

Impianti fotovoltaici installati su suolo come soluzioni basate sulla natura

Buone pratiche di progettazione, realizzazione e gestione

Autori

CON IL CONTRIBUTO SCIENTIFICO DI

Baldacchini Chiara¹

Bretzel Francesca^{2,3}

Calfapietra Carlo^{3,4}

Cotti Piccinelli Marta^{1,5}

Di Blasi Miriam⁶

Genovese Maria⁶

Panzi Gianluca⁵

Violi Leonardo⁵

1. Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche, Università della Tuscia, Viterbo, Italia

2. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (CNR-IRET), Pisa, Italia

3. Centro Nazionale per la Biodiversità (NBFC), Palermo, Italia

4. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (CNR-IRET), Porano, Italia

5. Infrastrutture SpA

6. Enel Green Power SpA

CON IL CONTRIBUTO ORGANIZZATIVO E GESTIONALE DI

Basile Maria Carmela

Bertoli Gloria

Bubacco Luigi

Calfapietra Carlo

Carbone Antonio

Cena Hellas

Chiantore Mariachiara

Coratella Riccardo

De Biase Luca

De Jorio Jean Paul

Di Minin Alberto

Fiorentino Luigi

Fraschetti Simonetta

Fрати Francesco

Frohlichova Dana

Galimberti Andrea

Gigli Giuseppe

Gorga Claudia

Labra Massimo

Lepore Laureta
Luca Gianmarco
Majone Costanza
Mekonnen Damtew Haregewoin
Mocavini Giorgio
Paciaroni Sofia
Pastore Maria Chiara
Rebecchi Lorena
Ridolfi Melissa
Rossi de Gasperis Sarah
Saggio Isabella
Saltari Lorenzo
Sarà Gianluca
Scarnecchia Giorgio
Spano Donatella

CON IL SUPPORTO GRAFICO DI

Bricalli Martina

CODICE DOI

<https://doi.org/10.61008/Fotovoltaico-nbfc-2025>

Indice

1.Introduzione

- 1.1 Contesto: cos'è un impianto fotovoltaico
- 1.2 Perché adottare un approccio NbS
- 1.3 Importanza del documento e stakeholders a cui si rivolge

2. Come rendere un impianto fotovoltaico installato su suolo una NbS

- 2.1 Valutazione preliminare del sito e individuazione delle possibili criticità
- 2.2 Individuazione delle buone pratiche da mettere in atto
 - 2.2.1 Fase di costruzione
 - 2.2.2 Gestione operativa
 - 2.2.3 Smantellamento dell'impianto
- 2.3 Strategie di valutazione dell'impatto ecologico, economico e sociale, sviluppo del piano di monitoraggio adattivo

3.Casi studio

- 1. Caso studio Montalto di Castro (IFT)
- 2. Caso studio Bastardo (EGP)

01

Introduzione

La crescente diffusione di impianti fotovoltaici installati su suolo rappresenta una delle strategie chiave per la decarbonizzazione del sistema energetico e la transizione verso un futuro più sostenibile. Tuttavia, se non adeguatamente pianificati, questi impianti possono generare impatti ambientali e sociali significativi.

In Italia risultano installati, al febbraio 2025, 1.878.780 impianti fotovoltaici per una potenza complessiva di circa 37 GW. L'Italia, attraverso la sua Strategia Energetica Nazionale, punta a raggiungere 80 GW di capacità fotovoltaica installata entro il 2030; questo sottolinea l'importanza di mettere in atto strategie per migliorare la sostenibilità ambientale e l'accettazione sociale, favorendo l'adozione di buone pratiche tese ad una gestione più responsabile del territorio.

In particolare, risulta fondamentale promuovere un approccio integrato che permetta di coniugare la produzione di energia rinnovabile con la tutela della biodiversità, del paesaggio e dei servizi ecosistemici, attraverso processi di co-progettazione e il coinvolgimento attivo delle comunità locali. In questo contesto, il presente documento propone linee guida e raccomandazioni operative per progettare, gestire e monitorare gli impianti fotovoltaici installati su suolo secondo i principi delle soluzioni basate sulla natura (*Nature-based Solutions*, NbS).

Nel caso in cui le attività di realizzazione, di esercizio e di smantellamento a fine vita dell'impianto non siano gestite in maniera appropriata, può verificarsi la frammentazione di habitat, dovuta alla rimozione della vegetazione esistente e alla movimentazione del terreno. Habitat frammentati hanno come conseguenza l'isolamento delle specie e una minore disponibilità di sostentamento, fattori che nel caso della fauna, rappresentano un ostacolo alla migrazione e alla riproduzione. Le specie che vivono in habitat frammentati e isolati sono più vulnerabili a malattie e cambiamenti ambientali, presentando una minore diversità genetica e quindi una ridotta adattabilità. Tutto ciò si traduce in perdita di biodiversità, che può impattare non solo la specie che subisce la frammentazione dell'habitat, ma anche le specie che da esse dipendono.

Anche l'introduzione di specie invasive rappresenta uno dei possibili effetti che possono manifestarsi durante la fase di realizzazione e di smantellamento degli impianti, attraverso il trasporto diretto da parte di macchinari o indumenti da lavoro, mentre la movimentazione del terreno può anche favorire la creazione involontaria di un nuovo habitat adatto alla diffusione di specie latenti (come semi e spore), ma già presenti sul sito.

L'obiettivo del documento è comunicare che un approccio ancora più sostenibile può essere adottato nella progettazione, costruzione e gestione degli impianti fotovoltaici installati su suolo, integrando protezione della biodiversità, miglioramento dei servizi ecosistemici e resilienza degli ecosistemi, contribuendo al contempo alla transizione energetica sostenibile, sia a livello economico che ambientale. In questo modo si cerca di realizzare impianti integrati col territorio anche a livello paesaggistico (Figura 1). Il documento include anche le metodologie e gli strumenti per monitorare e valutare l'efficacia delle buone pratiche implementate, attraverso indicatori di performance ambientale ed ecologica, nonché storie di successo realizzate nell'ambito del National Biodiversity Future Center (NBFC).

Grazie alle soluzioni, descritte di seguito, si può creare continuità ecologica tra l'impianto fotovoltaico e il territorio circostante, coinvolgere le comunità locali, creando, al tempo stesso, nuovi modelli di business e nuove opportunità di lavoro per il territorio, oltre ad azioni di miglioramento, riqualificazione e sviluppo di nuove competenze. La divulgazione e la condivisione di queste buone pratiche con il tessuto locale consentono azioni formative e divulgative, che hanno lo scopo di sensibilizzare verso la produzione di energia rinnovabile sostenibile e il rispetto dell'ambiente e degli ecosistemi.



Figura 1 – Impianto integrato con il territorio circostante (EGP, Grecia)

1.1 Contesto: cos' è un impianto fotovoltaico

Un impianto fotovoltaico permette di convertire la radiazione solare in energia elettrica. Questa trasformazione avviene all'interno dei moduli fotovoltaici, costituiti da unità dette "celle" collegate tra loro e realizzate di solito in silicio, un materiale semiconduttore.

I moduli fotovoltaici possono essere integrati negli edifici o nelle infrastrutture, oppure ancorati al suolo.

I moduli fotovoltaici ancorati al suolo possono essere di due tipologie: monofacciali oppure bifacciali, a seconda che solo uno oppure entrambi i lati siano attivi per la trasformazione dell'energia solare in energia elettrica.

I moduli fotovoltaici installati al suolo sono collocati su strutture di sostegno, che ne garantiscono la corretta inclinazione e il giusto orientamento per massimizzare l'esposizione alle radiazioni solari e quindi la produzione di energia elettrica. Se la struttura ha un'altezza inferiore a 3 m si parla di impianto di tipo standard (Figura 2a, b), se la struttura ha un'altezza superiore ai 3 m, oppure vede i moduli posizionati verticalmente, si parla di impianti avanzati/innovativi (Figura 2c).

Gli impianti di tipo standard meno recenti possono avere i supporti fissi (Figura 2a), mentre nei progetti fotovoltaici di più recente realizzazione vengono utilizzati come supporto tracker monoassiale ad inseguimento, che aumentano l'efficienza dell'impianto fino al 30% (Figura 2b).

I sistemi di tipo standard sono quelli ad oggi ancora maggiormente utilizzati, perché rappresentano l'ottimo tra prestazioni di produzione di energia e costi di investimento, mentre i sistemi avanzati/innovativi sono ancora orientati a mercati di nicchia. In questo documento ci concentreremo su impianti fotovoltaici di tipo standard, sia a struttura fissa che su struttura ad inseguimento (tracker). Normalmente un impianto fotovoltaico ha una vita utile di circa 25-30 anni.



Figura 2 - (a) Impianto installato su suolo di tipo standard (EGP, Italia); (b) impianto a inseguimento con tracker (IFT, Italia); (c) impianto installato su suolo di tipo verticale (EGP, Italia)

1.2 Perché adottare un approccio NbS

Le NbS sono definite dall'United Nations Environment Assembly come: “azioni per proteggere, conservare, ripristinare, utilizzare in modo sostenibile e gestire ecosistemi naturali o modificati, terrestri, d'acqua dolce, costieri e marini, che affrontano in modo efficace e adattivo le sfide sociali, economiche ed ambientali, fornendo al contempo benefici per il benessere umano, i servizi ecosistemici, la resilienza e la biodiversità”. Sono riconosciute come strumenti chiave per la sostenibilità e per la realizzazione del cambiamento trasformativo della società necessario ad affrontare le prossime sfide imposte dalla crisi climatica globale, e come tali sono state incorporate in importanti politiche internazionali, tra cui la Nature Restoration Regulation dell'Unione Europea. Le NbS sono progettate per risolvere sfide sociali, ottimizzando al tempo stesso i servizi ecosistemici forniti dal sito di interesse, che appartengono a quattro diverse categorie (Figura 3):

- 1.servizi di supporto alla vita, essenziali per la sopravvivenza degli ecosistemi stessi, come la produzione primaria, il ciclo dei nutrienti, la biodiversità e la resilienza degli ecosistemi
- 2.servizi di approvvigionamento, includono la fornitura di risorse utili per le persone, come cibo, acqua, legname e materie prime
- 3.servizi di regolazione: riguardano la regolazione di processi naturali, come quella del clima, la depurazione dell'acqua, la prevenzione dell'erosione del suolo e l'impollinazione
- 4.servizi culturali: legati al benessere umano, come i valori estetici, ricreativi, educativi e spirituali

