spendibilità degli esiti dell'analisi

1.2 Struttura della Tesi

La presente tesi è articolata in 4 capitoli:

L'**Introduzione** dove vengono esposti i concetti di base relativi ai Servizi Ecosistemici (SE), i vantaggi da essi offerti e le relative difficoltà applicative. Sono presentate alcune premesse riguardanti la modellistica dei SE. Infine, nel 1.5 viene presentato il contesto del caso studio di sperimentazione dei modelli.

Segue il capitolo relativo ai **materiali e metodi** adottati. Il capitolo apre con la descrizione dell'area oggetto di studio e delle sue peculiarità. Vengono delineati l'approccio alla pianificazione del territorio e gli step procedurali consigliati nell'uso del software. Sono presentati gli strumenti software utilizzati per la simulazione dei SE, di cui viene illustrato il funzionamento per quanto utile alla comprensione

delle scelte e delle sperimentazioni condotte nello studio. Sono quindi illustrate le modalità applicative del software al caso di studio.

Nel terzo capitolo sono presentati i **risultati** dei modelli e sottolineate le conseguenze delle opzioni di configurazione. Sono quindi valutati gli scenari in termini di resa in Servizi Ecosistemici (SE).

L'ultimo capitolo riporta le **conclusioni** dell'analisi e la valutazione dei risultati ottenuti.

Negli **appendici** si trovano i materiali troppo voluminosi per essere inseriti nel flusso del testo, seppur in esso richiamati volta per volta quando connessi. Sono inoltre presenti ulteriori approfondimenti relativi all'uso e configurazione dei modelli qualora gli argomenti siano risultati di carattere eccessivamente tecnico e non strettamente legati alla trattazione.

1.3 I Servizi Ecosistemici

I Servizi Ecosistemici (SE) sono oggetto di differenti definizioni. Tra le più influenti e significative si riportano le seguenti:

Millennium Ecosystem Assessment [31] I benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano.

Stephen C. Farber [50] I Servizi Ecosistemici sono i benefici che la popolazione umana deriva, direttamente od indirettamente, dalle funzioni ecosistemiche.

Boyd e Banzhaf [9] I Servizi Ecosistemici sono componenti naturali direttamente godute, consumate od usate per produrre benessere umano.

Sukhdev [51] I Servizi Ecosistemici sono il contributo diretto od indiretto degli ecosistemi al benessere umano.

Roy Haines-Young [44] I contributi finali (od i prodotti direttamente consumati od usati dalle persone) degli ecosistemi al benessere umano derivanti dall'interazione tra processi biotici ed abiotici

La molteplicità di accezioni, evidente nelle definizioni di cui sopra, è legata al sempre crescente numero di applicazioni ed analisi che vengono svolte in questo "giovane" settore della ricerca.

La mole di SE richiede, una classificazione entro macro-categorie che possono fare riferimento al tipo di beneficio, alla modalità di sviluppo, alle proprietà di diffusione spaziale del Servizio. Brendan Fisher [10] ritengono che la classificazione dei SE debba essere selezionata anche in funzione del contesto decisionale e del tipo di

Tabella 1.1: *Classificazione dei Servizi Ecosistemici proposta da Marino et al. [29] nel progetto LIFE+ Making Good Natura*

Tipologia	Servizio Ecosistemico	Codice
Fornitura	Coltivazioni	F1
	Foraggio, Pascolo	F2
	Specie cacciabili/pesci	F3
	Materie prime (legno, fibre, ...)	F4
	Funghi, Frutti di bosco, Piante commestibili	F5
	Piante medicinali	F6
	Risorse genetiche	F7
	Acqua potabile	F8
Regolazione	Sequestro del Carbonio	R1
	Regolazione del clima, Purificazione dell'aria	R2
	Regolazione delle acque (ricarica delle falde)	R3
	Purificazione dell'acqua	R4
	Protezione dall'erosione e dai dissesti geologici	R5
	Protezione dai dissesti idrologici	R6
	Impollinazione	R7
	Controllo biologico	R8
	Habitat per la Biodiversità	R9
Culturale	Valore estetico	C1
	Valore ricreativo	C2
	Ispirazione	C3

considerazione che si intende sviluppare. I diversi aspetti legati ai SE possono avere diverso peso in funzione di simili variabili e determinare la convenienza dell'adozione di una classificazione piuttosto che di un'altra.

Entro questa trattazione si impiega la classificazione dei SE proposta in Bastian [6]. La classificazione dei SE impiegata è riportata nella tabella 1.1.

I Servizi di Fornitura si caratterizzano per la generazione di Beni, che possono o meno essere oggetto di mercato. Il contributo ecosistemico alla produzione costituisce il Servizio. I Servizi di Regolazione, invece non producono Beni ma Servizi veri e propri mediante processi ecologici. Di seguito sarà fatto esplicito riferimento ai Servizi di *Purificazione dell'Acqua* e *Habitat per la Biodiversità* che rientrano in questa tipologia.

Il Servizio di Purificazione dell'Acqua è il frutto del processo ecologico di fitodepurazione delle acque da elementi inquinanti.

Il Servizio denominato "Habitat per la Biodiversità" consta della presenza di nicchie ecologiche tali da consentire il mantenimento della Biodiversità.

I Servizi di tipo Culturale si connotano per l'influenza diretta alle popolazioni senza rendervi un fisico beneficio. Il Servizio Ecosistemico di "Ricreazione", inteso

come il contributo degli ecosistemi tutti alla qualità del tempo libero speso in attività all'aria aperta.

1.3.1 Aspetto economico

Il valore economico dei singoli SE concorre alla composizione del Valore Economico Totale (VET). Il VET di una risorsa naturale è stato definito come *la somma dei surplus del produttore e del consumatore (escluso il costo di produzione)*[15]. I SE generano un'utilità e possono, quindi, essere valutati economicamente con un approccio corrisponde all'analisi dal lato della Domanda. La maggior parte delle utilità derivanti dai Servizi Ecosistemici non incontrano le dinamiche di mercato rientrando nella definizione di *esternalità al mercato*. Per la loro valutazione è necessario, quindi adottare un consono criterio estimativo.

Siccome i Servizi Ecosistemici non vengono "catturati" dai mercati e non vengono quantificati in termini comparabili con i servizi economici ed i prodotti industriali molto spesso questi servizi non vengono neanche considerati nelle decisioni politiche.

Stephen C. Farber [50]

Metodi quali l'Analisi Costi-Benefici (ACB), non focalizzate sul reddito ma sul benessere complessivo, solitamente applicate in ambiti decisionali, possono considerare i Servizi Ecosistemici. In queste procedure, i flussi finanziari del progetto in valutazione vengono corretti delle distorsioni di mercato (adottando valori "ombra") ed integrati dei benefici e costi esterni al progetto. A completamento dell'analisi vengono considerate le utilità effettive afferite ai gruppi sociali (Stake Holders).

Payment for Ecosystem Services (PES)

L'idea di Pagamenti per i Servizi Ecosistemici si fonda sulla transazione volontaria da parte del gruppo *beneficiario* al gruppo *fornitore*. I "consumatori" del servizio remunerano quindi il fornitore che ne sostiene i costi¹ di produzione e/o mantenimento. Dovrebbe così venire a strutturarsi un nuovo mercato in cui sono internalizzate le esternalità. Poichè sono gli stessi utenti a pagare per i servizi che ricevono, sono remunerati i soli servizi di reale interesse. Il diretto legame tra fruitori e fornitori dei Servizi genera un flusso di redditi costante e svincolato dal pubblico intervento, da cui consegue la garanzia di auto-sostenibilità economica. Proprio quest'ultimo aspetto di auto-sostentamento del meccanismo costituisce l'elemento che rende i Payment for Ecosystem Services (PES) di così vasto interesse per il settore ambientale.

¹siano questi spese sostenute o costo opportunità

Le operazioni preliminari all'instaurazione del mercato sono però inficiate da diversi ordini di problematiche; non ultime, quelle di natura giuridica e legale.

Il corretto funzionamento del sistema richiede che la remunerazione sia legata alla componente ecosistemica erogante il servizio. Non sempre questa è nota con esattezza per il servizio in esame, conseguentemente per la messa in opera del meccanismo di tutela sono necessari dei lunghi studi preliminari e specifici sito per sito. All'atto della strutturazione del sistema PES, non si ha, ovviamente, una situazione di equilibrio tra domanda-offerta per i SE cui fare riferimento. La determinazione del prezzo da assegnare al Servizio riflette, conseguentemente, delle scelte di natura politica. Dal momento che il prezzo determinerà l'adesione più o meno estesa sia dal lato della domanda sia da quello dell'offerta, è evidente come la corretta analisi del futuro mercato sia cruciale per poter procedere. L'individuazione dei beneficiari dei Servizi risulta, quindi, essenziale per una corretta impostazione dei caratteri di mercato.

Perché possa essere sancito un legame complesso di natura fisica, giuridica ed economica tra i fruitori ed i fornitori dei Servizi è necessario individuarli con precisione. In questa fase l'analisi spaziale dei SE assume una profonda rilevanza.

1.4 Mappatura dei Servizi Ecosistemici

L'obiettivo di individuare i beneficiari entro un sistema di PES o di ottimizzare la produzione di SE mediante l'adozione di politiche di gestione efficaci dipende dalla disponibilità di informazioni spazialmente esplicite che descrivano i Servizi Ecosistemici[13]. Disponendo di queste informazioni è possibile non solo individuare beneficiari e fornitori dei Servizi, ma anche esaltare le vocazioni locali del territorio considerandone le condizioni specifiche.

Tra i vantaggi dell'approccio spazialmente riferito spicca la possibilità di definire il reale flusso dei servizi dall'erogazione (fornitori) lungo il suo intero percorso e fino ai più lontani beneficiari.

La conoscenza quanto più approfondita possibile della dinamica del flusso di ciascuno dei servizi consente una tanto migliore identificazione dei primi quanto dei secondi; delineando una cornice in cui questi soggetti (**Stake Holders**) possano essere adeguatamente inquadrati. Consente inoltre di individuare le situazioni lungo il corso che maggiormente influenzano il tratto a valle: sono queste i siti candidabili "ottimali" per gli interventi. La possibilità, in fase di valutazione, di poter fare riferimento al bacino d'utenza interessato rende l'analisi delle opportunità molto più consistente. La mappatura dei Servizi Ecosistemici è perseguibile adottando diversi approcci [27], riassunti di seguito.

Un semplice metodo si fonda sull'adozione di uso e copertura del suolo come proxy dei Servizi Ecosistemici erogati.

Così facendo non si gode, però delle specificità locali, dal momento che l'Uso del Suolo rileva prevalentemente la destinazione d'uso e non la reale natura degli ecosistemi. Inoltre non è così possibile considerare gli effetti derivanti da differenti contesti da cui lo stesso Uso del Suolo può venire ad essere circondato. Il territorio circostante un determinato uso del suolo può perfino essere preponderante rispetto all'uso corrente dello stesso. Si pensi allo spettro di possibili SE che possono essere forniti da un prato e come tutti le possibili conduzioni del territorio circostante li possano, anche drasticamente, influenzare.

Metodologie di *Value Transfer*, dove, si considerano i risultati di analisi condotte in specifici siti come adattabili a molteplici contesti provvedendo alle opportune correzioni secondo proxy mappati. Mediante la sovrapposizione di mappe tematiche è possibile individuare i luoghi focali per lo sviluppo dei SE.

Queste sono intrinsecamente vincolate alla sensibilità dei proxy ai fattori in considerazione, di modo da consentire l'opportuna correzione dei dati. Possono inoltre risentire di peculiarità sito-specifiche del luogo di studio primigenio. Un esempio di questo approccio si può ritrovare in Troy e Wilson [57].

La disponibilità di tecnologie GIS e di dati sia bio-fisici sia socio-economici permette un ulteriore approccio[7]. Sulla base della mappatura di rilievi in campo² o grazie al telerilevamento delle componenti ambientali[17] è possibile individuare, attraverso molteplici confronti, le dinamiche di Trade Off tra i diversi SE.

Queste analisi forniscono un importante supporto per la stesura di linee guida e scelte d'indirizzo su ampia scala. Possono inoltre fornire importanti informazioni per ulteriori analisi ma difficilmente possono risultare incisive in termini applicativi per la mancanza di informazione circa la dinamica in essere. La conoscenza del fenomeno può essere molto utile per comprendere la dinamica ma l'analisi sottostante un simile passaggio richiede lo sviluppo di un'analisi comparata dei dati e la verifica di un'ipotesi funzionale.

Dall'integrazione di svariate metodologie è possibile pervenire ad una simulazione dei processi bio-fisici sottostanti i Servizi Ecosistemici che sia in grado di definire le condizioni attuali[33] e di proiettare gli effetti di cambiamenti futuri[37].

I modelli InVEST impiegati in questo lavoro rientrano tra questi approcci integrati. Essi assumono i parametri da riferimenti bibliografici o da analisi effettuate in campo nel corso della fase di configurazione e procedono ad una simulazione basata sulle dinamiche fisiche e le relazioni ecosistemiche secondo modelli noti e già verificati. La metodologia di pianificazione propugnata da NCP sfrutta particolarmente uno dei grandi vantaggi dell'approccio mediante modelli informatici alle problematiche ambientali. Con questa metodologia è possibile disporre di approfondite analisi di varie opzioni alternative al solo costo del tempo-macchina necessario alla loro

²come ad esempio in Lavorel et al. [25]

elaborazione. Viene così ottenuta la mappatura dei SE analizzando i processi biotici ed abiotici che li generano e provvedendone una quantificazione fisica.

Approcci integrati alla Mappatura dei Servizi Ecosistemici

Esistono svariate soluzioni aventi lo scopo di realizzare simulazioni spaziali dei processi di produzione dei SE. Si provvede, di seguito, ad una rapida rassegna dei più interessanti.

ARIES (ARTificial Intelligence for Ecosystem Services)[58] Dati satellitari, aerei, ottenuti da reti di sensoristica terrestre ed acquatica vengono prodotti da gruppi di ricercatori e scienziati. Per meglio condividere questi dati e la potenza di calcolo necessaria alla loro analisi, ARIES sta sviluppando un protocollo *cloud-based* di condivisione di dati e modelli. L'analisi dei dati passati consente di consolidare i modelli predittivi sulle conseguenze future delle scelte odierne. ARIES può assecondare diversi bisogni, inclusa la valutazione di scenari, l'analisi spaziale, la valutazione economica, l'ottimizzazione di programmi PES e la pianificazione territoriale.

L'interfaccia utente, chiamata *Aries Explorer* non è ancora pubblicamente disponibile³. La piattaforma di modellistica ("k.LAB") è disponibile su richiesta.

SOLVES (Social Values for Ecosystem Services)[49] SOLVES è disegnato per valutare, mappare e quantificare il valore socialmente percepito dei SE. I valori sociali, percepiti, sono valori non di mercato riconosciuti ai SE in particolare di tipo culturale (Estetico e Ricreativo, ad esempio) e possono essere valutati in riferimento a diversi gruppi di **Stake Holders**. Questi gruppi sono distinguibili per le loro attitudini e preferenze riguardo l'uso dei beni pubblici. SOLVES calcola una scala di valore sociale in 10 gradazioni dalle combinazioni di preferenze rilevate ed esperimenti di scelta, calcolando la caratterizzazione degli ambienti come distanza dall'acqua e **Land Use and Land Cover (LULC)** prevalente. Gli utenti possono fornire valori qualora ne dispongano.

TESSA[39] Il progetto definisce un manuale per l'analisi dei SE. Fornisce indicazioni pratiche su come identificare i SE significativi in un'area e quali dati siano necessari per misurarli. Descrive quali fonti o metodi impiegare per reperirli e come comunicare i risultati agli **Stake Holders**. Il prontuario pone particolare enfasi nell'importanza di comparare i risultati di scenari alternativi per comprendere appieno le conseguenze delle diverse scelte. Nella redazione del metodo la linea guida è stata di consociare semplicità e funzionalità alla comunicazione con i decisori. Esclude alcuni aspetti

³nonostante l'annuncio di rilascio dei webinar nel Dicembre 2015, il software è ancora in *alpha-testing*

avanzati legati alla concetto di SE di modo da risultare accessibile a non-esperti ma al contempo fornire un'informazione scientifica solida.

PolicySupport[35] Per superare la distanza tra i dati scientifici e le conoscenze dei decisori politici è stato realizzato un sistema *web-based* con un database di dati globali impiegati da una varietà di modelli che accettano anche dati forniti dall'utente. Tra i principali modelli impiegabili globalmente si segnalano i seguenti.

Co\$ting Nature Stima il capitale naturale ed analizza i SE forniti identificando i beneficiari e valutando l'impatto degli interventi. Consigliato non per la valutazione in quanto tale ma per il costo corrispondente ad interventi di scenario. Gli sviluppatori ne consigliano l'impiego per individuare priorità di conservazione, analisi DPSIR ed in generale per la valutazione di interventi.

WaterWorld Può essere impiegato per comprendere la baseline delle risorse idriche di un area ed i fattori di rischio idrologico associati a diversi LULC. Può essere utilizzato per condurre anche analisi di impatto climatico e di gestione del territorio.

DESURVEY Strumento di analisi dei processi di desertificazione, degradazione del suolo ed erosione.

InVEST Per la simulazione e mappatura dei flussi di SE la scelta è ricaduta sul software InVEST, in particolare, per le possibilità di preliminarmente disamina dei dati di input e per la possibilità di elaborazione in locale che consente l'osservazione di tutti i passaggi intermedi dell'elaborazione. Inoltre è orientato verso utenti senza specifiche competenze di modellistica il che lo rende di più facile applicazione da parte di piccoli Enti. Inoltre la fornitura di dati di input consente di raccogliere da diverse fonti dati di maggiore qualità rispetto a strumenti con obiettivi *world wide*.

1.5 Un esempio applicativo: ECOPAY CONNECT OGLIO-SUD

Per sperimentare l'analisi e mappatura di SE in condizioni rappresentative del potenziale panorama applicativo italiano è stato assunto un caso reale: il Parco dell'Oglio Sud, situato nella parte sud orientale della Lombardia, a cavallo delle provincie di Mantova e Cremona, ha avviato il progetto ECOPLAY CONNECT OGLIO-SUD.

L'obiettivo del progetto è il potenziamento del corridoio ecologico rappresentato dal Parco Oglio Sud⁴ con lo scopo di potenziare i caratteri per il mantenimento della biodiversità a scala locale e sub-regionale attraverso strumenti innovativi di *governance* ambientale per la progettazione e il finanziamento partecipato delle opere di conservazione. Il mantenimento della biodiversità è perseguito con interventi di diversificazione fluviale dell'alveo e delle lanche e di deframmentazione dell'habitat ripario, oltre all'aumento dell'estensione delle aree vegetate. Da ciò si prevede consegua un miglioramento la qualità delle acque. Accompagnando questi interventi sistemici con la progettazione di interventi di conservazione faunistica, si intende raggiungere un complessivo miglioramento delle condizioni di salvaguardia delle specie, soprattutto avifaunistiche, presenti.

Il progetto ECOPAY CONNECT-UGLIO-SUD costituisce un esempio dell'impiego del concetto di Servizio Ecosistemico volto alla tutela ambientale e allo stesso tempo evidenzia come la puntuale mappatura di questi sia fondamentale per godere al massimo dei benefici che possono corrispondere e bilanciare conseguentemente le scelte gestionali.

La realizzazione di modelli di simulazione dell'erogazione di SE all'interno del Parco potrebbe costituire una base di analisi tramite la quale perseguire la massimizzazione benefici.

Si valuteranno, nella presente Tesi, i risultati che potrebbero pervenire da una simile analisi.

⁴situato in Lombardia tra le provincie di Cremona e Mantova, quest'ultima confina con Veneto ed Emilia Romagna.

Materiali e Metodi

2.1 Descrizione dell'Area di Studio

Il fiume Oglio scorre lungo l'intera Val Camonica, raggiunta la pianura determina per un tratto il confine tra le provincie di Brescia e Bergamo e, in seguito all'immissione del Mella, tra quelle di Mantova e Cremona. A Scorzarolo si immette da sinistra nel Po di cui è uno dei maggiori affluenti sia per portata sia per superficie di bacino e lunghezza dell'asse. La millenaria presenza antropica ha indotto l'arginatura spondale del fiume, limitandone la mobilità laterale ed immobilizzandone i meandri. La convivenza di questi fattori consente lo spazio tecnico per l'attuazione di opere di vegetazione spondale allo scopo di riqualificare l'ambiente fluviale e di stabilizzare le sponde.

Gli ambienti fluviali costituiscono intrinsecamente aree di primaria importanza per la biodiversità espletando naturalmente la funzione di corridoi ecologici, come si vedrà nel 2.1.2. Tale vocazione è tanto più spiccata quanto più gli ecosistemi peri-fluviali siano resilienti. Lungo le sponde, secondo il gradiente di umidità relativa del suolo, si ritrovano successioni vegetazionali caratteristiche dove formazioni di piante acquatiche ed arbusteti umidi sfumano in saliceti, pioppeti e frassineti. Nelle lanche, dove il suolo fine corrisponde al semi-affioramento della falda, si trovano le stazioni idonee per i querceti di Farnia ed alnete di Ontano nero in cui trovano sede strati arbustivi autoctoni che rivestono un ruolo ecosistemico di fondamentale importanza.

Nei tratti in cui le sponde sono boscate si ritrovano nicchie ecologiche accoglienti per svariate specie ittiche, di invertebrati ed uccelli. Le fasce ripariali, inoltre, intercettano le emissioni di nutrienti e fitofarmaci dal vicino sistema agricolo riducendo l'impatto derivante dall'inquinamento diffuso [40].

L'area della pianura cremonese e mantovana manifesta la propria spiccata voca-

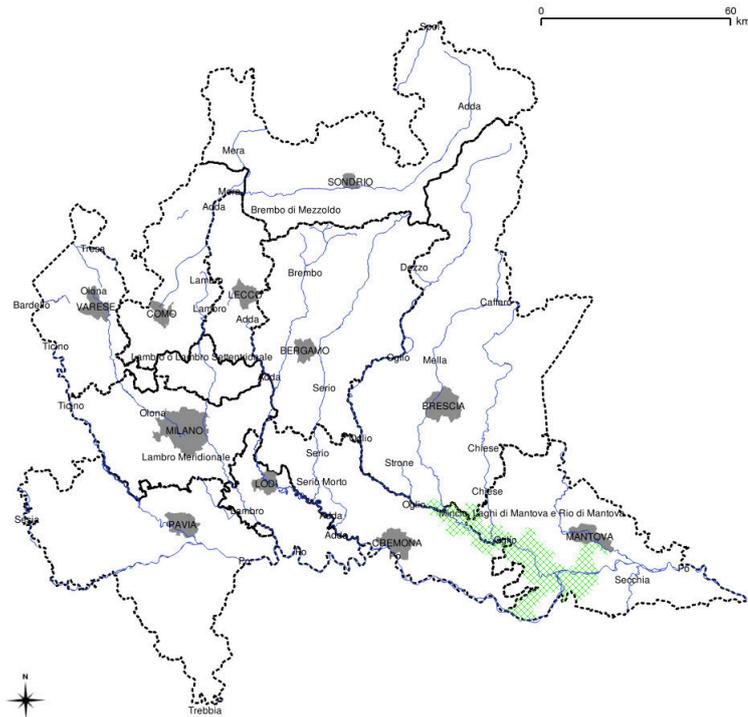


Figura 2.1: L'area oggetto di studio, retinata in verde circondata dai principali elementi fluviali ed urbani. Inoltre, sono marcati i confini delle provincie Lombarde

zione agricola specialmente attraverso attività zootecniche di bovini e suini corredate dalla conduzione di superfici a monocultura di mais da insilato e da granella ad uso zootecnico. Queste pratiche enfatizzano la monotonia del paesaggio pianiziale ed al contempo concorrono alle pressioni esercitate sulle riserve idriche sia a livello locale sia di bacino. Lo spandimento dei reflui da attività zootecnica determina un forte input di nutrienti al suolo. Il carico è tale che il bacino sublacuale dell'Oglio risulta essere il secondo in pianura Padana per rilascio di azoto per unità di superficie¹. Primo della classifica risulta, invece, il fiume Mella, immissario in sinistra idrografica dell'Oglio. La designazione, ai sensi della "Direttiva Nitrati" (91/676/CEE), delle aree vulnerabili all'inquinamento da nitrati interessa fortemente il bacino dell'Oglio; tanto che la quasi totalità dei comuni del Parco rientrano tra i Totalmente Vulnerabili con un "alta" od "elevata" vulnerabilità intrinseca dei suoli.

Nelle aree agricole marginali, come quelle in ambito golenale, la destinazione agricola prevalente è la pioppicoltura. Sperimentazione vincente è stata la conversione di estese superfici a colture vivaistiche che hanno reso il comune di Canneto sull'Oglio uno dei più importanti riferimenti del settore vivaistico per le latifoglie in Italia e non solo. Il Parco è coinvolto nella sperimentazione di tecniche vivaistiche a basso impatto ambientale alle quali sono rese disponibili porzioni di area golenale.

¹con asportazioni medie stimate pari a 4.38kgN/ha e 1.82kgP/ha [16]

2.1.1 Il Parco "Oglio Sud"

Il Parco regionale "Oglio Sud" viene istituito nel 1988 con la L.R. n. 17 del 16 aprile, successivamente abrogata e sostituita dalla L.R. n. 12 del 4 agosto 2011 con cui diviene un ente di diritto pubblico, integrato entro il Sistema Regionale di Reti Ecologiche. L'area gestita dal Parco è a cavallo delle provincie di Cremona e Mantova ed interessa 16 diversi Comuni che sono statutariamente coinvolti nella gestione dell'Ente Parco. L'Ente Parco risulta pertanto costituito dai Comuni di Ostiano (CR), Volongo (CR), Pessina Cremonese (CR), Isola Dovarese (CR), Drizzona (CR), Piadena (CR), Calvatone (CR), Casalromano (MN), Canneto sull'Oglio (MN), Acquanegra sul Chiese (MN), Bozzolo (MN), Marcaria (MN), San Martino dell'Argine (MN), Gazzuolo (MN), Commessaggio (MN) e Viadana (MN) oltre che dalle Province di Cremona e Mantova. All'amministrazione concorrono, oltre alla Comunità del Parco, il Consiglio di Gestione presieduto dal Presidente del Parco ed il Revisore dei Conti. Un rappresentante da ciascun settore della rete associativa composta da associazioni ambientaliste, venatorie, piscatorie, agricole, produttive, turistiche e pro-loco può presenziare alle sedute del Consiglio di Gestione con diritto di parola.

L'Ente è chiamato in particolare alla tutela delle *esigenze di protezione della natura e dell'ambiente, di uso culturale e ricreativo, di sviluppo delle attività agro-zootecniche e silvo-pastorali e delle altre attività tradizionali in forme compatibili con l'ambiente*[11]. Il parco comprende Zone di Protezione Speciale (ZPS), Siti di Interesse Comunitario (SIC) e Riserve Naturali in buona parte sovrapposti ed insidenti sulle medesime superfici come evidente in figura 2.2.

I siti ricadono tutti nella regione biogeografica continentale e sono protetti dalla direttiva Habitat(ad eccezione della ZPS "Oglio Sud", tutelata dalla direttiva Uccelli). Gli habitat presenti all'interno dei siti SIC e ZPS e riconosciuti dall'Unione Europea [1] sono elencati nella tabella A.2.

