

CERIGNOLA

REGIONE PUGLIA

PROVINCIA DI FOGGIA

**IMPIANTO AGRIVOLTAICO E RELATIVE OPERE ED  
INFRASTRUTTURE CONNESSE DELLA POTENZA ELETTRICA DI  
111,62 MW (ex 114,64 MW) SITO NEL COMUNE DI CERIGNOLA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**ANALISI COSTI BENEFICI AMBIENTALI**  
**Valutazione dell'impatto sui servizi ecosistemici**

Proponente:

**CERIGNOLA SOLAR I s.r.l.**

Via Antonio Locatelli n.1  
37122 Verona  
P.IVA 04888330232  
www.enitspa.it  
cerignolasolar1srl@legalmail.it

Progettazione:

**WH Group s.r.l.**

Via A. Locatelli n.1 - 37122 Verona (VR)  
P.IVA 12336131003  
ingegneria@enitgroup.eu

Ing. Antonio Tartaglia



Spazio riservato agli Enti:

File: VZYY142_4.2.6_9_AnalisiCostiBeneficiAmbientali		Cod. VZYY142	Scala: ----		
<b>4.2.6_9</b>	<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Redatto</b>	<b>Approvato</b>
	01	07/02/2022	VIA ministeriale	A. Tartaglia	S.M. Caputo
	00	21/02/2020	Prima emissione		
<p><b>CERIGNOLA SOLAR I s.r.l.</b>   Via Antonio Locatelli n.1 37122 Verona   www.enitspa.it</p>					

## INDICE

<b>1</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO .....</b>	<b>3</b>
1.1	Caratteristiche generali della centrale agrivoltaica .....	3
<b>2</b>	<b>MISURE COMPENSATIVE.....</b>	<b>7</b>
2.1	Criteri per la definizione di misure compensative .....	7
<b>3</b>	<b>TRASFORMAZIONE DELL'USO DEL SUOLO E COMPENSAZIONE ECOLOGICA .8</b>	<b>8</b>
3.1	La valutazione biofisica ed economica dei servizi ecosistemici tramite SimulSoil.....	9
3.2	Modalità di calcolo e dati di input .....	9
3.2.1	<i>Stoccaggio di Carbonio (CS)</i> .....	9
3.2.2	<i>Produzione agricola (CPR)</i> .....	10
3.2.3	<i>Produzione legnosa (TP)</i> .....	11
3.2.4	<i>Qualità degli habitat (HQ)</i> .....	11
3.2.5	<i>Trattenimento dei nutrienti (NR)</i> .....	12
3.2.6	<i>Disponibilità idrica (WY)</i> .....	13
3.2.7	<i>Trattenimento dei sedimenti (SDR)</i> .....	14
3.2.8	<i>Impollinazione (CPO)</i> .....	15
<b>4</b>	<b>LA VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI ANTE/POST OPERAM .....</b>	<b>16</b>
4.1	Campo Fotovoltaico "Dell'Erba" .....	17
4.1.1	<i>Valore ecologico ante operam</i> .....	17
4.1.2	<i>Valore ecologico post operam</i> .....	17
4.2	Campo Fotovoltaico "Posta dei Preti" .....	18
4.2.1	<i>Valore ecologico ante operam</i> .....	18
4.2.2	<i>Valore ecologico post operam</i> .....	18
4.3	Campo Fotovoltaico "Santa Maria dei Manzi" .....	19
4.3.1	<i>Valore ecologico ante operam</i> .....	19
4.3.2	<i>Valore ecologico post operam</i> .....	19
4.4	Campo Fotovoltaico "Chiarazza" .....	20
4.4.1	<i>Valore ecologico ante operam</i> .....	20
4.4.2	<i>Valore ecologico post operam</i> .....	20
4.5	Campo Fotovoltaico "Acquarulo" .....	21
4.5.1	<i>Valore ecologico ante operam</i> .....	21
4.5.2	<i>Valore ecologico post operam</i> .....	21
4.6	Campo Fotovoltaico "Tramezzo" .....	22
4.6.1	<i>Valore ecologico ante operam</i> .....	22
4.6.2	<i>Valore ecologico post operam</i> .....	22
4.7	Costi ambientali: calcolo variazione dei servizi ecosistemici ante/post operam .....	23
4.8	Benefici ambientali: emissioni evitate di CO2.....	26
4.8.1	<i>Dati di radiazione e prestazione di produzione dell'impianto FV</i> .....	26
4.9	Bilancio tra benefici e costi ambientali .....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>29</b>

## I DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Il territorio di Cerignola in cui ricadono le opere in progetto è situato tra le valli dell'Ofanto e del torrente Carapelle, nella parte meridionale del Tavoliere, al confine con il Subappennino daunio. Si tratta di una zona a larghe ondulazioni posta al limite tra la zona pianeggiante del Tavoliere e la fascia collinare di Ascoli Satriano.

Il progetto prevede una potenza FV complessiva di 111,6167 MW, articolata in sei diversi campi agrivoltaici:

- A. Campo "Acquarulo" con potenza pari a 31,38005 MW;
- B. Campo "Chiarazza" con potenza pari a 8,23745 MW;
- C. Campo "Posta dei Preti" con potenza pari a 20,8702 MW;
- D. Campo "Dell'Erba" con potenza pari a 12,4683 MW;
- E. Campo "Santa Maria Dei Manzi" con potenza pari a 29,4216 MW;
- F. Campo "Tramezzo" con potenza pari a 9,2391 MW.

La sottostazione elettrica (punto di consegna alla stazione 150/380 kV di Terna S.p.A.) è ubicata in loc. "Mass. Dell'Erba" sempre in agro di Cerignola.

### I.1 Caratteristiche generali della centrale agrivoltaica

La centrale agrivoltaica in progetto avrà le seguenti componenti e caratteristiche impiantistiche:

- Potenza nominale dei moduli fotovoltaici installati pari a 111,6167 MW suddivisi come segue: Campo FV "Acquarulo" 31,38005 MW ; Campo FV "Chiarazza" 8,23745 MW; Campo FV "Posta dei Preti" 20,8702 MW; Campo FV "Dell'Erba" 12,4683 MW; Campo FV "Santa Maria Dei Manzi" 29,4216 MW; Campo FV "Tramezzo" 9,2391 MW;
- Cabine elettriche di raccolta, conversione statica e trasformazione dell'energia elettrica interne alle aree di centrale, di cui N. 35 cabine di campo, N.6 cabine di consegna, N.3 locale di servizio;
- n° 1 sottostazione elettrica MT/AT da collegare in antenna alla stazione da realizzarsi 150/380kV di Terna S.p.A. nel Comune di Cerignola in località "Mass. Dell'Erba"; la sottostazione elettrica sarà ubicata nel Comune di Cerignola, Foglio 93 Particella 326 e Foglio 91 Particella 184, in località Mass. Dell'Erba nei pressi della stazione a costruirsi 150/380 kV di Terna S.p.A.
- Rete elettrica interna alle aree di centrale a 30 kV tra le cabine elettriche e da queste alla sottostazione esternamente alle aree di centrale;
- Rete telematica interna di monitoraggio in fibra ottica per il controllo dell'impianto fotovoltaico mediante trasmissione dati via modem o satellitare;
- Rete elettrica interna a bassa tensione per l'alimentazione dei servizi ausiliari di centrale (movimentazione tracker, controllo, illuminazione, ecc...).

Il Piano di coltura individuato distingue le aree coltivabili tra le strutture di sostegno (interfile), le aree libere dai moduli fotovoltaici o da altre componenti tecniche e la fascia arborea/arbustiva perimetrale. A seguire una descrizione sinottica del progetto.

Proponente	<b>CERIGNOLA SOLAR 1 s.r.l.</b>
Sede legale	Via Antonio Locatelli n.1 37122 Verona (VR) cerignolasolar1srl@legalmail.it P.IVA 04888330232
<b>LOCALIZZAZIONE</b>	
Ubicazione dei campi e altitudine media	<p>Loc. Acquarulo nel Comune di Cerignola   41 m s.l.m.</p> <p>Loc. Chiarazza nel Comune di Cerignola   46 m s.l.m.</p> <p>Loc. Posta dei Preti nel Comune di Cerignola   37 m s.l.m.</p> <p>Loc. Dell'Erba nel Comune di Cerignola   31 m s.l.m.</p> <p>Loc. Santa Maria Dei Manzi nel Comune di Cerignola   56 m s.l.m.</p> <p>Loc. Tramezzo nel Comune di Cerignola   37 m s.l.m.</p>
Dati catastali dei campi	<p>Campo "Acquarulo" nel Comune di Cerignola Foglio 95 – p.lle 14, 44, 16, 12, 9, 13, 20, 21, 35, 5, 6, 63;</p> <p>Campo "Chiarazza" nel Comune di Cerignola Foglio 110 – p.lle 20, 51, 52, 53128, 181, 123, 124, 129, 130;</p> <p>Campo "Posta dei Preti" nel Comune di Cerignola Foglio 92 – p.lle 160, 90, 116, 158, 156, 120, 154, 43, 121, 122, 117, 123, 152, 150, 92, 91, 93, 94, 95;</p> <p>Campo "Dell'Erba" nel Comune di Cerignola Foglio 91 – p.lle 170, 22; Foglio 74 – p.lle 94, 96, 20, 21, 55, 98, 90, 100, 24, 98, 102;</p> <p>Campo "Santa Maria Dei Manzi" nel Comune di Cerignola Foglio 114 – p.lle 223, 141, 140, 221, 143, 142, 219, 217, 126, 48;</p> <p>Campo "Tramezzo" nel Comune di Cerignola Foglio 86 – p.lle 71,22</p>

Superficie occupata al confine delle recinzioni dei singoli campi	<b>Superficie totale occupata 1424499 m<sup>2</sup></b>				
	Superficie "Acquarulo" 405444 m <sup>2</sup>				
	Superficie "Chiarazza" 109015 m <sup>2</sup>				
	Superficie "Posta dei Preti" 262023 m <sup>2</sup>				
	Superficie "Dell'Erba" 168978 m <sup>2</sup>				
	Superficie "Santa Maria Dei Manzi" 361197 m <sup>2</sup>				
	Superficie "Tramezzo" 117842 m <sup>2</sup>				
Coordinate		<b>Geografiche WGS84</b>		<b>WGS84 UTM33N</b>	
		<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>E</b>	<b>N</b>
	Acquarulo	41.350634°	15.862323°	572092.50	4578080.61
	Chiarazza	41.344808°	15.877235°	573389.26	4577386.66
	Posta dei Preti	41.356250°	15.896987°	575055.75	4578646.01
	Dell'Erba	41.363755°	15.904884°	575657.45	4578646.01
	Santa Maria Dei Manzi	41.338231°	15.898265°	575188.63	4576725.28
Tramezzo	41.364113°	15.821787°	568963.80	4579423.08	
<b>USO DEL SUOLO</b>					
<b>Superficie Agricola Utilizzata (S.A.U.)</b>			<b>159,18</b>	<b>ha</b>	
Superficie occupata al confine della recinzione della centrale FV			142,45	ha	
Superficie Agricola Coltivata			150,05	ha	
Superficie Agricola Non Coltivata			9,13	ha	
<i>di cui:</i>					
<i>Superficie occupata da strade interne e viabilità di accesso di nuova realizzazione, di tipo brecciate</i>			9,13	ha	
Incidenza superficie non coltivata su S.A.U.			5,73	%	
<b>DATI IMPIANTISTICI</b>					
Potenza nominale dell'impianto			111,6167 MWp		
Range di tensione in corrente continua in ingresso al gruppo di conversione			≤1500V		