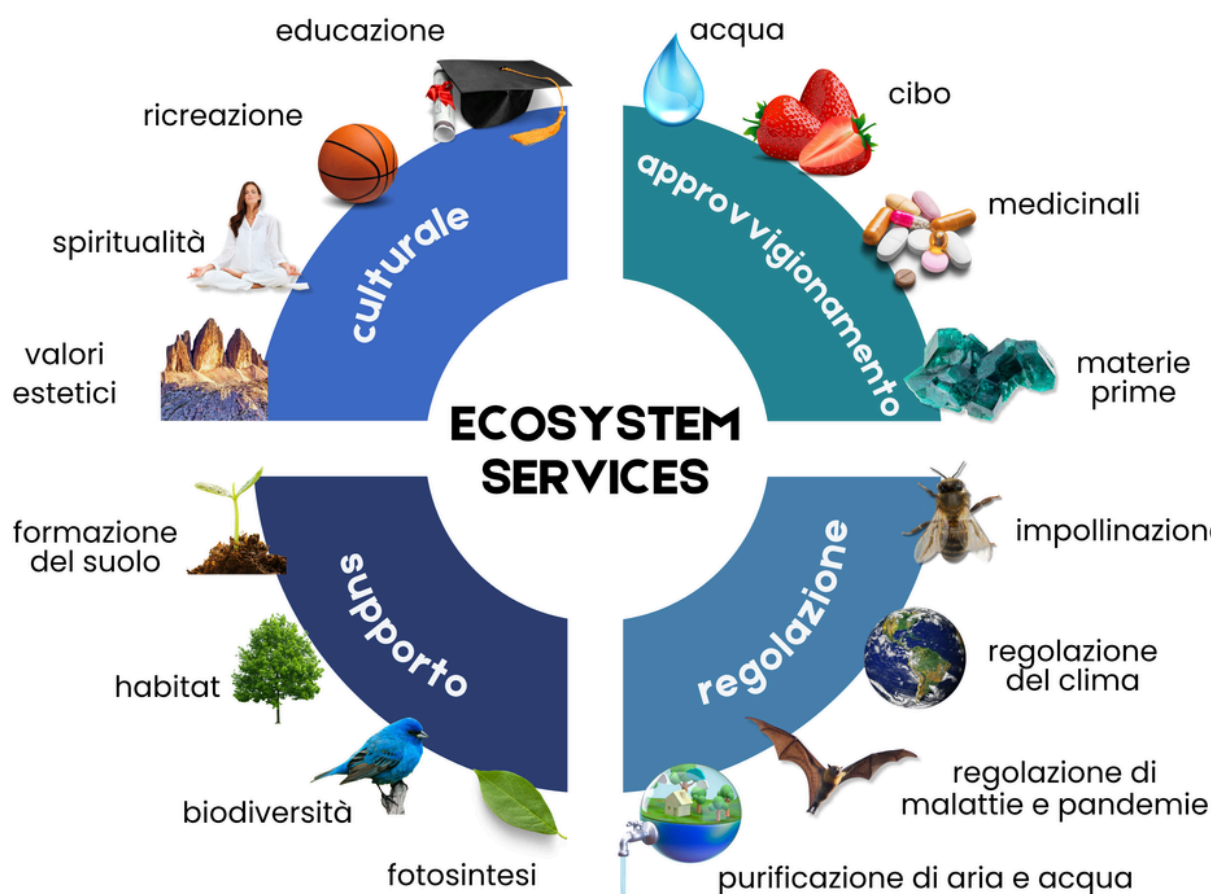


Figura 3 - Classificazione dei servizi ecosistemici (Living planet report 2016, WWF, ottobre 2016)

Adottare un approccio basato sulle NbS consente di massimizzare i benefici derivanti dagli impianti fotovoltaici, trasformandoli in infrastrutture multifunzionali. Oltre a produrre energia pulita, questi impianti possono contribuire alla conservazione della biodiversità, al miglioramento della funzionalità del suolo, alla regolazione del microclima e alla resilienza degli agroecosistemi. Dal punto di vista sociale, un approccio NbS può rafforzare l'accettazione da parte delle comunità locali, generare nuove opportunità economiche e promuovere una gestione partecipata del territorio.

1.3 Importanza del documento e stakeholders a cui si rivolge

Il presente documento ha l'obiettivo di offrire uno strumento operativo per la progettazione e la valutazione di impianti fotovoltaici installato su suolo come NbS. Si rivolge a un'ampia gamma di stakeholder: progettisti, sviluppatori, enti pubblici, agricoltori, consulenti ambientali, enti di ricerca, associazioni di categoria e cittadini coinvolti nella governance locale. La sua applicazione intende favorire decisioni più informate, trasparenti e condivise, contribuendo alla sostenibilità degli interventi nel lungo periodo.

02

Come rendere un impianto fotovoltaico installato su suolo una NbS

Un impianto fotovoltaico può essere definito una NbS solo se è in grado di offrire benefici ambientali e sociali misurabili, oltre alla produzione di energia. Per raggiungere questo obiettivo è necessario integrare sin dalle fasi iniziali criteri ecologici, sociali ed economici nella progettazione. Tra gli elementi chiave figurano: la selezione oculata del sito, l'adozione di buone pratiche gestionali, il monitoraggio continuo degli impatti e il coinvolgimento attivo degli stakeholder. L'uso di indicatori specifici permette di valutare l'efficacia degli interventi e di adattare le strategie in modo dinamico. Se inoltre tali indicatori appartengono a un contesto condiviso di valutazione dell'impatto, questo permette di aumentare la conoscenza nel confronto tra soluzioni diverse.

2.1 Valutazione preliminare del sito e individuazione delle possibili criticità

Prima di realizzare un impianto fotovoltaico o di intervenire su un impianto esistente, è fondamentale condurre una accurata caratterizzazione ambientale del sito. Questa fase permette di valutare lo stato ecologico e ambientale dell'area, individuare eventuali vincoli o criticità e definire il contesto ecologico da cui partire per pianificare e monitorare le azioni da intraprendere. L'analisi deve tenere conto della bioregione di appartenenza, al fine di comprendere le potenzialità ecologiche e individuare le specie e gli habitat di riferimento.

In particolare, gli aspetti del sito in cui dovrà essere installato un nuovo impianto fotovoltaico che devono essere analizzati sono:

- classificazione dell'area (industriale, agricolo, naturale)
- contesto territoriale (presenza di vincoli archeologici, vicinanza a siti Natura 2000, aree protette, di interesse ecologico, ambientale)
- analisi pedoclimatica (parametri metereologici con dati di un periodo di tempo che copra almeno i 20 anni precedenti e analisi del suolo)

- valutazione delle risorse naturali (esaminare ecosistemi, habitat, flora e fauna locali, oltre alla loro qualità e integrità)
- analisi di problematiche ambientali (deforestazione, inquinamento, perdita di biodiversità o vulnerabilità ai cambiamenti climatici)
- analisi delle dinamiche ambientali (interazioni tra il sito e l'ambiente circostante inclusi i corsi d'acqua, i movimenti dell'aria, i processi geologici e le interazioni umane)
- analisi socioeconomica (comunità locale, esigenze, attività economiche, benefici sociali)
- analisi normativa (legislazione ambientale vigente a livello nazionale e normative regionali o comunali)
- stakeholder locali (proprietari dei terreni, comunità locali, enti pubblici, start-up, società, autorità locali e associazioni)

Inoltre, è preferibile prediligere siti con infrastrutture viarie esistenti per ridurre la necessità di costruire nuove viabilità. In questo modo si riduce movimentazione, compattazione, impermeabilizzazione, ed erosione del suolo che comporterebbero perdita di materia organica e alterazione di habitat.

Ai fini della fattibilità dell'implementazione delle NbS due possibili scenari possono presentarsi:

Scenario 1

Impianto nuovo da autorizzare, in cui è prevista nella pratica di autorizzazione l'implementazione di NbS

In questo scenario, in fase autorizzativa viene concesso un progetto di naturalizzazione e mitigazione ambientale, che prevede l'implementazione di NbS e il relativo monitoraggio per tutta la durata di esercizio.

Scenario 2

Impianto in esercizio, nel cui titolo autorizzativo non era stata prevista l'implementazione di NbS

In questo scenario, la possibilità di integrazione delle NbS deve essere richiesta agli enti preposti, insieme alla misura massima, in termini di estensione di aree, in cui è possibile l'implementazione, per evitare di avere invalidato il titolo autorizzativo e incorrere nella disposizione di fermo impianto.

L'installazione di nuovi impianti fotovoltaici è regolata dalla normativa D.Lgs.190/2024. In funzione della tipologia, della dimensione e caratteristiche del territorio, sono previsti differenti iter autorizzativi, quali attività libera, Procedura Abilitativa Semplificata, e Autorizzazione Unica. In particolare, per gli impianti con competenza regionale (potenza ≥ 1 MW e < 300 MW) e impianti con competenza statale (potenza > 300 MW), è prevista l'Autorizzazione Unica, comprensiva di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), in riferimento ai criteri stabiliti dal Titolo III della parte seconda del D.Lgs. 152/2006. La VIA è uno degli strumenti necessari per prevedere il grado di impatto sull'ambiente e definire misure correttive, di mitigazione e/o compensazione per la salvaguardia della sostenibilità. In quest'ottica, è essenziale prevedere un sistema di monitoraggio di base, che comprenda:

- le condizioni del suolo e delle risorse idriche
- la copertura del suolo e la struttura della vegetazione
- la presenza e l'abbondanza di specie floristiche e faunistiche di interesse
- la funzionalità ecologica e la qualità degli habitat
- la connettività ecologica con il paesaggio circostante

A partire da questa base conoscitiva, il passo successivo è individuare e mettere in atto buone pratiche di gestione e miglioramento ambientale, capaci di accompagnare l'impianto verso il pieno riconoscimento come intervento sostenibile e multifunzionale, in grado di contribuire positivamente alla tutela della biodiversità e alla fornitura di servizi ecosistemici.

2.2 Individuazione delle buone pratiche da mettere in atto

L'individuazione e l'attuazione di buone pratiche lungo tutte le fasi di vita di un impianto fotovoltaico rappresentano un passaggio fondamentale per ridurre al minimo gli impatti. Le buone pratiche che possono essere considerate nella fase di design e costruzione di un impianto fotovoltaico per renderlo NbS, promuovono la salvaguardia della biodiversità e l'incremento dei servizi ecosistemici, riguardano la minimizzazione delle movimentazioni di terreno, la creazione di recinzioni perimetrali che, in funzione della localizzazione dell'impianto, consentano il passaggio di fauna selvatica di piccola taglia, e la realizzazione di corridoi ecologici, compatibilmente con il layout ottimizzato e la sicurezza dell'impianto stesso.