All'interno delle aree protette, la superficie è prevalentemente ² coperta da ontano-frassineti e nitrofile ripariali. Il singolare abbinamento riflette da un lato il lavoro svolto per la tutela degli habitat di maggior valore, dall'altro la pressione esercitata dagli usi del suolo circostante. La localizzazione delle aree tutelate entro i confini del Parco, riportata in figura 2.2 evidenzia il profondo legame tra i siti tutelati e l'ambito fluviale. Unica apparente eccezione è il sito "Torbiere di Marcaria" che risiede interamente su un paleomeandro dove all'accumulo di sostanza organica in condizioni anaerobiche è conseguita la formazioni di uno strato di torba profondo dai 3 ai 6 metri. I trascorsi estrattivi del sito hanno generato bacini lacustri dal perimetro regolare ora naturalizzati risultando in un area di interesse ornitologico. Per la propria storia pedogenetica l'intera area assiste frequentemente alla formazione

²Per maggiore dettaglio si veda la tabella A.2 a pagina lvii

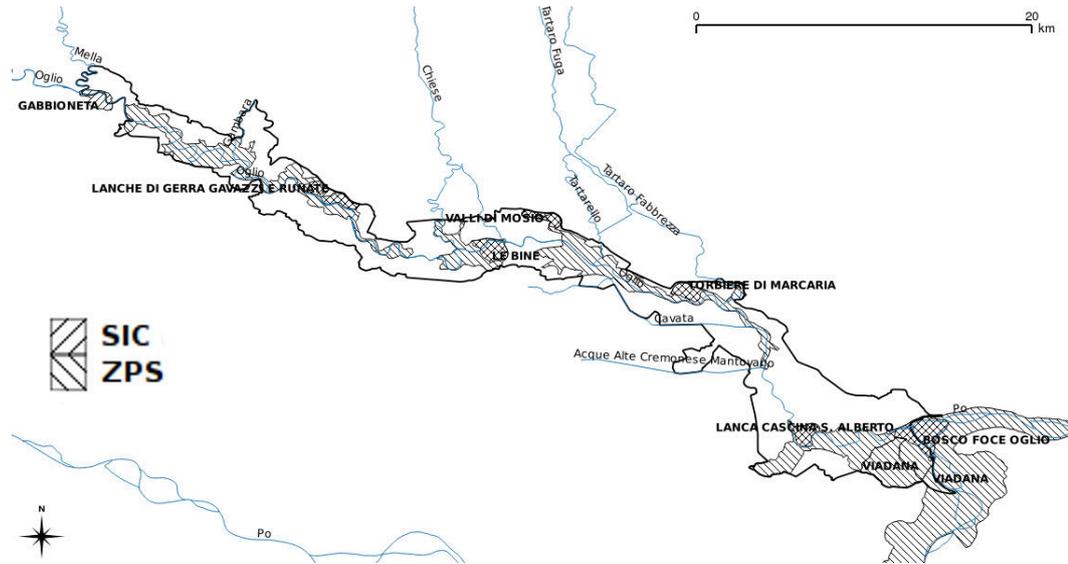


Figura 2.2: le aree SIC e ZPS amministrate dal parco e la loro posizione relativa ai corsi d'acqua dell'Oglio, i suoi immissari ed il Po

di torbiere le cui parti superstiti dallo sfruttamento dei secoli scorsi sono ora tutelate. Sono in corso studi di fattibilità per diversi progetti di miglioramento ambientale attraverso regimazione idrologica sia su aree umide propriamente dette sia su torbiere. Questa tipologia di siti è infatti estremamente sensibile alla qualità delle acque che vi si immettono, potenziale fonte di inoculo per specie aliene a questi ecosistemi.

2.1.2 Rete Ecologica Regionale

La Regione Lombardia, in ragione della forte pressione esercitata dalle attività antropiche sugli ecosistemi presenti nel territorio, ha avviato assieme alla Fondazione Lombardia per l'Ambiente il progetto di seguito riassunto dalle parole di Giovanni Bottari, Presidente della fondazione[18].

La prima fase del progetto ha portato all'identificazione delle Aree prioritarie per la biodiversità: 35 siti, piccoli e grandi, che una vasta squadra di naturalisti esperti in molteplici settori ha identificato univocamente come le aree più importanti e 'irrinunciabili' per la salvaguardia di ambienti e specie della pianura lombarda. La seconda fase parte dal presupposto che non è più possibile pensare di salvare le specie selvatiche e gli ambienti naturali realizzando una raccolta di 'francobolli' di natura isolati dal resto del territorio. In paesaggi con una forte impronta umana come quello della pianura lombarda, è fondamentale garantire la connessione ecologica tra le diverse aree importanti, per consentire quel ricambio di individui (e quindi di geni) e di risorse biologiche necessario al mantenimento di popolazioni, specie e habitat. In questo senso, la rete ecologica è lo strumento più adatto di cui disponiamo: essa è concepita proprio come

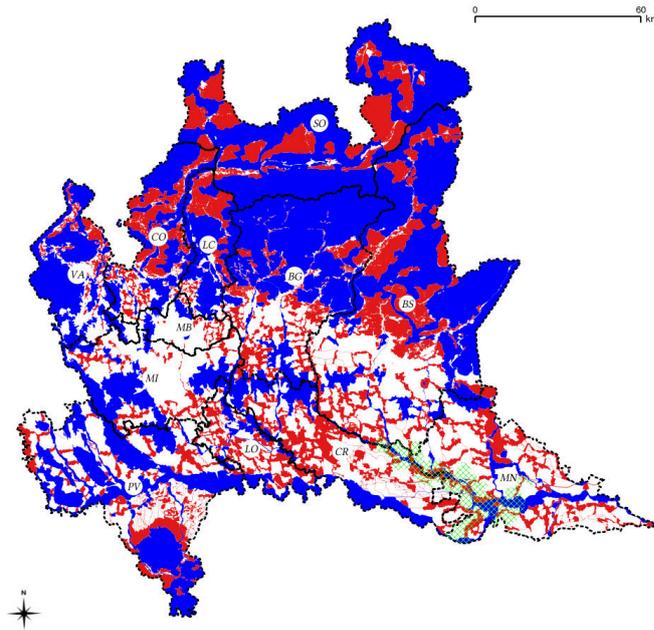


Figura 2.3: Inquadramento geografico della RER. In blu gli elementi di primo livello, in rosso il secondo livello. La retinatura verde ricopre l'area oggetto di studio.

rete di 'scambio', lungo cui possono muoversi individui e specie, riescono a mantenersi popolazioni vitali e possono verificarsi fenomeni di ricolonizzazione di aree dove una o più specie erano andate estinte.

Entro il sistema della Rete Ecologica Regionale (RER) illustrato in 2.3, l'area di studio interessa 4 dei 237 settori in cui la Regione è ripartita. La rilevanza dei settori della RER considerati ruota attorno alla naturale connettività ecologica offerta dai corsi d'acqua presenti ed a porzioni del reticolo di canali ad uso agricolo cui viene affidata la funzione di corridoi ecologici mettono in contatto i diversi elementi della rete. Per garantirne la funzionalità l'optimum è definito dalle seguenti linee guida di gestione delle risorse idriche volto a tutelare sia l'aspetto biotico dell'ecosistema fluviale sia la qualità dell'acqua che lo compone.

A valle degli insediamenti e dei loro impianti di depurazione più o meno efficaci vengono realizzati ecosistemi-filtro palustri in grado di svolgere una funzione di finissaggio sulle acque in uscita dal sistema e di renderle più compatibili con un uso irriguo successivo. Altre unità ecosistemiche polivalenti vengono idealmente poste anche nei segmenti iniziali della rete idrica, in modo da laminare e pre-depurare le acque di prima pioggia. I flussi idrici attraversano il sistema agricolo attraversano filari arboreo-arbustivi con funzione buffer tampone, in grado di svolgere funzioni di fitodepurazione. Un ruolo ed una rilevanza specifica potrà essere svolto dalle fasce riparie laterali al corso d'acqua, che potrà in molti casi svolgere anche funzioni di consolidamento spondale in un'ottica tecnica di ingegneria naturalistica. La qualità finale del corso d'acqua sarà così migliorata,

così come la sua capacità di autodepurazione. Le acque utilizzate a scopo irriguo potranno così avere una maggiore qualità; i prelievi complessivi dal corso d'acqua e dalle falde sotterranee potranno essere ridotti, essendosi riutilizzate le acque depurate.[42]

L'area è interessata da alcune criticità. Queste sono soprattutto legate alle strade presenti sul territorio che costituiscono una barriera allo spostamento di alcune specie. L'urbanizzazione si connoterebbe come preoccupante solamente qualora la frequenza dei nuclei abitati si intensificasse parallelamente all'accrescimento degli esistenti. Nuclei di modeste dimensioni, quali gli esistenti nonostante la manifesta tendenza all'addensamento dei conglomerati urbani, non rappresentano una seria minaccia alla funzionalità ecologica dei corridoi[42].

È importante ricordare che la realizzazione della Rete Ecologica Regionale è un'opera in divenire e che i suoi elementi sono individuati ma non necessariamente pronti ed operativi. Risulta di agevole rilevazione come le maglie della RER siano meno capillari in corrispondenza dell'area oggetto di studio dove, dunque, la loro funzionalità risulta ancora più focale.

2.2 InVEST

InVEST è il software sviluppato dalla fondazione Natural Capital Project (NCP) con lo scopo di quantificare e mappare la fornitura di Servizi Ecosistemici (SE). NCP ha lo scopo di informare i decisori delle conseguenze sulla fornitura di SE derivanti da modifiche apportate al territorio. Per distinguere opportunamente[52] l'effetto delle singole decisioni la procedura ricorre alla generazione di scenari alternativi da confrontarsi tra loro. Data la grande variabilità entro lo spettro dei SE, l'analisi viene svolta mediante una molteplicità di modelli; ciascuno rivolto ad un determinato Servizio e pertanto segnato dalle relative specificità.

L'approccio decisionale proposto entro il NCP prevede degli step successivi da completare:

1. Comprendere le dinamiche locali
2. Individuare il miglior veicolo di comunicazione con gli Stake Holders
3. Elaborare, assieme agli Stake Holders, possibili sviluppi futuri (scenari), quanto più possibile dettagliati
4. Convertire i progetti emersi in cartografia compatibile con il software
5. Valutare i SE erogati per ciascuno scenario
6. Usare i risultati per informare i decisori

Al termine del procedimento dovrebbe essere possibile selezionare la migliore soluzione per soddisfare i bisogni e le aspettative degli **Stake Holders**.

Del processo sopra descritto, l'attenzione entro il presente lavoro di tesi si focalizzerà sui punti 4 e 5.

2.2.1 I tool InVEST

Nei successivi paragrafi sono presentate le componenti della suite InVEST utilizzate in questo lavoro. Di ciascuna sono esposti il principio di funzionamento e le finalità così come spiegate nella documentazione [52].

In seguito, nel 2.3, ne sarà illustrata l'applicazione sottolineando i passaggi dove le esigenze del caso abbiano indotto a discostarsi dalle indicazioni di massima.

2.2.1.1 Generatore di Scenari

Il generatore di scenari è uno strumento cardine dell'approccio NCP. L'output di questo strumento è la cartografia di un futuro uso del suolo elaborata in funzione dei parametri che ne descrivono le modalità di variazione nel tempo a partire da condizioni attuali. Le diverse alternative così ottenute saranno poi elaborate come **input** per gli altri modelli per ottenere l'erogazione di SE in funzione delle scelte caratterizzanti l'alternativa.

Il programma simula l'evoluzione degli usi del suolo modificando una **Land Use and Land Cover (LULC)** di **input**. Entro la *Transition Table*, ad ogni LULC viene associata la disponibilità ad essere trasformata in ciascuna delle altre classi e l'indicazione della quantità di trasformazione che la interessa, in misura relativa (%) od assoluta (ha).

Il programma considera, quindi, i fattori che influenzano la trasformazione verso ogni LULC (come ad esempio: la distanza dalle strade, la tipologia di suolo, ...). Tali fattori influenzanti le trasformazioni vengono descritti entro la *Factors Table*, dove ne vengono specificati le modalità e le misura.

La compilazione delle tabelle segue le indicazioni degli **Stake Holders** e ne riflette interessi, bisogni ed obiettivi.

La combinazione di queste informazioni determina l'output del programma, ovvero l'Uso del Suolo in un ipotetico futuro. Diverse configurazioni dei parametri consentono di profilare diverse direttrici di sviluppo che sarà, in seguito, possibile confrontare in termini di proficuità nella fornitura di SE.

Per ulteriori dettagli riguardanti la formattazione delle tabelle, si rimanda al B.1 a pagina lxiii dove se ne ritrovano esempi.

2.2.1.2 Ritenzione di Nutrienti

La purificazione dell'acqua è un servizio essenziale fornito dagli ecosistemi; il modello stima il contributo della vegetazione e del suolo alla rimozione di nutrienti inquinanti dai flussi idrici. Calcolato il *run off* per ogni porzione di terreno, il modello calcola il carico trattenuto su ogni pixel della mappa in base a coefficienti sensibili all'uso del suolo, alla copertura ed alle specifiche caratteristiche del suolo. Il carico di nutrienti, sottratto della quota trattenuta, consente di quantificare i nutrienti inquinanti disponibili ad essere trasportati dal *run off*. Il modello richiede numerosi dati relativi al territorio, esposti di seguito:

LULC riportante l'uso condotto in ogni punto dell'area.

DEM che riporta la quota del suolo in ogni suo punto.

Capacità di campo Ovvero la quantità di acqua che i suoli sono in grado di trattenere.

Profondità radicabile possibile per la vegetazione.

Precipitazioni i millimetri di pioggia sul territorio.

Evapotraspirazione potenziale somma della quantità d'acqua traspirata dalla vegetazione ed evaporata dal suolo umido.

Il modello combina questi dati alle caratteristiche specifiche associate ad ogni copertura del suolo nella *Biophysical Table*.

Tra i prodotti del modello si trova la mappatura della ritenzione dell'azoto nel territorio.

2.2.1.3 Ricreazione

La ricreazione ed il turismo legati agli ecosistemi compongono un servizio i cui effetti possono pesantemente ripercuotersi sulle economie locali e sull'identità culturale delle popolazioni residenti nell'area. Per quantificare questo SE, il modello InVEST stima la dispersione dei visitatori sulla base dell'analisi regressiva tra gli elementi geolocalizzati del paesaggio³ e le fotografie georeferenziate disponibili online sulla piattaforma *Flickr*[21]. Sono così ottenuti indici di attrattività di ogni uso del suolo nei confronti degli utenti. Le fotografie disponibili sul sito Flickr vengono assunte come proxy delle visite ricreative nell'area. L'assunzione delle fotografie come proxy delle visite porta solitamente[59] ad una correlazione con l'andamento delle visite. Un limite è evidentemente legato al comportamento dei visitatori: qualora

³impiegati dal software come *predictors*, ovvero *fattori di correlazione*

i visitatori non scattino fotografie il modello ne perde completamente traccia. In alcune aree quest'ultimo limite può pregiudicare l'applicazione del modello.

I fattori georeferenziati (*predictors*) da correlare alle fotografie possono essere forniti dall'utente o selezionati da una lista di *predictors* globali.

Il modello prevede l'applicazione di una griglia entro la quale i *predictors* vengono sommati per ciascuna cella e poi linearmente correlati con il dato di visite⁴ associato alla cella. Ne deriva il coefficiente di correlazione per ciascun *predictors* con l'attrattività riscontrata. In seguito, nel secondo modulo del modello, i coefficienti sono impiegati per assegnare una valutazione di ciascuna cella sulla base dei fattori in essa presenti.

L'applicabilità del modello agli scenari futuri è possibile solamente includendo tra i *predictor* alcuni elementi sensibili ai cambiamenti d'uso del suolo. Il cambio d'uso del suolo corrisponde, infatti, alla variazione verso lo scenario futuro e se i *predictor* non dipendessero da questa variabile, i risultati sarebbero uguali tra loro. Motivo per cui tra i *predictor* globali risultano classificazioni d'uso del suolo globali.

2.2.1.4 Qualità degli Habitat

Il modello InVEST per la qualità degli habitat combina le informazioni sulla copertura del suolo e le minacce alla biodiversità per produrre una mappa della qualità degli habitat. I cambiamenti di qualità e quantità degli habitat sono considerati rappresentativi del tenore di biodiversità genetica e del numero di specie ospiti. Ogni classe di copertura viene definita per la propria funzionalità agli obiettivi di conservazione sul sito e per l'idoneità alle specie chiave.

L'impatto di ciascuna minaccia sugli habitat viene mediato secondo due fattori: il grado⁵ e la distanza⁶. Ogni habitat viene descritto nella sua sensibilità alle diverse tipologie di minaccia. Il modello accoglie inoltre restrizioni agli impatti in funzione di limiti formali vincolanti, ad esempio si pensi ad un'area protetta la cui esposizione ad una minaccia è tamponata da forme di tutela legale che pure non emergerebbero dalla semplice analisi cartografica. La qualità degli habitat presenti offre un efficiente e rapido approccio alla valutazione della biodiversità nell'area ma non garantisce una panoramica completa di questa. L'approccio del modello consente efficacemente di quantificare il SE della biodiversità senza ricorrere a dati sulle popolazioni o le specie; dati solitamente non disponibili e talvolta operativamente impossibili da raccogliere. Oltre all'artificialità nella determinazione dell'area d'influenza delle minacce, la principale debolezza è costituita dal criterio additivo applicato agli impatti. Questa

⁴la media delle fotografie scattate annualmente

⁵Ad esempio si considera che la minaccia derivante da un ambiente urbano risulti più significativa di quella originata da un contesto agricolo

⁶sono previsti impatti con funzione di decadimento lineare od esponenziale

semplificazione, se da un lato consente un agevole gestione della modellistica delle minacce, incorre nell'inconveniente di trascurare l'interazione non lineare tra diverse minacce che possono amplificare i reciproci impatti.

2.3 Applicazione all'area di studio

Il software InVEST è stato impiegato per stimare la fornitura di SE nel Parco dell'Oglio Sud. Conclusa la disamina degli strumenti e presa visione delle modalità d'impiego raccomandate, sono di seguito presentati i criteri e le procedure impiegate per l'applicazione dei medesimi strumenti al caso studio in considerazione.

2.3.1 I Servizi Ecosistemici nel Parco dell'Oglio Sud

Il progetto LIFE+ MAKING GOOD NATURA (MGN) [29] sviluppa nuovi percorsi di governance ambientale finalizzati alla tutela degli ecosistemi agroforestali ed elabora forme di valutazione biofisica, qualitativa e quantitativa dei SE. Nel report A2.4 che analizza ventuno siti pilota appartenenti alla rete Natura2000 ricadenti in 3 regioni biogeografiche (Alpina, Continentale e Mediterranea) viene riportata la propensione per ciascun habitat⁷ e per ciascuna classe d'uso del suolo⁸ all'erogazione di ciascun SE. Sulla base di tale lavoro, è stato possibile individuare i SE maggiormente rilevanti nell'area:

- Purificazione dell'Acqua
- Ricreazione
- Habitat

Ad ognuno di questi Servizi Ecosistemici corrisponde un modello di stima InVEST, come illustrato nella tabella 2.1.

Tabella 2.1: Corrispondenza tra i modelli InVEST, i loro output e i SE

Riferimento	Nome del modello	Output	Servizio Ecosistemico	Codice del Servizio
2.2.1.2	Ritenzione di Nutrienti	Kg/ha ⁹	Purificazione dell'acqua	R4
2.2.1.3	Ricreazione	$visite/anno$	Valore ricreativo	C2
2.2.1.4	Qualità dell'Habitat	Indici di Qualità	Habitat per la biodiversità	R9

⁷secondo la classificazione European Nature Information System (EUNIS)

⁸secondo la classificazione coordination of information on the environment (CORINE), compatibile con la classificazione DUSAF impiegata, *cfr.* B.1.1

2.3.2 Ritenzione dei Nutrienti

Il modello è stato impiegato per la stima della ritenzione di Azoto. La raccolta dei parametri di input ha richiesto una ricerca bibliografica ed un'elaborazione di altri dati disponibili qualora il materiale raccolto non sia apparso esaustivo.

Per l'individuazione dei coefficienti di configurazione dei parametri idro-chimici da associare a ciascuna classe d'uso del suolo si è fatto riferimento alla bibliografia di settore. Da differenti studi sono stati acquisiti i parametri specifici per ciascuna LULC. La tabella risultante è disponibile nella B.4 a pagina lxvii. Dove non diversamente segnalato, i parametri sono tratti dai dataset associati al programma. I coefficienti necessari a ricondurre l'evapotraspirazione potenziale a quella effettiva, specifici per ogni tipologia d'uso del suolo, sono stati assunti da Frevert, Hill e Braaten [19].

Presso il portale cartografico della Regione Lombardia[26] è possibile ottenere il DEM con una risoluzione pari a 20 metri¹⁰.

L'adozione del *run off* come fattore chiave della dinamica di depurazione, rende il modello molto sensibile ai parametri associati alla geomorfologia fornita dal DEM. Il DEM è stato sottoposto ad elaborazione per garantire la presenza di fiumi e canali. L'operazione è stata svolta impiegando la funzione *r.carve -n* di GrassGIS che garantisce la presenza di una direzione di deflusso. Gli elementi principali sono stati posti aventi larghezza di 20 metri e profondi 3, mentre ai canali irrigui è stata posta una larghezza di 5 metri e profondità di 1 m. Il raster risultante è stato esportato con risoluzione di 5 metri. La differenza tra i due DEM è pari a $0.0003 \text{ m}^3/\text{m}^2$, equivalente ad uno spessore medio di 0.3 mm. Il DEM elaborato consente[32] di affinare la qualità dell'elaborazione successiva effettuata dal modello. Per contro, vengono in esso inserite informazioni che non sono state rilevate bensì estrapolate da altri dati. Per verificare l'effetto di questo intervento, il modello è stato eseguito per ognuno dei DEM così da disporre dell'elaborazione basata sul DEM disponibile sul Portale Cartografico(Nn) e su quello elaborato (Nh) per ogni carta di uso del suolo.

Il dato pedologico relativo alla profondità radicabile dei suoli, in sé difficile da stimare, è disponibile per la superficie lombarda[26] tra i dati pedologici a scala 1:250000 come "profondità utile". Data la natura stessa dei dati pedologici, nessun tentativo di raffinare l'informazione è stato possibile.

⁷Formalmente il modello è disegnato per Azoto e Fosforo, tuttavia qualsiasi inquinante può essere indagato a condizione di riconfigurarne i parametri di assorbimento e diffusione nella *Biophysical Table* o nei sorgenti del programma

⁸Formalmente il modello è disegnato per Azoto e Fosforo, tuttavia qualsiasi inquinante può essere indagato a condizione di riconfigurarne i parametri di assorbimento e diffusione nella *Biophysical Table* o nei sorgenti del programma

⁹Formalmente il modello è disegnato per Azoto e Fosforo, tuttavia qualsiasi inquinante può essere indagato a condizione di riconfigurarne i parametri di assorbimento e diffusione nella *Biophysical Table* o nei sorgenti del programma

¹⁰Dove, ovvero, ogni pixel ha dimensione al suolo di 20x20 metri

Il dato relativo alle precipitazioni è teoricamente disponibile presso il sito di ARPA Lombardia ma non è stato possibile accedervi. Onde porre rimedio a questo è stato adottato il valore riportato in diverse pubblicazioni del Parco stesso, pari a 769 mm/y. L'uniformità del dato non induce preoccupazione data, da un lato la modesta estensione dell'area di studio, dall'altro, il dato delle medie provinciali per Mantova e Cremona, pari a 752.9 mm/anno e 787.5 mm/anno rispettivamente, porta ad una media di 770,2 mm/anno; in linea con l'ipotesi di un omogeneo andamento dei fenomeni piovosi entro il ristretto ambito della pianura padana in considerazione.

La variabilità della **capacità di campo** è sostanzialmente correlata alla tessitura del suolo (inversamente proporzionale alla granulometria media) e dalla presenza in esso di sostanza organica (proporzionalmente). Dati riguardanti la prima variabile sono resi disponibili entro la carta pedologica regionale in scala 1:50000 distribuita dal geoportale[26] della Regione Lombardia. Non sono, invece, disponibili informazioni puntuali sulla percentuale di sostanza organica. Questo fattore, ragionevolmente, discosta moderatamente dai valori di riferimento per i suoli agricoli data la prevalente destinazione d'uso presente nell'area. La **capacità di campo** è stata quindi stimata sulla base della tabella adattata da Saxton e Rawls [48] e riportata in B.5 a pagina lxviii.

L'evapotraspirazione potenziale è stata desunta da Protezione dell'Ambiente e servizi Tecnici - APAT [41].

L'applicazione del modello esige una pre-elaborazione della carta di Usi del Suolo tale quale essa è resa dal Generatore di Scenari a termine dell'elaborazione:

Gli usi dei suoli vengono intersecati con la carta pedologica per distinguere le destinazioni agricole su cui insiste un vincolo alla fertilizzazione dovuto alla vulnerabilità da azoto.

Vengono inserite le Siepi[8] disponibili nella cartografia regionale, avendo cura che esse risiedano ancora all'interno di una destinazione agricola. In accordo con diversi studi, anche condotti su questo stesso sito [28], esse sono coresponsabili[8] di una significativa purificazione delle acque di dilavamento.

Il raster risultante dalla pre-elaborazione viene fornito come LULC di input al modello.

2.3.3 Ricreazione

Al primo modulo del modello sono state fornite come *predictor* le diverse classi d'uso del suolo, ottenendo i coefficienti di correlazione di ciascuna. Dal momento che le classi di LULC sono state aggregate assecondando il paesaggio del sito in analisi, sono state fornite al modulo del programma come un dato "fornito dall'utente"; non essendo pienamente compatibili con le classificazioni globali, queste ultime non sono state impiegate. Dall'esplorazione del sito Flickr[21] risultano presenti

nell'area 232 immagini georeferenziate. Il modello ne considera la disposizione per ritrovare eventuali correlazioni con l'uso del suolo. Lo strumento $1m()$ [55] implica l'assunzione di una consistente intercetta per compensare l'abbondanza di immagini non correlate con l'uso del suolo. Le classi d'Uso del Suolo non presenti al 2015 (ovvero la Riforestazione e le Piantagioni Private Policicliche Permanenti (PPPP)) sono state assimilate a "Bosco" per via della somiglianza estetica, qui vero criterio dirimente. Al fine di verificare la funzionalità del modello entro un'area di modesta estensione, oltre che poco popolata di fotografie, è stata condotta una ricerca di campo ad-hoc, basata su un questionario compilato dai visitatori dell'area, con lo scopo di stimarne la fruizione. Gli esiti del questionario saranno elaborati con lo stesso algoritmo impiegato nel modello in modo da ottenere dati tra loro omologhi e confrontabili. Sulla base dei dati forniti dal questionario è stata sperimentata anche una griglia le cui celle hanno dimensione pari a $\frac{1}{3}$ del minimo consentito dal programma.

2.3.3.1 Campionamento ed intervista dei visitatori del Parco Oglio Sud

Una postazione di campionamento e di rilevamento delle frequenze è stata installata a rotazione in 4 siti, selezionati sulla base dell'esperienza dei tecnici del Parco e distribuiti lungo l'intero tratto dell'asta fluviale inclusa nell'Area di Studio, nei giorni festivi e prefestivi di Sabato 26 Settembre 2015 e Domenica 4 Ottobre 2015, oltre che nei giorni feriali dal 29 Settembre al 2 Ottobre . I turni presso i siti sono stati disposti in maniera tale che ogni sito fosse presidiato per mezza giornata festiva ed una intera giornata feriale. Il campione degli intervistati è stato estratto dalla popolazione dei frequentatori.

Rilevamento delle Frequenze Allo scopo di determinare la popolazione statistica dei visitatori del Parco, sono state registrate le frequenze dei visitatori che raggiungevano la postazione di campionamento e rilevamento. I frequentatori del Parco sono stati recensiti in funzione di:

Tipologia di fruizione: "a piedi", "in bicicletta", "in auto"

Sesso : "Maschio", "Femmina"

Modalità di fruizione: "solo" od "in gruppo"

La popolazione dei visitatori del Parco è stata caratterizzata sulla base di queste informazioni.

Le domande Il questionario (riportato a pagina lxxv) è stato progettato di modo da essere autonomamente compilato dagli intervistati ed è informalmente strutturato in 5 componenti.

Scopo e Frequenza delle visite a scopo ricreativo nell'area nel corso dell'ultimo anno.

Cartografia dell'area sulla quale indicare i luoghi visitati

Coinvolgimento riguardo le tematiche ambientali

Profilo di visitatore secondo le variabili di tipologia di fruizione ma anche riguardo spese dirette ed indotte connesse alla visita

Anagrafica sesso, età e comune di provenienza

Il blocco **Scopo e Frequenza** consente di determinare quale sia l'attività che porta il visitatore nel sito e con quale modalità. Viene richiesto di segnalare per ogni stagione dell'anno quante volte abbia visitato il Parco e con quale scopo. Per verifica incrociata viene richiesto quale sia la miglior descrizione della destinazione.

Il supporto **cartografico** che riporta strade, canali e centri urbani e le località segnalate ai turisti dal Parco nella cartografia distribuita dall'ente. Si richiede all'intervistato di indicare quali siti abbia visitato nell'ultimo anno, siano questi aree già segnalate ed evidenziate o meno.