Tensione in corrente alternata in uscita al gruppo di conversione	<1000V
Dati del collegamento elettrico	Tensione nominale Trasporto 30 kV
	Tensione nominale Consegna 150 kV
Punto di Consegna	Sottostazione ubicata nel Foglio 93 Particella 326 e Foglio 91 Particella 184 del Comune di Cerignola (in loc "Mass. Dell'Erba")

I moduli fotovoltaici saranno montati su strutture con inseguitore monoassiale dotati di una tecnologia elettromeccanica per seguire ogni giorno l'esposizione solare Est-Ovest su un asse di rotazione orizzontale Nord-Sud, posizionando così i pannelli sempre con la perfetta angolazione. Le strutture in oggetto saranno disposte secondo file parallele sul terreno; la distanza tra le file è calcolata in modo che l'ombra della fila antistante non interessi la fila retrostante per inclinazione del sole sull'orizzonte pari o superiore a quella che si verifica a mezzogiorno del solstizio d'inverno nella particolare località. I campi fotovoltaici sono composti da stringhe da n.26 moduli montati su un' unica struttura, con asse di rotazione orizzontale. Per ottimizzare l'utilizzo della superficie, in alcuni casi la stringa viene divisa su due strutture da 13 moduli cadauna.

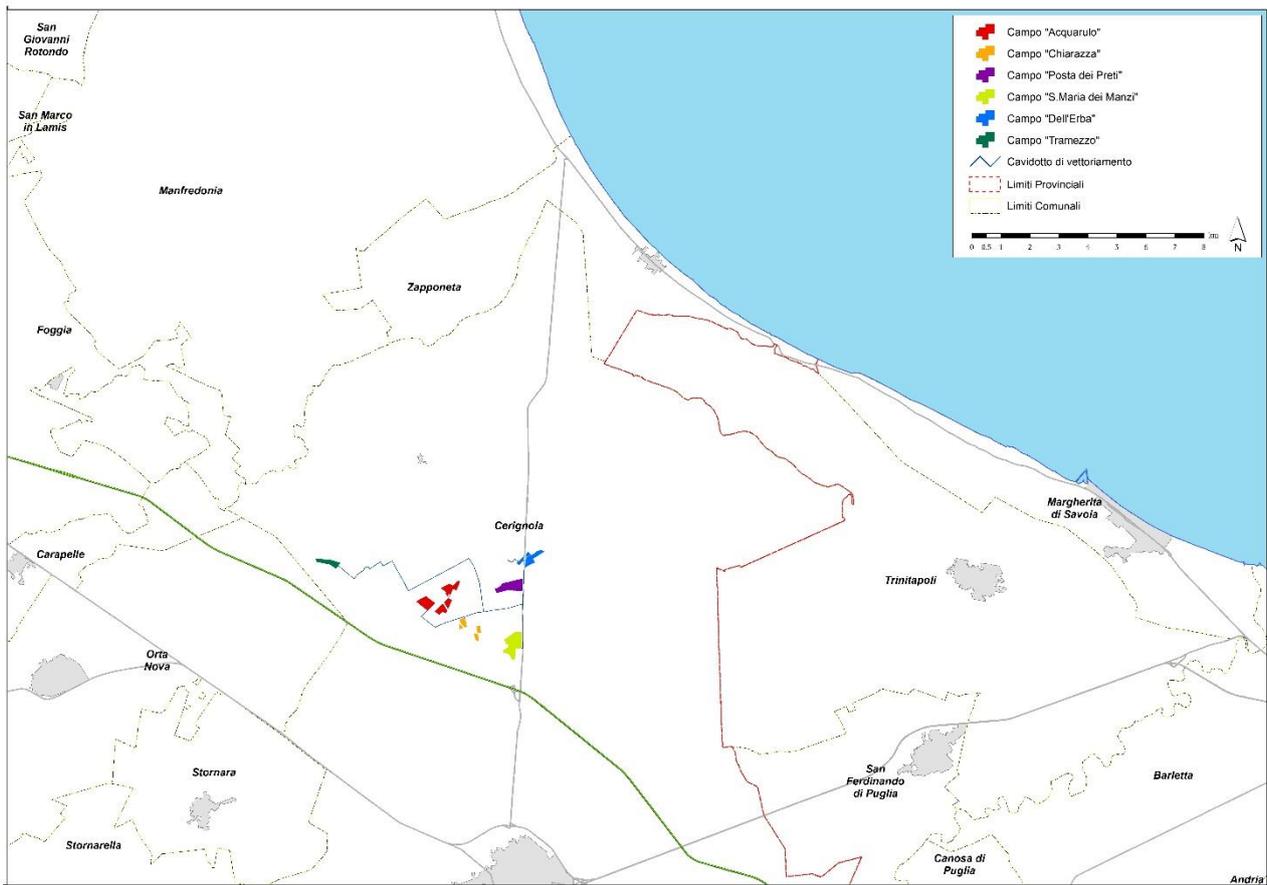


Figura 1 – Inquadramento della centrale agrivoltaica su confini amministrativi comunali e provinciali

## 2 MISURE COMPENSATIVE

### 2.1 Criteri per la definizione di misure compensative I

Ai sensi dell'articolo 12, comma 6, decreto legislativo n. 387 del 2003, l'autorizzazione non può essere subordinata né prevedere misure di compensazione a favore delle Regioni e delle Province.

Fermo restando che per l'attività di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili non è dovuto alcun corrispettivo monetario in favore dei Comuni, l'autorizzazione unica può prevedere l'individuazione di misure compensative, a carattere non meramente patrimoniale, a favore degli stessi Comuni e da orientare su interventi di miglioramento ambientale correlati alla mitigazione degli impatti riconducibili al progetto, ad interventi di efficienza energetica, di diffusione di installazioni di impianti a fonti rinnovabili e di sensibilizzazione della cittadinanza sui predetti temi, nel rispetto dei seguenti criteri:

- a) non dà luogo a misure compensative, in modo automatico, la semplice circostanza che venga realizzato un impianto di produzione di energia da fonti rinnovabili, a prescindere da ogni considerazione sulle sue caratteristiche e dimensioni e dal suo impatto sull'ambiente;
- b) le «misure di compensazione e di riequilibrio ambientale e territoriale» sono determinate in riferimento a «concentrazioni territoriali di attività, impianti ed infrastrutture ad elevato impatto territoriale», con specifico riguardo alle opere in questione;
- c) le misure compensative devono essere concrete e realistiche, cioè determinate tenendo conto delle specifiche caratteristiche dell'impianto e del suo specifico impatto ambientale e territoriale;
- d) secondo l'articolo 1, comma 4, lettera f) della legge 239 del 2004, le misure compensative sono solo "eventuali", e correlate alla circostanza che esigenze connesse agli indirizzi strategici nazionali richiedano concentrazioni territoriali di attività, impianti e infrastrutture ad elevato impatto territoriale;
- e) possono essere imposte misure compensative di carattere ambientale e territoriale e non meramente patrimoniali o economiche solo se ricorrono tutti i presupposti indicati nel citato articolo 1, comma 4, lettera f) della legge 239 del 2004;
- f) le misure compensative sono definite in sede di conferenza di servizi, sentiti i Comuni interessati, anche sulla base di quanto stabilito da eventuali provvedimenti regionali e non possono unilateralmente essere fissate da un singolo Comune;
- g) nella definizione delle misure compensative si tiene conto dell'applicazione delle misure di mitigazione in concreto già previste, anche in sede di valutazione di impatto ambientale (qualora sia effettuata). A tal fine, con specifico riguardo agli impianti eolici, l'esecuzione delle misure di mitigazione di cui all'allegato 4, costituiscono, di per sé, azioni di parziale riequilibrio ambientale e territoriale;
- h) le eventuali misure di compensazione ambientale e territoriale definite nel rispetto dei criteri di cui alle lettere precedenti non può comunque essere superiore al 3 per cento

---

<sup>1</sup> Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 10-09-2010, "Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili."

dei proventi, comprensivi degli incentivi vigenti, derivanti dalla valorizzazione dell'energia elettrica prodotta annualmente dall'impianto.

L'autorizzazione unica può comprendere indicazioni dettagliate sull'entità delle misure compensative e sulle modalità con cui il proponente provvede ad attuare le misure compensative, pena la decadenza dell'autorizzazione unica.

### **3 TRASFORMAZIONE DELL'USO DEL SUOLO E COMPENSAZIONE ECOLOGICA**

Si definiscono funzioni ecosistemiche *la capacità dei processi e delle componenti naturali di fornire beni e servizi che soddisfino, direttamente o indirettamente, le necessità dell'uomo e garantiscano la vita di tutte le specie*. Sulla base di tali funzioni il Millennium Ecosystem Assessment ha individuato i (potenziali) benefici (multipli) che gli ecosistemi naturali producono per il genere umano sotto forma di beni e servizi, definendoli con il termine generale di Servizi Ecosistemici (SE).

I cambiamenti nell'uso del suolo determinati dalla realizzazione delle opere in progetto, influenzano i valori dei SE, sia biofisici che economici, che aumentano o diminuiscono sulla base delle trasformazioni territoriali i cui effetti sono valutabili nel breve e lungo periodo.

La descrizione e quantificazione di tali effetti, qui condotta attraverso l'uso del software SimulSoil, è ovviamente propedeutica alla definizione di misure di compensazione ecologica, a carattere non meramente patrimoniale, da attuare a favore delle amministrazioni Comunali nei cui territori insiste la centrale fotovoltaica.

SimulSoil<sup>2</sup> è un'applicazione informatica che analizza le variazioni di valore derivate da trasformazioni d'uso del suolo, registrando la sensibilità dei servizi ambientali erogati ai cambiamenti del territorio e quantificando il costo complessivo di tali trasformazioni sul Capitale Naturale esistente.

Le elaborazioni cartografiche sviluppate con SimulSoil utilizzano come repertori di input la carta dell'uso del suolo derivato dal confronto tra la cartografia Corine Land Cover (CLC) e la Carta Nazionale di Copertura del Suolo frutto dell'unione di vari High Resolution Layers di Copernicus, entrambe riferite all'anno 2012. La risoluzione geometrica è di 20 metri.