Dal punto di vista della divulgazione, un impianto fotovoltaico in cui siano integrate delle attività di salvaguardia della biodiversità o di tipo agro-zootecniche può fungere da polo educativo. Scolaresche e associazioni attraverso l'organizzazione di visite, possono venire a conoscenza delle pratiche sostenibili non solo di tipo energetico, ma per le opportunità all'ambiente.

Dato lo scarso impatto antropico in termini di disturbo, i siti possono servire per monitoraggio ambientale da parte di studi e ricerche specifiche.

2.2.1 Costruzione

Durante la progettazione esecutiva e successiva realizzazione di un impianto fotovoltaico, è fondamentale adottare misure per minimizzare le alterazioni del suolo, della vegetazione e della fauna. A valle della selezione del sito e delle informazioni raccolte sul contesto, l'impianto fotovoltaico deve essere progettato, da un lato, per massimizzare la produzione di energia elettrica nell'area individuata e, dall'altro, per creare e/o migliorare il servizio ecosistemico rilevante per il sito stesso (ad es. impollinazione, qualità del terreno, creazione e protezione di habitat).

In funzione del progetto, la spaziatura tra le file di moduli fotovoltaici deve essere ideale per non avere ombreggiamento tra i moduli, ottimizzare i costi di realizzazione e di gestione dell'impianto stesso e valutare la creazione o il mantenimento di habitat per non perdere la continuità ecologica con il territorio.

Per progettare e realizzare l'impianto minimizzando l'impatto bisogna:

- adattare l'installazione dei moduli fotovoltaici alle pendenze naturali del terreno, evitando terrazzamenti con relativa modifica morfologica del sito
- utilizzare tecnologie di tracking ad inseguimento monoassiale, per adattarsi alla morfologia del suolo senza modificarla
- mantenere un adeguato distanziamento (pitch) tra le file e un'altezza dei moduli (nel punto più basso di rotazione) per garantire la crescita delle piante e la gestione agronomica del sito
- evitare l'uso di calcestruzzo, preferendo sistemi di montaggio reversibili e/o attraverso l'infissione (a spinta) nel terreno delle strutture di supporto
- minimizzare le operazioni di scavo e trincee per preservare la struttura del suolo e originario deflusso delle acque meteoriche
- ridurre gli impatti collegati alla viabilità di accesso e manutenzioni senza che queste alterino il regolare andamento del terreno *ante-operam*

Inoltre, bisogna operare in cantiere riducendo le pressioni ambientali. Limitare, già durante la definizione delle fasi di cantiere e poi durante la costruzione, le movimentazioni dei veicoli pesanti sul sito per evitare la compattazione eccessiva del suolo e possibili effetti sulla vegetazione.

Prevenire la diffusione di specie invasive, assicurando la pulizia dei mezzi e delle attrezzature prima dell'ingresso in cantiere, è fondamentale, controllando la provenienza dei materiali e monitorando le aree di stoccaggio. L'inquinamento luminoso e acustico deve essere minimizzato attraverso pratiche di cantierizzazione a basso impatto. Bisogna adottare misure per contrastare il deflusso e il ruscellamento delle acque meteoriche, per evitare l'erosione del suolo e la modifica del sistema idrogeologico esistente.

L'impianto va predisposto per la futura coesistenza con la fauna la flora e il paesaggio utilizzando tutti gli accorgimenti necessari come:

- ove possibile, utilizzare recinzioni rialzate di almeno 20 cm, per consentire il passaggio della fauna di piccola taglia e garantire la connettività ecologica, compatibilmente con il layout e la sicurezza dell'impianto
- creare (già durante la fase di progettazione dell'impianto) e proteggere (se già esistenti) corridoi ecologici di connessione tra l'impianto e le aree naturali circostanti (boschi, lagune, praterie)
- installare dispositivi per evitare collisioni e appollaiamenti dell'avifauna sulle linee elettriche
- promuovere l'uso multifunzionale del suolo, integrando, laddove possibile, coltivazioni compatibili con la presenza dei moduli fotovoltaici

L'adozione di soluzioni agronomiche e semina di colture agricole consente in taluni casi di:

- mantenere la produttività agricola del suolo
- migliorare la copertura vegetale
- favorire il coinvolgimento degli stakeholder locali, quali agricoltori e comunità rurali. Questo ultimo punto può essere affrontato in fase di esercizio o in fase di autorizzazione/progettazione

Per salvaguardare la biodiversità, una buona pratica da considerare in fase di progettazione consiste nel prevedere la realizzazione di corridoi ecologici, ossia di aree verdi perimetrali e all'interno dell'impianto fotovoltaico, che consentono il passaggio della fauna selvatica e creano continuità tra habitat naturali. In queste fasce vegetate si può prevedere l'impianto di siepi, alberi o specie erbacee per rifugio di insetti, uccelli e piccoli animali (Figura 4).

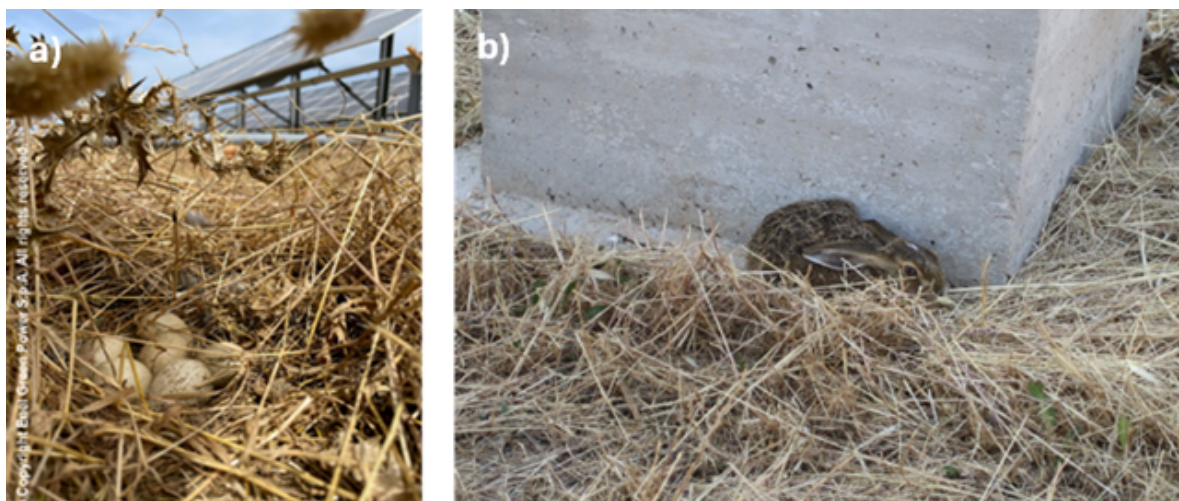


Figura 4 - L'impianto FV può essere ricovero per animali selvatici, dato che il disturbo umano è molto limitato: (a) uccelli nidificano in un corridoio (EGP, Spagna) e (b) piccoli animali possono rifugiarsi grazie alle recinzioni compatibili per il passaggio della fauna (IFT, Sicilia)

2.2.2 Gestione operativa

Durante l'esercizio dell'impianto fotovoltaico, l'obiettivo principale è trasformarlo in un elemento attivo del paesaggio, favorendo la biodiversità, minimizzando gli impatti collegati alle attività manutentive ordinarie e straordinarie e quindi migliorando i servizi ecosistemici (Figura 5).



Figura 5 - Minimizzare gli impatti sul suolo e sulla vegetazione durante la fase di costruzione e gestione permette il mantenimento della flora locale preesistente (IFT, Lazio)

Per raggiungere questo obiettivo, è necessario adottare strategie di gestione ecologicamente sostenibili e adattative.

Le azioni raccomandate si possono riassumere come segue:

- evitare l'utilizzo di sostanze chimiche tossiche, come fitofarmaci, erbicidi e detergenti aggressivi per la pulizia dei pannelli, per tutelare la qualità del suolo, delle acque e la salute degli organismi viventi
- ottimizzare l'uso dell'acqua durante la pulizia dei moduli fotovoltaici, promuovendo, ove possibile, il recupero e il riuso attraverso grondaie o canali di scolo integrati sulla parte inferiore delle file di moduli fotovoltaici
- recuperare le acque piovane, attraverso grondaie o canali di scolo integrati sulla parte inferiore delle file di moduli fotovoltaici, per utilizzarla per la pulizia dei pannelli stessi, o per la creazione di nuovi habitat per specie acquatiche, o per sostenere eventuali colture realizzate all'interno dell'impianto
- favorire la risemina e la colonizzazione da parte della flora autoctona con sfalci mirati, al fine di incrementare la diversità vegetale, migliorare la qualità dell'habitat e supportare specie impollinatrici e fauna locale
- ridurre al minimo necessario le operazioni di sfalcio, che dovranno essere pianificate tenendo conto della stagionalità, in particolare dei periodi di fioritura e di riproduzione della fauna
- è preferibile evitare interventi meccanici e adottare soluzioni più naturali e sostenibili, come il pascolo periodico controllato
- installare strutture artificiali a supporto della fauna selvatica, quali nidi, rifugi, alveari e spazi per l'ibernazione, con l'obiettivo di aumentare la disponibilità di microhabitat e favorire la presenza stabile di specie di interesse ecologico
- minimizzare le movimentazioni del suolo, per preservare gli habitat delle specie che usano il sottosuolo come rifugio e/o per le loro funzioni vitali
- se l'impianto fotovoltaico è installato in ambienti particolarmente aridi, si presta come habitat per fauna xerica; nelle aree marginali di un impianto fotovoltaico si possono allestire rifugi adatti a rettili e piccola fauna, costruiti con ciottoli, rocce, legno secco e con specie vegetali xerofile (Figura 6)



Figura 6 - Rifugio per fauna di ambienti xerici (rettili, insetti) in un'area marginale di un impianto fotovoltaico (EGP, Grecia)

Se alle azioni di conservazione e ripristino della biodiversità si vogliono affiancare attività produttive, nella fase di esercizio di un impianto fotovoltaico è possibile adottare buone pratiche che consentono l'integrazione della produzione di energia elettrica con attività agricole, di floricoltura o zootecnia. Si parla in questo caso di impianti agrovoltaici.