Il terzo componente del questionario è rivolto a rilevare il **coinvolgimento** dell'intervistato in merito alla rete Natura 2000 ed alle attività che interessano il Parco. Sono quindi richieste le opinioni in merito alla gestione del Parco ed alle priorità che questa dovrebbe avere.

Per completare il **profilo** del visitatore intervistato è richiesta la "tipologia" di fruizione e quanti chilometri abbia percorso per raggiungere il sito. Nel caso di turisti di provenienza non locale sono approfondite le voci di spesa indicative.

Infine sono richieste informazioni riguardanti l'**anagrafica** del visitatore e l'eventuale adesione a qualche associazione. Allo scopo di verificare la precedente risposta riguardante il chilometraggio è chiesto di indicare il comune di provenienza.

Analisi e Risultati dei Questionari Lo scrutinio delle risposte pervenute ha messo a disposizione dati confrontabili con quelli acquisiti dal modello sulla base del proxy offerto dalle fotografie disponibili su social media; ovvero sia un insieme di punti georeferenziati corredati della frequenza di visita su base annuale da parte della popolazione dei frequentatori.

Dallo scrutinio delle risposte cartografiche sono stati individuati i siti maggiormente visitati dagli intervistati nell'arco dell'ultimo anno. Nella 2.4a sono riportati i luoghi risultati più attrattivi per gli intervistati.

Tabella 2.2: Rapporto tra elementi del Campione e della Popolazione dei Visitatori. In prima colonna, la rappresentatività aggregata per la tipologia di fruizione; analogamente "Rappr. 3a liv" indica il rapporto non aggregato per ogni classe. Le ultime colonne riportano i valori assoluti della Popolazione e del Campione nella classe.

Rappr. Tipologia (%)	Tipologia	Sesso	Modalità	Rappr. 3 ^a liv. (%)	PASSAGGI RILEVATI	Interviste
9.50	BICICLETTA	UOMO	SOLO	10.64	94	10
			GRUPPO	9.86	71	7
		DONNA	SOLO	9.09	22	2
			GRUPPO	0.00	13	0
17.65	PIEDI	UOMO	SOLO	37.04	27	10
			GRUPPO	6.67	15	1
		DONNA	SOLO	0.00	9	0
			GRUPPO	5.88	17	1
37.25	AUTO	UOMO	SOLO	57.14	21	12
			GRUPPO	22.73	22	5
		DONNA	SOLO	100.00	2	2
			GRUPPO	0.00	6	0
15.67	Rappresentatività campione				319	50

La figura 2.4b riporta invece la densità delle segnalazione sulla base delle quali è elaborata la figura 2.4a.

I passaggi rilevati corrispondono alla **popolazione** dei visitatori del sito mentre gli intervistati costituiscono il **campione**. In fase di elaborazione dei risultati, le risposte campionate sono state ponderate in modo da correggere la distorsione campionaria per riferire il dato campionato all'intera popolazione osservata. La ponderazione implica che il campione intervistato sia rappresentativo della popolazione ricadente nella stessa classe in base ai parametri sopra descritti.

Nella tabella 2.2 sono riportati gli esiti della classazione. La correzione della distorsione del campione rispetto alla popolazione impiega il valore di rappresentatività per tipologia di fruizione (1^a colonna della tabella 2.2), tale coefficiente è chiamato C_t nella formula seguente che calcola la popolazione annua dei visitatori dalla correzione della frequenza di visita fornita in risposta al questionario.

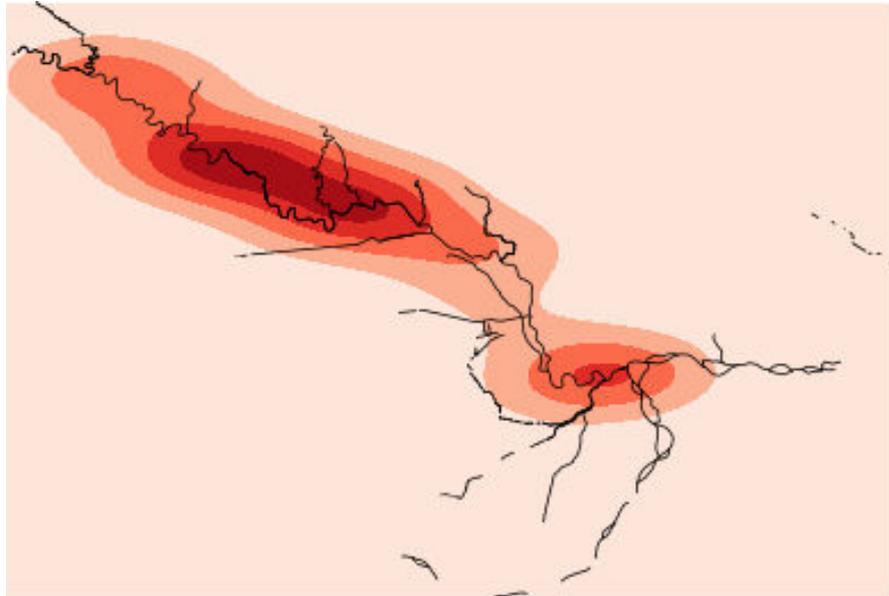
$$\text{Visitatori annui} = \sum_i^j \sum_{s \in \text{Stagioni}} F_{s,i} * C_{t,i}$$

dove :

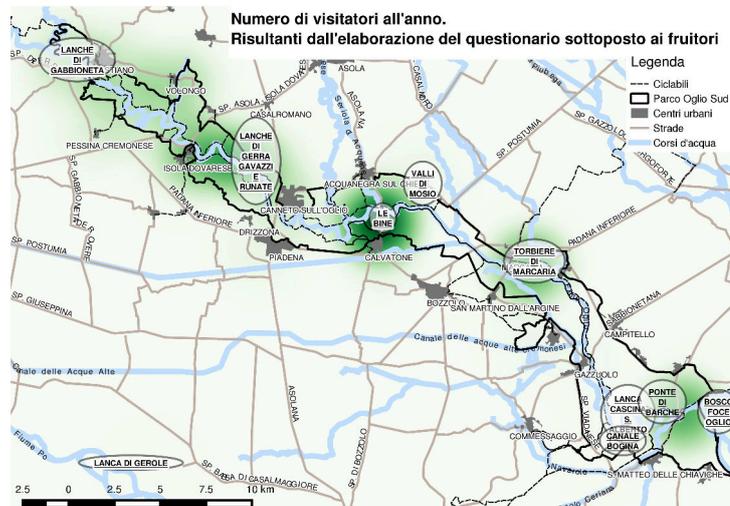
$$C_t = \frac{\text{Popolazione}}{\text{Rappresentatività Tipologia}} \quad (2.1)$$

$$F_s = \text{Frequenza stagionale}$$

Il numero di visitatori annui_i è stato associato ai punti indicati come visitati dal



(a) Output della Kernel Density analysis effettuata sui punti marcati come visitati dal Campione.
L'intensità del colore riflette la popolarità dei luoghi.



(b) La diffusione delle risposte riportate sulla cartografia somministrata nel questionario. La funzione di diffusione applicata pondera in gradazioni di verde il numero di visite anno.

Figura 2.4: Due diverse analisi preliminari dei punti indicati come destinazioni nel corso del rilevamento delle frequenze ricreative.

"*i*-esimo" intervistato andando a definire la distribuzione delle visite sul territorio da parte della Popolazione. La popolazione annua di visitatori prevista come sopra è stata assunta essere equivalente alla predizione effettuata dal modello InVEST della popolazione annua di visitatori sulla base delle foto scattate da un campione di questi. Se questo assunto introduce una non significatività dell'aspetto quantitativo, tale non significatività è tuttavia già intrinseca nel modello stesso il quale, attraverso la regressione lineare, si prefigge di indagare solo qualitativamente l'attrattività relativa degli usi del suolo.

Impiegando la funzione 2.1 ed associandone i risultati ai punti visitati (2.4b) si ottiene l'input per la regressione in funzione degli usi del suolo¹¹ mediante la funzione $\text{lm}()$ [55]. I dettagli ed i risultati di quest'operazione sono trattati in appendice B.3 a pagina lxviii.

2.3.4 Qualità degli Habitat

Sebbene esistano tecniche per rilevare i proxy della qualità ecosistemica,¹² la loro applicazione all'area di studio esige dati non disponibili alla scala necessaria.

La configurazione impiegata nel modello di Qualità degli Habitat è pertanto basata sul pool di parametri indicati da Terrado et al. [56] (configurazione Ht) e su un implementazione delle tabelle di propensione all'erogazione di SE in funzione di LULC ed habitat che sono state sviluppate entro il progetto Making Good Natura (Marino et al. [29]) (configurazione Hm) e che sono riportate alle pagine lix e lviii. Entrambe le configurazioni sono basate su procedure di consultazione *expert-based*.

I valori di Habitat per ciascuna classe d'uso del suolo forniti dalle tabelle pubblicate da MGN¹³ sono stati aggregati secondo lo stesso schema adottato per la classificazione delle LULC per gli scenari assumendo i valori ponderati sulla base dell'estensione in ciascuna classe presente nello scenario.

Il modello è stato configurato secondo indicazioni bibliografiche ritrovabili nell'opera di Terrado et al. [56] riclassificando gli usi del suolo per ricondurre le classi al precedente disponibile in letteratura.

La sensibilità degli habitat alle diverse minacce è basata in entrambe le varianti elaborate sui parametri proposti in Terrado et al. [56]. Come gli altri parametri assunti da Terrado et al. [56] anche questi hanno genesi dalla consultazione di esperti. La difficoltà di ritrovare fonti applicabili al modello di questo tipo di dati non ha consentito di confrontare due soluzioni alternative.

¹¹gli unici *predictor* qui adottati

¹²ad esempio: Ryan, Evans e Graham [45], Nelson et al. [37], Lauver, Busby e Whistler [24] o Ainsworth e Pitcher [2]

¹³già impiegate nella selezione dei Servizi Ecosistemici da considerare nello studio, come detto nel 2.3.1 a pagina 20

Le classi attribuite alla riforestazione ed alle PPPP sono state assimilate ad un bosco. Se per la prima l'attribuzione è autoesplicativa, la seconda potrebbe destare qualche dubbio. L'equivalenza è stata assunta, in assenza di dati più approfonditi in merito, sulla base della funzionalità ecologica attesa: se pure è vero che l'ecosistema di una PPPP sia oggetto di periodici interventi di prelievo, è pure vero che questi sono organizzati di modo tale da perseguire un solerte ripristino dell'habitat grazie alla resilienza ecosistemica.

2.3.5 Generatore di Scenari

In assenza di un'occasione di confronto con gli Stake Holders sono stati immaginati diversi scenari di sviluppo, ciascuno dei quali connotato da proprie peculiari caratteristiche. Nell'ottica di intraprendere un percorso di miglioramento ecosistemico, per cui di lunga durata, si sono voluti sperimentare, all'interno dei diversi scenari, gli esiti di differenti modalità di relazione tra la pianificazione e gli attori che la attuano. Questo per ricreare quelle condizioni di variabilità che si potrebbero incontrare sul campo. Nei diversi scenari si considerano vari gradi di collaborazione agli obiettivi di conservazione da parte dei conduttori agricoli: dalla sostanziale indifferenza alla partecipazione attiva.

Lo sviluppo di ogni alternativa di scenario è descritto attraverso 6 "istantanee" successive, ognuna corrispondente a 2,5 anni di evoluzione. In questo modo l'ultima proiezione degli usi del suolo di ciascuno scenario porta la data del 2030. Mentre la condizione di partenza (datata al 2015) è comune a tutti gli scenari, a partire dalla successiva ("2018") ciascuna direttrice di sviluppo inizia a differenziarsi. Le differenze vanno a sommarsi nel corso delle simulazioni successive fino ad arrivare, con la sesta simulazione ("2030") ad avere la massima differenza¹⁴ tra gli scenari.

L'elaborazione delle fasi intermedie non viene impiegata a scopi applicativi ma in questo caso è stata sperimentata per valutare la modalità di cambiamento nel corso evolutivo di ogni scenario.

Le diverse tipologie d'intervento ipotizzate saranno valutate attraverso i modelli. Dai risultati ottenuti sarà possibile trarre conclusioni sulla sensibilità dei modelli alle evoluzioni territoriali ed indirettamente sull'efficacia delle ipotesi d'intervento caratterizzanti ogni direttrice di sviluppo.

Le classi d'uso del suolo riportate dalla DUSAF sono accorpate quanto più possibile conservando le distinzioni per le quali si abbiano macroscopiche differenze agli occhi di almeno uno dei modelli di cui è previsto l'impiego. La riclassificazione, riassunta nella tabella 2.3, corrisponde alle Classi d'Uso del Suolo adottate nelle parti seguenti del presente lavoro. La classificazione degli usi del suolo attuali secondo la tabella

¹⁴In termini di uso del suolo

Tabella 2.3: La classificazione LULC adottata nel presente studio

ID	Descrizione
1	Urbano
2	Seminativi semplici
3	Altre colture annuali
4	Vivai e frutteti
5	Legnose agrarie
6	Prati
7	Boschi
8	Vegetazione ripariale
9	Aree umide e torbiere
10	Fiumi ed alvei
11	Prati agricoli
12	Riforestazioni
13	Piantagioni Policicliche

2.3 è impiegata nella carta tematica proposta in figura 2.5. Questa, corrispondente alle condizioni attuali, costituisce il punto comune a tutti gli scenari che sviluppano, nei passaggi successivi, evoluzioni differenti.

La calibrazione del generatore di scenari attraverso la *Transition Table* e la *Factors Table* è basata sull'analisi dei cambiamenti occorsi nell'arco temporale dal 2005 al 2014 rilevati in successive versioni della DUSAF. Quest'analisi è un surrogato¹⁵ del coinvolgimento degli Stake Holders a garanzia della verosimiglianza delle elaborazioni. I cambiamenti di LULC prospettati sono in linea con quelli realmente avvenuti, registrati in successive mappature degli usi del suolo, salvo per le ipotesi determinate nei singoli scenari.

La compilazione della *Transition Table* (riportata in B.3 a pagina lxvi) è basata su elaborazione del risultato del plugin per Qgis "Accuracy Assesment"[22]¹⁶ che produce una matrice d'errore con informazioni statistiche sulle fonti d'errore (errore omissivo o commissivo) dal confronto di una classificazione rispetto ad un'altra classificazione "di riferimento". In questa modalità di applicazione, l'errore non risiede in un'erronea classificazione ma dal reale cambiamento occorso da ciascuna classe verso le altre.

Sulla base della matrice normalizzata è stata calcolata la percentuale di cambiamento nell'arco dei 10 anni e quindi corretta per avere sei¹⁷ step intermedi nella proiezione a 15 anni nel futuro. I risultati di quest'analisi, che si esprimono nello Scenario "Baseline", sono riportati nelle tabelle del B.1 a pagina lxiii.

¹⁵ai soli fini del presente lavoro di tesi

¹⁶Come il nome lascia intendere il plugin è originariamente disegnato per svolgere analisi di errore su classificazioni in formato raster

¹⁷2 step ogni 5 anni

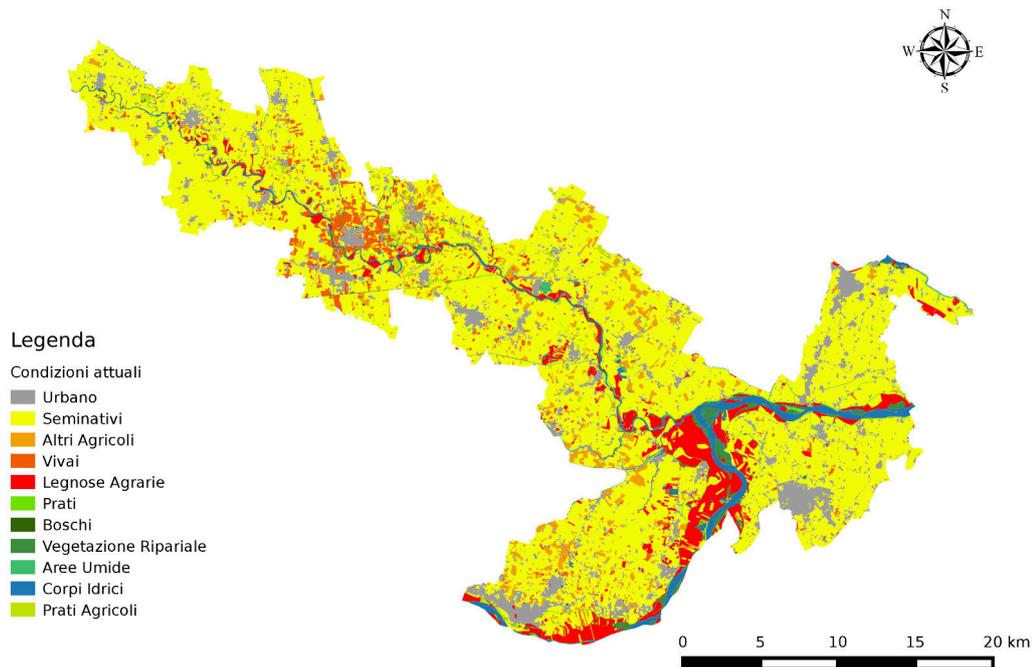


Figura 2.5: Lulc allo stato attuale

L'analisi ha individuato il principale vettore di cambiamento nella crescita di superficie "Urbana".

La disponibilità al cambiamento delle classi di LULC già presenti verso classi di nuova introduzione, previste da alcuni scenari, stata assunta in base ai propositi dello scenario stesso.

Osservando la posizione delle nuove aree "urbane"¹⁸ rispetto a diversi fattori ipotizzati, sono stati individuati i fattori influenzanti la distribuzione dei nuovi elementi "Urbani": "Strade", "SIC/ZPS", "Aree prioritarie per la Biodiversità" e "Parco".

La composizione tra le forme di tutela e la distanza lineare dalla strada si è dimostrata linearmente additiva per i fenomeni di urbanizzazione del suolo.

Il software interpreta omogeneamente tutte le estensioni aventi la medesima classificazione. Per la classe d'uso "Urbano" si è manifestata l'esigenza di distinguere lo sviluppo urbano nei diversi comuni. L'uso "Urbano" non è infatti esattamente il medesimo nei diversi comuni e comunque non spazialmente trasferibile da uno all'altro. Ciò ha reso necessario la realizzazione di una classe del suolo fittizia per la destinazione "Urbano" ricadente entro ciascun comune dell'area di studio. Ne sono risultate 28 classi equivalenti per le quali è determinante la posizione spaziale

¹⁸ovvero ricadenti nella classe d'uso del suolo "1" della DUSAF

(ovvero il Comune in cui si trovano). Questo rimedio ha consentito di distribuire opportunamente le nuove aree "Urbane". A seguito dell'elaborazione degli scenari, prima della somministrazione delle LULC ottenute ai modelli, è necessario riclassificare tutte queste classi come "Urbano".

Le trasformazioni del suolo agricolo sono invece risultate essere non correlate rispetto ai diversi fattori ipotizzati. Quest'ultimo aspetto non ha particolarmente da sorprendere dal momento che le scelte aziendali si fondano principalmente su indicazioni di mercato e di politica, oltre ad essere determinate dalla complessiva organizzazione fondiaria e dalle attitudini dell'imprenditore. Per favorire la verosimiglianza degli scenari, sono stati disposti fattori di trasformazione limitati agli aspetti pedologici forniti dalla *Land Capability Classification*. È stato realisticamente posto che, a parità di tutte le altre condizioni, siano soggetti a trasformazione i terreni agricoli meno votati all'agricoltura.

In tutti gli scenari sono stati considerati come immutabili i siti per i quali siano cartografati habitat protetti.

L'applicazione del software all'Area di Studio ha richiesto una modifica ai sorgenti del programma, come meglio descritto nell'appendice B.1.1 a pagina lxiv. La modifica che è inclusa nella ventura¹⁹ versione di InVEST, è stata applicata nelle elaborazioni di cui nei prossimi paragrafi.

2.3.5.1 Baseline "*Business as usual*"

Questo scenario si basa sulla lineare proiezione al futuro della media dei cambiamenti occorsi dal 2005 al 2014.

La lineare proiezione della media degli ultimi anni nel futuro comporta delle semplificazioni rispetto alla complessità dell'evoluzione del territorio. Non è infatti del tutto ragionevole assumere che dal 2015 al 2024 si registrino gli stessi trend di sviluppo osservati dal 2005 al 2014. Non trovano considerazione fenomeni anche accertati e di indubbia influenza sul futuro sviluppo del paesaggio, esemplarmente l'attenzione al consumo di suolo ed il calo del settore edilizio [12]; così come non è tenuto in considerazione l'avvenuto sviluppo del settore floro-vivaistico.

Nondimeno gli assunti sottostanti la proiezione al futuro dello sviluppo dell'area, trovano in questo scenario una giustificazione legata alla loro aderenza a dinamiche registrate nell'area. Una più precisa analisi delle ripercussioni sull'uso del suolo dello sviluppo economico nei prossimi 15 anni richiede, evidentemente, un'analisi preliminare che non è possibile effettuare in tempi brevi né senza una profonda interazione con gli Stake Holders. La semplificazione è resa necessaria dalle informazioni

¹⁹successiva a 3.2.1

disponibili e non compromette l'esigenza di verosimiglianza propria degli scenari in elaborazione

Elaborare la media delle tendenze in sviluppo entro il periodo 2005-2014 ed impiegarla per una proiezione al futuro, implica l'assunzione del 2015 come punto di simmetria tra il trend pregresso e quello a venire; per trend crescenti l'adozione della media equivale all'assunto di una futura diminuzione con reciproco andamento e viceversa.

In virtù della sua aderenza alla realtà, questo scenario sarà assunto come termine di confronto per ciascuno degli scenari elaborati a partire da diverse ipotesi di sviluppo, di modo che la differenza tra la Baseline ed un'alternativa risulti pari all'effetto delle specificità che hanno determinato l'elaborazione di quest'ultima. Tutti gli scenari descritti di seguito sono interpretabili come modifiche della Baseline. Le tabelle di configurazione del modello non hanno subito modifiche rispetto a quanto risultato dall'analisi, pertanto la *Transition Table* impiegata è direttamente la tabella B.3 a pagina lxvi.

La copertura d'uso del suolo come risulta proiettata nel 2030, a conclusione dello scenario, è riportata nella figura 2.6 .

2.3.5.2 *Green Development*

Lo scenario è uguale alla Baseline con l'unica differenza che l'urbanizzazione viene ridotta ad $\frac{1}{4}$. Il proposito di questo scenario è di indagare la sensibilità dei dati risultanti dalle analisi al fenomeno dell'urbanizzazione. Lo scenario risulta uguale alla Baseline con l'unica differenza di una riduzione del fenomeno dell'urbanizzazione.

Se da un lato, questo scenario può prospettare gli esiti delle attenzioni al Consumo di Suolo, dall'altro non tiene certamente conto del fenomeno della *Ruralization* di cui alcuni prevedono la futura crescita[43] con conseguente intensificazione della destinazione urbana in seno ad alcune aree rurali.

Al di là dell'aderenza allo sviluppo rurale, il confronto con questo scenario consente di provare la sensibilità dei SE erogati all'urbanizzazione, che è risultata essere il principale vettore macroscopico di cambiamento. Nella 2.7 la copertura d'uso del suolo come risulta proiettata nel 2030, a conclusione dello scenario.

2.3.5.3 Riforestazione

Nel perseguimento dei propri obiettivi statutari, il Parco ha provveduto alla riforestazione di aree disponibili sperimentando, negli ultimi 4 anni, la tecnica delle macchie seriali [47].

La tecnica prevede l'impianto di specie diverse con le opportune proporzioni tra le componenti nel nascente popolamento, da disporre con la densità di circa 30000

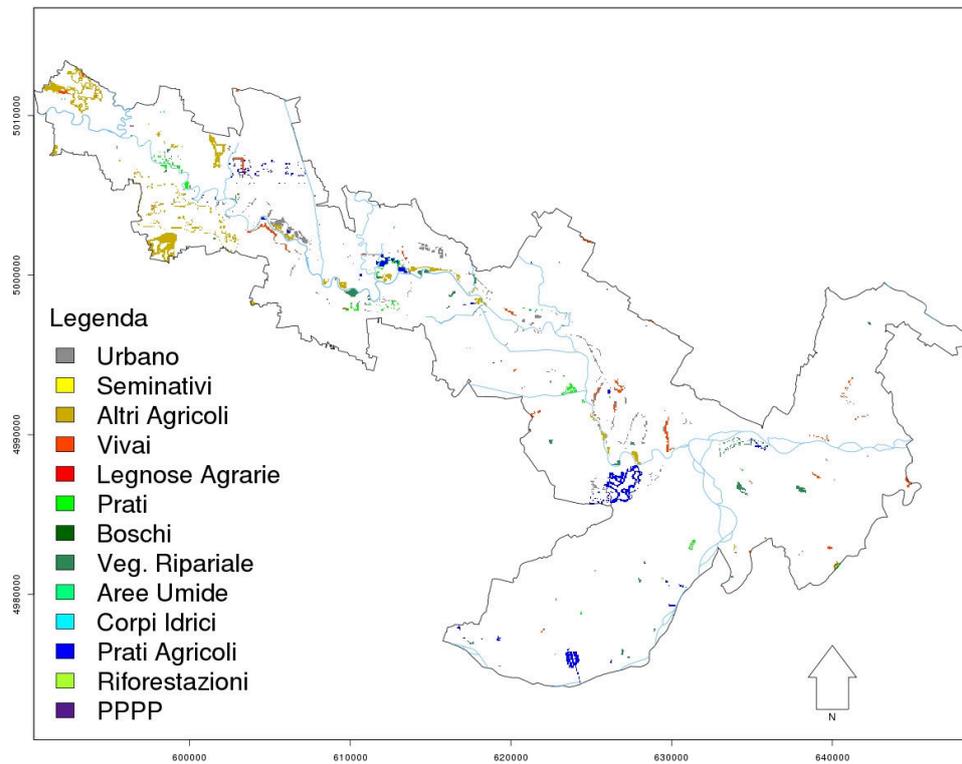


Figura 2.6: Differenze tra la lulc attuale (2.5) e la Lulc a termine (2030) dello scenario Baseline

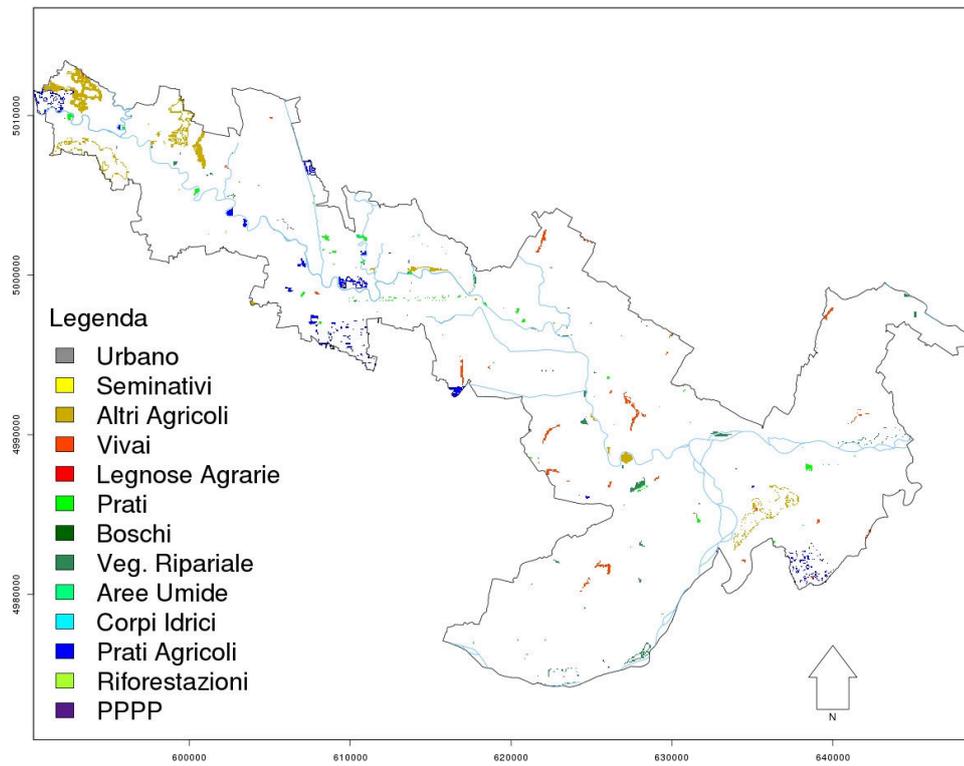


Figura 2.7: Differenze tra la lulc attuale (2.5) e la Lulc a termine (2030) dello scenario Green Development



Figura 2.8: Una macchia seriale in golena sinistra d'Oglio presso Acquanegra sul Chiese dopo 4 anni di libera evoluzione

piante/ha, simile alla densità associata ad uno scoppio di rinnovazione, in aree aventi raggio di circa 30 metri. Dato l'ambiente golenale in cui collocano le macchie, è stata scelta una popolazione mista di salice, pioppo e ontano con sporadica presenza di farnia ed altre specie accessorie. La sperimentazione ha sinora registrato un successo. L'elevata densità non consente l'insediamento delle specie alloctone invasive al proprio interno. Inoltre, entro la sperimentazione, non sono stati applicati interventi irrigui donde deriva una più semplice ed economica pratica gestionale.