SimulSoil "automatizza" l'utilizzo di differenti modelli del software InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs); nello specifico sono stati automatizzati gli algoritmi di calcolo riferiti ai seguenti 8 differenti Servizi Ecosistemici offerti dal suolo libero e selezionati tra i molteplici che la natura fornisce:

- qualità degli Habitat;
- stoccaggio di carbonio;
- disponibilità idrica;
- trattenimento dei sedimenti;
- trattenimenti dei nutrienti;
- produzione agricola;
- impollinazione;
- produzione legnosa.

---

<sup>2</sup> SIMULSOIL è stato sviluppato nell'ambito del Progetto di ricerca europeo LIFE SAM4CP

### 3.1 La valutazione biofisica ed economica dei servizi ecosistemici tramite SimulSoil

SimulSoil è un'applicazione informatica che consente di eseguire bilanci delle funzioni ecosistemiche del territorio. Esso produce una quantificazione biofisica della mappatura dei SE e, associando "costi" parametrici ai SE forniti dai suoli ne sviluppa la valutazione economica, secondo il seguente approccio: ai SE con valori biofisici assoluti è associato un prezzo unitario (per esempio, 1 tonnellata di carbonio sequestrato equivale a 100 euro del costo sociale evitato per il mancato rilascio in atmosfera), mentre per i SE con valori biofisici espressi da valori indice l'associazione del costo avviene ipotizzandone un mercato e definendone un valore derivato dalla "disponibilità a pagare" per il godimento del bene stesso. È evidente, tuttavia, come l'associazione di un valore economico ad un indice presenti molti limiti e non sia da assumere come valore paradigmatico.

Si sottolinea, inoltre, che, indipendentemente dal modello di valutazione adottato, l'associazione di un valore economico ad un beneficio ambientale si riferisce sempre ad un valore "marginale" e non "totale" (poiché il valore complessivo del Capitale Naturale non è quantificabile). SimulSoil, pertanto, non determina il "prezzo" del Capitale Naturale, ma costituisce piuttosto la stima parametrica del possibile valore monetario di alcuni servizi ecosistemici.

### 3.2 Modalità di calcolo e dati di input

#### 3.2.1 Stoccaggio di Carbonio (CS)

L'incremento di CO<sub>2</sub> in atmosfera è causato principalmente dalle attività antropiche: una volta che un terreno naturale viene impermeabilizzato o subisce altre forme di degrado, perde la capacità di trattenere il carbonio che, di conseguenza, viene emesso in atmosfera. Per valutare questo SE il simulatore utilizza il modello InVEST "Carbon Storage and Sequestration". L'output fornito è costituito da mappe della quantità di carbonio immagazzinato dagli ecosistemi terrestri in termini biofisici (espresso in tonnellate di C per pixel) e da una valutazione dello stesso in termini economici espressa in euro/tonnellata. Il modello stima la quantità di carbonio in funzione della categoria di uso del suolo con riferimento ai quattro principali serbatoi (pools) presenti in natura: biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo e sostanza organica morta.

I dati di input, oltre all'uso del suolo, sono i valori di stoccaggio del carbonio associati alle differenti classi d'uso del suolo divisi in suolo, lettiera, fitomassa ipogea e fitomassa epigea. Per le categorie forestali i valori di tutti i pool sono stati ricavati tramite l'utilizzo di apposite metodologie e coefficienti di conversione, dai volumi di provvigione forniti dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC) per ogni regione; per le altre aree naturali e per le superfici agricole i valori di default del carbonio contenuto nella biomassa epigea, nella biomassa ipogea e nella sostanza organica morta sono quelli proposti da Sallustio et al. (2015), mentre per il carbonio contenuto nel suolo il valore inserito è stato stimato sulla base dei dati del progetto SIAS (Sviluppo Indicatori Ambientali sul Suolo), relativi al carbonio immagazzinato nei primi 30 cm di suolo.

Alle aree artificiali è stato assegnato un valore pari a zero per tutti i pool, assumendo una perdita completa del servizio.

A livello locale vi è stato un adattamento delle soglie di stoccaggio del carbonio del suolo e soprassuolo per considerare anche tutte le classi ad uso antropico, (macroclasse1 Land Cover Piemonte – aree artificiali) a partire dalle quantità segnalate per i prati e pascoli, con

una rimodulazione delle soglie sulla base dell'indice di permeabilità rilevato per ogni classe d'uso del suolo.

Nello specifico: per le classi "SOIL" e "DEAD" sono stati rimodulati i valori corrispondenti ai prati rispetto all'indice di permeabilità espresso nella singola classe di copertura (le aree industriali impermeabilizzate al 99%, ed esempio, non hanno valore di stoccaggio), mentre per tutte le altre coperture si utilizzano i valori nazionali dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Per le classi "ABOVE" and "BELOW" soil è stato adottato un procedimento di adeguamento dei valori a partire dalla biomassa legnosa iniziale. In particolare, la quantità di carbonio organico unitario (in ton/ha), corrispondenti alla biomassa iniziale, viene calcolata moltiplicando la biomassa legnosa complessiva per un opportuno coefficiente (0,17 per le conifere e 0,25 per le latifoglie). Successivamente tale quantità viene ripartita tra quella sviluppata soprassuolo (l'84%) e quella sviluppata nel sottosuolo (il 16%).

L'output generato dal simulatore è la spazializzazione dell'indicatore Carbon Sequestration nel territorio con valori biofisici assoluti di carbonio stoccato per pixel (ton/pixel).

Per la valutazione economica della funzione di stoccaggio del carbonio il simulatore si basa sulla quantificazione del costo sociale del carbonio (SCC) ovvero quello che contabilizza il danno marginale associato al rilascio di tonnellate di carbonio in atmosfera. Secondo questo approccio, ad ogni tonnellata di carbonio immagazzinata nel suolo viene associato un costo sociale evitato per il mancato rilascio del carbonio organico in atmosfera, e la conseguente produzione di CO<sub>2</sub> pari a 100 euro/ton.

### **3.2.2 Produzione agricola (CPR)**

La produzione agricola è un servizio ecosistemico di approvvigionamento essenziale poiché è alla base della fornitura di materie prime per la sopravvivenza dell'uomo. Descrivere l'agricoltura e più in generale l'utilizzo del territorio agroforestale in termini di servizi ecosistemici forniti dal suolo è una operazione complessa. L'agricoltura, infatti, utilizza i servizi forniti dal capitale naturale e influisce a sua volta su di essi, ad esempio aumentando l'infiltrazione nel suolo di nutrienti contenuti nei fertilizzanti come azoto e fosforo, ma al contempo fornisce un servizio essenziale come principale fonte di cibo. La stima del valore della produzione agricola coinvolge, ovviamente, non solo i terreni propriamente agricoli, ma anche quelli destinati alla produzione di foraggio (prati) ed al pascolo.

Il consumo di suolo a fini edificatori annulla completamente il servizio di produzione agricola, rendendo impossibile qualsiasi possibilità di sfruttamento agricolo del terreno impermeabilizzato, sia nel breve che nel medio-lungo periodo, dato che il suolo è una risorsa che necessita di lunghi periodi per recuperare le sue funzioni e le sue caratteristiche biologiche originali. Per tutte le aree artificiali il simulatore ha dunque assunto un valore del servizio CPR pari a zero.

Il metodo di valutazione utilizzato nel simulatore si basa sulla spazializzazione dei Valori Agricoli Medi (VAM) proposti dall'Agenzia delle Entrate, suddivisi per regioni agrarie secondo lo schema di classificazione definito dall'Istat. Per condurre tale analisi a ciascuna classe di uso e copertura del suolo sono state associate la corrispondente regione agraria e il relativo VAM. L'unità di misura dell'output è Euro per ettaro.

In questo caso l'indicatore considerato è solo biofisico; per la mancata Produzione Agricola, le perdite ecosistemiche sono di tipo reversibile e recuperabili con il ripristino delle attività agricole sui terreni, garantite dopo le attività di dismissione dell'impianto.

### **3.2.3 Produzione legnosa (TP)**

La produzione di legname è un importante servizio di approvvigionamento. Anche in questo caso si tratta di un servizio complesso, poiché la gestione della produzione legnosa, in particolare la gestione dell'intensità e della velocità di raccolta, influenza il mantenimento dell'erogazione di molti altri servizi ecosistemici: la qualità degli habitat, la quantità di carbonio sequestrato, la prevenzione dell'erosione e la purificazione dell'acqua dai nutrienti, ma anche l'impollinazione, in quanto i boschi sono particolarmente adatti ad ospitare i nidi di impollinatori. Nel simulatore è stata utilizzata la stessa metodologia di calcolo proposta per la valutazione della produzione agricola, cioè si è considerato il Valore Agricolo Medio come proxy del potenziale di produzione legnosa su larga scala. Anche in questo caso l'indicatore ottenuto è sia biofisico che economico: esso, infatti, esprime parametricamente il livello di servizio di produzione ottenuto, con un valore parametrico espresso in €/ha, e la redditività assoluta, costituita dalla moltiplicazione di tale valore per la superficie delle aree destinate a fini produttivi forestali.

### **3.2.4 Qualità degli habitat (HQ)**

Gli habitat e la biodiversità che essi ospitano, forniscono tutto quello di cui le diverse specie animali e vegetali necessitano per la sopravvivenza, garantendo cioè le risorse per la nutrizione, la riproduzione e lo sviluppo. Gli impatti antropici, in particolare i cambiamenti di uso del suolo che determinano processi di artificializzazione, minacciano gravemente la biodiversità e la conservazione delle specie.

Il modello di InVEST per l'Habitat Quality utilizzato nel simulatore, si basa sull'ipotesi che le aree con una qualità degli habitat più alta ospitano una ricchezza maggiore di specie native mentre la diminuzione delle dimensioni di uno specifico habitat e della sua qualità portano al declino della persistenza delle specie.

Per funzionare, il modello utilizza come dati di input sia valori (da 0 a 1) di qualità dell'habitat in termini di compatibilità delle specie con ciascuna classe di uso e copertura del suolo, sia valori corrispondenti alle minacce. In particolare, il modello genera una carta raster per ogni minaccia, in cui è rappresentato il livello di minaccia in funzione della distanza dall'impatto, del tipo di decadimento e della pressione sugli habitat.

Le tipologie di habitat considerate dal simulatore sono 12 ed i valori dei relativi parametri a scala nazionale sono stati ricavati attraverso un approccio expert based, cioè sottoponendo un questionario a oltre 100 esperti nazionali con affiliazioni diverse nei settori della conservazione e della gestione della biodiversità. Per quanto riguarda le minacce e relativi valori di interferenza con gli habitat sono stati considerati: il sistema antropizzato, le aree agricole ed il reticolo infrastrutturale con classificazione di strade principali, secondarie e locali.

L'output generato è una spazializzazione dell'indicatore Habitat Quality nel territorio con valori relativi al contesto di analisi che variano da 0 a 1.