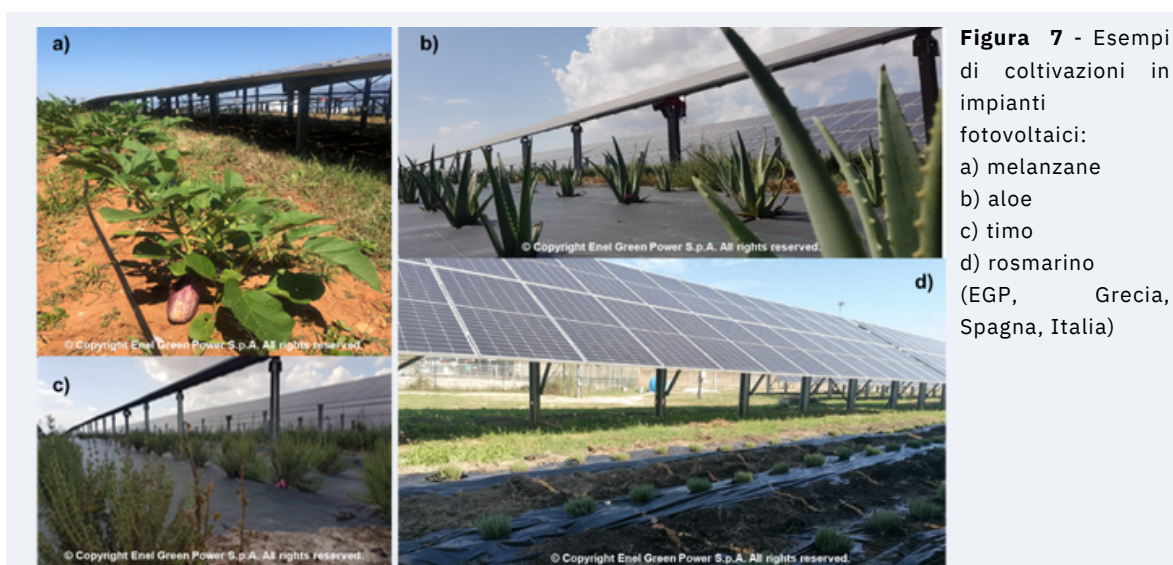
L'utilizzo degli impianti fotovoltaici per attività agricole porta a una maggiore efficienza economica nell'uso del suolo e consente effetti sinergici tra le attività agricole e la produzione di energia. I pannelli fotovoltaici migliorano le condizioni di microclima (umidità, temperatura più contenuta delle ore di picco, ombreggiamento con intermittenza regolare) ciò può avere benefici sulle colture, proteggendole da stress termici e favorire il completamento dei cicli vitali. Le attività agro-zootecniche possono essere collocate nei corridoi, tra due file di moduli fotovoltaici, al di sotto di questi ultimi e nelle aree marginali inutilizzate. I benefici di questa integrazione sono diversi. Il duplice utilizzo del terreno per la produzione di energia e di attività agro-zootecniche, infatti, consente di mantenere la vocazione dell'area (agricola, pascolo). Inoltre, per effetto del microclima che si genera tra le file di moduli fotovoltaici oppure al di sotto di essi, è possibile misurare un incremento della resa agricola e un risparmio idrico rispetto alla coltivazione in campo aperto.

In aggiunta, questo tipo di integrazione consente una riduzione dei fenomeni di erosione e di compattazione del suolo, la salvaguardia della biodiversità e l'incremento dei servizi ecosistemici, se le azioni sono implementate adottando pratiche di agricoltura sostenibile, come evitare fitofarmaci e fertilizzanti chimici, in favore di prodotti naturali e uso di teli pacciamanti biodegradabili.

L'adozione di pratiche di integrazione della produzione di energia con le attività agro-zootecniche, offre nuovi modelli di business, in cui, oltre alla società proprietaria dell'impianto fotovoltaico e che ne ha in carico l'esercizio e la manutenzione, sono coinvolte le comunità locali, nelle figure degli agricoltori, delle cooperative agricole e dei vivaisti, che traggono reddito dalla gestione della produzione delle attività agro-zootecniche, con una resa incrementata rispetto alla coltivazione in campo aperto.

L'utilizzo di sensoristica dedicata per il monitoraggio delle attività agro-zootecniche (microclima, temperatura, contenuto di acqua, conducibilità elettrica), contribuisce ad accrescere le competenze digitali per i soggetti coinvolti: l'agricoltore attraverso il monitoraggio in continuo offerto dai sensori, può pianificare al meglio le irrigazioni e le operazioni di fertilizzazione.

Esempi di attività agricole e zootecniche che è possibile realizzare in un impianto fotovoltaico sono illustrati di seguito.



Nei corridoi tra due file parallele di pannelli fotovoltaici, sia al di sotto delle file di pannelli, che nelle aree marginali inutilizzate, possono essere coltivate specie che si adattano all'ombra parziale (Figura 7). I risultati derivanti da sperimentazioni di integrazione di attività agricole in impianti fotovoltaici mostrano un aumento della resa agricola dal 20 al 60% in funzione della specie (20% timo, 60% peperoni, ad es.) e un risparmio idrico dal 15 al 29%. L'utilizzo di teli di pacciamatura biodegradabili (Figura 7b, c, d) contribuisce all'apporto di sostanza organica nel suolo, migliorandone la struttura e la ritenzione idrica e, quindi, riducendo la necessità di irrigazione, oltre a consentire una riduzione dei costi operativi rispetto ai teli in plastica, non

essendo necessaria la loro rimozione e smaltimento. Inoltre, l'adozione di teli di pacciamatura biodegradabili può agevolare una riduzione dell'IVA per gli agricoltori (ad es. in Italia è al 4%). Anche colture arboree possono essere coltivate nella fascia perimetrale degli impianti fotovoltaici, come l'olivo (Figura 8), favorendo il ripristino delle attività agricole locali.



Figura 8 - Oliveto di recente messa a dimora, integrato a impianto FV (IFT, Italia)



Figura 9 - Ovini al pascolo a riposo all'ombra di un impianto fotovoltaico (EGP, Spagna)

L'integrazione del pascolo con un impianto fotovoltaico rappresenta una buona pratica, sia per i gestori dell'impianto fotovoltaico, sia per i pastori locali. Il bestiame adatto è rappresentato dagli ovini, perché grazie alla taglia, possono muoversi facilmente sotto e intorno agli impianti solari. Lo sviluppo della vegetazione è tenuto sotto controllo in modo sostenibile con il pascolo, riducendo i costi operativi dell'impianto e offrendo beneficio alla

pastorizia, attraverso un accordo con i pastori locali. I pannelli fotovoltaici favoriscono il benessere degli animali, offrendo ombra soprattutto nelle ore più assolate e nei periodi più caldi, proteggendo da stress termici (Figura 9).

Combinare pascolo con fotovoltaico permette di sviluppare un modello di business vincente sia per il proprietario dell'impianto, sia per l'allevatore; i benefici relativi all'adozione di questa pratica sono:

- gestione sostenibile della vegetazione
- miglioramento del benessere del bestiame, soprattutto nelle ore più calde, per l'ombreggiamento offerto dai moduli fotovoltaici
- miglioramento delle proprietà del suolo: il bestiame fornisce sostanza organica al terreno
- risparmio in termini di utilizzo dei macchinari che sarebbero stati altrimenti necessari per tagliare l'erba
- riduzione dei costi operativi dell'impianto e per l'alimentazione del pascolo
- riduzione naturale del rischio di propagazione di incendi
- modello di business che coinvolge le comunità locali



Figura 10 - Impianti seminati con specie erbacee entomogame, da sinistra: Giarratano (IFT, Sicilia), Chiaramonte Gulfi (IFT, Sicilia), apoideo su specie mellifere in un impianto fotovoltaico (EGP, Spagna)

Questa pratica è ancora più sostenibile se integrata all'interno di una pianificazione del controllo della vegetazione che permetta il completamento del ciclo vitale di alcune specie (farfalle, ad esempio). In questo caso, è possibile ricorrere a recinzioni, che preservino la vegetazione di alcune zone, escludendole dal pascolamento del bestiame oppure adottando una rotazione dei tagli della vegetazione.

Impiegare mix di erbacee entomogame offre il vantaggio di attirare impollinatori, e di fornire opportunità agli apicoltori locali. Tra le file di moduli fotovoltaici, e in aree marginali inutilizzate si possono seminare mix di specie erbacee mellifere o piccoli arbusti, che offrono nutrimento agli impollinatori, domestici e selvatici (Figura 10).

In particolare, seminando specie con fioritura scalare, si ha l'effetto di offrire habitat alla biodiversità per periodi più lunghi e di incrementare il servizio ecosistemico dell'impollinazione, creando delle vere e proprie oasi all'interno di un impianto fotovoltaico e aumentando, allo stesso tempo, la capacità produttiva agricola anche dei campi limitrofi (nel raggio di circa 3 km). L'impianto di specie mellifere può essere anche integrato con arnie per api domestiche e "hotel" per impollinatori selvatici (Figura 11). Un'opportuna rete di sensori per le arnie e per gli "hotel" degli impollinatori selvatici consente di monitorare lo stato di salute delle colonie degli impollinatori, che possono fungere da bioindicatori e dare una misura dello stato di salute dell'ambiente circostante. È possibile, quindi, sviluppare un business model che coinvolge, oltre al proprietario dell'impianto fotovoltaico, che ne ha in carico l'esercizio e la manutenzione, anche gli apicoltori locali. Anche in questo caso, è promosso un uso duale del suolo, per la produzione di energia e di miele, incrementando il servizio ecosistemico dell'impollinazione, fondamentale per la produzione di cibo.



Figura 11 -

Arnie in un impianto fotovoltaico (EGP, Grecia)

Nella fase di esercizio di un impianto fotovoltaico è possibile allestire pratiche di carbon farming, che mirano ad incrementare il contenuto di carbonio nel suolo, riducendo fenomeni erosivi, migliorando la fertilità del suolo e sequestrare l'anidride carbonica dall'atmosfera.

Le pratiche sono riportate di seguito:

- riduzione delle lavorazioni per preservare il terreno, dal punto di vista della struttura e del contenuto di carbonio
- utilizzo di copertura vegetale con specie a elevato sviluppo di biomassa e capacità di stoccaggio del carbonio, che proteggono il terreno da erosione e ne migliorano la fertilità
- sovescio (semina di specie brassicacee, leguminose e graminacee, trinciate e lasciate a copertura del terreno, proteggono da erosione, apportando nutrienti, limitando la crescita delle infestanti e contribuendo al sequestro di carbonio dall'atmosfera)
- utilizzo di ammendati organici per migliorare la fertilità del terreno

L'apporto di sostanza organica al suolo, ne migliora la struttura, la porosità e la ritenzione idrica. A differenza dei concimi chimici, per quelli biologici il rilascio di elementi avviene in modo graduale, senza incorrere in picchi di concentrazione, che potrebbero creare danni alle specie vegetali o causare inquinamento del suolo o delle acque di falda per lisciviazione. Tutto ciò si traduce in un ambiente favorevole per lo sviluppo vegetale e nella promozione della biodiversità microbica, che, a sua volta, contribuisce alla salute del suolo.