La presenza nell'area di centri vivaistici di pregio e certificati per la "produzione di seme autoctono" rende ancora più agevole il proposito di naturaliformità dell'impianto. Secondo i risultati parziali della sperimentazione le aree occupate dalle macchie, lasciate alla libera evoluzione tendono ad un'autoselezione degli individui. L'autoctonicità genetica, le conseguenze sul popolamento del sesto d'impianto e l'inerziale gestione indirizzano la macchia verso una valida funzionalità ecologica e di tutela della biodiversità. Ai fini di conseguire quanto prima una migliore connettività ecologica, le macchie sono da collocare in siti prossimi all'asta fluviale di modo da formare continuità con gli elementi di connettività ecologica già esistenti sul territorio.

La realizzazione di questo scenario considera, anzitutto, la disponibilità delle superfici al cambiamento ricorrendo a proprietà pubbliche e demaniali. All'interno di queste, tutte le classi d'uso del suolo esclusa l'Urbano, sono suscettibili di conversione a macchia seriale.

L'estensione degli interventi, distribuiti lungo il corso del fiume, è di "modesta" entità arrivando a coprire poco più di 44 ha. La scelta di questa superficie d'intervento è seguita alla constatazione degli interventi finora realizzati, in realtà aventi un tasso di conversione nettamente inferiore, di cui si prevede così un aumento. Il risultato di 15 anni di lavoro in questa direzione è presentato nella 2.9.

2.3.5.4 Greening

Nel nuovo PSR, recepente il Regolamento Europeo 1307/2013, è presente, tra gli altri provvedimenti, la prescrizione della destinazione a Greening. Lo scenario si ispira a questa misura prevedendo la conversione a PPPP del 5% delle aree a

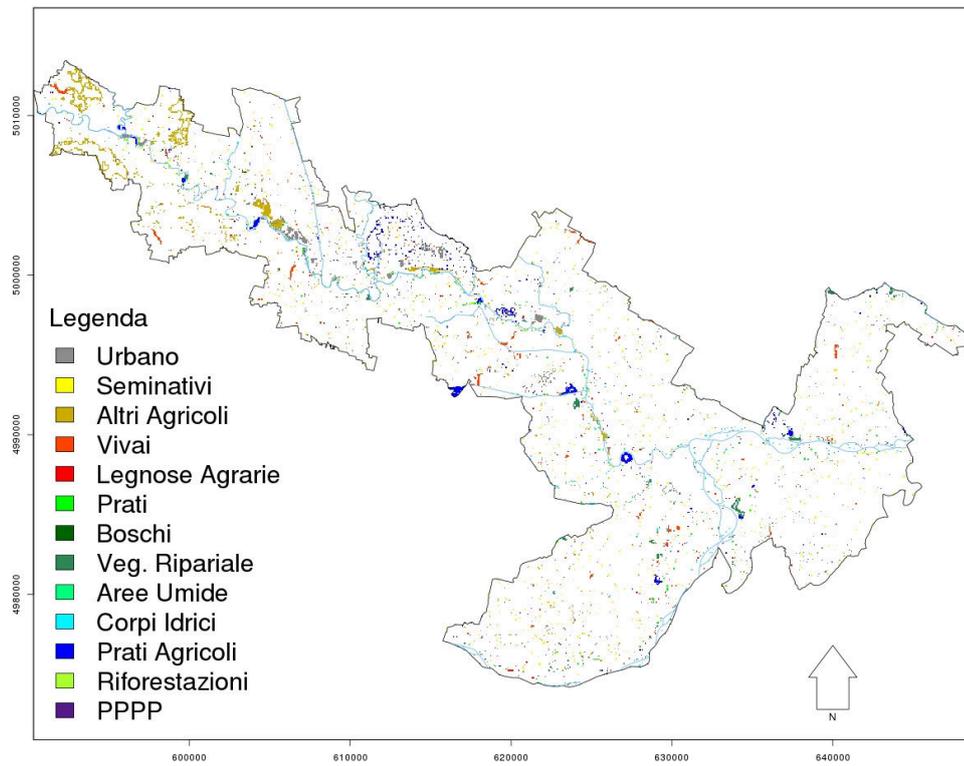


Figura 2.9: Differenze tra la lulc attuale (2.5) e la Lulc nel 2030, a termine dello scenario di riforestazione.

seminativo quando l'estensione del seminativo in carico ad una partita catastale risulti maggiore di 15ha. Qui e di seguito si adotta la dicitura di "Greening" nel senso sopra indicato di libera ispirazione alla misura. Nonostante l'affinità e l'omonimia con la misura sopra citata, il legame tra lo scenario è la misura non è tale da poterli considerare alla stregua l'uno dell'altro. Nello scenario è ipotizzato che vengano impiantate su tutta la superficie destinata a greening delle PPPP[23], ovvero elementi del paesaggio che uniscano l'aspetto produttivo con la funzionalità ecologica.

I dati catastali SIARL sono stati intersecati alla carta degli Usi del Suolo per ottenere la proprietà della superficie destinata a seminativo presente nell'area di studio. Per ciascuna delle 512 partite intestatarie di almeno 15 ha di seminativi è stata individuata la disposizione della rispettiva superficie a greening tale che risultasse prossima a corsi d'acqua per quanto possibile e prossima agli altri interventi. Gli interventi così previsti vengono ad essere distribuiti sul territorio in maniera grossomodo uniforme e, nonostante l'indicazione di evitarlo per quanto possibile, frammentaria. Lo scenario prevede la conversione delle superfici dovute entro il 2020. Negli anni successivi alla conclusione del PSR è programmata la conversione spontanea da parte degli agricoltori da seminativi a PPPP determinando un aumento delle superfici a queste destinate pari al 2% annuo. In questo scenario la disposizione spaziale degli interventi di conversione segue due distinte fasi. Fino al 2020 vige il già detto vincolo agli assetti catastali. Dopo tale scadenza, la disposizione è svincolata da essi e considera solamente fattori predisponenti presenti sul territorio; ovvero la presenza di elementi del reticolo idrico sia questi naturali sia artificiali. Dei 2507 interventi previsti entro la prima fase del Greening, il 10% rientra nelle Aree Prioritarie per la Biodiversità individuate entro la RER. La loro disposizione è riportata in 2.10

L'elaborazione degli scenari specifici per ogni partita ha impiegato GrassGIS[38] per elaborare i fattori di input e gli output di ognuna delle 512 esecuzioni necessarie (lo script è riportato in E.4 a pagina lxxxviii).

2.3.5.5 Piantagioni Policicliche

Questo scenario suppone la spontanea collaborazione dei privati nella conversione sia di superfici a colture legnose agrarie²⁰ sia di seminativi annuali in PPPP. La prospettata progettazione condivisa con il Parco degli interventi previsti comporta i criteri di selezione dei siti d'impianto delle PPPP. Le piantagioni saranno disposte lungo le aste fluviali ed in corrispondenza dei canali, senza alcuna influenza determinata dagli assetti di proprietà. Lo scenario è studiato per godere del medesimo andamento, in termini di superficie assoluta convertita a PPPP che si ritrova nello

²⁰prevalentemente impianti clonali di pioppo a ciclo breve

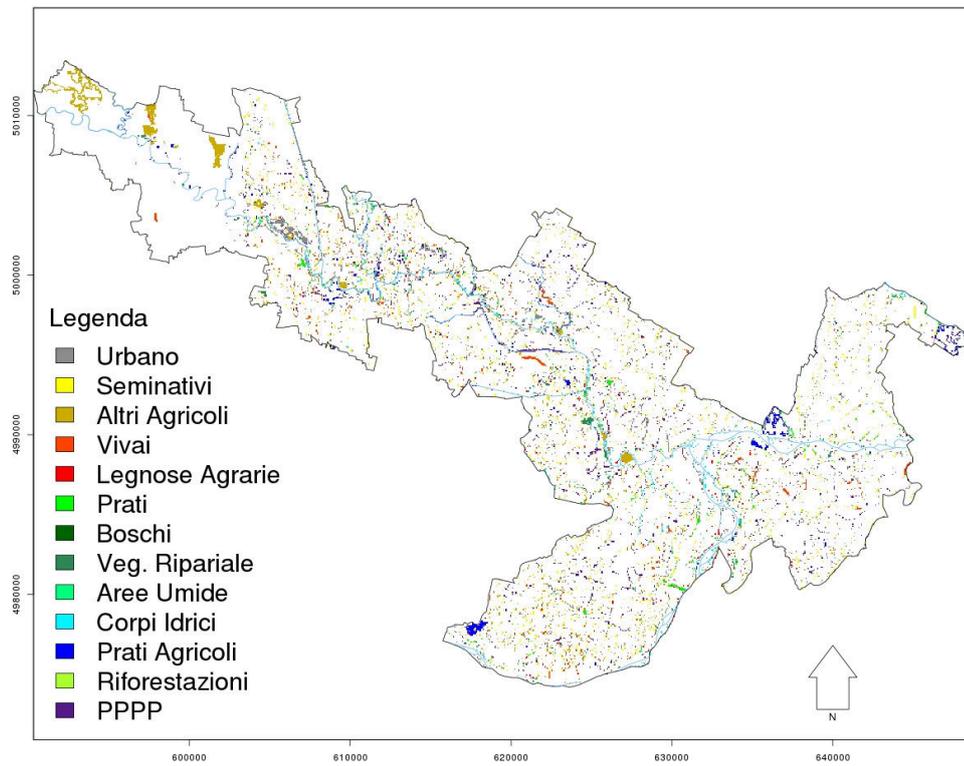


Figura 2.10: Differenze tra la LULC attuale (2.5) e la LULC a conclusione dello scenario "Greening".

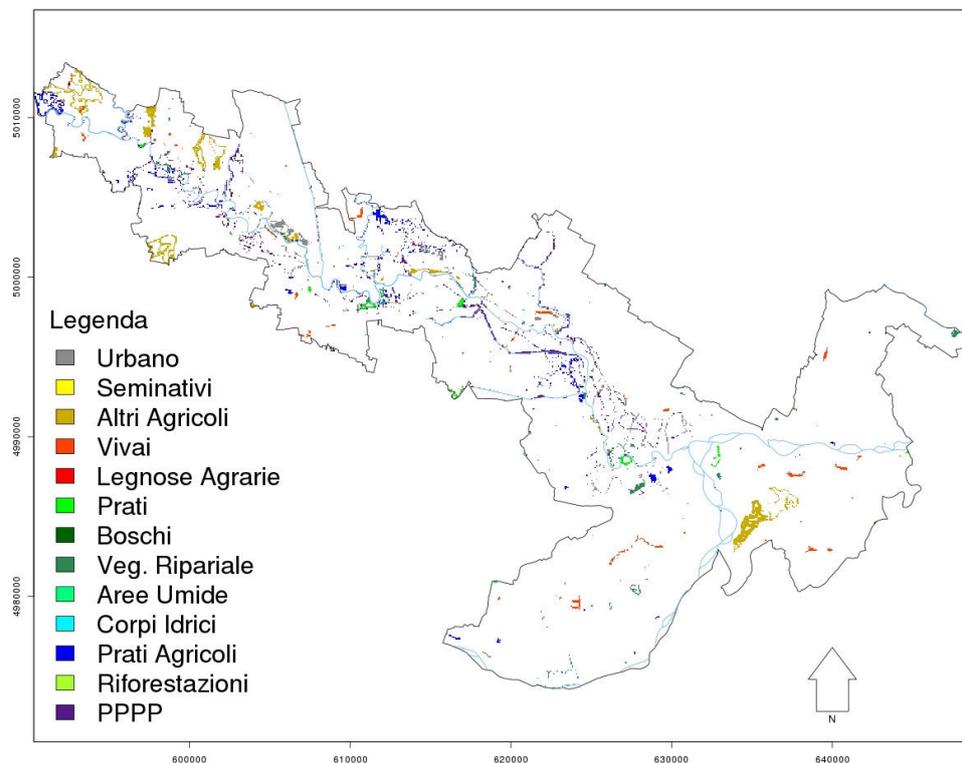


Figura 2.11: Differenze tra la LULC attuale (2.5) e la LULC a termine (2030) dello scenario PPPP

scenario Greening. La superficie di cui è prevista la conversione a PPPP equivale a quella prevista dal Greening (705ha nel quinquennio del PSR) e dopo il 2020 anche questo scenario riduce l'incremento di superficie convertita al 2% annuo del totale già insediato.

La differenza dallo scenario Greening è quindi relegata alla sola disposizione spaziale degli impianti durante il primo lustro; nel quale viene posizionata la maggior parte delle Piantagioni Policicliche. Mentre nello scenario Greening la distribuzione delle PPPP risulta frammentaria, in questo scenario non sono frammentate. Nella 2.11 la copertura d'uso del suolo come risulta proiettata nel 2030, a conclusione dello scenario.

Discussione dei risultati

La tesi si era posta l'obiettivo di sperimentare l'applicazione dei modelli InVEST in un caso studio esemplare della realtà applicativa italiana. In particolare erano stati posti i seguenti obiettivi di ricerca corrispondenti alle maggiori criticità attese.

1. all'accuratezza dei dati di input
2. al ruolo chiave di elementi di micro-scala
3. all'impiego di valori bibliografici nell'elaborazione
4. spendibilità degli esiti dell'analisi

I modelli InVEST sono stati eseguiti per ciascuno scenario e variante. Gli output dei modelli individuano i siti dove si registra un cambiamento nell'erogazione dei SE ed indicano quali effetti sui SE derivino da ciascuno degli scenari di sviluppo. Questi sono gli elementi interessanti ai fini della pianificazione territoriale.

3.1 Accuratezza dei dati di input

L'accuratezza dei dati di input può costituire un limite applicativo per l'analisi dei SE mediante modelli.

Tra i modelli impiegati i più esposti a questa criticità sono i modelli *Ritenzione dei nutrienti* e *Ricreazione*. Per entrambi sono stati elaborati degli input aventi maggiore accuratezza i cui risultati e confrontati con gli output derivanti da input di default. I dati affinati per verificare l'influenza della loro accuratezza sono:

DEM determinante il run off entro modello per la *Ritenzione dei nutrienti*

Proxy ricreativo alternativo alle fotografie *Flickr*[21] impiegato nel modello di Ricreazione

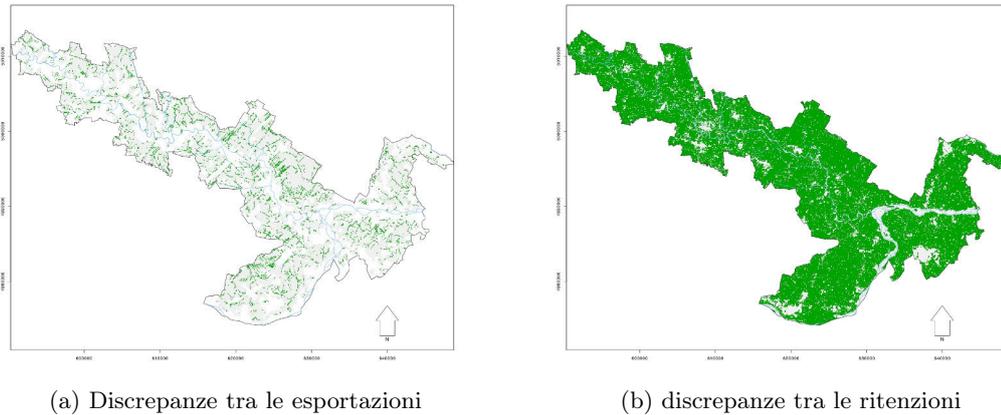


Figura 3.1: Localizzazione delle differenze negli output del modello di Ritenzione dei Nutrienti (Azoto) applicato sui dati della LULC allo stato di fatto (2015).

3.1.1 Differenze nella *Ritenzione dei Nutrienti*

Le elaborazioni del modello di Ritenzione dei Nutrienti culminano in due raster riportanti i chilogrammi di nutrienti trattenuti e quelli rilasciati nel deflusso dal run off nel reticolo idrico (individuato sulla base del DEM). Il risultato ottenuto applicando il modello al DEM distribuito dal Geoportale (Nn), senza alcuna elaborazione, ed avente risoluzione pari a 20 m è stato confrontato con l'output derivante dall'impiego del DEM sofisticato con risoluzione pari a 5 metri ed in cui sono stati incluse informazioni riguardanti canali e fiumi presenti al suolo (Nh). In figura 3.1 sono evidenziati i siti in cui la previsione del modello differisce sensibilmente a seguito della modifica del DEM.

Le due immagini della figura 3.1 evidenziano una differenza soprattutto legata alla ritenzione dei nutrienti la quale è, tra i due risultati, quello costituente il SE.

Un'analisi quantitativa condotta sull'effetto derivante dalla modifica del DEM è costituita dal rapporto tra risultati totali ottenuti con le due varianti del modello, presentato in figura 3.2.

Come rilevabile nel grafico in 3.2, la differenza tra le due stime non è particolarmente evidente negli scenari in cui i canali non divengono oggetto di interventi significativi a scala di paesaggio. Negli scenari PPPP e Greening ¹, dove sono previsti interventi posizionati lungo i canali, il rapporto tra le esportazioni totali delle due varianti sperimentate aumenta fino a 1.85². In funzione dello scenario, il DEM porta ad una differenza variabile tra l'8% ed il 24% nella localizzazione dei cambiamenti

¹rispettivamente "freen" e "green" in didascalia

²Nel caso dello scenario PPPP nel 2030, dove la conversione a Policicliche lungo alvei e canali è massima

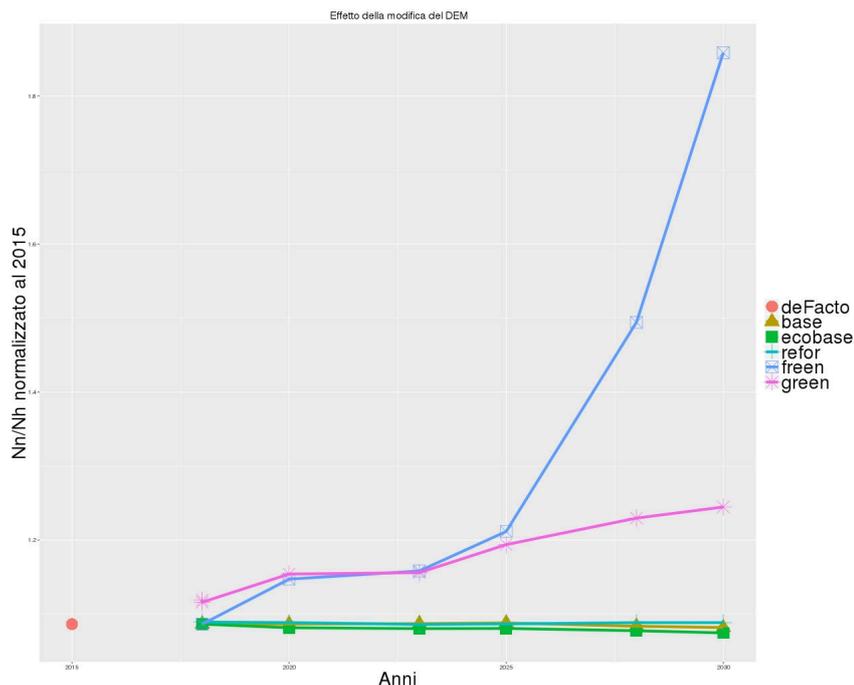


Figura 3.2: Il rapporto tra le ritenzioni ottenute con la configurazione Nn ed Nh negli scenari Baseline(base), Green Development(ecobase),Riforestazione(refor), Greening (green), e PPPP (freeen) oltre che allo stato di fatto(deFacto)

occorsi nella ritenzione dei Nutrienti. La discrepanza avviene sia per eccesso sia per difetto.

A saldo della compensazione la differenza nella stima del totale di azoto ritenuto entro l'area nelle due varianti di configurazione risulta contenuta sotto al 3%. Tuttavia la differenza tra le due varianti, in alcuni scenari, aumenta del 20% rispetto alla differenza di riferimento della simulazione delle condizioni attuali. Se la differenza iniziale può non costituire un problema per sé, il fatto che il disaccordo vari sensibilmente nei diversi scenari comporta la difficoltà di indicare quale sia il reale cambiamento derivante dall'alternativa di sviluppo costituita dallo scenario.

3.1.2 Differenze nella stima della *Ricreazione*

La funzione $\tau_m()$ [55] rende la correlazione tra le superficie occupata da ogni classe d'uso del suolo ed il numero di visite per ogni cella della griglia applicata. Ovvero quanto ogni uso del suolo risulti attrattivo per i turisti. Si sono ottenuti 3 set di coefficienti:

Rps basato sui dati derivati dal questionario cui viene applicata una griglia con maglie di dimensione 1000 m

Rgs basato sui dati derivati dal questionario cui viene applicata una griglia con maglie di dimensione 3000 m

Rgi basato sui dati elaborati dalle fotografie disponibili su Flickr ed applicando una griglia di dimensione 3000 m

I coefficienti generati nella correlazione sono disponibili nell'appendice B.3 a pagina lxviii

L'applicazione del modello allo stato di fatto impiegando i diversi parametri è riportata nella figura 3.3.

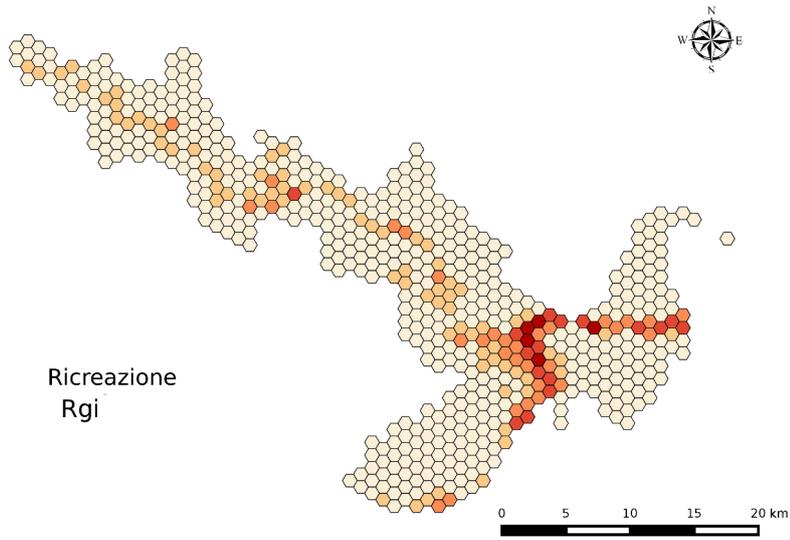
Il confronto tra Rgs ed Rgi saggia l'influenza legata alla genesi dei dati trovandola un ordine di grandezza maggiore dell'effetto legato al cambio di griglia (Rps - Rgs). Una sorprendente somiglianza si ritrova tra i coefficienti di Rps ed Rgi. Somiglianza che si rispecchia nella gradazione di colore in 3.3a e 3.3c. Nelle due immagini è infatti riconoscibile un andamento accomunato dalla rilevanza del corso dell'Oglio. Tra essi sussiste però una profonda differenza quantitativa. L'output totale ottenuto con la variante Rgi è pressoché costante in tutti gli anni per ogni scenario, non esprimendo una sensibilità al cambiamento territoriale. Matematicamente, questo è attribuibile alla predominanza dell'intercetta sui coefficienti ed alla compensazione reciproca tra i quest'ultimi. La fonte dei dati proxy della funzione ricreativa costituita da *Flickr* non rileva una correlazione tra gli usi del suolo la genesi del SE; correlazione invece evidente coi dati dai questionari. La valutazione dell'applicabilità del proxy si risolve, quindi, in due opzioni.

1. Il proxy non riesce a cogliere le informazioni riguardanti le visite sul territorio
2. Il proxy campiona una popolazione di visitatori differente da quella intercettata con i questionari

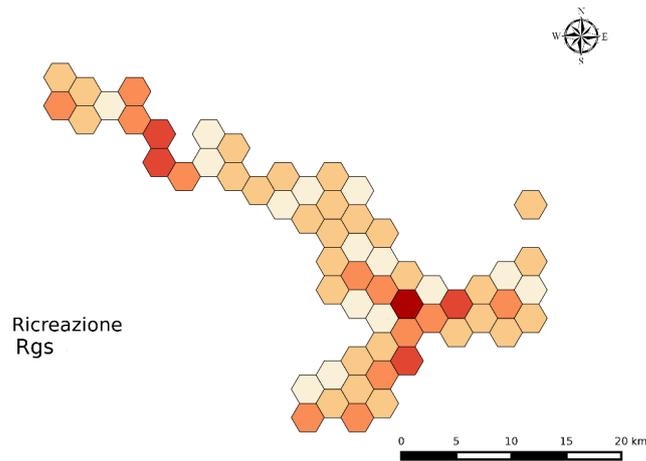
Dovrebbe essere condotta un'analisi delle fotografie pubblicate sul Social Network Flickr[21] per determinare quale delle due possibilità sia la più significativa.

Il cambio di dimensione della griglia d'analisi comporta una più stretta aderenza tra gli usi del suolo e le visite riscontrate. Sulla base della metodologia fondante il modello la dimensione delle maglie della griglia dovrebbe corrispondere quanto più possibile con il raggio d'influenza del paesaggio sulla ricreazione. Ovvero, al massimo con la distanza dell'orizzonte ed al minimo con la distanza "di primo piano" per i fruitori.

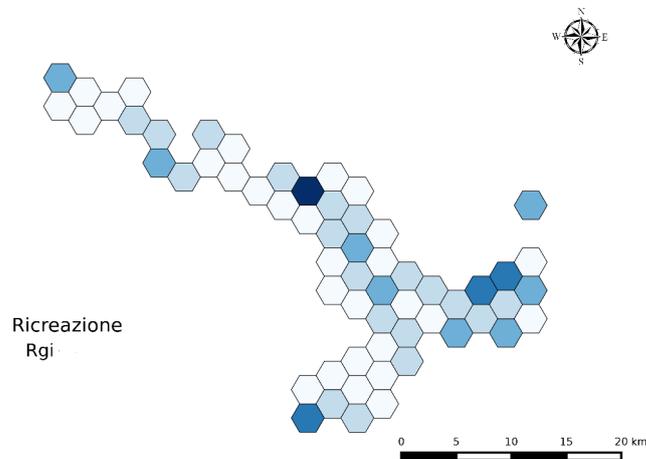
Questo approccio si adatta bene a dati di visita puntiformi. Le fotografie georeferenziate ricadono perfettamente in questa tipologia mentre i dati raccolti dai questionari vi sono stati ricondotti. L'originario formato convertito da itinerari (linee) a luoghi (punti) non è analizzabile dal modello per come attualmente progettato.



(a) L'applicazione dei parametri Rps alla situazione 2015



(b) L'applicazione dei parametri Rgs alla situazione 2015



(c) L'applicazione dei parametri Rgi alla situazione 2015

Figura 3.3: Il valore ricreativo (graduato per intensità dei colori in scala al range del dato) dell'area ottenuto impiegando diverse configurazioni del modello

Il modello non pretende di poter calcolare la reale frequenza turistica ma di coglierne l'evoluzione, il risultato numerico è quindi da considerarsi in termini non assoluti ma relativi come emergono dal confronto tra due diverse LULC.

I picchi massimi della funzione ricreativa assecondano una deformazione indotta dalle diverse fonti impiegate. Nei dati raccolti dal questionario risalta il sito del "Ponte di Barche"³, meta di numerosi ciclisti intervistati. I dati ottenuti da Flickr generano un massimo presso le "Torbiere di Marcaria"⁴, sito rinomato per l'osservazione dell'avifauna e frequentato da *Bird-watchers*. Pur nelle differenze, i due approcci riconoscono al fiume un ruolo chiave per la funzione ricreativa assoluta nell'area, in accordo al dato emerso dal questionario dove il 64% degli intervistati ha indicato l'argine come luogo di svolgimento della propria attività ricreativa.