Per la valutazione economica della funzione di qualità degli habitat il modello utilizzato da SimulSoil si basa sulla valutazione di contingenza in grado di stimare, attraverso lo strumento dell'intervista<sup>18</sup>, la disponibilità a pagare (DAP) dei singoli soggetti per la gestione di aree verdi naturali e semi-naturali con elevato valore ambientale ed è espresso in euro al mq (i valori spaziano da 1,70 a 3,87 euro/mq per il verde urbano, da 0,30 a 0,39 euro/mq per il verde agricolo e da 1,63 a 24,15 euro/mq per il verde naturale o seminaturale).

### 3.2.5 Trattenimento dei nutrienti (NR)

Si tratta di un SE di regolazione fornito dagli ecosistemi acquatici e terrestri che concorrono a filtrare e decomporre reflui organici che giungono nelle acque interne e negli ecosistemi costieri e marini, contribuendo così alla fornitura di acqua potabile. Le foreste naturali, in particolare, contribuiscono ad una qualità superiore delle acque, con meno sedimenti e filtrando gli inquinanti rispetto a sorgenti di inquinamento sia diffuse (fertilizzanti agricoli) che localizzate (presenza di impianti con produzione e diffusione di inquinanti nel suolo). Spesso si fa riferimento alla rimozione di nitrati e fosfati poiché sono gli elementi più diffusi nei reflui domestici e agricoli e particolarmente deleteri per la potabilità dell'acqua e l'eutrofizzazione dei laghi. L'impermeabilizzazione genera una perdita irreversibile della capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo e quindi rappresenta la maggiore minaccia a tale tipo di servizio. Il consumo di suolo, inoltre, generando una compromissione delle superfici naturali permeabili e impedendone la filtrazione dell'acqua può anche portare, in particolari circostanze, a fornire un maggior carico di inquinanti ai corsi d'acqua, per via di un maggior scorrimento superficiale.

Il simulatore utilizza il modello InVEST NDR, che restituisce in output mappe di capacità di purificazione dell'acqua da parte dell'attuale, o futura, configurazione d'uso del suolo.

I dati di input utilizzati, oltre alle mappe di uso del suolo, sono 19 :

- Digital Elevation Model. Formato raster - Regione Piemonte.; Ripresa Aerea Ice 2009-2011 - Dtm25. Il DTM copre tutto il territorio regionale ed è stato acquisito con metodologia uniforme (LIDAR) in standard di livello 4. Il DTM originale (RIPRESA AEREA ICE 2009-2011 - DTM) è stato generalizzato per interpolazione su una griglia (passo) di 25 m).
- Mappa dei bacini idrografici. Formato vettoriale. (Arpa Piemonte - Bacini idrografici Bacini idrografici e morfologici dei principali fiumi piemontesi. Data di creazione 1985, data di pubblicazione 1990, data di revisione 1995).
- Root restricting layer depth: la profondità del suolo dove la penetrazione delle radici è fortemente inibita per colpa delle caratteristiche fisiche o chimiche. Formato raster 20.
- Precipitazioni. Valore annuale medio delle precipitazioni in millimetri. Formato raster 21.
- Plant Available Water Content (PAWC): la frazione d'acqua che può essere immagazzinata nel suolo e disponibile per le piante. Formato raster 22.
- Average annual potential evapotranspiration (PET): la perdita potenziale di acqua dal suolo sia per evaporazione che per traspirazione dell'erba medica, nel caso in cui ci sia una quantità d'acqua sufficiente. Formato raster. (utilizzo dei valori nazionali nelle tabelle csv).
- Dati biofisici: tabella che associa, ad ogni classe di uso del suolo:
  - massima profondità delle radici delle piante
  - Kc, il coefficiente di evapotraspirazione delle piante, usato per ottenere l'evapotraspirazione potenziale della classe modificando quella di riferimento già inserita in formato raster
  - load\_n / load\_p, carico annuale di azoto e fosforo
  - eff\_n / eff\_p, valore tra 0 e 1 che indica la capacità di filtraggio della vegetazione

- Water purification threshold: tabella che esprime il carico massimo consentito di azoto e fosforo per ogni bacino idrografico.

Per la stima del carico di inquinanti è stata scelta come proxy una tipologia di coltivazione per ogni categoria agricola della carta di uso del suolo. Questo approccio, seppur semplificato, è stato ritenuto il più adatto, poiché altri approcci sarebbero stati insostenibili in termini di tempi di elaborazione, dimensioni della cartella di lavoro del software e interpretazione dei risultati.

Per una valutazione ottimale del servizio alla scala locale, sarebbe opportuno dettagliare le coltivazioni effettivamente utilizzate nei diversi terreni agricoli, al fine di rendere la stima dei nutrienti più accurata e affidabile.

L'output è la spazializzazione dell'indicatore Nutrient Retention nel territorio con valori assoluti di chilogrammi di nitrato annualmente confluito nel sistema delle acque correnti per pixel di riferimento.

Relativamente ai risultati che riguardano i modelli di trattenimento dei nutrienti, sottolineiamo che il loro "valore" biofisico è rappresentato dalla presenza di nutriente per pixel e pertanto all'aumentare del valore si ha una diminuzione del servizio ecosistemico reso. Per tale motivo il loro valore è stato convertito dal simulatore al negativo nel caso di una valutazione comparativa tra scenari differenti. Per la stima economica la valutazione associa al valore biofisico dei nitrati che confluiscono nei bacini idrici il costo di sostituzione evitato per un'equivalente depurazione artificiale. Nello specifico è stato scelto di associare il costo per la costruzione di fasce tampone boscate (64 euro/kg), poiché soluzioni in grado di attenuare naturalmente il carico di inquinanti provenienti da sorgenti diffuse, tra le più difficili da individuare e contenere. Si è scelto di non adottare il criterio di valutazione del costo evitato dell'equivalente depurazione ottenuta con mezzi meccanici e/o chimici poiché esso non considera il fenomeno delle sorgenti di inquinamento diffuso, oltre ad essere soggetto ad elevata variabilità dovuta all'elevata oscillazione dei costi dipendenti dal tipo di tecnologia adottata per la depurazione dell'acqua.

### **3.2.6 Disponibilità idrica (WY)**

La disponibilità idrica è riconducibile alla funzione ecologica di filtraggio dell'acqua da parte del suolo a partire dal grado di impermeabilizzazione delle diverse tipologie d'uso.

L'individuazione delle aree maggiormente permeabili e che, per caratteristiche pedogenetiche (profondità, tessitura e capacità di assorbimento), contribuiscono maggiormente a trattenere l'acqua in seguito ad eventi piovosi costituiscono il servizio di "capacità idrica" inteso come il servizio regolativo del suolo di "stoccare" e rendere disponibile alla vegetazione superficiale notevoli quantità di acqua prima che queste scorrano superficialmente o si infiltrino per processi di ricarica degli acquiferi profondi.

Il servizio riduce la possibilità di inondazioni grazie al maggior drenaggio dei suoli. La metodologia di valutazione adottata assegna maggior valore ai suoli che maggiormente trattengono e restituiscono l'acqua in falda anziché permetterne il flusso superficiale. Il valore del servizio equivale dunque al costo del danno evitato a causa di fenomeni di piena, esondazioni e alluvioni ed è stabilito in 64 euro/mq.

I dati di input utilizzati, oltre alle mappe di uso del suolo, sono:

- Profondità media del suolo;
- Profondità media delle radici per tipologia vegetazionale;

- Precipitazioni nell'area di indagine;
- Plant Available Water Content fraction (frazione d'acqua stoccabile dal suolo – rispetto alla caratterizzazione pedogenetica – utilizzabile dalle piante);
- Evapotraspirazione di riferimento media nell'area di indagine;
- Bacino idrografico di riferimento;
- Coefficiente di evapotraspirazione potenziale per specie vegetazionali.

### 3.2.7 **Trattenimento dei sedimenti (SDR)**

È un SE di regolazione che considera la capacità di un suolo in buone condizioni di mitigare l'asportazione della parte superficiale del terreno (la parte più ricca di sostanza organica) a seguito dell'azione delle acque di ruscellamento superficiale e delle piogge. Per quanto il fenomeno dell'erosione idrica sia un processo naturale, questo può subire un'accelerazione a causa di alcune attività antropiche (prevalentemente agricole, ma anche dovute ad altri processi di degrado del suolo). Ciò comporta danni alla funzionalità del suolo, alla produzione agricola e, in generale, all'ambiente. La rimozione della parte superficiale del suolo, ricca di sostanza organica, ne riduce, anche in modo rilevante, la produttività e può portare a una perdita irreversibile di terreni coltivabili nel caso di suoli poco profondi.

Il simulatore utilizza il modello di InVEST SDR (Sediment Delivery Ratio Model), che restituisce in output le mappe della capacità dei diversi usi del suolo, attuali e futuri, di evitare l'asportazione di suolo ed il suo accumulo all'interno dei corsi d'acqua. Il modello utilizza informazioni relative alla geomorfologia, clima, vegetazione e pratiche di gestione e stima la perdita annuale di suolo partendo dall'equazione matematica RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) ovvero la revisione dell'equazione USLE (Universal Soil Loss Equation) adattata ad ambiente topografici complessi:

$$V = R_i * K_i * L S_i * C_i * P_i 25$$

con

V = stima del tasso di perdita di suolo medio

R<sub>i</sub> = fattore di erosività della pioggia (MJ \* mm(ha \* hr)),

K<sub>i</sub> = fattore di erodibilità del suolo (ton \* ha \* hr(MJ \* ha \* mm))

LS<sub>i</sub> = fattore di pendenza

c<sub>i</sub> = copertura del suolo

p<sub>i</sub> = fattore di influenza del controllo artificiale

La perdita di suolo così calcolata, moltiplicata per un coefficiente di trasporto dei sedimenti (SDR) che rappresenta la quota parte di sedimenti che effettivamente raggiunge i corpi idrici, costituisce l'output del modello. Relativamente ai risultati che riguardano i modelli di trattenimento dei sedimenti, sottolineiamo che il loro "valore" biofisico è rappresentato dalla presenza di erosione per pixel e pertanto all'aumentare del valore si ha una diminuzione del servizio ecosistemico reso. Per tale motivo il loro valore è stato convertito dal simulatore al negativo nel caso di una valutazione comparativa tra scenari differenti. La carta esprime i quantitativi in termini di tonnellate di suolo eroso/pixel.

I dati di input utilizzati, oltre alle mappe di uso del suolo, sono:

- Indice di erosività della pioggia (parametro che definisce l'energia erosiva della pioggia);
- Indice di erodibilità associato alla composizione pedogenetica del suolo (parametro che dà conto della facilità con cui il suolo può venire eroso);
- Bacino idrografico di riferimento;
- Modello digitale del terreno;
- Fattore di coltivazione "c" (incidenza del tipo di lavorazione del suolo ai fini produttivi sull'erosione totale) e al fattore di erosività derivato dalla pratica colturale "p" (incidenza del tipo di pratica antierosiva associata alle tipologie colturali).