2.2.3 Smantellamento impianto

Questo paragrafo si prefigge di fornire le indicazioni per la dismissione e ripristino ambientale del sito *post-operam*.

La fase di dismissione rappresenta un momento cruciale nella gestione sostenibile degli impianti fotovoltaici installato su suolo. Al termine della loro vita utile, gli impianti devono essere smantellati in modo da ridurre al minimo gli impatti residui e restituire il sito al contesto ambientale e paesaggistico originario o migliorativo.

In Italia, la normativa vigente, in particolare il D.Lgs. 49/2014 (RAEE), il D.Lgs. 152/2006 (Codice dell'Ambiente), e le procedure previste nelle autorizzazioni ambientali (Autorizzazione Unica e VIA), stabiliscono generalmente obblighi stringenti per il corretto smantellamento e recupero ambientale del sito.

Nella fase di smantellamento a fine vita dell'impianto, al termine della vita di un impianto fotovoltaico (25-30 anni), si possono verificare due scenari:

Scenario 1

Smantellamento totale dell'impianto e ripristino delle condizioni originarie del sito

Scenario 2

Repowering, ossia sostituzione di elementi dell'impianto (moduli, inverter, ad esempio) con sistemi più innovativi ed avanzati, a valle di nuova autorizzazione all'esercizio dell'impianto

In entrambi i casi, sono previste delle lavorazioni sul sito.

Le buone pratiche da seguire in questa fase sono:

- pianificazione delle lavorazioni in periodi che non danneggino gli habitat esistenti, evitare i periodi di migrazione di avifauna e di riproduzione e tenere in considerazione i fenomeni stagionali e quelli che si sviluppano su base diurna/notturna
- minimizzazione della frammentazione degli habitat durante le lavorazioni del terreno, prestando attenzione a eventuali nidi o tane di animali selvatici
- riutilizzo del suolo rimosso e impianti/semine di specie autoctone per le opere di rinaturalizzazione nelle aree in cui insistono le lavorazioni
- creazione di corridoi ecologici, che consentano il passaggio della fauna selvatica, attraverso il collegamento dell'area in cui sono svolte le attività di smantellamento con gli habitat circostanti
- rimozione dei moduli fotovoltaici nella filiera della (RAEE) e recupero in impianti autorizzati per il trattamento e il riciclo; in tali impianti, i moduli vengono sottoposti a processi specifici che permettono il recupero fino al 95% dei materiali (vetro, metalli come alluminio, silicio e plastica)
- smontaggio delle infrastrutture dell'impianto, comprese strutture di supporto, inverter, cavi e recinzioni; questi componenti, se non riutilizzabili, devono essere avviati a recupero o smaltimento in impianti autorizzati
- ripristino ambientale e rinaturalizzazione del sito, attraverso interventi quali la decompattazione del suolo, la semina con specie autoctone e l'impianto di siepi o alberi
- monitoraggio ambientale post-dismissione, laddove richiesto, per verificare l'efficacia degli interventi di ripristino

La dismissione quindi, oltre ad essere un corretto adempimento normativo, rappresenta una fase strategica e integrata della gestione sostenibile dell'impianto. Un'attenta pianificazione e realizzazione di queste operazioni consente infatti di chiudere il ciclo di vita dell'impianto in modo virtuoso, promuovendo la rigenerazione ecologica e favorendo il principio dell'economia circolare attraverso il recupero dei materiali.

2.3 Strategie di valutazione dell'impatto ecologico, economico e sociale, sviluppo del piano di monitoraggio adattivo

Un'accurata progettazione e gestione multifunzionale degli impianti fotovoltaici installati su suolo può trasformare queste infrastrutture in vere e proprie NbS, capaci di generare benefici integrati su scala ambientale, economica e sociale.

Questa prospettiva consente di superare una visione esclusivamente energetica del fotovoltaico, valorizzandone il potenziale per contribuire alla conservazione ecologica, al benessere delle comunità locali e allo sviluppo di economie sostenibili. Gli impianti così concepiti si configurano come infrastrutture verdi al servizio della transizione ecologica.

Le trasformazioni legate alla costruzione e gestione degli impianti possono influenzare la struttura fisica del suolo, la sua fertilità chimica e anche la sua funzionalità biologica. Tuttavia, rispetto ad altri comparti ambientali, i processi di cambiamento del suolo sono lenti e progressivi, e i segnali di degrado o miglioramento possono richiedere diversi anni prima di emergere in modo misurabile. Per questo motivo, si raccomanda di pianificare le campagne di monitoraggio ogni 4–5 anni.

Il sistema di indicatori proposto, articolato in cinque ambiti tematici (biodiversità, suolo, risorse idriche, regolazione climatica e aspetti economico-sociali), rappresenta uno strumento operativo per valutare e monitorare nel tempo i benefici e gli impatti, e attivare percorsi di gestione adattiva.

Un impianto fotovoltaico progettato come NbS può generare una pluralità di benefici e co-benefici, tra cui:

- benefici ambientali: miglioramento delle condizioni ecologiche, intese come incremento della qualità, diversità e connettività degli habitat naturali e seminaturali, valutabili attraverso la presenza e la ricchezza di specie di flora e fauna caratteristiche del territorio; regolazione del microclima; riduzione dell'erosione; incremento della capacità di sequestro del carbonio; miglioramento della qualità del suolo e delle acque.
- benefici economici: mantenimento del reddito agricolo, sviluppo di attività agricole compatibili (es. pascolo, apicoltura), creazione di nuove opportunità imprenditoriali locali e valorizzazione delle pratiche sostenibili.
- benefici sociali: maggiore coinvolgimento delle comunità, riduzione dei conflitti, rafforzamento della coesione territoriale, valorizzazione del paesaggio e miglioramento del benessere percepito.

Integrare fin da subito questi aspetti nella pianificazione permette non solo di prevenire impatti negativi o conflitti territoriali, ma anche di massimizzare il valore aggiunto del fotovoltaico per i territori, contribuendo agli obiettivi di neutralità climatica, resilienza e sostenibilità.

Per valutare l'efficacia ambientale, sociale ed economica degli impianti fotovoltaici installati su suolo come NbS, è essenziale definire e applicare un sistema strutturato di indicatori.

Un indicatore è una misura qualitativa o quantitativa che consente di valutare lo stato di un sistema, monitorare cambiamenti nel tempo e verificare il raggiungimento di obiettivi prefissati. Nel contesto delle NbS, gli indicatori servono a misurare l'impatto delle azioni progettuali e gestionali, identificare criticità emergenti e guidare eventuali correzioni.

Gli indicatori possono essere utilizzati in diverse fasi del ciclo di vita dell'impianto:

- fase pre-operativa (progettazione e autorizzazione): per definire il contesto ecologico, sociale ed economico del sito e valutare i possibili impatti.
- fase operativa (gestione e manutenzione): per monitorare l'efficacia delle buone pratiche e dei correttivi implementati.
- fase post-operativa (smantellamento o revisione): per verificare il successo del ripristino ambientale o aggiornare strategie gestionali su impianti esistenti.

Un sistema di indicatori ben progettato consente di attivare un monitoraggio continuo e adattivo, ovvero una gestione dinamica e reattiva che valuta periodicamente l'andamento degli interventi. Se gli obiettivi prefissati non vengono raggiunti, il sistema fornisce le informazioni necessarie per modificare strategie e pratiche, favorendo un miglioramento continuo dell'impianto come NbS.

Gli indicatori da utilizzare per il monitoraggio delle prestazioni come NbS devono quindi includere sia la componente abiotica che quella biotica (Figura 12), perché la biodiversità rappresenta uno degli aspetti fondamentali per valutare la sostenibilità ecologica degli impianti fotovoltaici installato su suolo. La presenza e la qualità della vegetazione, della fauna e degli habitat non solo riflettono lo stato di salute dell'ecosistema, ma influenzano anche direttamente la funzionalità e la resilienza del territorio. Si ricorda che, per essere informativo, il monitoraggio della biodiversità deve considerare in modo integrato più componenti ecologiche, al fine di rilevare eventuali impatti negativi, ma anche di valorizzare i potenziali benefici derivanti da una buona progettazione e gestione dell'impianto.

Parametri di interesse da monitorare sono elencati di seguito:

- condizioni di microclima mediante sensori dedicati: temperatura e umidità ambiente, velocità e direzione del vento, quantità di pioggia
- condizioni del suolo mediante sensori dedicati e analisi delle caratteristiche chimico-fisiche su campioni prelevati periodicamente: temperatura, conducibilità elettrica, contenuto di acqua
- valutazione del risparmio idrico su colture agricole
- quantificazione del carbonio stoccato nel suolo
- valutazione dell'abbondanza e diversità di specie erbacee, con particolare rilievo, se necessario sulla base del caso d'uso, della disponibilità di fiori idonei all'approvvigionamento e alla nidificazione degli impollinatori
- valutazione della salute del suolo tramite analisi della componente microbiotica
- censimento della fauna in situ, attraverso *survey* periodiche, tecniche di soundscaping, foto trappole oppure e-DNA

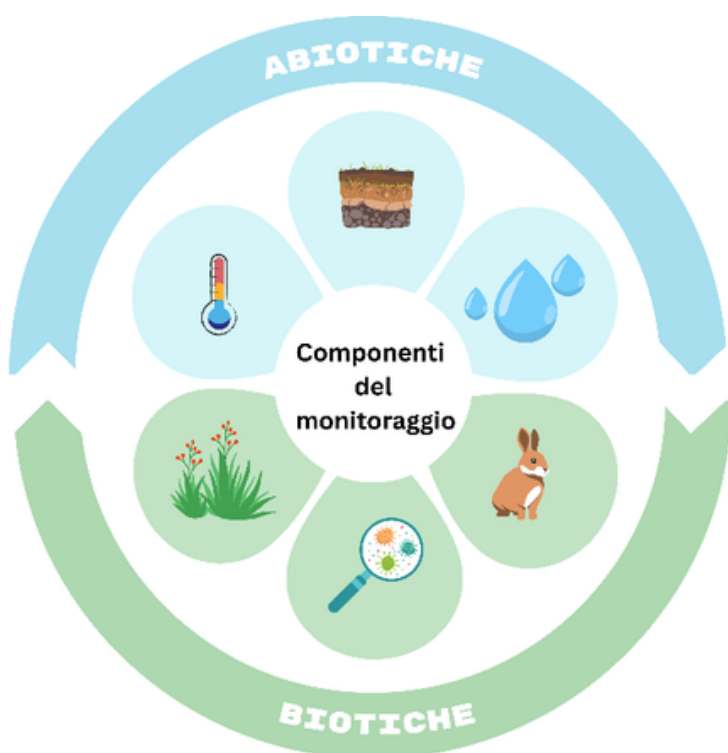


Figura 12 - Un buon piano di monitoraggio della salute dell'ecosistema nel sito di impianto fotovoltaico, deve comprendere sia elementi abiotici (quali microclima, suolo e acqua) che biotici (comprendendo sia la flora, che la fauna che i microorganismi)

Se si è particolarmente interessati alla presenza e stato di salute degli impollinatori, possono essere messe in atto strategie per la valutazione del loro stato di salute tramite alveari smart dotati di sensoristica integrata in grado di rilevare temperatura, umidità e suono per il censimento degli impollinatori domestici e selvatici.