3.2 Ruolo di elementi di micro-scala

I modelli sono risultati in grado di considerare nelle simulazioni gli effetti derivanti da elementi di microscala del paesaggio.

Elementi di micro-scala sono stati introdotti in maniera puntiforme nello scenario Riforestazione come macchie seriali ed estensivamente nello scenario Greening come impianti di Piantagioni Policicliche. Nel primo caso essi sono concentrati esclusivamente lungo l'alveo e nel secondo sono diffusi in tutta l'area. I modelli rilevano⁵ in tutte le loro varianti gli effetti della differenza dovuta agli impianti di riforestazione che portano a cambiamenti negli output rispetto allo scenario Baseline differente per i soli 44 ha soggetti a riforestazione. Anche le simulazioni dei SE per lo scenario di Greening manifestano una sostanziale differenza nella fornitura di SE rispetto allo scenario Baseline. In ragione della maggiore estensione coinvolta queste sono di maggiore consistenza di quelle osservate in corrispondenza dello scenario Riforestazione. Anche l'analisi delle serie temporali, ovvero dei passaggi intermedi di ogni scenario, ha reso evidente la considerazione dei modelli per piccoli elementi di discontinuità presenti nei dati di uso del suolo.

Dall'osservazione delle serie temporali è peraltro risultata manifesta la rilevanza della posizione spaziale degli elementi del paesaggio alla valutazione della loro efficacia: ad interventi analoghi per tipologia e superficie, ma diversa disposizione, non ha fatto seguito la previsione dei medesimi effetti.

³nella porzione meridionale dell'area oggetto di studio, a poca distanza dalla confluenza in Po

⁴Al centro dell'area di studio

⁵Tabelle relative ai risultati sono presenti a pagina 50 ed in appendice a pagina lvi

3.3 Impiego di Valori Bibliografici

Il *value transfer* di valori bibliografici per la stima della Qualità degli Habitat è risultato di difficile applicazione per la variabilità che vi si ritrova inclusa in ragione di siti di studio e metodologie differenti.

La Qualità degli Habitat è calcolata sulla base del potenziale ecosistemico proprio dell'uso del suolo e del livello di degradazione conseguente al contesto territoriale secondo le indicazioni elaborate nello studio di Terrado et al. [56]. La simulazione ha avuto luogo impiegando due configurazioni di valori potenziali ma impiegando la sola configurazione per il sistema di minacce disponibile in bibliografia. I risultati delle due varianti sono sempre concordi nel localizzare i siti dove si registri un cambiamento della qualità ecosistemica. Questo potrebbe essere in relazione alla condivisione del sistema di minacce. Le variazioni non sono tuttavia equivalenti in termini quantitativi, tanto che i due individuano due diversi scenari come "migliori" per l'incremento della qualità ecosistemica.

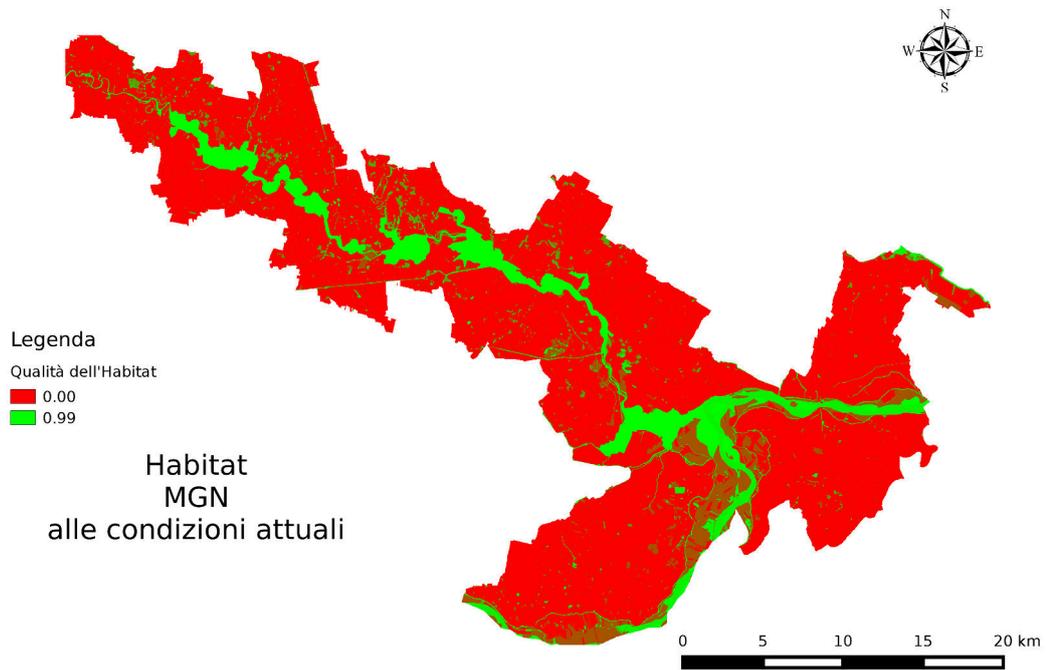
La cartografia riportante la qualità degli habitat (in scala da 0 a 1) è riportata nella figura 3.4.

Il seminativo agricolo semplice ha potenziale ecosistemico pari a 0 nella configurazione di Marino et al. [29]⁶ e 0,4 secondo la configurazione suggerita da Terrado; da ciò deriva quella che appare, ad primo esame, la principale differenza tra i due output.

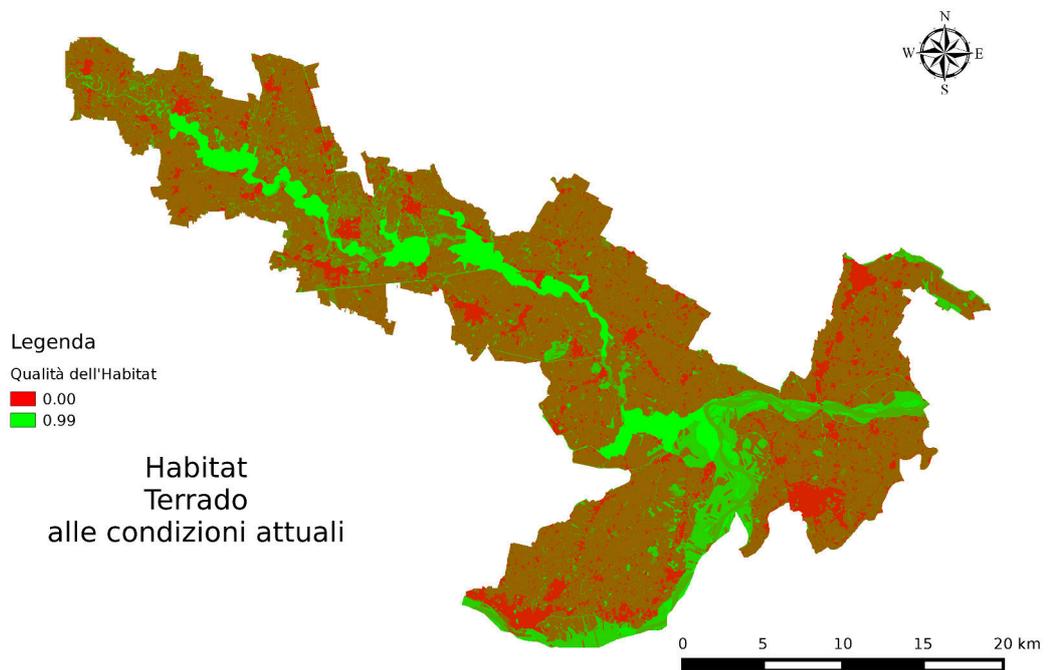
I risultati forniti dal modello sono stati confrontati con una proiezione basata sui medesimi parametri ma che non considerasse gli aspetti spaziali e fosse linearmente calcolata a partire dalle classi di uso del suolo⁷. Il rapporto $\frac{\Delta \text{Modello}}{\Delta \text{stima sintetica}}$ varia tra -0.59 e -0.01 , come visibile in 3.5. Va segnalato che la stima sintetica non tiene in considerazione le minacce. Le variazioni rilevabili in figura 3.5 sono quindi esclusivamente legate alla differente configurazione. La non linearità di queste tendenze corrisponde, quindi, a sostanziali differenze previsionali. Culminanti nella già citata differenza di individuazione dello scenario più vantaggioso per la Qualità degli Habitat.

⁶LIFE+ MAKING GOOD NATURA (MGN), si veda la tabella A.1

⁷lo script .R impiegato è presentato in appendice E a pagina lxxxv



(a) Applicazione dei parametri Hm allo stato di fatto



(b) Applicazione dei parametri Ht allo stato di fatto

Figura 3.4: Output del modello per la Qualità degli Habitat relativi allo stato di fatto

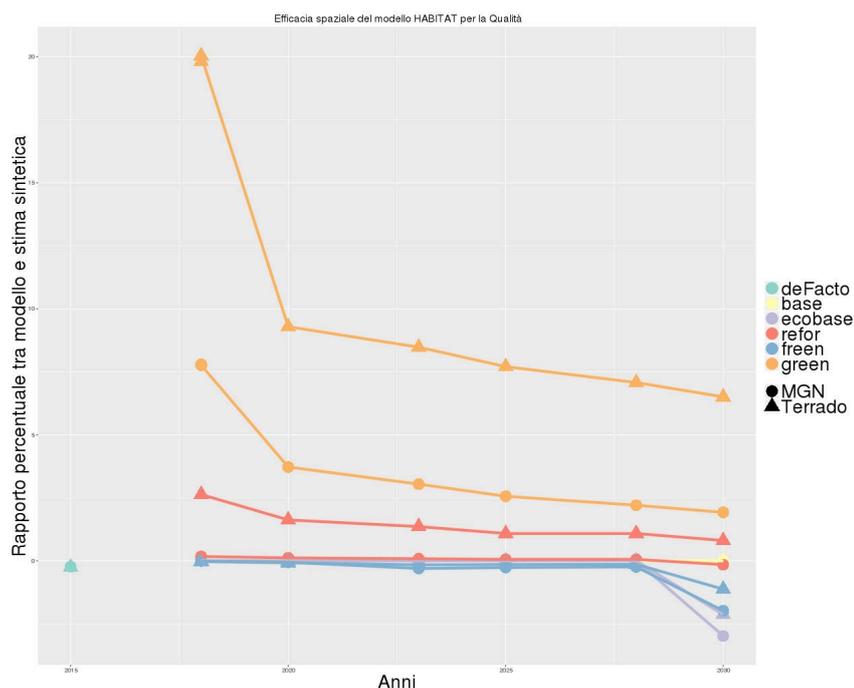


Figura 3.5: Rapporto tra stima sintetica non spazialmente riferita ed i risultati dei modelli

3.4 Spendibilità degli esiti

I risultati dei modelli InVEST quantificano ciascun SE generato. Di seguito sono riportati gli andamenti previsti per ciascuno scenario dalle diverse variabili di ogni modello. Come si vedrà nei risultati dei singoli modelli, le varianti di configurazione inducono non solo cambiamenti in termini di differenza tra uno scenario e l'altro ma anche nell'indicare quale scenario costituisca la migliore alternativa. Osservando i dati è importante ricordare che tutti gli scenari sono basati sullo sviluppo di Baseline fatte salve le peculiarità di ciascuno.

Nella tabella 3.1, che riassume l'andamento del Servizio ricreativo, è evidente la sostanziale costanza delle previsioni effettuate con la configurazione Rgi⁸. Le variazioni riscontrate con questa configurazione, nell'ordine di $10^{-5}\%$, hanno un massimo in corrispondenza dello scenario Greening. Ancora lo scenario Greening è indicato come massimizzante la Ricreazione impiegando la configurazione Rgs. La configurazione Rps, basata su dati provenienti dal questionario ma analizzati a scala inferiore, presenta invece una preferenza per lo scenario PPPP.

Nel paragrafo 2.3.3.1 era stato calcolato, sulla base delle risposte al questionario, il numero annuo dei visitatori. Sulla base di quest'informazione ed il costo opportunità⁹

⁸basata sulle fotografie Flickr

⁹costi sostenuti per la visita sommato al mancato guadagno (secondo la retribuzione media oraria nazionale)

Tabella 3.1: Andamento percentuale del SE Ricreazione previsto dal modello a termine dei diversi scenari

Scenario	Anno	Ricreazione(%)		
		Rps	Rgi	Rgs
2030	Baseline	1.80	0.00	-0.79
2030	Green Dev.	1.14	0.00	-0.13
2030	Riforestazione	1.25	0.00	-0.62
2030	PPPP	4.25	0.00	8.82
2030	Greening	3.06	0.00	10.55

Tabella 3.2: Andamento percentuale del SE Purificazione delle Acque previsto dal modello a termine dei diversi scenari.

Per completezza dell'informazione sono riportate sia la Ritenzione sia il deflusso di azoto.

Scenario	Anno	RitenzioneN(%)		DeflussoN(%)	
		Nh	Nn	Nn	Nh
2030	Baseline	-0.67	-0.71	0.95	1.38
2030	Green Dev.	-0.62	-0.60	0.1	1.2
2030	Riforestazione	-0.50	-0.54	0.74	0.55
2030	PPPP	-5.56	-6.77	-6.02	-45.07
2030	Greening	-2.65	-2.94	-2.87	-15.23

è stato calcolato il valore ricreativo dell'area per ogni tipologia di visitatore. Per proporzione si ricava che un cambiamento del 1% entro la tabella 3.1 equivalga a prevedere un aumento del valore ricreativo del SE C2 pari a €2597.

Entro la tabella 3.2 trovano spazio sia l'andamento del deflusso di azoto sia della ritenzione. Sebbene il SE vero e proprio sia costituito dalla quantità di azoto ritenuto, è importante considerare come il deflusso rappresenti il fenomeno di criticità ambientale, in termini di inquinamento delle acque, che affligge l'area di studio. Dall'osservazione della tabella 3.2 si evince come la ritenzione sia massima nello scenario Riforestazione mentre il deflusso arrivi al minimo nello scenario PPPP.

Sulla base delle stime dei valori unitari del servizio riportate in Massarutto et al. [30] una variazione di 1% del SE R4 (riportato in colonna sinistra della tabella 3.2) entro l'area considerata equivale ad un alterazione del valore compresa tra e442000 e e654500.

L'andamento stimato dal modello per la Qualità degli Habitat è riportato in tabella 3.3. Le due varianti assunte dal modello manifestano disaccordo in relazione alla scelta dello scenario cui riconoscere il massimo miglioramento. La configurazione fondata sui dati di Terrado et al. [56] raggiunge il massimo miglioramento nello scenario Greening, mentre l'impiego dei dati derivati da Marino et al. [29] portano il modello a privilegiare lo scenario PPPP.

Tabella 3.3: Andamento percentuale del SE Habitat per la Biodiversità previsto dal modello a termine dei diversi scenari

Scenario	Anno	Habitat(%)	
		Ht	Hm
2030	Baseline	0.23	3.89
2030	Green Dev.	0.40	3.91
2030	Riforestazione	0.14	2.21
2030	PPPP	1.10	8.28
2030	Greening	1.25	7.97

Non è stato ritrovato un valore convalidato tale da poter procedere con la valutazione economica del SE R9 "Habitat per la Biodiversità". Come si riscontra nella tabella 3.3, vi è grande variabilità tra gli andamenti proposti dalle due varianti¹⁰.

Disponendo della fornitura di ogni SE in ogni scenario e del valore unitario degli stessi è possibile procedere alla valutazione del Valore Economico Totale (VET) sommando il valore dei singoli SE. Lo scenario conseguente il massimo miglioramento in rapporto alla stima corrente risulta essere la scelta più vantaggiosa. Non disponendo di valori unitari applicabili al SE R9 "Habitat per la Biodiversità" non è possibile procedere al calcolo del VET sviluppato entro l'area. L'esplorazione numerica dei dati forniti nelle tabelle 3.1, 3.2 e 3.3 rivela come gli scenari Riforestazione e Greening siano quelli massimizzanti i SE. Il criterio di scelta dirimente tra questi tre scenari è il valore unitario di Habitat; minimo per la convenienza di Riforestazione e massimo per Greening. I valori unitari limite della convenienza tra i due scenari trovano il vantaggio dell'uno o dell'altro in funzione della combinazione di varianti dei modelli.

Si noti che il valore unitario rappresenta l'importanza del SE, per cui al crescere della rilevanza attribuita agli Habitat per la Biodiversità la scelta dello scenario più opportuno muta dalla Riforestazione verso gli estesi impianti di policicliche premiando, infine, la loro dispersione sull'intera area.

¹⁰Nel corso dell'esplorazione numerica dei risultati, riportata in appendice D, è risultata spesso costituire un elemento dirimente.

Conclusioni

L'analisi mediante simulazioni costituisce un potente strumento d'indagine delle scelte progettuali. I modelli InVEST si sono confermati essere un possibile strumento valutare i progetti sulla base del loro effetto sui SE, avendo dimostrato l'adattabilità a condizioni di lavoro rappresentative del territorio italiano. Elementi di micro-scala del paesaggio sono stati fruttuosamente inclusi nell'elaborazione che si è dimostrata in grado di affrontare il cambiamento di scala. L'accuratezza dei dati di input si è confermata essere una possibile causa d'errore entro l'elaborazione e, specie in combinazione con la variabilità di configurazioni assunte da valori bibliografici non sito-specifici, in grado di fornire risultati non applicabili a fini pianificatori.

La possibilità di selezionare uno scenario differente solo a seguito di una fortuita configurazione o di un dato di differente qualità comporta un rischio difficilmente accettabile. La possibilità di verificare la sensibilità dell'analisi ad eventuali aspetti di nota criticità secondo schemi analoghi al procedimento impiegato in questa tesi consente di vagliare le conclusioni dell'analisi ma rende risultati di minore impatto comunicativo e più difficilmente spendibili presso gli Stake Holders.

Ulteriori studi potrebbero verificare se gli effetti derivanti dai coefficienti e dai dati di input siano riscontrabili anche nell'applicazione degli strumenti ad altri siti, tanto più se in aree di diverso contesto, come ad esempio nel settore alpino od appenninico.

Ulteriore conferma della validità dell'analisi proverrebbe dallo studio dell'area come porzione del più ampio territorio circostante, ovvero verificando che il cambio di scala non induca variazioni dell'andamento locale dei SE considerati.

Onde trarre dai modelli delle informazioni consistenti è necessario disporre di dati e pool di configurazione adeguati. Il ricorso a valori sommari e dati approssimativi può generare errori di dimensioni tali da prevalere sulle caratteristiche dei progetti in valutazione.

Ai fini della pianificazione, la configurazione dei modelli richiederebbe la ca-

librazione sulla base di dati rilevati sul territorio, di modo da essere in grado di effettuare una valutazione affidabile dei SE erogati. Tale calibrazione sarebbe più conveniente venisse effettuata su scala di minor dettaglio non solo per accedere ad una maggiore mole di dati ma anche per poterne validare l'efficacia su un più cospicuo campione. Quest'opera si collocherebbe in quella che nel paragrafo 1.4 era stata descritta come "analisi mediante tecnologie GIS" che comprende sia rilievi in campo che telerilevamento di proxy collegati ai processi ecosistemici.

In generale i modelli InVEST si prospettano di difficile applicazione senza un pregresso lavoro di analisi dei processi biofisici sottostanti la stessa genesi dei Servizi Ecosistemici.

Tabelle

L'elenco seguente riporta la descrizione degli habitat riconosciuti dall'UE e presenti nel Parco[1]. La distribuzione di questi entro le diverse aree protette è riportata in tabella A.2

3130 Facies di transizione tra terra ed acqua coperte da giunchi Può manifestarsi in due varianti: caratterizzato da vegetazione perenne acquatica o anfibia (in questo caso, si ha una prevalenza di *littorelletalia uniflorae* oppure colonizzare nei periodi di siccità suoli che divengono affioranti (con prevalenza della classe *Isoeto-Nanojuncetea*). Le due varianti possono crescere in stretta associazione od essere indipendenti.

3150 Laghi naturali eutrofici Corpi idrici ricchi di basi dissolte ($\text{pH} > 7$) con vegetazione fluttuante sulla superficie e/o in associazione con grandi piante palustri.

3270 Fiume con rive fangose coperte da chenopodio e *bidens spp* Le nitrofile pioniere che crescono sulle rive fangose del fiume hanno sviluppo tardivo ed arrivano a coprire il suolo durante l'estate. In condizioni avverse la crescita può essere stentata od addirittura assente.

91E0 Foresta alluvionale di Ontano e Frassino (Habitat Prioritario UE) Tipicamente insediata su suoli a tessitura fine, viene annualmente inondata. Durante i periodi di magra del fiume il suolo è ben drenato ed areato. Lo strato erbaceo include moltissime specie tra cui occasionalmente geofite.

91F0 Foresta ripariale mista di farnia, olmi e frassini Si sviluppano su recenti depositi alluvionali rimanendo periodicamente inondabili. la predominanza delle diverse specie è variabile in funzione del regime idrico e della durata delle immersioni. Si connota per uno strato arbustivo fitto e rigoglioso.

3260 Corso d'acqua con ranuncolo La vegetazione sommersa o fluttuante oltre che specie di ranuncolo è costituita da callitriche e muschi acquatici.

6510 Prato umido da fieno Cresciuti su suolo poveri o poco fertili, questi prati sono ricchi di fiori il cui ciclo dev'essere tutelato avendo cura di non falciare fino alla dispersione del seme.

7230 Paludi alcaline Suoli asfittici per idromorfia, ricchi di torba o tufo. Solitamente caratterizzate da immissione di acque calcaree, quindi ricche di basi.

6430 Prato di erbe alte idrofile Caratterizzato da comunità erbacee di alta statura idrofile e nitrofile degli ordini dell'edera e del convolvolo.

Tabella A.1: Andamento percentuale della fornitura di Servizi Ecosistemici previsto dai modelli negli scenari oltre che allo stato di fatto

Scenario	Anno	EsportazioneN		Habitat		Ricreazione		
		<i>norm</i>	<i>hd</i>	<i>ht</i>	<i>hm</i>	<i>ps</i>	<i>gi</i>	<i>gs</i>
Corrente	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Baseline	2018	0.00	0.00	0.03	0.57	0.30	0.00	-0.09
Baseline	2020	0.33	0.32	0.08	1.22	0.64	0.00	-0.40
Baseline	2023	0.54	0.48	0.13	2.01	1.01	0.00	-0.65
Baseline	2025	0.76	0.61	0.17	2.79	1.35	0.00	-0.84
Baseline	2028	0.89	1.15	0.21	3.55	1.72	0.00	-0.67
Baseline	2030	0.95	1.38	0.26	4.48	2.10	0.00	-0.87
Green Dev.	2018	0.00	0.00	0.07	0.73	0.21	0.00	-0.09
Green Dev.	2020	0.28	0.73	0.13	1.40	0.54	0.00	-0.26
Green Dev.	2023	0.45	1.01	0.20	2.03	0.89	0.00	-0.36
Green Dev.	2025	0.36	0.90	0.28	2.84	1.00	0.00	-0.30
Green Dev.	2028	0.31	1.13	0.36	3.74	1.19	0.00	-0.34
Green Dev.	2030	0.10	1.20	0.43	4.50	1.44	0.00	-0.22
Riforestazione	2018	0.12	-0.15	0.06	0.72	0.40	0.00	-0.03
Riforestazione	2020	0.13	-0.07	0.10	1.06	0.73	0.00	-0.34
Riforestazione	2023	0.19	0.24	0.12	1.47	1.08	0.00	-0.66
Riforestazione	2025	0.37	0.34	0.15	2.12	1.28	0.00	-0.65
Riforestazione	2028	0.74	0.55	0.15	2.12	1.28	0.00	-0.65
Riforestazione	2030	0.74	0.55	0.17	2.79	1.55	0.00	-0.71
PPPP	2018	0.00	0.00	0.38	2.43	1.45	0.00	4.05
PPPP	2020	-1.03	-6.28	0.84	5.34	2.89	0.00	7.74
PPPP	2023	-2.11	-8.19	0.91	6.24	3.28	0.00	7.93
PPPP	2025	-3.13	-13.14	0.99	7.14	3.67	0.00	8.27
PPPP	2028	-4.75	-30.75	1.05	7.91	4.17	0.00	8.37
PPPP	2030	-6.02	-45.07	1.13	8.89	4.56	0.00	8.72
Greening	2018	-0.57	-3.46	0.47	2.24	1.01	0.00	4.64
Greening	2018	-0.62	-3.26	0.47	2.25	0.96	0.00	4.36
Greening	2020	-1.12	-6.92	0.92	4.51	1.98	0.00	8.81
Greening	2023	-1.37	-7.31	1.00	5.49	2.28	0.00	9.33
Greening	2025	-2.08	-10.90	1.09	6.48	2.75	0.00	9.74
Greening	2028	-2.29	-13.68	1.18	7.51	3.05	0.00	10.15
Greening	2030	-2.87	-15.23	1.28	8.58	3.37	0.00	10.46

Tabella A.2: Distribuzione degli habitat presenti nelle aree SIC e ZPS in Parco. I codici identificativi degli habitat sono indicizzati nell'elenco A a pagina Iv.