Dal momento che il modello biofisico adottato produce una mappatura di erosione potenziale dei suoli, espressa in tonnellate per pixel, si è scelto di adottare un modello di valutazione economica che associ alla qualità dei suoli soluzioni di protezione artificiali che abbiano equivalente funzionalità, come ad esempio il "costo di ripristino" della fertilità dei suoli funzionale alla protezione dall'erosione e pari a 150 euro/tonnellata.

### **3.2.8 Impollinazione (CPO)**

È un SE di regolazione e approvvigionamento fondamentale per la produttività di moltissime colture dipendenti da processi naturali di impollinazione entomofila. La fecondazione delle piante e, conseguentemente, la produzione di cibo, dipendono in parte dalle specie impollinatrici selvatiche. Quasi il 10% delle specie di api europee sono attualmente minacciate dall'estinzione: senza di esse molte specie di piante si estinguerebbero e gli attuali livelli di produttività colturale potrebbero essere mantenuti solamente ad altissimi costi attraverso processi di impollinazione artificiale. Fenomeni antropici quali l'espansione urbana, l'aumento delle infrastrutture e l'applicazione in agricoltura di pratiche non sostenibili come l'utilizzo intensivo di insetticidi e fertilizzanti, incidono fortemente sulla salute delle specie impollinatrici. Il modello Pollinator Abundance - Crop Pollination di InVEST che viene ripreso nel simulatore restituisce come output mappe relative al contributo degli impollinatori selvatici alla produzione agricola in funzione dell'attuale configurazione del paesaggio e degli usi del suolo.

I dati inseriti oltre alle mappe dell'uso del suolo sono:

- Caratteristiche delle specie impollinatrici in relazione alle classi di copertura del suolo e possibile presenza/assenza di particolari essenze vegetali;
- Caratteristiche delle classi di copertura del suolo relativamente alla disponibilità di luoghi ospitali ai vari impollinatori.

Sono richieste diverse caratteristiche per ciascuna specie di impollinatori considerata: la tipologia di nidificazione, il periodo di attività di impollinazione e il range di volo poiché influenza il servizio offerto alle colture. Ad ogni categoria di uso del suolo viene inoltre associato un valore che indica l'abbondanza di fiori nei vari periodi dell'anno (con valori compresi fra 0 e 1) e un altro che indica la disponibilità ad ospitare le varie specie in base alla tipologia di nidificazione.

Le elaborazioni partono dalla stima dell'abbondanza delle specie impollinatrici nelle varie celle del raster di uso e copertura del suolo, basata sulla disponibilità di luoghi adatti alla nidificazione e al cibo (fiori) nelle celle adiacenti.

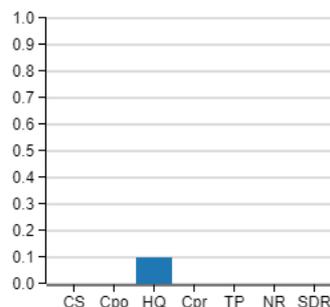
Il risultato è una mappa di abbondanza con valori compresi tra 0 e 1 per ciascuna specie, che rappresenta la potenziale disponibilità di impollinatori per un'area agricola da impollinare. Il modello utilizza per le aree ad uso agricolo un calcolo dell'abbondanza delle specie a partire dal dato sul range di volo.

Il servizio è inteso come surplus al valore di produttività agricola garantito dalla presenza di specie impollinatrici. L'output è costituito dalla spazializzazione dell'indicatore crop pollination nel territorio con valori assoluti di presenza di specie impollinatrici nelle aree agricole oggetto del servizio di impollinazione (N.apì/ pixel). La valutazione economica (226 euro/ha) è derivata dal grado di dipendenza delle coltivazioni dall'impollinazione: si valuta il fattore percentuale di vulnerabilità del valore complessivo delle colture rispetto ai benefici dovuti dall'impollinazione e lo si moltiplica per la presenza di api per singolo habitat.

#### 4 LA VALUTAZIONE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI ANTE/POST OPERAM

La perdita di servizi ecosistemici, valutata in termini biofisici ed economici, dovuta alla trasformazione dell'uso del suolo da agricolo a fotovoltaico, è condotta attraverso il simulatore SimulSoil assumendo come valore ecologico finale (post operam), il valore del suolo occupato da una centrale fotovoltaica esistente (vedi immagine successiva).

Al fine di condurre una stima quanto più possibile cautelativa, il campo agro-voltaico è assimilato quindi ad un campo fotovoltaico tradizionale, trascurando così il contributo ecologico garantito dalla coltivazione dei terreni nelle interfile dei moduli; con tale assunzione come di seguito rappresentato, SimulSoil riconosce al sito post-operam un valore ecologico quasi nullo, se non fosse per un indice di Qualità Habitat (HQ) pari a 0,10.



Valore medio per un'area di 6.44 ha (161 pixel).

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	0.00		t/ha	-
Cpo - Impollinazione	0.00		-	-
HQ - Qualità Habitat	0.10		-	-
Cpr - Produzione Agricola	0.00		€/ha	-
TP - Produzione Legnosa	0.00		€/ha	-
NR - Purificazione Acqua	0.00		kg/ha	-
SDR - Mitigazione Erosione	0.00		t/ha	-

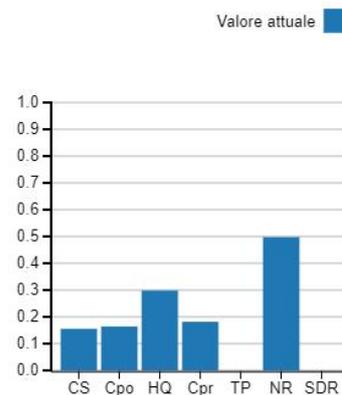
Il valore ecologico ante operam è invece calcolato in corrispondenza di ciascun campo fotovoltaico, usando come repertori di input la carta dell'uso del suolo derivato dal confronto tra la cartografia Corine Land Cover (CLC) e la Carta Nazionale di Copertura del Suolo frutto dell'unione di vari High Resolution Layers di Copernicus, entrambe riferite all'anno 2012.

Il livello di accuratezza dell'elaborazione proposta è di conseguenza limitato dalla risoluzione geometrica del citato repertorio cartografico in uso nel SilumSoil, e cioè pixel di 20x20 metri.

Ciò premesso, a seguire si determina la perdita economica specifica (espressa in €/mq) per ciascun campo FV, come differenza tra lo stato ante e post operam.

## 4.1 Campo Fotovoltaico “Dell’Erba”

### 4.1.1 Valore ecologico ante operam



Valore medio per un'area di 15,64 ha (391 pixel).

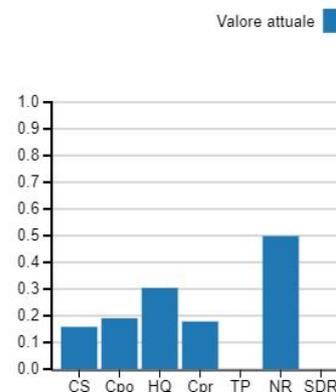
servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.28		t/ha	0.55
Cpo - Impollinazione	0.16		-	0.01
HQ - Qualità Habitat	0.30		-	0.04
Cpr - Produzione Agricola	16825.43		€/ha	-1.69
TP - Produzione Legnosa	13.95		€/ha	0.21
NR - Purificazione Acqua	38.77		kg/ha	0.03
SDR - Mitigazione Erosione	0.82		t/ha	0.00

### 4.1.2 Valore ecologico post operam

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.28	-69,44	t/ha	-0,76
Cpo - Impollinazione	0.16	-0,17	-	-0,01
HQ - Qualità Habitat	0.30	-0,15	-	-0,02
Cpr - Produzione Agricola	16825.43	-16825,43	€/ha	0
TP - Produzione Legnosa	13.95	-1101,55	€/ha	-0,11
NR - Purificazione Acqua	38.77	-38,77	kg/ha	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	0.82	0	t/ha	0
<b>sommano</b>				<b>-0,93</b>

## 4.2 Campo Fotovoltaico “Posta dei Preti”

### 4.2.1 Valore ecologico ante operam



Valore medio per un'area di 27.32 ha (883 pixel).

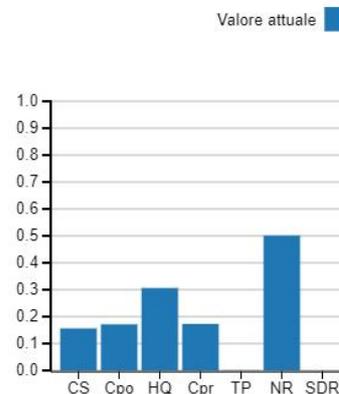
servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	52.19		t/ha	0.55
Cpo - Impollinazione	0.19	-	-	0.01
HQ - Qualità Habitat	0.30	-	-	0.04
Cpr - Produzione Agricola	16536.77	€	€/ha	-1.67
TP - Produzione Legnosa	0.00	€	€/ha	0.21
NR - Purificazione Acqua	38.86	kg	kg/ha	0.03
SDR - Mitigazione Erosione	1.49	t	t/ha	0.00

### 4.2.2 Valore ecologico post operam

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	52.19	-70,34	t/ha	-0,77
Cpo - Impollinazione	0.19	-0,19	-	-0,02
HQ - Qualità Habitat	0.30	-0,16	-	-0,02
Cpr - Produzione Agricola	16536.77	-16536,77	€/ha	0
TP - Produzione Legnosa	0.00	-1087,59	€/ha	-0,11
NR - Purificazione Acqua	38.86	-38,86	kg/ha	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	1.49	0	t/ha	0
<b>sommano</b>				<b>-0,95</b>

### 4.3 Campo Fotovoltaico “Santa Maria dei Manzi”

#### 4.3.1 Valore ecologico ante operam



Valore medio per un'area di 39.52 ha (988 pixel).