La valutazione dell'impatto della gestione adottata deve sempre essere effettuata rispetto a un sistema di riferimento o di controllo. Per i nuovi impianti, è fondamentale prevedere un confronto temporale strutturato in tre fasi: pre-costruzione, post-costruzione, e a distanza di 4-5 anni dalla messa in funzione.

In particolari contesti, può essere interessante anche rilevare le condizioni durante la fase di massimo impatto antropico, ovvero durante i lavori di costruzione. In presenza di impianti già esistenti e in cui si decida di modificare le modalità di gestione, si può adottare lo stesso approccio monitorando prima dell'intervento di modifica, dopo l'intervento, e dopo 4-5 anni. Se invece l'impianto è già esistente e funzionante in modalità biodiversity-friendly, può essere messa in atto una procedura valutativa per confronto con aree di controllo limitrofe non soggette a impianto fotovoltaico o soggette a impianto fotovoltaico a diversa gestione.

Gli impianti fotovoltaici installati su suolo possono contribuire in modo diretto o indiretto alla regolazione del microclima locale, con effetti su temperatura, gestione del rischio idrogeologico e vulnerabilità agli incendi. Questi aspetti sono particolarmente rilevanti in contesti agricoli, periurbani o soggetti a eventi climatici estremi.

Il monitoraggio dei fattori climatici e ambientali consente di valutare se l'impianto contribuisce al raffrescamento del suolo e dell'aria, al sequestro di carbonio nella vegetazione e nel suolo, o al contenimento dei rischi ambientali (es. alluvioni, incendi). La misura di questi effetti può rafforzare il riconoscimento dell'impianto come NbS, soprattutto quando accompagnata da interventi di inverdimento, gestione sostenibile della vegetazione e riduzione delle superfici impermeabili.

Per cogliere tendenze significative nel tempo, si suggerisce di ripetere i monitoraggi ogni 4-5 anni, integrando con analisi comparate tra aree interne ed esterne all'impianto.

Sulla base delle considerazioni fin qui esposte, le tabelle seguenti presentano un set di potenziali indicatori proposti per valutare l'impatto delle pratiche adottate sui parametri abiotici e biotici di interesse per la biodiversità del sito, tratti dal manuale europeo per la valutazione dell'impatto di NbS, e organizzati per categoria tematica.

Le Tabelle 1 e 2 riassumono gli indicatori chiave proposti per il monitoraggio degli aspetti pedoclimatici e geologici.

categoria tematica	indicatore	descrizione
Microclima	Riduzione della temperatura dell'aria	Variazione della temperatura in presenza di vegetazione o pannelli
Microclima	Incidenza delle ondate di calore	Frequenza di eventi estremi legati alla temperatura
Microclima	Temperatura superficiale del suolo	Misura del riscaldamento superficiale in relazione ai pannelli fotovoltaici
Carbonio e ciclo biogeochimico	Carbonio assorbito o immagazzinato nel suolo e nella vegetazione	Quantificazione della capacità di sequestro del carbonio da parte di suolo e vegetazione
Rischi ambientali e idrogeologici	Rischio di alluvione	Probabilità di allagamenti legata all'uso del suolo e alla capacità di drenaggio
Rischi ambientali e idrogeologici	Indice di infiammabilità della vegetazione	Rischio di incendi in relazione alla gestione e allo stato della vegetazione

Tabella 1 - Indicatori per la valutazione della regolazione climatica e ambientale negli impianti fotovoltaici installati su suolo, selezionati e adattati dal manuale europeo per la valutazione delle Nature-based Solutions (European Commission, 2021)

categoria tematica	indicatore	descrizione
Qualità chimica del suolo	Fertilità chimica del suolo	Valutazione qualitativa della fertilità chimica del suolo (C organico, N, pH, P, K, C/N, CEC, CE).
Qualità fisico-chimica del suolo	Erodibilità del suolo	Misura la suscettibilità del suolo all'erosione, in base alla tessitura (percentuale di sabbia, limo e argilla), struttura, permeabilità e contenuto di sostanza organica.
Struttura e funzionalità del suolo	Fattore ecotossicologico del suolo	Indica la presenza di contaminanti
Struttura e funzionalità idrica del suolo	Capacità di ritenzione idrica del suolo	Misura la capacità di trattenere acqua piovana

Tabella 2 - Indicatori per il monitoraggio della qualità del suolo in impianti fotovoltaici installati su suolo. Gli indicatori sono stati selezionati e adattati dal manuale europeo per la valutazione delle Nature-based Solutions (European Commission, 2021)

La presenza e la gestione degli impianti fotovoltaici possono influenzare le dinamiche idrologiche locali, modificando la qualità dell'acqua, la disponibilità per usi agricoli e la pressione sulle risorse sotterranee. Monitorare questi aspetti consente di prevenire potenziali impatti, promuovere una gestione efficiente delle risorse idriche e favorire l'integrazione dell'impianto nel contesto territoriale.

Nel caso di impianti localizzati in aree agricole o con presenza di corpi idrici superficiali e falde, il monitoraggio della risorsa idrica dovrebbe essere pianificato con cadenza regolare. La raccolta dei dati fornisce una base utile per valutare la sostenibilità dell'intervento nel tempo e attivare misure di mitigazione quando necessarie. Gli indicatori chiave in questo contesto sono riportati in Tabella 3.

categoria tematica	indicatore	descrizione
Qualità delle acque superficiali	Qualità della acqua: parametri fisici di base	Monitoraggio di parametri come temperatura, torbidità, conducibilità, pH per valutare l'impatto sulle risorse idriche superficiali
Risorsa idrica	Indice di sfruttamento delle acque sotterranee	Rapporto tra il prelievo e la disponibilità di acqua sotterranea, utile a valutare la pressione dell'impianto sulle risorse idriche
Risorsa idrica	Disponibilità d'acqua per scopi irrigui	Valutazione della disponibilità idrica per l'irrigazione

Tabella 3 - Indicatori per il monitoraggio della risorsa idrica in impianti fotovoltaici installati su suolo, selezionati e adattati dal manuale europeo per la valutazione delle Nature-based Solutions (European Commission, 2021)

Per quanto riguarda la componente biologica, è possibile integrare le analisi con gli indicatori di biodiversità presentati nella Tabella 4, in particolare quelli relativi al biota del suolo (microfauna, batteri e funghi) e alla copertura vegetale, che influenzano la vita nel suolo e la rigenerazione dei cicli ecologici. Nella Tabella 4 si propongono gli indicatori per la valutazione della biodiversità della flora, dei microorganismi nel suolo, e della fauna. In tutti questi casi, la raccolta dei dati dovrebbe essere replicata stagionalmente, in modo da cogliere le variazioni legate ai cicli biologici delle specie vegetali e animali.

Gli aspetti stagionali sono particolarmente rilevanti e devono essere calibrati in base ai gruppi tassonomici e alle caratteristiche ecologiche delle specie:

- per la vegetazione, i rilievi sulla copertura, la ricchezza floristica e l'abbondanza relativa dovrebbero essere effettuati nei periodi di massima espressione vegetativa (primavera e inizio estate), per garantire una rappresentazione completa delle specie presenti
- la diversità del suolo, in particolare per quanto riguarda microfauna, batteri e funghi, può essere influenzata da condizioni termo-idriche stagionali; pertanto, è utile pianificare i campionamenti in momenti chiave del ciclo agricolo o vegetativo (es. post-inverno, fine estate)

- per la fauna, le tempistiche variano in funzione dei gruppi target: gli insetti impollinatori e gli uccelli nidificanti richiedono monitoraggi tra aprile e luglio; i chiroterteri andrebbero rilevati nei mesi più caldi (maggio–settembre); anfibi e rettili possono essere osservati in primavera e in autunno, a seconda della fenologia locale.

Un approccio integrato tra queste diverse componenti consente di interpretare in modo più completo lo stato e l'evoluzione del suolo in funzione delle pratiche adottate, orientando eventuali interventi di mitigazione, gestione sostenibile o rinaturalizzazione.

Queste scelte metodologiche consentono non solo di valutare lo stato ecologico del sito in relazione all'impianto, ma anche di monitorare gli effetti delle pratiche gestionali nel tempo e orientare eventuali azioni correttive in modo efficace e tempestivo.

categoria tematica	indicatore	descrizione
Vegetazione	Copertura vegetale totale	Misura la percentuale totale di suolo coperto da vegetazione
Vegetazione	Copertura vegetale arborea	Percentuale di copertura composta da alberi e arbusti
Vegetazione	Copertura vegetale erbacea	Percentuale di copertura composta da erbacee e piante basse
Vegetazione	Diversità spaziale delle aree verdi	Varietà e distribuzione delle tipologie di aree verdi
Vegetazione	Ricchezza floristica	Numero totale di specie vegetali identificate all'interno di aree campione (quadrats). Utilizzato per stimare la biodiversità floristica del sito

Vegetazione	Abbondanza relativa della vegetazione	Proporzione di ciascuna specie vegetale rispetto al totale di individui osservati nei quadrats. Indica la distribuzione della dominanza tra le specie presenti
Biota del suolo	Diversità della fauna e comunità microbica del suolo	Ricchezza di gruppi tassonomici rilevati nel suolo tramite analisi di metabarcoding. Include microfauna, mesofauna, batteri e funghi, ed è utile per stimare la biodiversità biologica del suolo.
Fauna	Ricchezza di specie animali	Numero totale di specie animali rilevate in un'area, includendo a seconda degli obiettivi e del contesto biogeografico: mammiferi, uccelli, insetti impollinatori, rettili e anfibi.
Fauna	Abbondanza relativa di specie animali	Distribuzione relativa e presenza dominante di specie animali nell'area monitorata, con possibilità di focalizzarsi su gruppi chiave in funzione dell'habitat e delle finalità gestionali.
Fauna	Presenza di specie prioritarie per la conservazione	Presenza di specie faunistiche a rischio o protette, o di particolare interesse ecologico

Habitat	Connettività strutturale e funzionale degli habitat	Capacità degli habitat di connettersi per favorire il movimento faunistico
Habitat	Indice di diversità degli habitat	Diversità degli habitat presenti
Habitat	Presenza ecotoni	Lunghezza e presenza di zone di transizione ecologica

Tabella 4 - Indicatori di biodiversità per il monitoraggio ecologico degli impianti fotovoltaici installati su suolo. La selezione è basata e adattata dal manuale europeo per la valutazione delle Nature-based Solutions (European Commission, 2021), considerando la specificità dei contesti agricoli, semi-naturali e l'interazione con gli impianti fotovoltaici

Infine, gli impatti sociali ed economici degli impianti fotovoltaici installati su suolo rappresentano una componente fondamentale per valutarne la sostenibilità come NbS. Un impianto multifunzionale può generare benefici diretti e indiretti per le comunità locali, in termini di reddito agricolo, attivazione economica, partecipazione pubblica e percezione sociale.