Codice dell'Area	Nome dell'Area	3130 (ha)	3150 (ha)	3270 (ha)	91E0 (ha)	91F0 (ha)	3260 (ha)	6510 (ha)	7230 (ha)	6430 (ha)	Totale (ha)
SIC-ZPS IT20A0004	Le Bine	2.03	0.01	0	9.73	0	0	0	0	10.43	105
SIC-ZPS IT20B0001	Bosco di Foce Oglio	0	0	54.61	38.4	0	0	0	0	0	15
SIC IT20B0002	Valli di Mosio	0	0.35	0	0.18	0	0	0	0	0	7
SIC IT20B0003	Lanca Cascina di S. Alberto	0.7	0	0	1.83	1.69	0	0	0	0	100
SIC IT20B0004	Lanche di Gerra, Cavazzi e Runate	0	0.53	0.26	4.71	0	0	0	0.01	0	137
SIC IT20B0005	Torbiere di Marcaria	0	1.3	0	0.28	0	0	0	0	0	95
SIC IT20A0020	Lanca di Gabbioneta	0	5.77	0	5.55	0	12.54	4.88	0	0	28.6 ¹
ZPS IT20B0401	Parco Oglio Sud	40.23	40.23	80.76	8.04	4.02	0	0	0	0	4023
ZPS IT20B0501	Viadana, Portolo, S. Benedetto, Ostiglia ²	0	3.85	322.26	259.78	0	0.001	0	0	0	586
Totale		42.3	52.04	457.39	328.5	5.71	12.54	4.88	0.01	10.43	914.71
Totale(%)		4.62	5.69	50	35.91	0	1.37	0	0	1.14	

¹ Il sito è gestito dal Parco Oglio Nord, 28ha ricadono entro i limiti del Parco

² L'Ente gestore della ZPS IT20B0501 è direttamente la Provincia di Mantova sebbene ricada per 408ha nel territorio del Parco Oglio Sud

CODE	Servizi di fornitura								Servizi di Regolazione									Servizi Culturali		
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	C1	C2	C3
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	1	0	1	1	1	1	2	0
142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
211	3	2	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
212	3	1	0	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
213	3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
221	3	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	2	1	1
222	3	0	0	2	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	3	0	0	2	1	1
223	3	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	3	2
231	1	3	3	0	1	0	0	0	1	1	1	0	2	1	3	1	2	2	2	1
241	3	2	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	2	0	0	1	1	0
242	2	2	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	2	1	3	1	1	1	1	0
243	2	2	2	2	2	1	1	0	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1
244	2	2	1	2	1	0	0	0	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	0
311	0	1	2	3	3	2	2	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
312	0	1	2	3	3	2	2	1	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
313	0	1	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
321	0	3	3	0	2	3	3	0	2	1	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3
322	0	1	3	1	1	1	1	0	2	2	2	3	2	2	2	1	3	2	3	1
323	0	1	1	1	1	2	2	0	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	1	1
324	0	1	2	1	1	2	2	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	1	2
331	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	1	3	3	2
332	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
333	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
335	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	3	2
411	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	3	3	0	1	1	1	2	2	1	1
412	0	0	0	0	0	1	1	0	3	3	3	3	0	2	1	1	2	1	1	1
421	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	1	0	0	2	1	1	1
422	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
423	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	2	1	1
511	0	0	2	0	0	0	0	3	0	1	3	2	0	1	0	0	3	3	3	2
512	0	0	2	0	0	0	0	3	1	1	3	1	0	2	0	0	3	3	3	3
521	0	0	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	3	3	3	3
522	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0	2	3	2	2
523	0	0	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	3	3	2

Figura A.1: Propensione all'erogazione di servizi ecosistemici in funzione della classe d'uso del suolo CORINE[29]

CODE	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	C1	C2	C3
3130	0	0	1	0	0	0	1	2	1	1	2	2	0	2	0	1	3	3	2	2
3140	0	0	1	0	0	0	1	3	1	2	2	1	0	2	0	0	2	3	3	2
3150	0	0	2	0	0	0	1	3	1	2	2	2	0	2	0	1	3	3	3	2
3160	0	0	1	0	1	0	1	2	1	2	2	2	0	2	0	2	2	3	2	1
3170	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0	2	0	2	1	1	1	1
3180	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0	2	0	2	1	1	1	1
3220	0	3	2	0	0	1	1	3	1	1	1	1	0	1	0	0	1	3	1	2
3240	0	0	2	1	0	1	1	3	1	1	1	2	1	1	1	0	2	3	1	2
3260	0	0	3	0	0	0	0	3	1	2	2	1	0	1	0	2	3	3	3	2
3270	0	0	3	0	0	0	0	3	1	2	2	1	0	1	0	2	3	3	3	2
3290	0	0	3	1	0	1	1	3	1	2	2	2	1	1	1	1	2	3	3	2
4060	0	1	1	0	1	1	1	1	2	1	1	0	2	1	1	0	2	2	2	1
4070	0	1	3	0	2	2	1	0	2	1	1	0	3	2	1	0	3	2	2	1
4080	0	1	1	0	1	1	1	0	2	1	1	0	2	2	1	0	2	2	2	1
5130	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
5230	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1
5330	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1
6110	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
6150	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1
6170	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1
6210	0	1	1	0	1	2	2	1	1	1	1	0	2	2	1	1	3	3	2	1
6220	0	1	1	0	1	1	2	1	1	1	1	0	1	2	1	1	3	2	1	1
6230	0	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	2	2	1	1	3	3	2	1
6310	0	2	2	2	1	1	0	2	0	1	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1
6410	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
6430	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
6510	0	3	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	3	2	1
6520	0	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2	2	3	2	1
7140	0	0	1	0	1	1	1	2	2	2	2	3	1	2	1	1	2	2	1	1
7160	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2
7220	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3
7230	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	3	1	2	1	1	2	2	1	1
8110	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8230	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
8310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8340	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	3	2	2
9110	0	0	3	3	3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	1	2	2	2	3	2
9150	0	0	3	3	3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	1	2	2	3	3	2
9180	0	0	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	2	1	3	2	1	2
91B0	0	0	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	1	3	2	3	2	2
91D0	0	0	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	3	1	2	2	2	1	1
91E0	0	0	2	3	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2
91F0	0	0	2	3	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
91K0	0	0	2	3	1	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	3
91L0	0	0	2	3	1	1	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3
91M0	0	1	2	3	3	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	3	3	2	3
91AA	0	0	2	3	2	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	3
9210	0	0	2	3	2	1	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	3	3	3	2
9220	0	0	2	3	2	1	2	2	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	2
9260	0	0	2	3	3	1	2	2	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3
92A0	0	0	2	3	1	1	2	3	2	2	3	3	3	3	2	3	2	3	2	3
9330	0	1	2	3	1	1	1	1	2	2	2	1	2	3	2	2	2	3	2	2
9340	0	0	3	3	1	1	2	1	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2
9410	0	0	3	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3	3	1	1	3	2	3	2
9420	0	0	3	3	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	1	1	3	3	3	3
95A0	0	0	3	3	3	2	2	2	3	3	3	1	3	3	1	1	3	3	3	3

Figura A.2: Propensione all'erogazione di servizi ecosistemici in funzione della classe d'habitat EUNIS[29]

Ambito generale			Livelli		
I	II	III	IV	V	
1 aree antropizzate	11 aree urbanizzate	111 tessuto urbano continuo	1111 tessuto residenziale denso 1112 tessuto residenziale continuo mediamente denso 1121 tessuto residenziale discontinuo		
		112 insediamento discontinuo	1122 tessuto residenziale rado e nucleiforme 1123 tessuto residenziale sparso	11231 caseine	
	12 insediamenti produttivi, grandi impianti e reti di comunicazione	121 Zone produttive e insediamenti di grandi impianti di servizi pubblici e privati	1211 insediamenti industriali, artigianali, commerciali e agricoli con spazi annessi	1212 insediamenti di grandi impianti di servizi pubblici e privati	12111 insediamenti industriali, artigianali, commerciali
					12112 insediamenti produttivi agricoli
			12121 insediamenti ospedalieri		
			12122 impianti di servizi pubblici e privati 12123 impianti tecnologici 12124 cimiteri 12125 aree militari obliterate		
		122 reti stradali, ferroviarie e spazi accessori	1221 reti stradali e spazi accessori		
		1222 reti ferroviarie e spazi accessori			
		123 aree portuali			
		124 aeroporti ed eliporti			
	13 aree estrattive, discariche, cantieri, terreni artefatti e abbandonati	131 cave			
		132 discariche			
		133 cantieri			
		134 aree degradate non utilizzate e non vegetate			
14 aree verdi non agricole	141 aree verdi urbane	1411 parchi e giardini			
		1412 aree verdi incolte			
	142 aree sportive e ricreative	1421 impianti sportivi			
		1422 campeggi e strutture turistiche e ricettive 1423 parchi divertimento 1424 aree archeologiche			

(a) Classe "Urbanizzato" della DUSAF

Ambito generale			Livelli	
I	II	III	IV	V
2 aree agricole	21 seminativi	211 seminativi semplici	2111 seminativi semplici	
			2112 seminativi arborati	
			2113 colture orticole	21131 colture orticole a pieno campo 21132 colture orticole protette
			2114 colture floro vivaistiche	21141 Colture floro vivaistiche a pieno campo 21142 Colture floro vivaistiche protette
			2115 orti familiari	
		212 seminativi in aree irrigue		
		213 risaie		
	22 colture permanenti	221 vigneti		
		222 frutteti e frutti minori		
		223 oliveti		
	224 arboricoltura da legno	2241 pioppeti 2242 altre legnose agrarie		
23 prati stabili	231 prati permanenti	2311 prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive		

(b) Classe "Agricolo" della DUSAF

Livelli				
Ambito generale			Ambito locale	
I	II	III	IV	V
3 territori boscati e ambienti seminaturali	31 aree boscate	311 boschi di latifoglie	3111 boschi di latifoglie a densità media e alta (copertura >20%)	31111 boschi di latifoglie a densità media e alta (ceduo)
			3112 boschi di latifoglie a densità	31112 boschi di latifoglie a densità media e alta (alto fusto)
			3113 formazioni ripariali	31121 boschi di latifoglie a densità bassa (ceduo)
		312 boschi di conifere	31122 boschi di latifoglie a densità bassa (alto fusto)	
			3121 Boschi conifere a densità media e alta (copertura >20%)	
			3122 Boschi di conifere a densità bassa (copertura 10-20%)	
	313 boschi misti di conifere e di latifoglie	3131 boschi misti a densità media e	31311 boschi misti a densità media e alta (ceduo)	
		3132 boschi misti a densità bassa	31312 boschi misti a densità media e alta (alto fusto)	
	314 rimboschimenti recenti	31321 boschi misti a densità bassa	31321 boschi misti a densità bassa (ceduo)	
	32 ambienti con vegetazione arbustiva e/o erbaea in evoluzione	321 praterie naturali d'alta quota	3211 praterie naturali d'alta quota senza specie arboree ed arbustive	31322 boschi misti a densità bassa (alto fusto)
			3212 praterie naturali d'alta quota con specie arboree ed arbustive sparse (cop. veg. arb. <10%)	
		322 cespuglieti e arbusteti	3221 cespuglieti	
			3222 vegetazione dei greti	
			3223 vegetazione degli argini sopraelevati	
	324 aree in evoluzione	3241 cespuglieti con specie arbustive alte ed arboree (cop. veg. arb. <10%)		
		3242 cespuglieti in aree agricole abbandonate		
33 zone aperte con vegetazione rada ed assente	331 spiagge, dune ed alvei ghiaiosi			
	332 accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione			
	333 vegetazione rada			
	335 ghiacciai e nevi perenni			

(c) Classe "Boschi e Semi-Naturali" della DUSAF

Livelli				
Ambito generale			Ambito locale	
I	II	III	IV	V
4 aree umide	41 aree umide interne	411 vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere		

Livelli				
Ambito generale			Ambito locale	
I	II	III	IV	V
5 corpi idrici	51 acque interne	511 alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali		
		512 bacini idrici	5121 bacini idrici naturali	
			5122 bacini idrici artificiali	
			5123 bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda	

(d) Classi "Aree Umide" e "Corpi Idrici" della DUSAF

Figura A.2: La classificazione DUSAF

Appendice **B**

InVEST

B.1 Scenario Generator

Tabella delle Transizioni (*Transition Table*) La tabella riporta la probabilità di cambiamento associato alla transizione da ciascuna classe d'uso del suolo ad ogni altra. Essa contiene inoltre l'indicazione sulla quantità di cambiamento ricercato per ciascuna classe.

Come si può osservare nella B.1¹, il cambiamento che avviene per ogni classe d'uso del suolo è definito da alcuni ulteriori parametri (disposti in colonne).

Priority Definisce l'ordine con cui vengono calcolati i cambiamenti. È un parametro opzionale, se non indicato viene seguito l'ordine di comparizione entro la tabella.

Proximity Indica la distanza limite da un'altra porzione di suolo con la stessa copertura. È un parametro opzionale, se non indicato non viene considerato.

Patch ha Definisce il numero minimo di ettari per i quali la transizione ha luogo. Influenza la distribuzione delle aree interessate dal cambiamento. Il dato è opzionale e qualora non venga inserito, la risoluzione del raster della LULC costituisce l'effettiva dimensione minima.

Tabella dei Fattori (*Factors Table*) Il cambiamento della copertura del suolo non viene influenzato unicamente dalla copertura attuale ma anche da fattori che favoriscono specifiche classi d'uso nell'insediarsi. Un esempio della struttura della tabella è dato nella

¹Nonostante il titolo esemplificativo della tabella, sono inserite le intestazioni necessarie per il funzionamento del programma

Tabella B.1: Un esempio di tabella di transizione, basato sul primo livello DUSAF, atto a comprendere il funzionamento della configurazione

Id	Name	1	2	3	4	5	Percent Change	Area Change	Priority	Proximity	Patch ha
1	Urbano	0	7	2	1	0	0.05			500	0.5
2	Agricolo	0	0	1	1	0					250
3	Bosco	0	0	0	1	2					
4	AreeUmide	0	0	0	0	1					


```

+           10000 * int(math.ceil(area_change \
-           / (cell_size**2))))
else:
    LOGGER.warn("Cover_%i_suitability_specified ,but_no_change_indicated.", cover_id)

```

Questa patch è stata segnalata con Issue #3472 del 11 Gennaio 2016 sul repository[36] di riferimento di NatCap ed è stata incorporata nei sorgenti della versione 3.3 di InVEST.

Copertura del Suolo (LULC)

Sebbene la *classe d'uso* (Land Use) e la *classe di copertura* (Land Cover) siano dati diversi, spesso la differenza tra i due non viene percepita. Ai fini dei modelli impiegati tale differenza, deve essere anzi superata. Simile, apparente, errore è giustificato dal fatto che l'uso del suolo influenza la genesi dei servizi quanto la copertura su cui viene effettuato. L'unione dei due costituisce pertanto l'input del modello e qualora fossero disponibili dati separati per uso e copertura, andrebbero composti onde alimentare il modello. Di qui la sostanziale sinonimia perpetuata in questo testo. La copertura del suolo è un dato che riporta per ogni area una classe rappresentativa di ciò che vi si trova. Ad esempio al primo livello (il meno specifico) della classificazione si ritrovano le classi:

1. Urbano
2. Agricolo
3. Territori boscati ed ambienti semi-naturali
4. Aree umide
5. Corpi idrici

Esistono diverse classificazioni, in funzione dei dati che vengono raccolti e dello scopo per cui il rilevamento viene avviato. Ai fini del Presente è stata adottata la classificazione DUSAF⁴ sviluppata in seno ad un progetto avviato da Regione Lombardia nel 2001 e da allora aggiornato con cadenza circa biennale sulla base di foto aeree AGEA. La struttura delle classi è compatibile con il progetto CORINE Land Cover per tutti i primi 3 livelli da essa proposti; la classificazione DUSAF arriva fino al 5° livello. La carta DUSAF ha inoltre una risoluzione migliore, essendo basato su scala 1 : 10000. Il materiale è disponibile presso il geoportale della Regione Lombardia[26] per ogni rilevamento effettuato; il che consente un'analisi della serie temporale dal 2001 ad oggi⁵. Ai fini di una più agevole configurazione dei parametri e per poter distinguere diverse gestioni del suolo, la classificazione DUSAF non viene direttamente impiegata ed è stata aggregata in classi definite appositamente per lo studio, riportata in tabella 2.3 a pagina 29. La classificazione è stata redatta assecondando il principio di differenziare il meno possibile e solo in corrispondenza di differenze tali da poter essere nettamente marcate. Alcuni modelli hanno richiesto un'ulteriore specializzazione delle classi; queste operazioni sono state disposte *ad hoc* volta per volta. Saranno illustrate nel corso del discorso

⁴“Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali”

⁵ad Ottobre 2015, l'ultimo aggiornamento risulta essere del dicembre 2014

B.2 Nutrient

Tabella Biofisica delle acque Questa tabella (B.4) include una lunga serie di dati relativi a svariati aspetti:

LULC_desc Descrizione della classe LULC

lucode Valore attribuito alla classe entro il raster di input nel modello

kc Coefficiente di evapotraspirazione della classe

root_depth profondità di esplorazione radicale⁶

load_n Carico azotato proprio della classe d'uso del suolo

eff_n Capacità di assorbimento dell'azoto apportato

LULC_veg Valore booleano per indicare se la classe sia vegetata o meno

usle_c Coefficiente definito entro la *Universal Soil Loss Equation*

crit_len_n Effetto margine dell'assorbimento di azoto

Il modello è predisposto per analizzare diversi tipi di inquinanti. L'azoto (riportato in esempio) è il più comune ma può essere selezionata l'opzione di analizzare il Fosforo, a condizione di inserire nella tabella B.4 delle colonne "load_p", "eff_p", "crit_len_p" per la modellizzazione di altri inquinanti è possibile inserire i valori opportuni indipendentemente dal nome della colonna o provvedere alle modifiche dei sorgenti necessari a prevedere nuove dinamiche di diffusione degli inquinanti.

Nella tabella B.4 compaiono delle classi che si ripetono distinte dal suffisso 170 e 340. Le classi corrispondenti sono state modificate poichè oggetto della "Direttiva Nitrati". che ne prescrive un input azotato pari a $170kg * N/ha$ e $340kgN/ha$ rispettivamente. Le aree interessate sono state contraddistinte con due codici LULC differenti per rispecchiare una sostanziale differenza nell'Uso. Non essendo processate dal generatore di scenari⁷, esse vengono ricavate all'occorrenza mediante intersezione con la "Carta di Vulnerabilità Intrinseca dei Suoli" ricavando le prescrizioni conseguenti.

⁶Sarà poi confrontata con la profondità radicabile stazionaria per definire la profondità radicata effettiva

⁷per il quale il distinguo non ha ragione d'essere

Tabella B.4: La tabella biofisica per il modello Nutrient Retention

LULC_desc	lucode	Kc	root_depth	load_n	eff_n	LULC_veg	usle_c	crit_len_n
urbano	1	1	1	7	0.05	0	0.01	150
seminativi170 [34]	21	0.6	700	170	0.86	1	0.3	150
seminativi340 [34]	23	0.6	700	340	0.86	1	0.3	150
altri agricoli170	31	0.6	700	170	1	1	0.3	150
altri agricoli340	33	0.6	700	340	1	1	0.3	150
vivai e frutteti170 [60]	41	0.6	700	170	1	1	0.3	150
vivai e frutteti340 [60]	43	0.6	700	340	1	1	0.3	150
legnose agrarie	5	1	500	2	0.8	1	0.01	150
prati [5]	6	1	300	0.2	0	0	0	150
boschi [46]	7	0.65	600	15	0.6	1	0.25	150
vegetazione ripariale	8	1	2000	5	0.8[8]	1	3	150
aree umide e torbiere [54]	9	0.3	1	4	0.05	0	0.01	150
alvei e fiumi	10	0.2	1	4	0.05	0	0.01	150
prati agricoli	111	1	0	170	0.7	1	5	150
prati agricoli	113	1	0	340	0.7	1	5	150

Tabella B.5: Corrispondenza tra tessitura del suolo (USDA) e capacità di campo

Tessitura	Capacità di campo (%)
Sabbiosa	10
Sabbioso franca	12
Limosa	18
Franco sabbiosa	27
Franca	28
Franco limosa	36
Franco sabbiosa argillosa	31
Franco argillosa	30
Franco limosa argillosa	36
Argilloso sabbiosa	38
Argilloso limosa	41
Argillosa	42

Capacità di Campo dei Suoli

La capacità di campo è stata stimata sulla base della tabella⁸ B.5

B.3 Funzione Ricreativa

Questo modello viene elaborato server-side per agevolare la gestione dei predictors globali. Tuttavia per poter fornire noi stessi i dati alternativi (eventualità non prevista dal modello) si è reso necessario provvedere ad un'emulazione fedele al procedimento descritto entro il manuale di InVEST. Questo modello viene sperimentato sotto due distinti aspetti: la bontà del proxy costituito dalle foto disponibili presso Flickr e l'idoneità di scala. Il primo aspetto viene valutato grazie al confronto dei dati flickr con quanto emerso dal questionario. Il secondo aspetto viene invece analizzato adottando una griglia differente. Per il paesaggio a maglia "stretta" presente nel parco verrà di seguito provata anche una maglia di dimensioni pari ad $\frac{1}{3}$. Per l'elaborazione dei fattori di correlazione sono stati affrontati i seguenti passaggi:

1. Realizzazione della griglia desiderata
2. Assegnazione ad ogni cella del numero di visite⁹
3. Superficie per ogni destinazione (assunte, poi, come predictor) d'uso per ciascuna cella
4. correlazione con $\text{lm}()$ [55] delle superfici per il numero di visite

Il software InVEST procede alla correlazione lineare dei *predictor* con le foto disponibili su Flickr adottando una griglia da 3000 (Rgi). La correlazione svolta sui dati di questionario utilizza sia una griglia (Rgs) da 3000 sia una con maglie di 1000 (Rps). I risultati della

⁸Adattata da Saxton e Rawls [48]

⁹Il modello InVEST ottiene questo dato per estrapolazione del numero di foto per utente per anno; per costruzione, il questionario lo fornisce direttamente una volta corretta la distorsione campionaria

correlazione sono esposti nella Nella tabella B.7 sono stati confrontati i valori di correlazione tra dati aventi la stessa genesi e ricadenti in griglie differenti e viceversa ottenendo riscontrando significative conseguenze di entrambi i distinguo. Tuttavia, è riscontrato un inatteso risultato: i coefficienti di correlazione ottenuti da dati diversi ed applicandovi griglie differenti risultano pressoché identici. La differenza, decisamente macroscopica, evidente nella differenza tra i valori di P è indubbiamente indicativa ma non ha ripercussioni nell'applicazione del modello. Sulla B.6 è difficile dire di più se non che la correlazione basata sulle foto disponibili su Flickr presenta dei valori di P molto alti. Si consideri che ad un valore di $P = 1$ si avrebbe l'impossibilità di dichiarare la correlazione; tuttavia l'obiettivo del modello non è dimostrare il legame tra i visitatori e le destinazioni d'uso del suolo ma solamente di coglierne l'influenza[59]. Per meglio comprendere la B.6 si osservi la B.7 a pagina lxxiv



Questionario ai frequentatori del Parco Oglio Sud

Investire nell'Ambiente porta indubbi benefici, anche con riflessi economici, all'intera comunità.

Il progetto "Ecopay Connect Oglio Sud" è stato varato dal Parco Oglio Sud con lo scopo sia di contrastare la desertificazione del territorio attraverso la riqualificazione ecologica ed ambientale che di rafforzare il ruolo di corridoio ecologico del fiume Oglio. L'azione ha la finalità di mappare e valorizzare i benefici forniti dal Parco al territorio (come cibo, acqua, valori culturali ed opportunità ricreative) su cui poter formulare futuri progetti ed interventi di lungo termine.

Per comprendere le modalità di fruizione ricreativa del territorio, l'Università di Padova, partner del Progetto, ha predisposto il presente questionario per coinvolgere la popolazione in tale analisi.

La compilazione richiederà pochi minuti e la ringraziamo anticipatamente per il tempo e l'attenzione che vorrà dedicarci.

Il questionario è anonimo e i dati forniti saranno usati in forma aggregata nel rispetto della vigente normativa sulla privacy (D.Lgs 196/03).

Data / /

Luogo: _____

1) Per quale attività è prevalentemente qui oggi?

- Pesca
- Jogging
- Passeggiata
- Di passaggio
- Bicicletta
- Eno-gastronomica
- Birdwatching
- Didattico-naturalistica
- Altro:.....

2) E' arrivato:

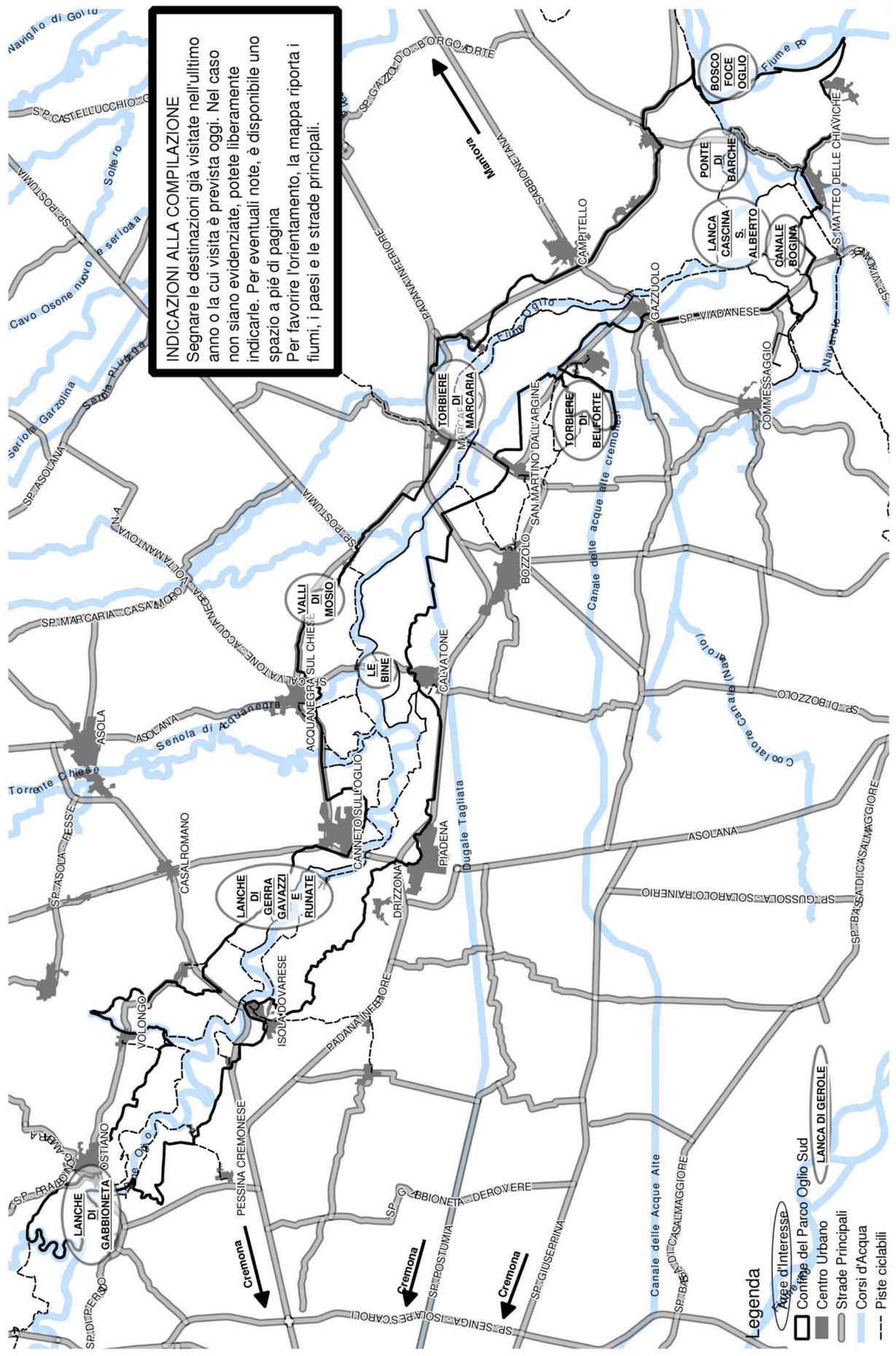
- da solo
- con amici (n° amici)
- con familiari (n° familiari)
- con un gruppo organizzato (n° persone)
- altro: _____ ()

3) Se ha già frequentato il Parco Oglio Sud durante quest'anno, quanto spesso è venuto ...

	...in primavera...	...in estate...	...in autunno...	...in inverno...
...a pescare?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
... a fare birdwatching?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
... per passeggiare?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
... di passaggio?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
... a scopo eno-gastronomico?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
... per andare in bicicletta?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
... per altre attività sportive?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
...per motivi didattico-naturalistici?	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
...per altri motivi:	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte	<input type="text"/> volte
.....				

4) Quale tra le seguenti alternative meglio descrive la sua destinazione? (Può segnalarne anche più di una)

- Area Naturalistica
- Area per Pic-Nic
- Eco-museo o Centro visite
- Argine
- Cascina
- Centro urbano
- Postazione schermata per avvistamento uccelli
- Altro.....



INDICAZIONI ALLA COMPILAZIONE
 Segnare le destinazioni già visitate nell'ultimo anno o la cui visita è prevista oggi. Nel caso non siano evidenziate, potete liberamente indicarle. Per eventuali note, è disponibile uno spazio a piè di pagina
 Per favorire l'orientamento, la mappa riporta i fiumi, i paesi e le strade principali.

Legenda

- Area d'interesse
- Confini del Parco Oglio Sud
- Centro Urbano
- Strade Principali
- Corsi d'Acqua
- Piste ciclabili



5) L'Unione Europea ha sviluppato il programma "Natura2000" per tutelare habitat e specie vulnerabili. Ne è a conoscenza?

- No Ne ho sentito parlare ma non conosco i dettagli Sì

6) All'interno del Parco si trovano alcuni luoghi tutelati da Natura2000. Ne era informato?

- No Sì

7) Il Parco Oglio Sud favorisce iniziative di varia natura. Vi ha mai partecipato?

- Non ho aderito ma le conosco Festival Centro urbano
 Visita guidata Rappresentazione teatrale Altro.....
 Attività didattica Bicyclettata Corsi di varia natura
 Serate di approfondimento

8) Per quanto conosce dell'area del Parco Oglio Sud, quanto si ritiene soddisfatto rispetto ai seguenti elementi?

	Poco soddisfatto	Parzialmente soddisfatto	Soddisfatto	Molto soddisfatto	Non so
Accessibilità	<input type="checkbox"/>				
Servizi accessori	<input type="checkbox"/>				
Segnaletica interna	<input type="checkbox"/>				
Stato manutentivo	<input type="checkbox"/>				
Pulizia	<input type="checkbox"/>				

9) Ai fini di aumentare la fruibilità del parco da parte della popolazione residente e del turista, ci farebbe piacere avere la sua opinione per identificare eventuali futuri interventi migliorativi. In base ai suoi interessi di visitatore, potrebbe ordinare le seguenti attività di miglioramento del parco dal più al meno utile per lei. Metta un numero da 1 (più utile) a 9 (meno utile) nella casella corrispondente.