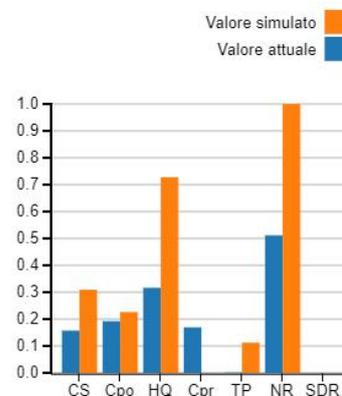
servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.54	-	t/ha	0.55
Cpo - Impollinazione	0.17	-	-	0.01
HQ - Qualità Habitat	0.31	-	-	0.04
Cpr - Produzione Agricola	15988.77	-	€/ha	-1.59
TP - Produzione Legnosa	29.55	-	€/ha	0.21
NR - Purificazione Acqua	39.07	-	kg/ha	0.03
SDR - Mitigazione Erosione	0.66	-	t/ha	0.00

#### 4.3.2 Valore ecologico post operam

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.54	-69,69	t/ha	-0,76
Cpo - Impollinazione	0.17	-0,18	-	-0,01
HQ - Qualità Habitat	0.31	-0,16	-	-0,02
Cpr - Produzione Agricola	15988.77	-15988,77	€/ha	0
TP - Produzione Legnosa	29.55	-1117,14	€/ha	-0,11
NR - Purificazione Acqua	39.07	-39,07	kg/ha	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	0.66	0	t/ha	0
<b>sommano</b>				<b>-0,93</b>

## 4.4 Campo Fotovoltaico “Chiarazza”

### 4.4.1 Valore ecologico ante operam



Valore medio per un'area di 8.99 ha (174 pixel)

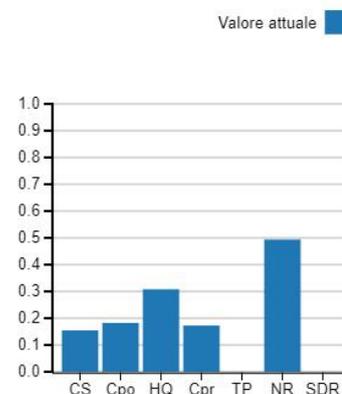
servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.83	50.18	t/ha	0.55
Cpo - Impollinazione	0.19	0.03	-	0.00
HQ - Qualità Habitat	0.32	0.41	-	-0.04
Cpr - Produzione Agricola	15687.59	-15605.36	€/ha	-1.56
TP - Produzione Legnosa	41.81	2089.24	€/ha	0.21
NR - Purificazione Acqua	39.87	38.08	kg/ha	0.03
SDR - Mitigazione Erosione	0.55	0.00	t/ha	0.00

### 4.4.2 Valore ecologico post operam

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.83	-69,99	t/ha	-0,76
Cpo - Impollinazione	0.19	-0,2	-	-0,02
HQ - Qualità Habitat	0.32	-0,17	-	-0,02
Cpr - Produzione Agricola	15687.59	-15687,58	€/ha	0
TP - Produzione Legnosa	41.81	-1129,4	€/ha	-0,11
NR - Purificazione Acqua	39.87	-39,87	kg/ha	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	0.55	0	t/ha	0
<b>sommano</b>				<b>-0,94</b>

## 4.5 Campo Fotovoltaico “Acquarulo”

### 4.5.1 Valore ecologico ante operam



Valore medio per un'area di 32.4 ha (810 pixel).

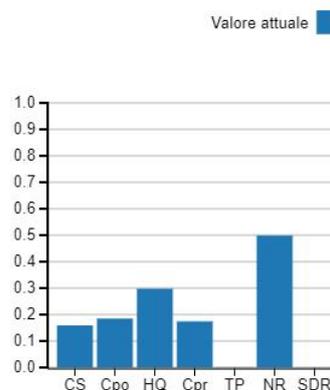
servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.07		t/ha	0.55
Cpo - Impollinazione	0.18		-	0.00
HQ - Qualità Habitat	0.31		-	0.04
Cpr - Produzione Agricola	15989.71		€/ha	-1.56
TP - Produzione Legnosa	9.09		€/ha	0.21
NR - Purificazione Acqua	38.48		kg/ha	0.03
SDR - Mitigazione Erosione	1.18		t/ha	0.00

### 4.5.2 Valore ecologico post operam

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	51.07	-69,22	t/ha	-0,75
Cpo - Impollinazione	0.18	-0,19	-	-0,02
HQ - Qualità Habitat	0.31	-0,16	-	-0,02
Cpr - Produzione Agricola	15989.71	-15989,71	€/ha	0
TP - Produzione Legnosa	9.09	-1096,69	€/ha	-0,11
NR - Purificazione Acqua	38.48	-38,48	kg/ha	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	1.18	0	t/ha	0
<b>sommano</b>				<b>-0,93</b>

## 4.6 Campo Fotovoltaico “Tramezzo”

### 4.6.1 Valore ecologico ante operam



Valore medio per un'area di 15,52 ha (388 pixel).

servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	52.49		t/ha	0.54
Cpo - Impollinazione	0.18		-	0.00
HQ - Qualità Habitat	0.30		-	0.04
Cpr - Produzione Agricola	16146.81		€/ha	-1.81
TP - Produzione Legnosa	28.12		€/ha	0.21
NR - Purificazione Acqua	38.87		kg/ha	0.03
SDR - Mitigazione Erosione	3.50		t/ha	0.00

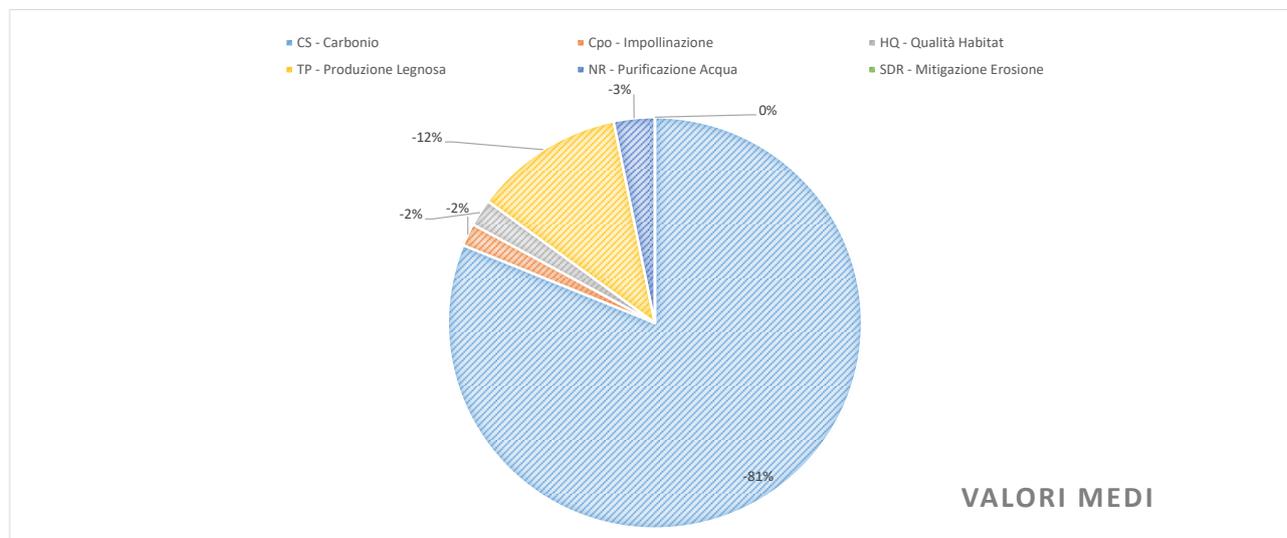
### 4.6.2 Valore ecologico post operam

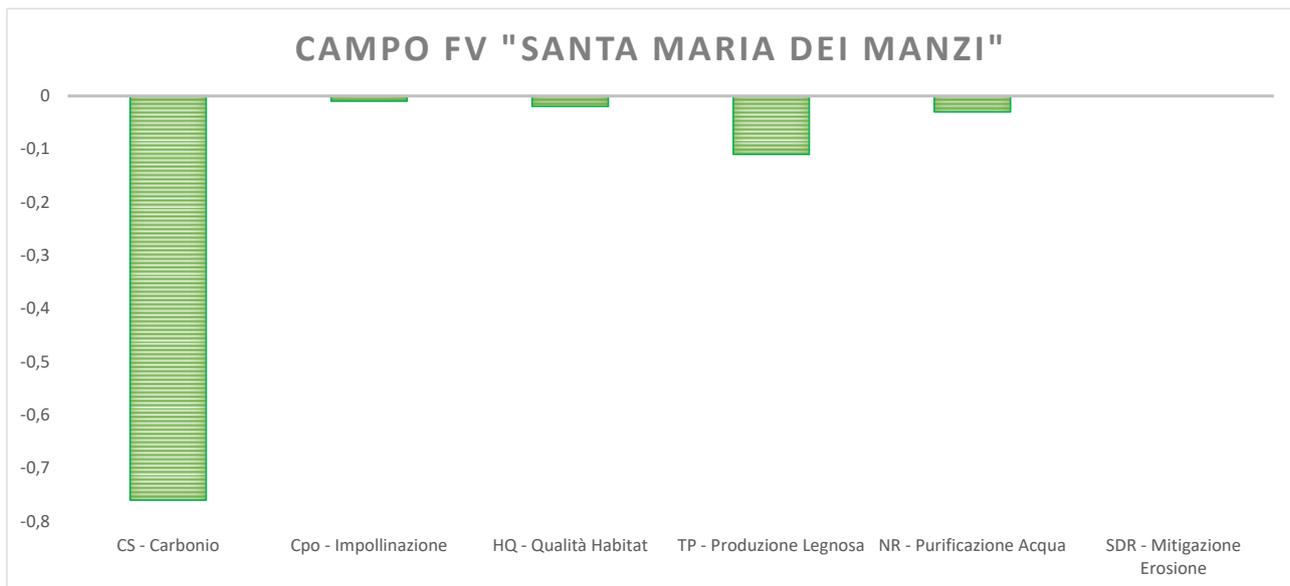
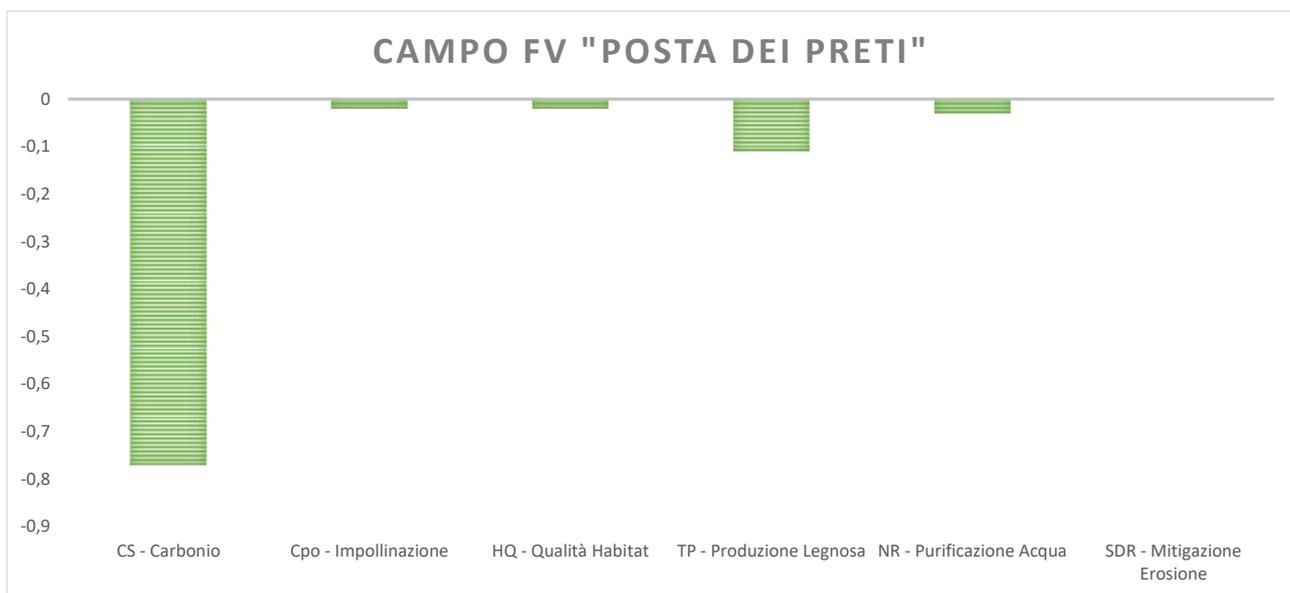
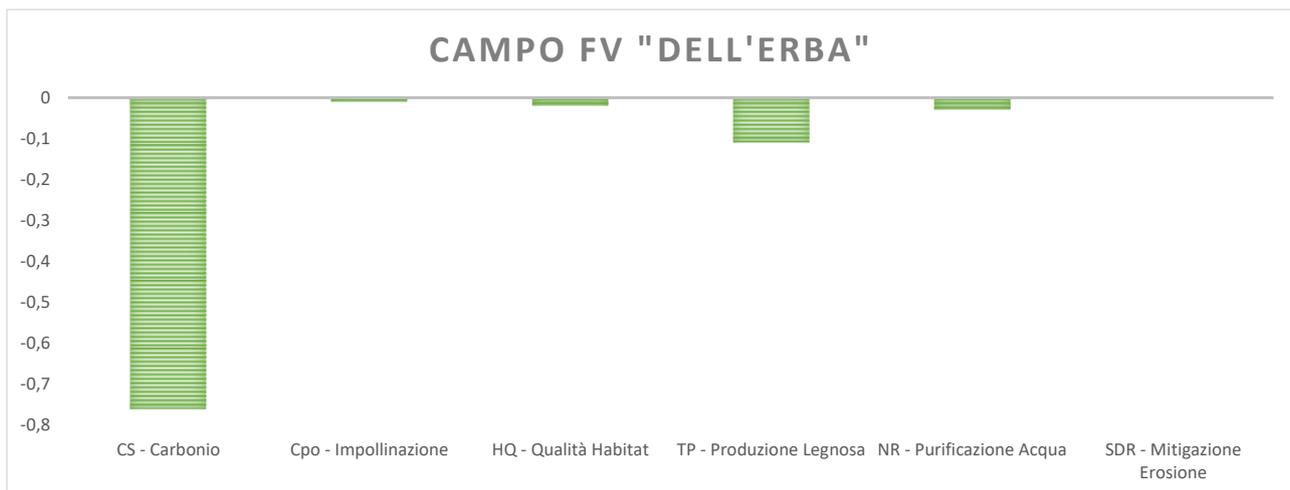
servizio	v.m.	Δbio	u.m.	Δ €/mq
CS - Carbonio	52.49	-70,64	t/ha	-0,77
Cpo - Impollinazione	0.18	-0,19	-	-0,02
HQ - Qualità Habitat	0.30	-0,15	-	-0,02
Cpr - Produzione Agricola	16146.81	-16146,81	€/ha	0
TP - Produzione Legnosa	28.12	-1115,72	€/ha	-0,11
NR - Purificazione Acqua	38.87	-38,87	kg/ha	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	3.50	0	t/ha	0
<b>sommano</b>				<b>-0,95</b>