Il monitoraggio di questi aspetti consente di comprendere il grado di integrazione dell'impianto nel tessuto locale, l'efficacia dei processi partecipativi e la qualità della convivenza tra produzione energetica, servizi ecosistemici e benessere collettivo. I dati raccolti possono supportare la gestione adattiva dell'impianto e facilitare il dialogo tra stakeholder, amministrazioni e cittadini. Indicatori utili sono riportati in Tabella 5.

categoria tematica	indicatore	descrizione
Qualità delle acque superficiali	Qualità della acqua: parametri fisici di base	Monitoraggio di parametri come temperatura, torbidità, conducibilità, pH per valutare l'impatto sulle risorse idriche superficiali
Risorsa idrica	Indice di sfruttamento delle acque sotterranee	Rapporto tra il prelievo e la disponibilità di acqua sotterranea, utile a valutare la pressione dell'impianto sulle risorse idriche

Economia locale e multifunzionalità	Numero di nuove imprese create e valore economico aggiunto	Effetti positivi del progetto sull'attivazione di nuove attività imprenditoriali locali
Governance e accettazione sociale	Coinvolgimento degli stakeholder locali	Partecipazione e tipologia di interazione di cittadini, agricoltori o altri attori
Governance e accettazione sociale	Livello di accettazione da parte della comunità	Misura del consenso o opposizione al progetto da parte della popolazione locale
Governance e accettazione sociale	Partecipazione a processi decisionali	Numero e qualità delle occasioni di partecipazione pubblica offerte
Benessere e percezione degli utenti	Livello di soddisfazione degli utenti o abitanti	Percezione positiva o negativa dei benefici e degli impatti del progetto
Benessere e percezione degli utenti	Creazione di siti panoramici e punti di riferimento visivi	Creazione o valorizzazione di elementi paesaggistici di valore estetico o identitario

Tabella 5 - Indicatori economici e sociali per la valutazione integrata degli impianti fotovoltaici installati su suolo, selezionati e adattati dal manuale europeo per la valutazione delle Nature-based Solutions (European Commission, 2021)

03

Casi studio

3.1 Caso studio Montalto di Castro

Caratteristiche generali dell'impianto

L'impianto fotovoltaico, promosso dalla società Infrastrutture Spa è situato nel comune di Montalto di Castro, in provincia di Viterbo, nel Lazio. Ha una capacità di circa 37 MWp ed è caratterizzato da trackers monoassiali orientati nord-sud, in grado di ruotare lungo l'asse est-ovest. I moduli fotovoltaici bifacciali sono installati a circa 1,5 metri dal suolo e sono disposti con un interfilare di 5 metri. L'impianto è operativo da febbraio 2025. Come mostrato in Figura 13, l'impianto fotovoltaico di Montalto di Castro è stato progettato secondo criteri di sostenibilità, integrando differenti tipologie di copertura vegetale. Contestualmente, sono state predisposte aree di monitoraggio ambientale per studiare nel tempo l'effetto delle diverse coperture e tipologie di gestione.

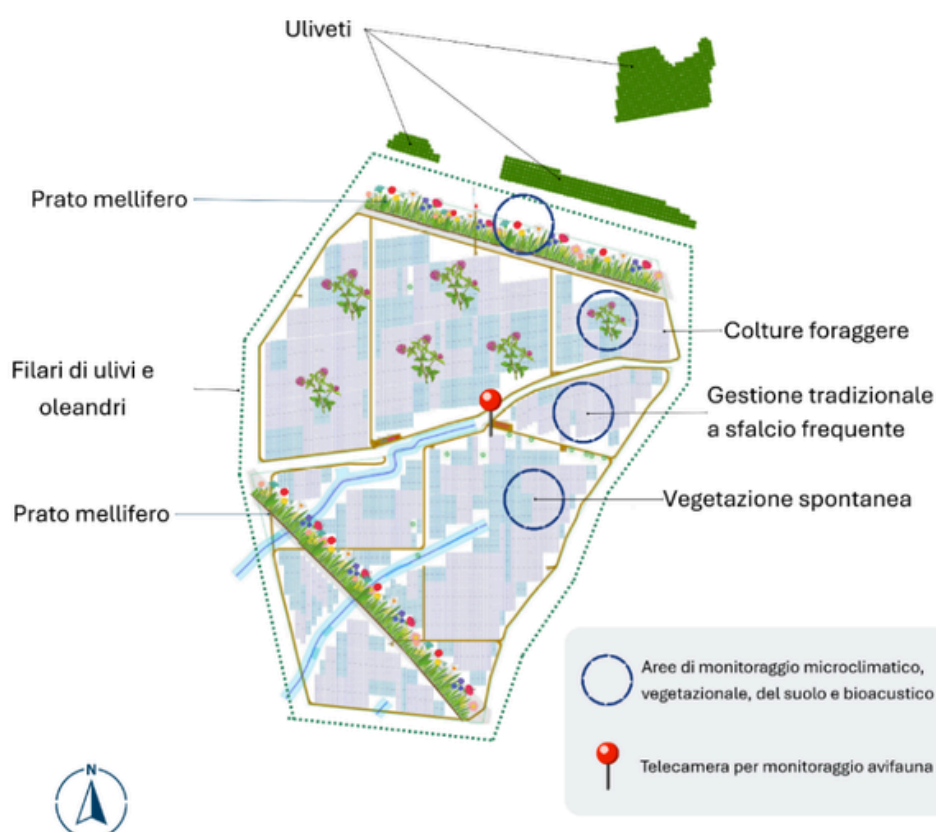


Figura 13 - Layout funzionale dell'impianto fotovoltaico di Montalto di Castro, con l'integrazione di diverse tipologie di copertura vegetale (colture foraggere, prati melliferi, aree a vegetazione spontanea) e di elementi paesaggistici (uliveti e filari arborei). Sono inoltre indicate le aree destinate al monitoraggio ambientale, finalizzate a studiare nel tempo l'effetto delle diverse coperture e tipologie di gestione.

Buone pratiche adottate

Fin dalla fase progettuale l'impianto è stato progettato con criteri di sostenibilità, dotato di misure di mitigazione ambientale e integrazione paesaggistica, mirate a ridurre l'impatto sul territorio e favorire la coesistenza tra produzione energetica e conservazione della biodiversità. In particolare, l'impianto è stato realizzato con una ridotta lavorazione e livellamento del suolo e senza l'utilizzo di fondazioni in cemento, limitando così il consumo di risorse e l'alterazione del terreno (Figura 14).



Figura 14 - Veduta post-costruzione dell'impianto fotovoltaico di Montalto di Castro, con evidenza della ripresa della vegetazione erbacea e della ricostituzione della copertura verde tra i moduli

Una volta operativo, l'impianto integra misure gestionali e paesaggistiche orientate alla conservazione della biodiversità e alla multifunzionalità agricola, come l'introduzione di colture foraggere (erba medica e trifoglio), prati melliferi e filari di ulivi e oleandri, insieme alla presenza di uliveti circostanti. A queste si affiancano il divieto di sostanze chimiche tossiche, l'impiego di moduli fotovoltaici su inseguitori solari e l'installazione di recinzioni permeabili alla fauna selvatica, che contribuiscono a garantire un migliore inserimento dell'impianto nel contesto rurale e la tutela degli ecosistemi locali. L'approccio metodologico adottato si fonda su strategie di gestione ecologica integrate, che comprendono il potenziamento e la diversificazione degli habitat, la creazione di condizioni favorevoli per impollinatori e fauna selvatica e la

riduzione del rischio di incendi attraverso pratiche di gestione dello strato erboso. In questo modo l'impianto non solo riduce i potenziali impatti ambientali, ma diventa anche uno strumento attivo di valorizzazione del territorio e di supporto ai servizi ecosistemici.

Monitoraggio integrato ambientale, economico e sociale

L'impianto è oggetto di un monitoraggio scientifico multidisciplinare, finalizzato a valutare l'efficacia delle pratiche adottate e la loro capacità di generare benefici ambientali, economici e sociali nel medio-lungo periodo. Il monitoraggio è stato compiuto a diverse scale, dalla scala puntuale a quella di paesaggio, in funzione del tempo, e su diverse componenti sia biotiche che abiotiche. Di seguito sono descritte le attività di monitoraggio ambientale in corso. I target di monitoraggio, le metodologie adottate e gli output attesi rispetto al caso studio sono riassunti in Figura 17.

- **Uso del suolo:** è stata condotta un'analisi multi-temporale con dati da telerilevamento per valutare la trasformazione e l'impatto cumulativo (con altri impianti limitrofi) sul paesaggio (Figura 15). I risultati dell'analisi del consumo di suolo indicano che, nel 2025, nel comune di Montalto di Castro, sono presenti 583,08 ha di impianti fotovoltaici (circa il 3,07% del territorio comunale), costruiti per lo più su superfici agricole. In quest'ottica, un approccio NbS multifunzionale che integri attività agricole può restituire funzionalità al territorio, mantenendo la copertura del suolo, prolungando le fioriture utili agli impollinatori e generando co-benefici produttivi.