Manutenzione degli argini

Costruzione di strutture per il bird-watching

Segnalazione delle aree di interesse naturalistico

Manutenzione delle piste ciclabili

Attrezzare aree sosta e pic-nic

Protezione delle aree naturali sensibili (per la conservazione di flora e fauna)

Ampliamento delle piste ciclabili

Realizzazione di percorsi didattici e naturalistici

Creazione di aree alberate e di boschi

Parcheggi di servizio per la pesca

10) Ha ulteriori consigli su come migliorare l'area o il suo godimento?

.....

11) Con quale mezzo è arrivato? (Segnare tutti i mezzi impiegati)

- Bicycletta Autobus Camper
 Automobile Motocicletta Mezzi pubblici
 Treno A piedi Altro:.....

12) Quanti km ha oggi percorso approssimativamente, dal luogo dove risiede o dove pernotta in questi giorni, per raggiungere questo sito? Km

13) La sua visita al Parco Oglio Sud è

giornaliera (senza pernottamento)

di uno o più giorni (pernottamento nelle vicinanze, entro 20km)

di uno o più giorni (pernottamento in altro luogo, oltre 20km)

14) In caso di pernottamento

A. Quanti giorni dura il suo pernottamento?

____ giorni

B. In che tipo di struttura alloggia?

Albergo

Bed & Breakfast

Appartamento

Campeggio

Ospite da Amici

Altro.....

C. La spesa individuale media giornaliera per il pernottamento è:

0 €

0-15 €

16-30 €

da 31 a 60 €

oltre 60 €

15) Quanto ha speso o prevede di spendere a testa giornalmente per...

... mangiare e bere?	____ €	<input type="checkbox"/> niente
... comprare prodotti tipici?	____ €	<input type="checkbox"/> niente
... acquisto/noleggio di materiale?	____ €	<input type="checkbox"/> niente
... altro:.....?	____ €	<input type="checkbox"/> niente

16) Informazioni personali

Sesso:

Maschio

Femmina

Età (anni compiuti):

da 0 a 17

da 18 a 30

da 31 a 45

da 46 a 60

oltre 60

17) È iscritto a qualche associazione?

Ass. alpinistiche/escursionistiche Sì No
Ass. sportive Sì No
Ass. ambientaliste Sì No

18) Proviene da uno dei comuni adiacenti il Parco

(BS) Fiesse Seniga

(CR) Drizzona Isola Dovarese Pessina cremonese Calvatone Volongo Piadena

Gabbioneta Ostiano

(MN) Canneto sull'Oglio Casalromano Viadana Motteggiana Marcaria

Commessaggio Dosolo Pomponesco Suzzara Gazzuolo Bozzolo

Acquanegra sul Chiese San Martino dall'argine Borgo Virgilio

o da un altro comune?(__ __)

Tabella B.6: I coefficienti di correlazione per ogni classe d'uso del suolo (1^a colonna) in ciascuno dei tre metodi d'applicazione della procedura. Rps è elaborato con griglia da 1000 sui dati del questionario, Rgs sui dati del questionario in una griglia da 3000, Rgi su foto flickr in griglia da 3000. Per ciascuno è riportato il coefficiente ed il relativo valore di Pearson. Si ricorda che il valore di P indica la correlazione tanto più significativa tanto più prossimo a 0; canonicamente non sono considerate significative correlazioni aventi $P > 0.01$

LULC DESC	LULC ID	Rps	P(Rps)	Rgs	P(Rgs)	Rgi	P(Rgi)
urbano	1	-0.08139	0.01907	0.023472	0.227	-0.000006108	0.9276
seminativi	2	-0.08948	0.00621	0.020901	0.339	-0.00000654	0.9225
altri agricoli	3	-0.08809	0.10046	0.011513	0.722	-0.00000652	0.9228
vivai e frutteti	4	-0.07398	0.04467	0.031709	0.159	-0.000006409	0.9241
legnose agrarie	5	-0.01741	0.48559	0.029117	0.298	-0.000006502	0.923
prati	6	-0.05777	0.25105	0.052716	0.442	-0.00000607	0.9283
boschi	7	0.03881	0.05415	0.110395	0.42	-0.000005532	0.9351
vegetazione ripariale	8	0.03886	0.02756	0.026217	0.567	-0.000007429	0.9121
aree umide e torbiere	9	0.01584	0.35418	0.015924	0.642	-0.000004191	0.9504
alvei e fiumi	10	0.03525	0.02718	-0.002477	0.902	-0.000005684	0.9326
prati agricoli	11	0.03056	0.06232	-0.002723	0.525	-0.000006719	0.9205

Tabella B.7: sono comparate a coppie le modalità di calcolo dei dati (Rps, Rgs, Rgi). Per ciascun confronto sono realizzate le colonne "d(C)" con il rapporto tra i coefficienti omologhi e "d(P)" con la differenza tra gli indici di Pearson. Sono infine calcolate la deviazione standard e la media per ogni colonna.

Lulc ID	FATTORE SCALA Rps VS Rgs d(C) (%)	d(P)	FATTORE DATI Rgs VS Rgi d(C) (%)	d(P)	ANDAMENTO Rps VS Rgi d(C) (%)	d(P)
1	-3.47	-0.20	-3842	-0.700	0.000	0.908
2	-4.28	-0.33	-3195	-0.583	0.000	0.916
3	-7.65	-0.62	-1765	-0.200	0.000	0.822
4	-2.33	-0.11	-4947	-0.765	0.000	0.879
5	-0.59	0.18	-4478	-0.625	0.000	0.437
6	-1.10	-0.19	-8684	-0.486	0.000	0.677
7	0.35	-0.37	-19955	-0.515	-0.000	0.880
8	1.48	-0.53	-3529	-0.345	-0.000	0.884
9	0.99	-0.29	-3799	-0.308	-0.000	0.596
10	-14.23	-0.87	435	-0.030	-0.000	0.905
11	-11.22	-0.46	405	-0.395	-0.000	0.858
DEV.STD	267.92	0.792	314703711	0.488	0.000	0.248
MEDIA	-3.82	-0.346	-4851	-0.451	-0.000	0.796

Analisi Spaziale Qualitativa

La validazione qualitativa spaziale degli output verifica che le varianti di uno stesso modello siano concordi nell'individuare le aree dove la produzione di SE sia variata a seguito dei progetti previsti entro gli scenari. Per l'analisi, l'erogazione di SE calcolata da ogni modello è stata ripartita in quantili. Rilevando il cambiamento di quantile è stato possibile individuare quali varianti riconoscano i medesimi cambiamenti sul territorio. L'analisi è stata svolta in termini esclusivamente qualitativi: non è stato considerato il modulo di cambiamento dal quantile iniziale al quantile finale dello scenario ma solo se si preveda la permanenza nel medesimo quantile, un aumento od un calo a conclusione di uno scenario rispetto al valore previsto dallo stesso modello per le condizioni allo stato di fatto. Per non considerare le specifiche differenze tra le configurazioni ma la loro efficacia nell'individuare siti di cambiamento delle condizioni ecosistemiche, l'analisi è stata condotta su output aventi definizione di 1 ha.

Nei sotto paragrafi successivi sono considerate alcune varianti di configurazione dei modelli come termine di confronto ed a quest'ultime si riferiscono i termini di "sottostima", "sovrastima", "accordo" ed "omissione". Si ricordi che nessuno dei risultati è convalidato e che ognuno dei riferimenti avrebbe potuto essere invertito dal momento che il termine di confronto è stabilito arbitrariamente.

Ritenzione dei Nutrienti

La Ritenzione dei Nutrienti è stata analizzata assumendo il risultato ottenuto con Nh come riferimento. Il grafico in C.1 riporta la differenza spaziale qualitativa tra le due varianti e la tabella C.1 i dati numerici. I due modelli risultano tendenzialmente concordi nell'individuare le aree maggiormente interessate dai cambiamenti. Come si vede in C.1 e C.1, il modello che impiega Nn sottostima la ritenzione entro gli scenari dove massicci interventi interessano esplicitamente le sponde dei canali. È, invece, generalmente prevalente la Sovrastima del fenomeno negli altri scenari.

È interessante notare come lo scenario dove si riscontra maggior accordo sia "Riforestazione". Questo è riconducibile al comune orientamento verso l'efficacia degli interventi lungo il fiume che caratterizzano questo scenario.

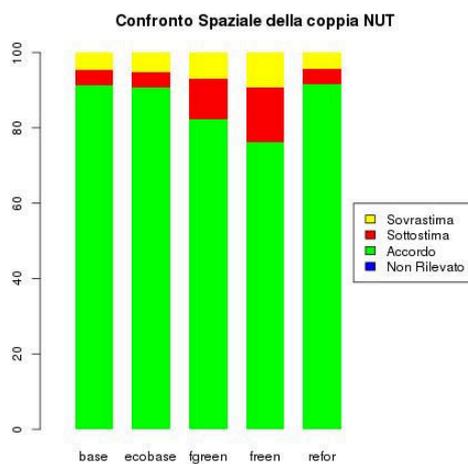


Figura C.1: Ritenzione di Azoto risultante dal modello con Nn rispetto ai risultati ottenuti con Nh

Tabella C.1: Valori normalizzati in percentuale di cui in C.1

Accordo(%)	Sottostima(%)	Sovrastima(%)	Non Rilevato(%)	Scenario
91.31	4.03	4.66	0.00	Baseline(base)
90.81	3.96	5.23	0.00	Green Development(ecobase)
82.38	10.66	6.96	0.00	Greening(fgreen)
76.08	14.72	9.19	0.00	PPPP(freen)
91.57	4.20	4.23	0.00	Riforestazione(refor)

Ricreazione

Data la presenza di 3 ipotesi di configurazione diverse, il confronto tra tutte è stato reso attraverso tre differenti operazioni, esposte di seguito.

Rgs - Rgi (C.2a) Le differenze si riconducono alla differenza tra le fonti di dati. La configurazione basata sulle fotografie Flickr viene usata come riferimento per la configurazione Rgs che adotta i dati del questionario analizzandoli in una griglia delle stesse dimensioni. Dalla C.2a e dalla C.2 si ricava come i questionari inducano più facilmente alla sovrastima

Tabella C.2: Valori normalizzati in percentuale di cui in C.2a

Accordo(%)	Sottostima(%)	Sovrastima(%)	Non Rilevato(%)	Scenario
73.04	16.74	10.22	0.00	Baseline (base)
83.91	3.26	12.83	0.00	Green Development (ecobase)
83.70	5.00	11.30	0.00	Greening (fgreen)
84.13	8.26	7.61	0.00	PPPP (freen)
70.22	12.83	16.96	0.00	Riforestazione (refor)

che alla sottostima. Ad ogni modo l'accordo rimane preponderante nell'individuazione dei siti di cambiamento dell'attrattività turistica, a prescindere dalla fonte dei dati di visita.

Rgi - Rps (C.2b) Le due configurazioni differiscono sia per la fonte dei dati sia per la scala d'analisi degli stessi. Nonostante i coefficienti presentassero una ridotta discrepanza, le aree di cui viene previsto il cambiamento nei vari scenari sono risultate piuttosto diverse. Come risultante già da una preliminare osservazione delle figure in 3.3 la superficie coperta dalla griglia è risultata diversa. Questo è dovuto alla necessità che le maglie della griglia siano interamente riempite per poter impiegare il modello previsionale. La mancanza di previsione è quindi riconducibile alla forma dell'area su cui il modello è stato impiegato e non direttamente alla sua configurazione.

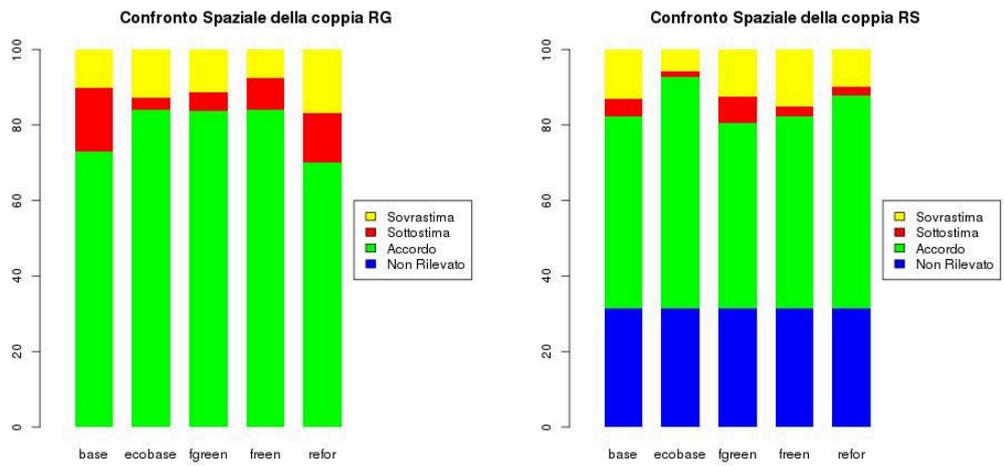
Tabella C.3: Valori normalizzati in percentuale di cui in C.2b

Accordo(%)	Sottostima(%)	Sovrastima(%)	Non Rilevato(%)	Scenario
50.83	4.69	13.16	31.32	Baseline (base)
61.42	1.51	5.75	31.32	Green Development (ecobase)
49.17	7.11	12.41	31.32	Greening (fgreen)
50.83	2.72	15.13	31.32	PPPP (freen)
56.43	2.42	9.83	31.32	Riforestazione (refor)

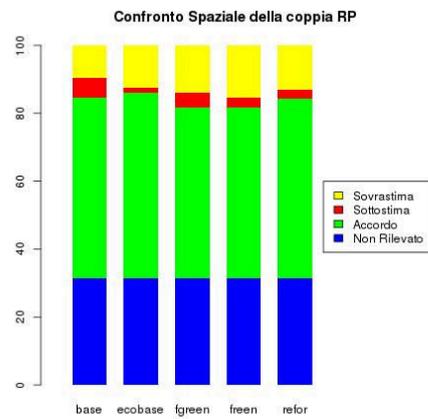
Dalla C.3 risulta come la configurazione Rgi tenda a riconoscere un maggior numero di cambiamenti in positivo rispetto alla configurazione Rps.

Rgs - Rps (C.2c) Le due configurazioni sono omologhe per la fonte dei dati su cui si fonda il calcolo dei coefficienti ma ne sviluppano l'analisi a scale differenti. Come rilevabile dalla C.4, la sovrastima derivante dall'adozione di una griglia maggiore prevale nettamente sulla sottostima.

Persistono le già osservate differenze riguardo l'area interessata dal modello.



(a) Ricreazione confrontata tra celle della stessa grandezza: $R_{gs} - R_{gi}$
 (b) Ricreazione confrontata tra griglia e dati differenti: $R_{gi} - R_{ps}$



(c) Ricreazione confrontata tra dati omologhi:
 $R_{ps} - R_{gs}$

Figura C.2: Confronto spaziale tra le predizioni delle diverse configurazioni del modello per la Ricreazione

Tabella C.4: Valori normalizzati in percentuale di cui in C.2c

Accordo(%)	Sottostima(%)	Sovrastima(%)	Non Rilevato(%)	Scenario
53.40	5.60	9.68	31.32	Baseline (base)
54.61	1.51	12.56	31.32	Green Development (ecobase)
50.53	4.24	13.92	31.32	Greening (fgreen)
50.38	3.03	15.28	31.32	PPPP (freen)
53.10	2.42	13.16	31.32	Riforestazione (refor)

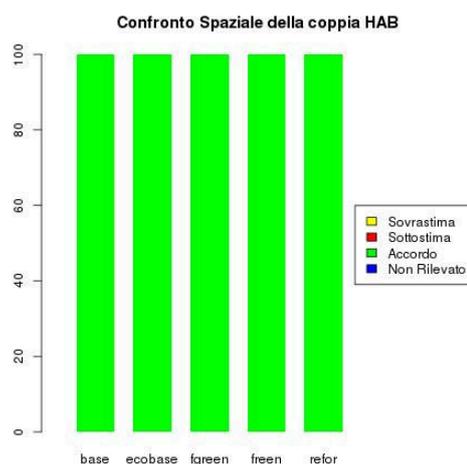


Figura C.3: Aderenza nell'individuazione spaziale dei cambiamenti di Qualità degli Habitat

Qualità degli Habitat

L'analisi condotta sulla distribuzione spaziale delle modifiche al valore di qualità degli Habitat ha assunto la configurazione Hm come punto di riferimento per i risultati basati sulla configurazione Ht.

In C.3 sono riportati i termini ottenuti dal confronto. Come si può osservare i risultati globali sono perfettamente allineati riscontrando le medesime dinamiche di variazione sul 100 % del territorio.

Analisi di sensitività

L'analisi degli scenari indica come i modelli siano in grado di fornire un'indicazione circa la scelta più vantaggiosa in termini di SE erogati. Il range di possibili configurazioni dei modelli sperimentate in questa Tesi, comporta una variabilità nei risultati che induce, in funzione della sola configurazione, a selezionare scenari differenti a parità degli altri fattori.

La valutazione degli scenari basata sul concetto di Valore Economico Totale (VET) (espresso in D.1) è stata esplorata in funzione di un intero range di valori unitari.

$$VET = \frac{\text{valore}}{\text{visitatore}} * \text{visitatori} + \frac{\text{valore}}{\text{Kg N ritenuto}} * N \text{ ritenuto} + \frac{\text{valore}}{\text{Unità di Habitat}} * \text{Unità di Habitat} \quad (D.1)$$

Questa valutazione non tiene quindi conto dei costi di realizzazione degli scenari ma unicamente del cambiamento conseguente a ciascuno scenario al VET. Gli output dei modelli consentono di stimare l'andamento dei singoli Servizi Ecosistemici (SE) in funzione dell'evoluzione degli usi del suolo nel tempo. Tuttavia ogni scenario, in ragione delle proprie peculiarità e caratteristiche, produce un diverso andamento di ogni SE.

L'output reso dai modelli¹ riporta una misura della fornitura di ogni Servizio ma queste non sono direttamente confrontabili tra loro tanto che hanno ciascuna una specifica unità di misura (si veda la tabella 2.1 a pagina 20).

Assunto un range di valori unitari dei Servizi Ecosistemici disponibili in bibliografia, è stato valutato quale fosse lo scenario più conveniente per ciascuna combinazione di valori unitari. Data la struttura dei dati l'indagine è stata assolta come esplorazione numerica, il cui esito è riportato nella figura D.1.

Ricreazione da €0.5 a €134 per visita²

Ritenzione da €2.60 a €3.85 per Kg N[30]

¹gli output per ogni anno e scenario nelle diverse varianti dei modelli sono riportati nella tabella A.1 a pagina lvi

²range di valori possibili, impiegati nell'esplorazione numerica. La stima svolta a seguito dei dati di questionario ha impiegato il costo opportunità del tempo dedicato alla visita:€5.44

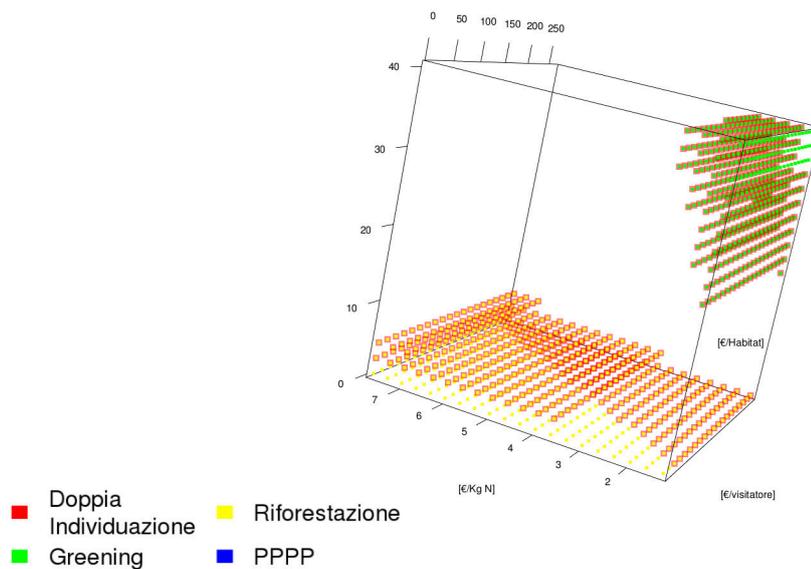


Figura D.1: Gli scenari "migliori" per il range di valori sono riportati in funzione del colore dei punti. I tre assi rappresentano il valore dei SE. I punti di PPPP non sono riportati per ragioni di leggibilità ed occupano interamente lo spazio apparentemente vuoto. Valori aventi multipli scenari associati sono bordati di rosso.

Habitat Allo scopo di riconoscere lo scenario più conveniente è stato adottato un range di valori compreso nella metà inferiore della differenza tra i due³. Pur non fornendo un'indicazione per la stima economica consente di riconoscere il valore della biodiversità nella scelta tra gli scenari.

I valori sperimentati sono stati impiegati secondo la D.1 considerando quale scenario presenti il massimo miglioramento in rapporto alle condizioni attuali.

Nonostante lo scenario Green Development si distingua per avere la media più alta tra gli anni di sviluppo considerati, gli scenari Riforestazione, Greening e PPPP sono caratterizzati per i valori singoli più alti (senza considerare gli anni in cui siano stati sviluppati).

Le combinazioni dei valori dei SE determinano uno spazio tridimensionale al cui interno si distinguono 3 porzioni occupate, ciascuna, dallo scenario che presenta il maggior incremento del VET in rapporto alle condizioni attuali. Tale spazio è riportato in figura D.1. Sulla base dei risultati di tutte le varianti di configurazione dei modelli sono calcolate le condizioni di rapporti reciproci tra i valori dei SE per cui ogni scenario è selezionato come "migliore".

Riforestazione Bassi valori per il SE R9, "Habitat per la biodiversità"

Greening Elevati valori di per il SE R9 e bassi valori per il SE R4, "Purificazione dell'Acqua"

PPPP Occupa lo spazio dei valori rimanente.

³Non è stato trovato un valore rappresentativo del servizio entro il materiale bibliografico reperito per questo servizio

Oltre alla condizioni di valore reciproco tra i diversi SE determinanti la selezione di uno scenario rispetto ad un altro, l'analisi svolta ha rivelato un ulteriore elemento degno di considerazione.

Il 12,4% dei valori sperimentati ha indicato, in funzione della combinazione di varianti di configurazione impiegate, due distinti scenari corrispondenti al massimo incremento del VET. Entro lo spazio dei valori sopra descritto questi punti particolari ricadono entro un volume di ampiezza variabile interposto alle porzioni ora descritte, "occupate" da uno degli scenari.

La variabilità associata alle varianti di configurazione determina un margine di indecisione nella selezione dello scenario "migliore" tale per cui in prossimità di valori limite alcune ne individuano uno ed altre l'altro.

Con i margini d'incertezza ora descritti, l'analisi rivela come per i valori intermedi del range di variabilità dei valori dei SE primeggi lo scenario PPPP.

Mentre lo scenario Greening sia preferibile in concomitanza di un elevato valore della Biodiversità.

La probabilità di incorrere in valori determinanti la selezione di molteplici scenari è probabilmente destinata ad aumentare in corrispondenza di scenari simili tra loro. Un'evidenza di questa tendenza è come la fascia di valori bivalenti ricada su un range di valori dei SE di ampiezza maggiore tra "Greening" e "PPPP" che tra "PPPP" e "Riforestazione".

Con le variabili di configurazione e gli scenari impiegati è stata misurata la probabilità del 12% che i valori per cui si effettua l'analisi diano un risultato differente in funzione della sola configurazione. La più rilevante conseguenza è l'impossibilità di effettuare una scelta quantitativa in assenza di parametri di configurazione univoci o di un'analisi di sensibilità alle configurazioni simile a quella svolta in questa tesi.

Script impiegati

Gli script impiegati nell'elaborazione dei dati presentati nello studio sono riportati di seguito. L'esecuzione degli eseguibili è stata svolta su sistema GNU/Linux (4.0.5 SMP PREEMPT) con processore AMD FX-7500 con 4 CPU da 2100 MHz. L'esecuzione dei modelli impiegando E.1 e la versione 3.3.0a1.post1+ncf2d5f17f946 di InVEST ha richiesto¹ `real 2889`
`↪ m20.437s; user 6412m22.750s ; sys 2397m29.804s.`

Gli eseguibili python impiegati entro i GRASS_BATCH_JOB sono generati dallo stesso InVEST² ed eventualmente modificati nel solo riferimento agli input. Eseguo semplicemente il modulo³ costituendo semplicemente un alternativa all'interfaccia grafica del programma.

La versione di GRASS GIS impiegata è la 7.0.2.

La versione di R impiegata è R version 3.2.3 (2015-12-10) – "Wooden Christmas-Tree".