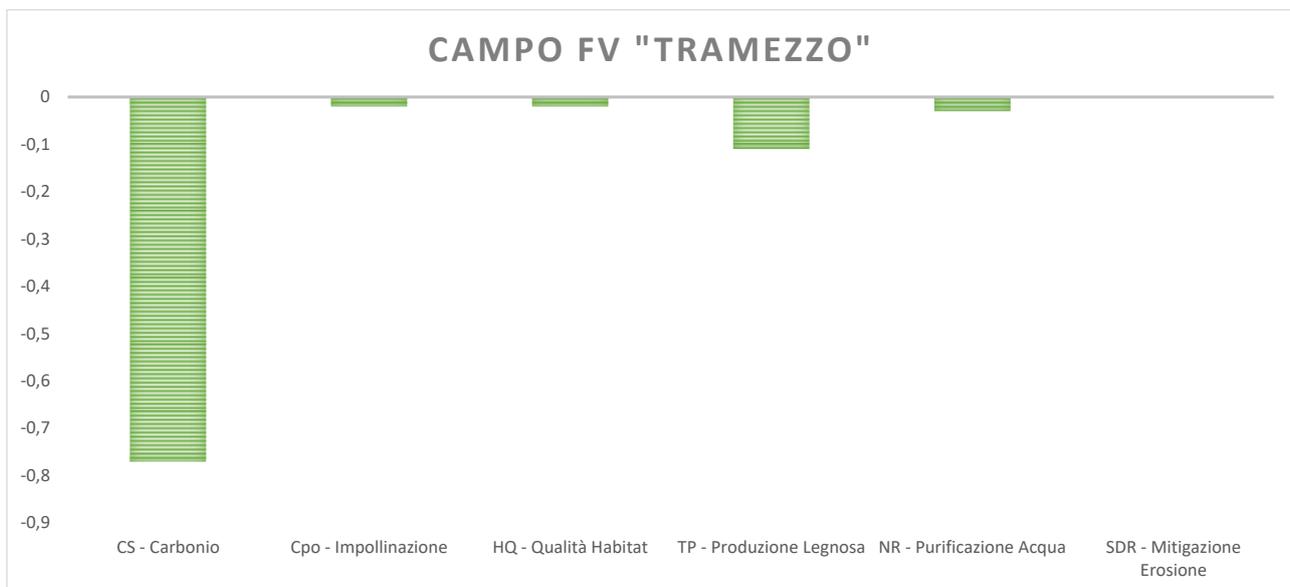
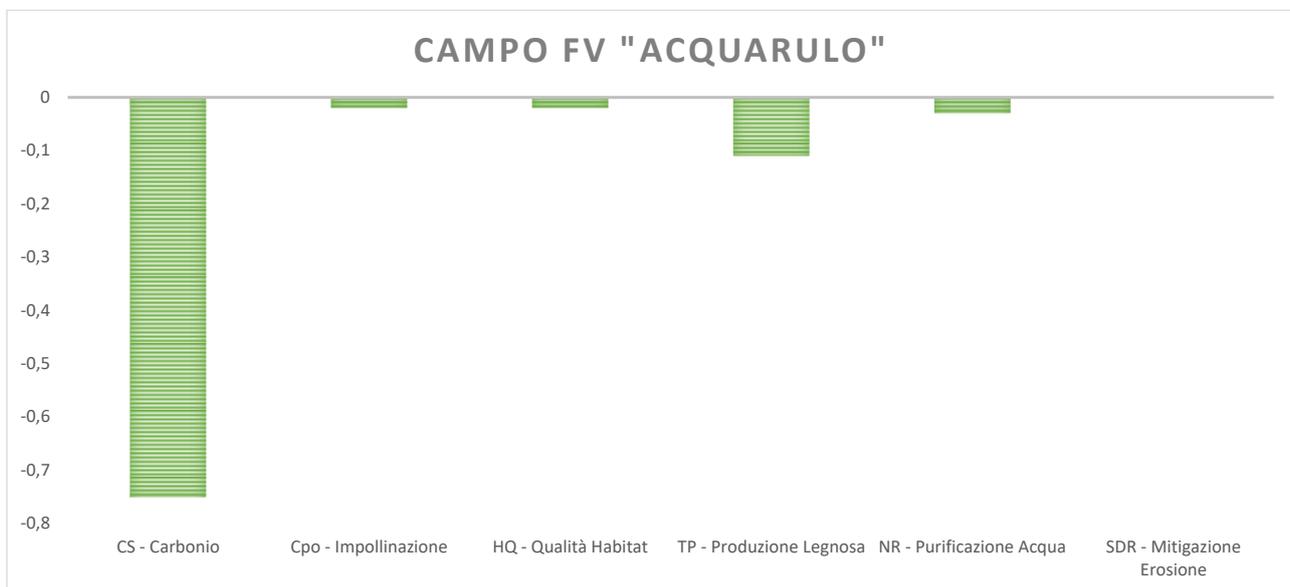
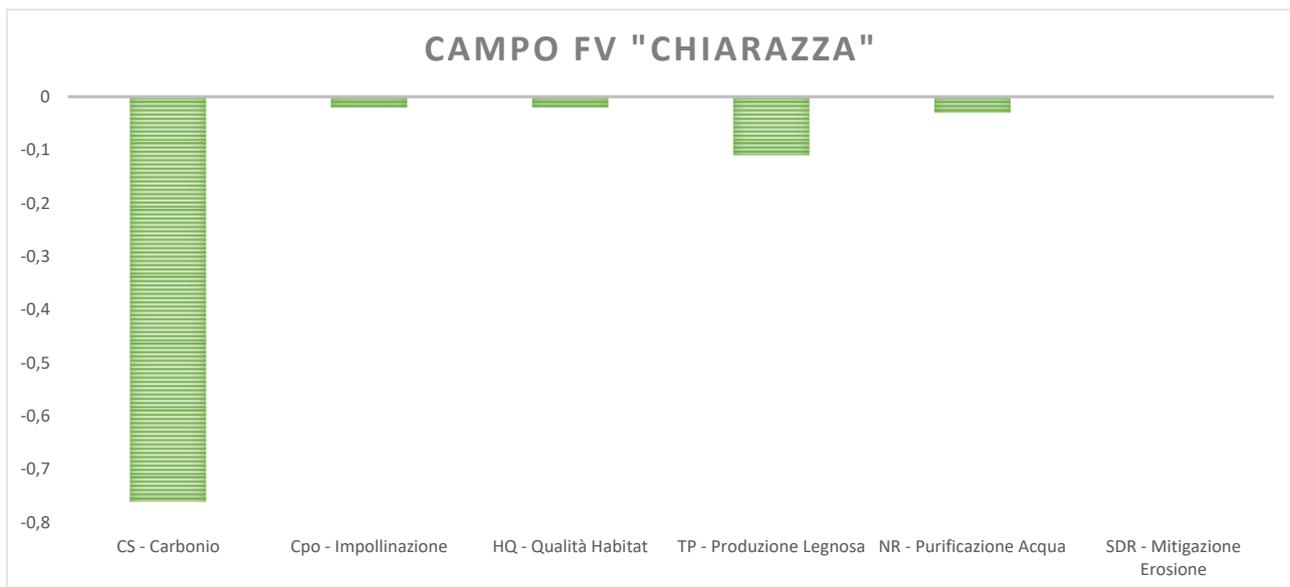
### 4.7 Costi ambientali: calcolo variazione dei servizi ecosistemici ante/post operam

Il simulatore SimulSoil attribuisce alla trasformazione del suolo in studio, una perdita su tutti i servizi ecosistemici. Il valore medio della perdita tra i tre campi fotovoltaici è pari a -0,94 €/mq, con un’incidenza dell’81% attribuibile alla riduzione della capacità di assorbimento del Carbonio (CS). Il restante 19% è attribuibile alle perdite sui restanti servizi ecosistemici.

Servizio	Dell’Erba	Posta dei Preti	Santa Maria dei Manzi	Chiarazza	Acquarulo	Tramezzo
	Δ €/mq	Δ €/mq	Δ €/mq	Δ €/mq	Δ €/mq	Δ €/mq
CS - Carbonio	-0,76	-0,77	-0,76	-0,76	-0,75	-0,77
Cpo - Impollinazione	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02
HQ - Qualità Habitat	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
TP - Produzione Legnosa	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11
NR - Purificazione Acqua	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
SDR - Mitigazione Erosione	0	0	0	0	0	0
<b>Sommano</b>	<b>-0,93</b>	<b>-0,95</b>	<b>-0,93</b>	<b>-0,94</b>	<b>-0,93</b>	<b>-0,95</b>







Moltiplicando la perdita specifica (€/mq) per le superfici dei singoli campi fotovoltaici, si calcola che la realizzazione della centrale comporterà una perdita annua di servizi ecosistemici pari a -1.416.056,35 €

	Superficie (mq)	Perdita specifica (€/mq)	Variatione ante/post operam (€/anno)
Superficie "Dell'Erba"	182998	- 0,93	- 170.188,14
Superficie "Posta dei Preti"	274004	- 0,95	- 260.303,80
Superficie "Santa Maria dei Manzi"	368821	- 0,93	- 343.003,53
Superficie "Chiarazza"	118428	- 0,94	- 111.322,32
Superficie "Acquarulo"	437262	- 0,93	- 406.653,66
Superficie "Tramezzo"	131142	- 0,95	- 124.584,90
<b>Sommano</b>	<b>1512655</b>		<b>- 1.416.056,35</b>

## 4.8 Benefici ambientali: emissioni evitate di CO2

### 4.8.1 Dati di radiazione e prestazione di produzione dell'impianto FV

Il lotto di terreno su cui sarà realizzato l'impianto fotovoltaico è localizzabile attraverso le seguenti coordinate:

Campo FV	Geografiche WGS84		WGS84 UTM33N	
	LAT	LONG	E	N
Acquarulo	41.350634°	15.862323°	572092.50	4578080.61
Chiarazza	41.344808°	15.877235°	573389.26	4577386.66
Posta dei Preti	41.356250°	15.896987°	575055.75	4578646.01
Dell'Erba	41.363755°	15.904884°	575657.45	4578646.01
Santa Maria Dei Manzi	41.338231°	15.898265°	575188.63	4576725.28
Tramezzo	41.364113°	15.821787°	568963.80	4579423.08

Opportuni rilievi effettuati sul sito non hanno evidenziato importanti ombreggiamenti dei moduli che possano influire sulla producibilità annua dell'impianto. Quelli residui saranno valutati ed evitati in sede esecutiva.

I dati di radiazione solare sul piano dei moduli sono riportati nelle tabelle successive, distinte per ciascun campo fotovoltaico.

Per determinare la producibilità di massima del sistema fotovoltaico sul lato BT è plausibile, in via preliminare, stimare un'efficienza complessiva minima del sistema del 76% rispetto

all'energia producibile nominalmente dal sistema ai morsetti dei moduli in condizioni standard di funzionamento.

I dati della radiazione solare usati in PVGIS sono calcolati da immagini satellitari, con metodi sviluppati dal CM SAF consortium. Il database utilizzato è il PVGIS-CMSAF che contiene dati per Europa, Africa e una parte di Sud America.

**L'impianto in oggetto, di potenza nominale pari a circa 111.62 MWp, produrrà circa 186.6 GWh/anno.**

Considerando, quindi, che ogni kWh prodotto da un sistema fotovoltaico sul lato di media tensione, evita l'emissione di 0.4657 kg di anidride carbonica, se ne deduce che l'impianto in esame sul lato MT eviterà quindi all'ambiente un'emissione totale di:

- anidride carbonica pari a  $186,6 \text{ GWh/anno} \times 0,4657^3 \text{ Kg/kWh} = 86.899,62 \text{ t di CO}_2$  l'anno.

Volendo attribuire un valore economico marginale a tale contributo, si considera il valore medio dei titoli di CO2 scambiati nel sistema europeo delle emissioni EU ETS (European Emissions Trading Scheme) nel corso del 2021, pari a 48,67€/ton CO2.

Il beneficio ambientale determinato dalle mancate emissioni di CO2 è pertanto stimato pari a 4.229.404,50 €/anno.

#### 4.9 Bilancio tra benefici e costi ambientali

Il Bilancio ecologico, confronto tra costi e benefici ambientali, si chiude positivamente.

Il beneficio ambientale determinato dalle mancate emissioni di CO2 di +4.229.404,50 €/anno, compensa le perdite dovute alla contrazione dei sistemi ecosistemici, pari a - 1.416.056,35 €/anno.

La stima economica dei benefici ambientali del resto è ampiamente sottostimata, là dove non considera i costi sanitari, soprattutto, dovuti alle morti premature e all'insorgere di determinate malattie cardiovascolari e respiratorie provocate dall'inquinamento atmosferico delle centrali termoelettriche, oltre ai costi ecologici per contrastare gli effetti più rovinosi dei cambiamenti climatici, attraverso bonifiche ambientali, ripristino di ecosistemi danneggiati, eccetera.

Descrizione	€/anno
Beneficio ambientale determinato dalle mancate emissioni di CO2	+4.229.404,50
Costi ambientali per perdita dei servizi ecosistemici (CS – Carbonio; Cpo – Impollinazione; HQ - Qualità Habitat; TP - Produzione Legnosa; NR - Purificazione Acqua; SDR - Mitigazione Erosione)	- 1.416.056,35
<b>Benefici - Costi</b>	<b>+ 2.813.348,15</b>

<sup>3</sup> Fonte ISPRA. *Fattori di emissione atmosferica di gas serra e altri gas nel settore elettrico. Rapporto 2018, pg 28*

Come dimostrato, l'81% dei costi ecologici delle opere in progetto è attribuibile alla riduzione della capacità di assorbimento del Carbonio (CS); solo il restante 19% è attribuibile alle perdite sui restanti SE.

In una lettura ecosistemica del progetto pertanto è corretto compensare i costi ambientali con il valore delle emissioni evitate di CO<sub>2</sub> dovute alla produzione di energia elettrica rinnovabile.

Per ciò che riguarda la mancata Produzione Agricola, le perdite ecosistemiche sono come chiarito in premessa nettamente sovrastimate: la Superficie Agricola Utilizzata (S.A.U.) è pari a 159,18 ettari, mentre la superficie non coltivabile, tale perché occupata da strade e piazzole interne ai campi fotovoltaici di nuova realizzazione, ammonta a 9,13 ettari, il che in termini percentuali equivale a dire che, **solo il 5,73% è sottratta all'uso agricolo**.

Il Piano di coltura individuato distingue le aree coltivabili tra le strutture di sostegno (interfile), le aree libere dai moduli fotovoltaici o da altre componenti tecniche e la fascia arborea/arbustiva perimetrale, per un totale pari a 150,05 ettari, così articolato:

- ➔ *Superficie coltivata all'interno della recinzione di impianto:* 133,32 ha
- ➔ *Fascia perimetrale esterna coltivata per 4 m:* 6,35 ha
- ➔ *Altre aree esterne coltivate:* 10,38 ha

<b>Superficie Agricola Utilizzata (S.A.U.)</b>	<b>159,18</b>	<b>ha</b>
Superficie occupata al confine della recinzione della centrale FV	<b>142,45</b>	<b>ha</b>
Superficie Agricola Coltivata	150,05	ha
<i>di cui:</i>		
<i>Superficie coltivata all'interno della recinzione della centrale FV</i>	133,32	ha
<i>Fascia perimetrale esterna coltivata per una larghezza di 4 m</i>	6,35	ha
<i>Altre aree esterne coltivate</i>	10,38	ha
<b>Incidenza superficie coltivata su S.A.U.</b>	<b>94,27</b>	<b>%</b>
Superficie Agricola Non Coltivata	9,13	ha
<i>di cui:</i>		
<i>Superficie occupata da strade interne e viabilità di accesso di nuova realizzazione, di tipo brecciate</i>	9,13	ha
<b>Incidenza superficie non coltivata su S.A.U.</b>	<b>5,73</b>	<b>%</b>

## 5 CONCLUSIONI

La mappatura dei Servizi Ecosistemici (SE) costituisce ad oggi il riferimento di base per pianificatori e amministratori locali per poter “intervenire” oltre che “valutare” o “misurare” le quantità (stock) e le variazioni (trend) dei valori ecosistemici riferiti al suolo.

I risultati delle elaborazioni effettuate da SimulSoil presentano un'elevata sensibilità al tipo di dato di input utilizzato, è opportuno, quindi, ricordare che la risoluzione geometrica del repertorio cartografico usato è stata di 20 x 20 metri, da ritenersi sufficiente per lo scopo della presente Analisi Costi Benefici.

L'associazione di un valore economico ad un beneficio ambientale si riferisce sempre ad un valore "marginale" e non "totale", poiché il valore complessivo del Capitale Naturale non è quantificabile. Le voci economiche utilizzate nel bilancio non sono da considerare il “prezzo” del Capitale Naturale, ma piuttosto la stima parametrica del possibile valore monetario di alcuni servizi ecosistemici.

Tutto ciò richiamato, l'analisi condotta ha consentito di confrontare scenari e conseguenze dovute alla realizzazione delle opere in progetto, concludendo con un bilancio ecologico certamente positivo. Le perdite ecosistemiche sono ampiamente ripagate dai vantaggi ambientali generati in termini di mancate emissioni di CO<sub>2</sub>.

La stima economica dei benefici ambientali del resto è ampiamente sottostimata, là dove non considera i costi sanitari, soprattutto, dovuti alle morti premature e all'insorgere di determinate malattie cardiovascolari e respiratorie provocate dall'inquinamento atmosferico delle centrali termoelettriche, oltre ai costi ecologici per contrastare gli effetti più rovinosi dei cambiamenti climatici, attraverso bonifiche ambientali e ripristino di ecosistemi danneggiati.

La proposta agro-voltaica avanzata evidenzia i seguenti effetti virtuosi:

- › Mantenimento della vocazione agricola dei terreni: i terreni continuerebbero ad essere impiegati per finalità agricole senza soggiacere ad impropri ed inopportuni cambiamenti di destinazione.
- › Introduzioni delle “best practice” agronomiche: implementazione delle più innovative tecniche di gestione del campo coltivato, sia con riferimento agli aspetti agronomici che a quelli di tipo ecologico-ambientale. Adozione del regime di coltivazione “biologico” (“organic farming”).
- › Integrazione, diversificazione e stabilizzazione del reddito agricolo: il fotovoltaico non sostituisce l'attività agricola nei siti interessati all'installazione agro-voltaica, ma ne incrementa significativamente la redditività. È questa una chiara manifestazione della “multifunzionalità” di questo modello di agricoltura.