La versione di Python utilizzata è 3.4.3-r1 con PYTHON_TARGET=2.7.10

```

5  #!/bin/bash
6  pumr ()
7  {
8      export anno=$1
9      export scen=$2
10     export scroot=/home/fosco/unipd/tesi/invest/run
11     export GRASS_BATCH_JOB=$scroot/pumr.sh
12     grass70 -c $scroot/scripta/$anno-$scen -gtext
13     unset GRASS_BATCH_JOB
14     telegram-cli -RD -e "msg_user#18516382_$anno_$scen_completato" &
15     echo $anno $scen >> /tmp/model-log.txt
16 }
17 export -f pumr
18 parallel --nice 10 -j+0 --noswap pumr {1} {2} ::: 2018 2020 2023 2025 2028 2030 ::: freen
19     ↪ base ecobase refor freen &
20 parallel --nice 10 -j+0 --noswap pumr {1} {2} ::: 2018 ::: green1 green2 &
21 parallel --nice 10 -N 1 --noswap pumr {1} {2} ::: 2020 ::: greening &
22 parallel -j+0 --nice 10 --noswap pumr {1} {2} ::: 2023 2025 2028 2030 ::: fgreen &
23 parallel --nice 10 -N 1 pumr {1} {2} ::: 2015 ::: base &

```

Listing E.1: L'eseguibile parallelizza l'esecuzione del preprocessing e dell'elaborazione

¹Output di time

²"Development" → "Save to python script"

³dal quale sono stati generati

```

1  #!/bin/bash
   #cambio directory e preparazione nel
   ↳ caso di precedente esecuzione
   mkdir $scroot/$anno/$scen
   cd $scroot/$anno/$scen
   rm lulcS0.*
6  rm out.*
   #converto i dati da Scenario Generator
   ↳ per il pre-processing ai
   ↳ modelli
   gdal_polygonize.py scenario.tif -f "
   ↳ ESRI_Shapefile" lulcS0.shp
   v.in.ogr -o input=lulcS0.shp --o
   ↳ output=lulcS
11 db.connect -d
   v.db.addcolumn lulcS columns="lulc_int
   ↳ "
   #restoring urban value to 1 to obtain
   ↳ a lulc field
   v.db.update map=lulcS col=lulc value="
   ↳ DN" where="DN<100"
   db.execute sql="UPDATE_lulcS_SET_lulc
   ↳ =1_WHERE_DN>100"
   #aggiungo l'informazione circa le
   ↳ siepi per uso futuro
16 v.overlay ainput=lulcS binput=
   ↳ siepibufs@PERMANENT operator=or
   ↳ --o output=lulcSs
   ##### nutrient
   #considero la carta delle
   ↳ vulnerabilita precedentemente
   ↳ caricata in PERMANENT
   v.overlay ainput=nprovision@PERMANENT
   ↳ binput=lulcSs operator=and --o
   ↳ output=lulcN
   #creo le classi d'uso del suolo per il
   ↳ modello Nutrient
21 v.db.addcolumn lulcN columns="Nlulc_
   ↳ int"
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc
   ↳ query_column="a_b_lulc"
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='23' where="a_a_Nprov=3_AND_
   ↳ a_b_lulc=2"
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='21' where="a_a_Nprov=1_AND_
   ↳ a_b_lulc=2"
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='33' where="a_a_Nprov=3_AND_
   ↳ a_b_lulc=3"
26 v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='31' where="a_a_Nprov=1_AND_
   ↳ a_b_lulc=3"
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='113' where="a_a_Nprov=3_AND_
   ↳ a_b_lulc=11"
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='111' where="a_a_Nprov=1_AND_
   ↳ a_b_lulc=11"
   #decido ora di approssimare le siepi
   ↳ alle macchie, che in effetti
   ↳ hanno la stessa composizione e
   ↳ difatti prendono gli stessi
   ↳ valori delle BS.
   v.db.update map=lulcNs col=Nlulc value
   ↳ ='12' where="b_a_siepi=1_AND_
   ↳ a_b_lulc=2"
31 #esporto l'input per il modello
   v.out.ogr input=lulcNs --o output=./
   ↳ format=ESRI_Shapefile
   gdal_rasterize -a Nlulc -ot Float32 -
   ↳ tr 20 20 -a_nodata 0 -co
   ↳ COMPRESS=DEFLATE -co PREDICTOR
   ↳ =1 -co ZLEVEL=6 lulcNs.shp
   ↳ lulcN.tif
   #preparo le cartelle per le due
   ↳ varianti di Nutrient eliminando
   ↳ resti di precedenti esecuzioni
   rm -r nutrient
36 mkdir -p nutrient
   rm -r nutrHD
   mkdir -p nutrHD
   #####NUTRIENT RUN
41 cd $scroot/$anno/$scen/nutrient
   cp $scroot/nutr.py .
   python nutr.py
   cd $scroot/$anno/$scen/nutrHD
   cp $scroot/nutrHD.py .
   python nutrHD.py
46 ##### RICREAZIONE
   rm -r $scroot/$anno/$scen/recr
   mkdir $scroot/$anno/$scen/recr
   cd $scroot/$anno/$scen/recr
   #create lulcR field in lulcS
51 v.db.addcolumn lulcS columns="lulcR_
   ↳ int"
   #import lulc values
   v.db.update map=lulcS col=lulcR
   ↳ query_column="lulc"
   #set PPPP (13) and Refor (12) as
   ↳ wooden land (7)
   v.db.update map=lulcS col=lulcR value
   ↳ =7 where="lulcR=13"
56 v.db.update map=lulcS col=lulcR value
   ↳ =7 where="lulcR=12"
   #v.out.ogr input=lulcS --o output=./
   ↳ format=ESRI_Shapefile
   #estraggo le tabelle di input per l'
   ↳ emulatore del modello
   ↳ ricreazione
   db.connect -d
   v.overlay ainput=lulcS binput=
   ↳ grid1000@PERMANENT operator=and
   ↳ --o output=lulc1000
61 v.db.addcolumn map=lulc1000 columns="
   ↳ area_DOUBLE_PRECISION"
   v.to.db map=lulc1000 option=area units
   ↳ =hectares columns=area
   seq 1 611 | parallel -j+0 v.extract
   ↳ input=lulc1000 where="b_cat={}"
   ↳ --o output=cp{}
   wait
   Rscript /home/fosco/unipd/tesi/invest/
   ↳ run/recreation.R
66 v.overlay ainput=lulcS binput=
   ↳ grid3000@PERMANENT operator=and
   ↳ --o output=lulc3000
   v.db.addcolumn map=lulc3000 columns="
   ↳ area_DOUBLE_PRECISION"
   v.to.db map=lulc3000 option=area units
   ↳ =hectares columns=area
   seq 1 60 | parallel -j+0 v.extract
   ↳ input=lulc3000 where="b_cat={}"
   ↳ --o output=cg{}
   wait
71 Rscript /home/fosco/unipd/tesi/invest/
   ↳ run/recreationI.R
   ##### HABITAT
   cd $scroot/$anno/$scen
   v.overlay ainput=habitat@PERMANENT
   ↳ binput=lulcSs --o output=lulcH
   ↳ operator=or
   v.db.addcolumn lulcH columns="lulcH_
   ↳ int"
76 v.db.update map=lulcH col=lulcH
   ↳ query_column="b_a_lulc"
   #riclassifico classi new entry
   v.db.update map=lulcH col=lulcH value
   ↳ =7 where="b_a_lulc=12"

```

```

v.db.update map=lulcH col=lulcH value
  ↪ =7 where="b_a_lulc=13"
#riclassifico siepi come Arboricoltura
  ↪ da legno
81 v.db.update map=lulcH col=lulcH value
  ↪ =5 where="b_b_SIEPI=1"
#riconoscimento delle aree SIC
v.db.update map=lulcH col=lulcH value
  ↪ =15 where="a_SVRAPP_NOT_NULL"
#preprocessing per la configurazione
  ↪ Terrado
v.db.addcolumn lulcH columns="lulcHt_
  ↪ int"
86 v.db.update map=lulcH col=lulcHt
  ↪ query_column="lulcH"
v.db.update map=lulcH col=lulcHt value
  ↪ =2 where="lulcH=3"
v.db.update map=lulcH col=lulcHt value
  ↪ =4 where="lulcH=11"
v.db.update map=lulcH col=lulcHt value
  ↪ =7 where="lulcH=8"
#moving to model folder
91 rm -r hab
mkdir hab
cd hab
#definizione dei factors:
#agr
96 g.region vector=lulcH res=20
v.to.rast --o input=lulcH where="lulcH
  ↪ =1" output=urban_c use=val
v.to.rast --o input=lulcH where="lulcH
  ↪ =2_or_lulcH=3_" output=agr_c
  ↪ use=val
r.out.gdal --o nodata=0 input=urban_c
  ↪ output=urban_c.tif
r.out.gdal --o nodata=0 input=agr_c
  ↪ output=agr_c.tif
101 mkdir threat
cp $scroot/habQua/road_c.tif threat/
mv urban_c.tif threat/
mv agr_c.tif threat/
#esportazione ed esecuzione
106 mkdir habM
mkdir habT
rm lulcH.*
v.out.ogr input=lulcH output=./
gdal_rasterize -a lulcH -ot Float32 -
  ↪ tr 20 20 -a_nodata 0 -co
  ↪ COMPRESS=DEFLATE -co PREDICTOR
  ↪ =1 -co ZLEVEL=6 lulcH.shp
  ↪ lulcHm.tif
111 cd habM
mv ../lulcHm.tif .
cp $scroot/habQuaM.py .
python habQuaM.py
cd ../
116 gdal_rasterize -a lulcHt -ot Float32 -
  ↪ tr 20 20 -a_nodata 0 -co
  ↪ COMPRESS=DEFLATE -co PREDICTOR
  ↪ =1 -co ZLEVEL=6 lulcH.shp
  ↪ lulcHt.tif
cd habT
mv ../lulcHt.tif .
cp $scroot/habQuaT.py .
python habQuaT.py

```

Listing E.2: il file contenente questo script è assegnato alla variabile GRASS_BATCH_JOB la cui esecuzione avviene a cura dello script di parallelizzazione

```

#!/usr/bin/R
library(GISTools)
library(foreign)
tabella <- data.frame(read.csv("/home/fosco/unipd/tesi/survey/r/def/daHead", header = TRUE
  ↪ ))
5 lulcs <- data.frame(t(read.csv("/home/fosco/unipd/tesi/survey/r/def/daHead", header =
  ↪ FALSE)))
names(lulcs)[1] <- paste("cod")
anno <- Sys.getenv("anno")
scen <- Sys.getenv("scen")
10 for ( cell in seq(1,611))
  {
    #grid <- paste("csv/", cell , ".csv", sep="")
    grid <- paste("/home/fosco/unipd/tesi/invest/run/scripta/",anno,"-",scen,"
  ↪ /dbf/cp",cell,".dbf",sep="")
    exa <- read.dbf(grid)
    usef <- data.frame(lulc=exa$a_lulcR, area=exa$area)
    risultato <- data.frame(aggregate(as.numeric(cbind(usef$area)) ~ usef$lulc
    ↪ , data=usef, FUN=sum, na.action=na.omit))
    colonna <- merge(x=risultato, y=lulcs, by.x="usef.lulc", by.y="cod",
    ↪ incomparables=0, all.y=TRUE)
    riga <- t(colonna)[2,]
#something to include this output in a bigger dataframe\matrix or what...
#it's definition and specs are supposed to be based on lm() requirements!
20 tabella <- rbind(tabella, riga)
  }
#multiplico le colonne con i fattori di correlazione+ l'intercetta
tabella <- replace(tabella, is.na(tabella), as.numeric(0))
visaest <- (-0.08139*tabella[,1] + -0.08948*tabella[,2] + -0.08809*tabella[,3] + -0.07398*
  ↪ tabella[,4] + -0.01741*tabella[,5] + -0.05777*tabella[,6] + 0.03881*tabella[,7] +
  ↪ 0.03886*tabella[,8] + 0.01584*tabella[,9] + 0.03525*tabella[,10] + 0.03056*tabella
  ↪ [11] + 11.41768)
25 #importo la griglia con tutte le celle dell'area
griglia<-readShapePoly("/home/fosco/unipd/tesi/invest/run/recreationR/grid1000.shp")
# e ci aggiungo la colonna apposita

```

```
griglia$visaest <- visaest[,1]
writePolyShape(griglia, "./recr/ricreazione.shp",)
```

Listing E.3: Script in R per la determinazione del valore ricreativo di ogni cella della griglia a partire dalle superfici occupate da ogni Uso del Suolo. Con alcune marginali modifiche può essere adeguato ad operare con l'altra griglia.

```

1  #!/bin/bash
   #definire location in scroot/greening
   g.mapset -c PERMANENT
6  #definisco la "region" di modo che si
   ↳ sovrapponga allo shapefile
   ↳ delle parcelle
   g.region -s vector=parcelle
   g.region res=20

   #conduni contiene la lista dei valori
   ↳ unici dei CF/P.IVA dei
   ↳ conduttori
11 conduit=$(cat conduni)

   for boss in $conduit
   do
16 g.mapset PERMANENT
   #cambiare mapset
   g.mapset -c g$boss

   #calcolo l'area le cui caratteristiche
   ↳ potrebbero influenzare la
   ↳ disposizione entro la
   ↳ superficie condotta dalla
   ↳ partita
21 v.extract input=parcelle@PERMANENT
   ↳ where="conductor_='_'$boss'" --o
   ↳ output=con$boss
   v.hull input=con$boss output=
   ↳ fact1$boss
   v.overlay ainput=lulca@PERMANENT
   ↳ binput=con$boss output=
   ↳ lulc$boss operator=and
   v.buffer input=fact1$boss output=
   ↳ fact$boss distance=100
   ↳ minordistance=100
   #preparo tutti i fattori per Scenario
   ↳ Generator
26 v.overlay -t ainput=fiumia@PERMANENT
   ↳ binput=fact$boss --o output=
   ↳ fiumi operator=and
   v.overlay -t ainput=canalia@PERMANENT
   ↳ binput=fact$boss --o output=
   ↳ canali operator=and
   v.overlay -t ainput=sica@PERMANENT
   ↳ binput=fact$boss --o output=sic
   ↳ operator=and
   v.overlay -t ainput=boscoa@PERMANENT
   ↳ binput=fact$boss --o output=
   ↳ bosco operator=and
   v.overlay ainput=parco@PERMANENT atype
   ↳ =area binput=con$boss --o
   ↳ output=park operator=and
31 v.overlay -t ainput=ads@PERMANENT
   ↳ atype=area binput=con$boss --o
   ↳ output=proper operator=not
   v.overlay -t ainput=proper atype=area
   ↳ binput=habitat@PERMANENT --o
   ↳ output=constraint operator=or
   v.db.addtable map=constraint

   v.build constraint
   v.db.addcolumn map=constraint columns=
   ↳ "protlevel_INT"
36 v.db.update map=constraint column=
   ↳ protlevel value=0
   #include le aree già convertite a PPPP
   g.copy vector=pppp@PERMANENT,pppp
   #esporto tutti gli shapefile
   v.out.ogr input=fiumi --o output=./
   ↳ factors
41 v.out.ogr input=sic --o output=./
   ↳ factors
   v.out.ogr input=canali --o output=./
   ↳ factors
   v.out.ogr input=bosco --o output=./
   ↳ factors
   v.out.ogr input=park type=area --o
   ↳ output=./factors
   v.out.ogr input=pppp --o output=./
   ↳ factors
46 v.out.ogr input=constraint type=area
   ↳ --o output=./factors
   #raster della lulc
   rm lulc$boss.*
   rm lulcSn.tif
   rm lulcS.tif
51 v.out.ogr input=lulc$boss --o output
   ↳ =./

   gdal_rasterize -a a_lulc2 -ot Float32
   ↳ -tr 20 20 -a_nodata -9999 -
   ↳ a_srs EPSG:32632 -co COMPRESS=
   ↳ NONE -co PREDICTOR=1 -co ZLEVEL
   ↳ =6 lulc$boss.shp lulcS.tif
56 #settare transitionTable includendo
   ↳ quale sia l'estensioen da
   ↳ convertire
   cp /home/fosco/unipd/tesi/invest/run/
   ↳ green-transitionTable.csv /home
   ↳ /fosco/unipd/tesi/invest/run/
   ↳ green/greenTTB.csv

   cat /home/fosco/catsem/greeninv.csv |
   ↳ grep $boss > tmp.csv
   IFS=", "
61 read id part tot tha < tmp.csv
   echo 13,greening,green,0,0,0,0,0,0,
   ↳ $tha,1,0,0 >> greenTTB.csv

   #avvio scenario generator
   python green.py
66 rm ./ $boss.*
   gdal_polygonize.py scenario.tif -f "
   ↳ ESRI_Shapefile" ./ $boss.shp

   g.mapset postproc
71 v.in.ogr -o input=$boss.shp --o output
   ↳ =green$boss

   g.mapset -c patching
   r.in.gdal input=scenario.tif --o

```

```
↔ output=$boss
```

*Listing E.4: Il file è attribuito alla
variabile GRASS_BATCH_JOB*

Glossario

ACB Analisi Costi-Benefici. 5

capacità di campo La capacità di campo di un suolo⁴ corrisponde al rapporto fra il volume del suolo e l'acqua igroscopica che esso è in grado di trattenere. Tale frazione del contenuto idrico è quella utile alle piante poiché disponibile in condizioni di aerobicità del suolo. La quota d'acqua eccedente la capacità di campo, ovvero l'acqua macroporica, non viene trattenuta dal suolo ma percola o defluisce a seconda di diverse variabili. Ai fini del modello di ritenzione dei nutrienti 2.2.1.2 che utilizza questo dato, l'azoto presente nella quota microporica del potenziale idrico del suolo viene interessato dal fenomeno fitodepurativo, mentre l'eccedente defluisce senza che gli inquinanti in esso presenti vengano assorbiti. 18, 22

CORINE coordination of information on the environment. 20

DEM Il Modello digitale del suolo consiste in un'immagine raster dove ogni pixel ha un valore pari alla propria quota. Da questo deriva la possibilità di delineare un modello tridimensionale del suolo. In funzione della modalità con cui vengono ad essere rilevati o delle correzioni che vi vengono apportate, si distingue in DEM (*Digital Elevation Model*) e DTM (*Digital Terrain Model*). Il primo è il più diffuso, dal momento che con relativa facilità può essere ottenuto da immagini aeree o satellitari applicando tecniche fotogrammetriche. Esso riporta, per ogni punto, non la quota del suolo ma la quota più elevata in quella posizione. Applicando correzioni o ricavando direttamente, in maniera molto più onerosa, la quota in ciascun punto si ottiene il DTM. La differenza fra i due diversi dati, seppure non facilmente individuabile, può essere decisiva durante l'elaborazione da parte del modello: basti pensare a quanto avviene nel caso un ponte attraversi l'alveo di un fiume. 18, 21, 40, 41, 43

⁴Contenuto idrico disponibile per le piante

DUSAF Destinazione Uso Suoli Agricoli Forestali. Classificazione sviluppata da Regione Lombardia. lxi, 20, 28

EUNIS European Nature Information System. 20

evapotraspirazione potenziale L'evapotraspirazione rappresenta la quantità di acqua evaportata dal suolo sommata all'acqua traspirata dalle piante. L'evapotraspirazione potenziale corrisponde alla capacità evapotraspirativa della copertura evapotraspirativa di riferimento: l'*alfalfa*. Il dato è calcolabile secondo alcune formule [4] [3]. Queste formule, richiedono a loro volta una considerevole mole di dati stazionari e climatici. 18

input Insieme dei dati di ingresso forniti dal utente al calcolatore. 17, 21, 22, 49

InVEST Suite di programmi utili ad ottenere simulazioni di processi ecosistemici. lxxix, 1, 2, 9, 16, 18–20, 49

LULC Land Use and Land Cover. lx, 8, 9, 17, 18, 21, 22, 27, 30, 37, 38, 42, 44

MGN LIFE+ MAKING GOOD NATURA. 20

NCP Natural Capital Project. 1, 7, 16, 17

output prodotti resi da un elaborazione. 17, 20, 39, 41

PES Payment for Ecosystem Services. 5, 6, 8

PPPP Piantagioni Private Policicliche Permanenti. 22, 27, 36, 38

proxy Indicatore che descrive il comportamento di un aggregato. 40

PSR Piano di Sviluppo Rurale. 36

run off deflusso idrico in superficie. 18, 21, 41

SE Servizi Ecosistemici. lxxiii, lxxxv, 1–10, 16–20, 27, 39–41, 43, 46, 47, 49

SIARL Sistema Informativo Agricolo della Regione Lombardia. 36

Stake Holders I portatori d'interesse. Designa tutti le componenti economiche e sociali coinvolte sia attivamente sia passivamente da un Progetto. 5, 6, 8, 16, 17, 28, 31

Trade Off Le interazioni competitive tra due o più SE, dove l'aumento di uno comporta un calo per l'altro. 7, 47

VET Valore Economico Totale. 5, 47

Bibliografia

- [1] European Environment Agency. *Allegati alla direttiva Habitat*. URL: <http://eunis.eea.europa.eu> (cit. alle pp. 13, lv).
- [2] Cameron H Ainsworth e Tony J Pitcher. «Modifying Kempton's species diversity index for use with ecosystem simulation models». In: *Ecological Indicators* 6.3 (2006), pp. 623–630 (cit. a p. 27).
- [3] Richard G Allen e William O Pruitt. «FAO-24 Reference Evapotranspiration Factors». In: *Journal of irrigation and drainage engineering* (1991) (cit. a p. xcii).
- [4] Richard G Allen et al. «Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56». In: *FAO, Rome* 300.9 (1998), p. D05109 (cit. a p. xcii).
- [5] JE Barrett e IC Burke. «Potential nitrogen immobilization in grassland soils across a soil organic matter gradient». In: *Soil Biology and Biochemistry* 32.11 (2000), pp. 1707–1716 (cit. a p. lxvii).
- [6] Olaf Bastian. «The role of biodiversity in supporting ecosystem services in Natura 2000 sites». In: *Ecological Indicators* 24 (2013), pp. 12–22 (cit. a p. 4).
- [7] Ian J Bateman et al. «Applying geographical information systems (GIS) to environmental and resource economics». In: *Environmental and Resource Economics* 22.1-2 (2002), pp. 219–269 (cit. a p. 7).
- [8] Maurizio Borin et al. «Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy». In: *Agriculture, ecosystems & environment* 105.1 (2005), pp. 101–114 (cit. alle pp. 22, lxvii).
- [9] James Boyd e Spencer Banzhaf. «What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units». In: *Ecological Economics* (2007) (cit. a p. 3).

- [10] Paul Morling Brendan Fisher R. Kerry Turner. «Defining and classifying ecosystem services for decision making». In: *Ecological Economics* (2009) (cit. a p. 3).
- [11] BURL, cur. *D.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2590 Adeguamento dello statuto del Parco Oglio Sud: approvazione ai sensi dell'articolo 2 della legge regionale 12/2011* (2011) (cit. a p. 13).
- [12] Lorenzo Colombo. *IL MERCATO IMMOBILIARE IN LOMBARDIA*. CRESME-ANCE, 2014 (cit. a p. 31).
- [13] Richard M Cowling et al. «An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation». In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105.28 (2008), pp. 9483–9488 (cit. a p. 6).
- [14] Gretchen C Daily et al. *Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems*. Vol. 2. Ecological Society of America Washington (DC), 1997 (cit. a p. 1).
- [15] R d'Arge et al. «The value of the world's ecosystem services and natural capital». In: (1997) (cit. a p. 5).
- [16] Susanna Perlini Davide Malavasi. *Strategie di Riqualificazione Ambientale del Fiume Oglio Sublacuale*. 2009 (cit. a p. 12).
- [17] G Dubois et al. «On the contribution of remote sensing to DOPA, a digital observatory for protected areas». In: *Proceedings of the 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. 2011, pp. 10–15 (cit. a p. 7).
- [18] Direzione Generale Qualità dell'Ambiente della Regione Lombardia Fondazione Lombardia per l'Ambiente (FLA). *Relazione di Sintesi del Progetto RETE ECOLOGICA REGIONALE – PIANURA PADANA E OLTREPO' PAVESE*. 2008 (cit. a p. 14).
- [19] Donald K Frevert, Robert W Hill e Bruce C Braaten. «Estimation of FAO evapotranspiration coefficients». In: *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 109.2 (1983), pp. 265–270 (cit. a p. 21).
- [20] Robert J Hijmans e J Van Etten. *Raster: geographic data analysis and modeling. R package version 2.1-49*. 2013.
- [21] Yahoo! Inc. *Flickr*. 2016. URL: www.flickr.com (cit. alle pp. 18, 22, 41, 44).
- [22] Jared Kibele. *Accuracy Assessment plugin for QGIS*. 2013. URL: <https://github.com/jkibele/acc-assess> (cit. a p. 29).

- [23] Enrico Buresti Lattes, Paolo Mori e Serena Ravagni. «13.5. The permanent polycyclic plantations: narrowing the gap between tree farming and forest». In: *GENETIC CONSIDERATIONS IN ECOSYSTEM RESTORATION USING NATIVE TREE SPECIES* (2014), p. 188 (cit. a p. 37).
- [24] Chris L Lauer, William H Busby e Jerry L Whistler. «Testing a GIS model of habitat suitability for a declining grassland bird». In: *Environmental Management* 30.1 (2002), pp. 88–97 (cit. a p. 27).
- [25] Sandra Lavorel et al. «Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services». In: *Journal of Ecology* 99.1 (2011), pp. 135–147 (cit. a p. 7).
- [26] Regione Lombardia. *Geoportale*. 2015. URL: www.cartografia.regione.lombardia.it (cit. alle pp. 21, 22, lxv).
- [27] Joachim Maes et al. «Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union». In: *Ecosystem Services* 1.1 (2012), pp. 31–39 (cit. a p. 6).
- [28] Fabrizio Malaggi. «Produzione di Servizi Ecosistemici tramite Fasce Tampone Boscate: un'indagine presso gli agricoltori nel Parco Regionale dell'Oglio Sud». Tesi Triennale. Università degli Studi di Padova, a.a.2012-13 (cit. a p. 22).
- [29] Davide Marino et al. «Governance of Ecosystem Services: insights from Life+ Making Good Natura project». In: *2014 Third Congress, June 25-27, 2014, Alghero, Italy*. 173099. Italian Association of Agricultural e Applied Economics (AIEAA). 2014 (cit. alle pp. 4, 20, 27, 47, 50, lviii, lix).
- [30] A Massarutto et al. *Studio di fattibilità concernente lo sviluppo dell'analisi economica dell'utilizzo idrico a scala di bacino del fiume Po così come prevista dalla Direttiva 2000/60/CE-Sintesi*. 2006 (cit. alle pp. 50, lxxxi).
- [31] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being*. Vol. 5. Island Press Washington, DC, 2005 (cit. a p. 3).
- [32] Helena Mitsova et al. «Terrain modeling and soil erosion simulations for Fort Hood and Fort Polk test areas». In: *Annual report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL* (1999) (cit. a p. 21).
- [33] Pablo Morales et al. «Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest biomes». In: *Global Change Biology* 11.12 (2005), pp. 2211–2233 (cit. a p. 7).
- [34] F Morari e C Giupponi. «Effects of four cultivation systems for maize on nitrogen leaching 2. Model simulation». In: *European journal of Agronomy* 6.1 (1997), pp. 113–123 (cit. a p. lxvii).

- [35] Mark Mulligan. «Waterworld and Co\$ting Nature: Web-Based Policy Support Systems». In: *2015 AAAS Annual Meeting (12-16 February 2015)*. aaas. 2015 (cit. a p. 9).
- [36] NatCap. *NatCap Repository*. 2016. URL: <https://bitbucket.org/natcap/invest> (cit. a p. lxxv).
- [37] Erik Nelson et al. «Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales». In: *Frontiers in Ecology and the Environment* 7.1 (2009), pp. 4–11 (cit. alle pp. 7, 27).
- [38] Markus Neteler et al. «GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS». In: *Environmental Modelling & Software* 31 (2012), pp. 124–130 (cit. a p. 37).
- [39] Kelvin S-H Peh et al. «TESSA: a toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance». In: *Ecosystem Services* 5 (2013), pp. 51–57 (cit. a p. 8).
- [40] William T Peterjohn e David L Correll. «Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest». In: *Ecology* 65.5 (1984), pp. 1466–1475 (cit. a p. 11).
- [41] Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e servizi Tecnici - APAT. «CLIMA in Italia». In: (2007) (cit. a p. 22).
- [42] Direzione Generale Qualità dell’Ambiente della Regione Lombardia. *Rete Ecologica Regionale e programmazione territoriale degli enti locali*. 2008 (cit. a p. 16).
- [43] Luca S RIZZO, Raffaella G RIZZO e Paolo TIZZANI. «Consumo di suolo e cementificazione nel Veneto Occidentale. Emergenze, svantaggi e riflessi sull’assetto del territorio. Un’analisi GIS». In: *Atti della 13a Conferenza Italiana Utenti ESRI, Roma*. 2012, pp. 18–19 (cit. a p. 32).
- [44] Marion Potschin Roy Haines-Young. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): 2011 Update*. 2011 (cit. a p. 3).
- [45] Cathy Ryan, Jennifer Evans e Jaime Graham. «USING GIS TO PREDICT RIPARIAN AREA HEALTH OF NOSE CREEK, ALBERTA». In: (2009) (cit. a p. 27).
- [46] L Rytter, AS Arveby e U Granhall. «Dinitrogen (C₂H₂) fixation in relation to nitrogen fertilization of grey alder [*Alnus incana* (L.) Moench.] plantations in a peat bog». In: *Biology and fertility of soils* 10.4 (1991), pp. 233–240 (cit. a p. lxxvii).

- [47] Francesco Sartori. «Utilizzo delle macchie seriali di vegetazione negli interventi di ricostituzione della copertura vegetale naturale spontanea». In: *Simposio nazionale della Società Botanica Italiana*. 1991 (cit. a p. 32).
- [48] K. E. Saxton e W. J. Rawls. «Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions». In: *Soil Science Society of America* (2006) (cit. alle pp. 22, lxxviii).
- [49] Benson C Sherrouse, Jessica M Clement e Darius J Semmens. «A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services». In: *Applied Geography* 31.2 (2011), pp. 748–760 (cit. a p. 8).
- [50] Matthew A. Wilson Stephen C. Farber Robert Costanza. «Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services». In: *Ecological Economics* (2002) (cit. alle pp. 3, 5).
- [51] Pavan Sukhdev et al. «The economics of ecosystems and biodiversity». In: *European Communities* (2008) (cit. a p. 3).
- [52] HT Tallis et al. *InVEST User's Guide. The Natural Capital Project*. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, e World Wildlife Fund, 2015 (cit. alle pp. 16, 17).
- [53] Ole Tange et al. «Gnu parallel—the command-line power tool». In: *The USENIX Magazine* 36.1 (2011), pp. 42–47.
- [54] CC Tanner, ML Nguyen e JPS Sukias. «Nutrient removal by a constructed wetland treating subsurface drainage from grazed dairy pasture». In: *Agriculture, ecosystems & environment* 105.1 (2005), pp. 145–162 (cit. a p. lxxvii).
- [55] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2015. URL: <http://www.R-project.org/> (cit. alle pp. 23, 27, 43, lxxviii).
- [56] Marta Terrado et al. «Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning». In: *Science of The Total Environment* (2015) (cit. alle pp. 27, 47, 50).
- [57] Austin Troy e Matthew A Wilson. «Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer». In: *Ecological economics* 60.2 (2006), pp. 435–449 (cit. a p. 7).
- [58] Ferdinando Villa et al. «ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services): A new tool for ecosystem services assessment, planning, and valuation». In: *11Th annual BIOECON conference on economic instruments to enhance the conservation and sustainable use of biodiversity, conference proceedings. Venice, italy*. 2009 (cit. a p. 8).

- [59] Spencer A Wood et al. «Using social media to quantify nature-based tourism and recreation». In: *Scientific reports* 3 (2013) (cit. alle pp. 18, lxix).
- [60] T Yeager et al. «Six state survey of container nursery nitrate nitrogen runoff». In: *Journal of Environmental Horticulture* 11 (1993), pp. 206–206 (cit. a p. lxvii).