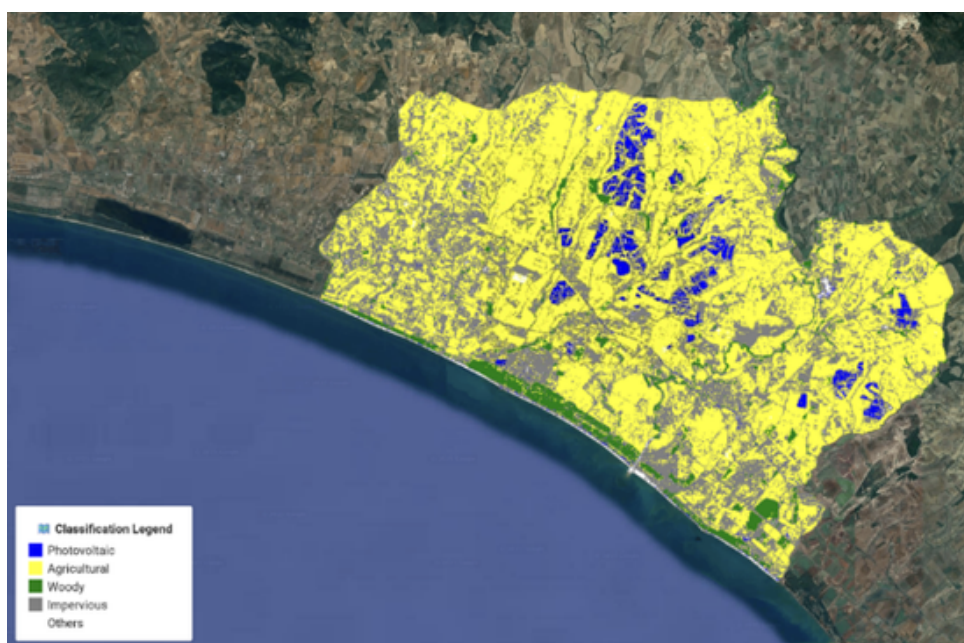


Figura 15 - Mappa di classificazione dell'uso del suolo per il comune di Montalto di Castro, generata nell'applicazione Google Earth Engine. Sono riportate le cinque classi considerate nell'analisi: fotovoltaico, agricolo, vegetazione legnosa, superfici impermeabili e altre coperture

- **Microclima:** misurazioni puntuali di temperatura, umidità e radiazione solare sono effettuate in continuo per rilevare gli effetti dei pannelli sul microclima locale, specificatamente nell'interfila, ai margini est/ovest e nella zona centrale. Lo schema di posizionamento dei sensori per la misura di temperatura e umidità del suolo, radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) e parametri dell'aria nei diversi micro-habitat è mostrata in Figura 16a, assieme ad una foto dei sensori montati sotto i moduli fotovoltaici (Figura 16b).
- **Salute del suolo:** analisi chimiche, fisiche e biologiche per valutare qualità, fertilità e funzionalità ecologica, nonché la permeabilità, sono state e saranno effettuate a stessa stagionalità in funzione del tempo, in relazione alla costruzione dell'impianto (ante-operam, post-operam, dopo alcuni anni di funzionamento). Esempi di campionamenti sono mostrati in Figura 16c.
- **Vegetazione:** rilievi floristici sono stati effettuati sia ante- che post-operam, sia a scala di impianto che in funzione dello schema di monitoraggio del microclima, a scala puntuale, per monitorare ricchezza floristica, copertura e diversità (Figura 16d). I rilievi mostrano che l'area a sfalcio ridotto è al momento la più ricca in specie, suggerendo che una gestione estensiva favorisca la biodiversità vegetale; nei micro-rilievi tra interfila, sotto pannello e margini non emergono ancora differenze nette, plausibilmente per la recente attivazione dell'impianto, a conferma dell'importanza di un monitoraggio di lungo periodo.
- **Fauna:** la fauna è monitorata in continuo in funzione del tempo con due diverse attività, legate alla presenza di chirotteri e di avifauna. Per studiare l'abbondanza, la diversità e l'attività dei chirotteri all'interno dell'impianto sono state usate tecniche di monitoraggio bioacustico (Figura 16e), raccogliendo i dati ante-operam, post-operam e durante la fase operativa, durante la stagione estiva, e confrontati con dati da aree di controllo agricole limitrofe. L'avifauna è invece monitorata da quando l'impianto è entrato in funzione, in continuo, tramite telecamera interfacciata con un sistema di intelligenza artificiale per l'identificazione automatica delle specie in relazione alla gestione del sito (Figure 16 f e 16g). Le analisi bioacustiche preliminari non evidenziano variazioni significative dell'attività dei chirotteri tra ante- e post-operam all'interno dell'area fotovoltaica, mentre l'attività risulta maggiore nelle aree aperte circostanti: ciò rafforza la necessità di zone buffer prive di moduli (prati melliferi, siepi, filari arborei), integrate alla matrice agricola e connesse al mosaico di habitat.

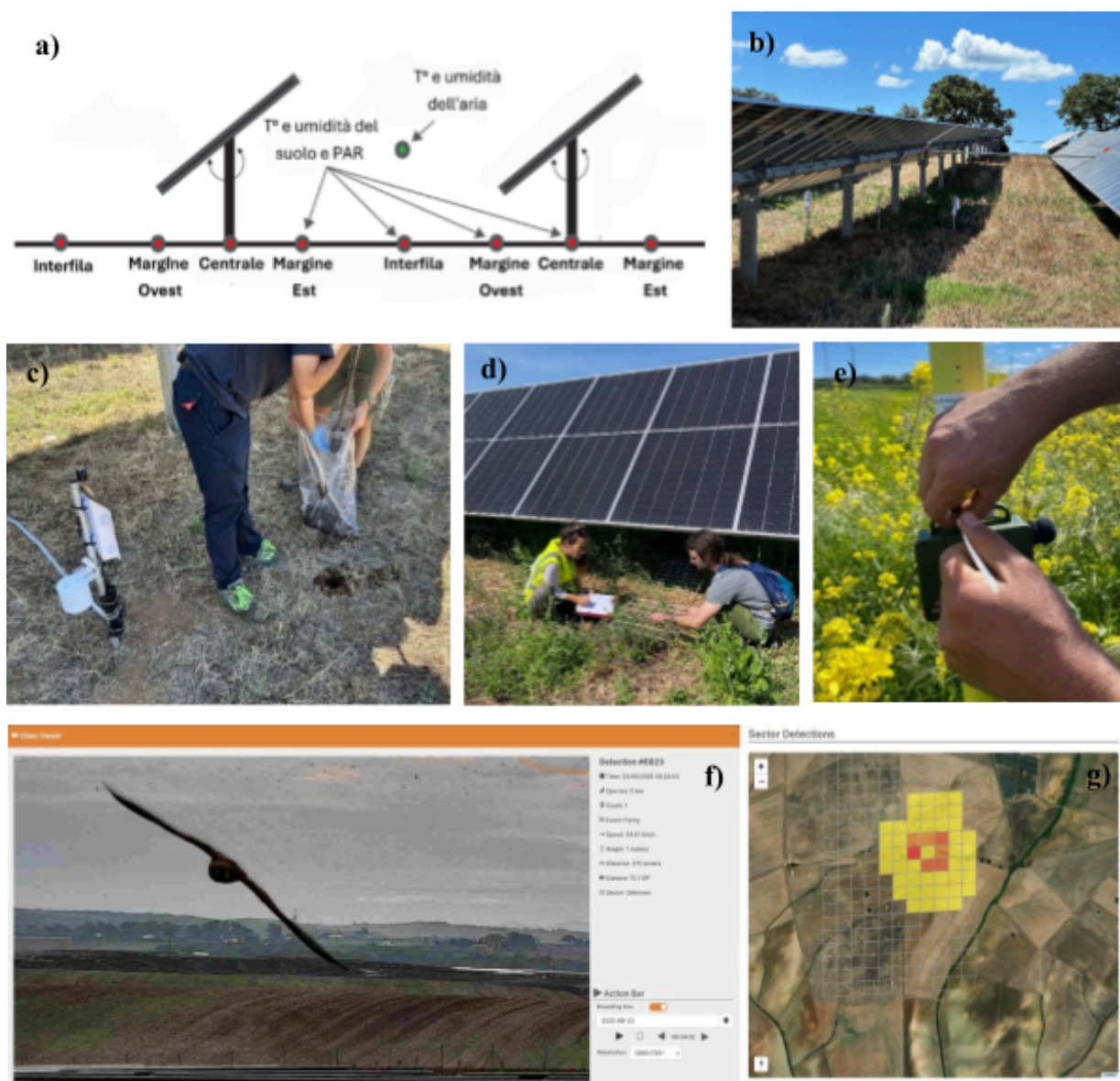


Figura 16 - Schema di posizionamento dei sensori per la misura dei parametri microclimatici nell'impianto di Montalto di Castro (a), e fotografie dei sensori collocati in corrispondenza dei moduli fotovoltaici (b); attività di monitoraggio del suolo per analisi chimiche, fisiche e biologiche in laboratorio (c); attività di monitoraggio floristico con quadrat all'interno dell'impianto (d); dispositivi di monitoraggio bioacustico (e); monitoraggio dell'avifauna tramite telecamere con intelligenza artificiale: rilevamento di un corvo in volo (f) e heatmap dei settori con maggiore frequenza di rilevamenti (g)



Figura 17 - Schema metodologico e principali risultati attesi del progetto pilota di Montalto di Castro, articolato su diversi target di monitoraggio (uso del suolo, microclima, salute del suolo, vegetazione e fauna) per valutare gli effetti degli impianti fotovoltaici su suolo come NbS

Nel pieno rispetto di un approccio NbS, il monitoraggio messo in atto per l'impianto di Montalto di Castro considera anche gli impatti economici e sociali dell'impianto, fondamentali per definire la sostenibilità complessiva dell'intervento. Le valutazioni in corso e previste si concentrano su tre ambiti chiave:

- **reddito agricolo generato**, grazie alla coltivazione di foraggi nell'interfila, che consente di mantenere una parziale produttività agricola e valorizzare l'uso multifunzionale del suolo
- **coinvolgimento degli stakeholder**, monitorato in termini di partecipazione alle fasi progettuali e gestionali, e di potenziale sviluppo di attività agricole multifunzionali compatibili con l'impianto, come apicoltura, pascolo controllato o colture, da promuovere in collaborazione con realtà territoriali
- **valorizzazione paesaggistica dell'area**, avviata attraverso l'impianto di olivi e oleandri lungo il perimetro e la conservazione di elementi agricoli identitari, la cui efficacia sarà valutata anche in relazione alla percezione visiva e paesaggistica da parte della comunità

Il progetto sottolinea un approccio multidisciplinare e collaborativo, coinvolgendo un'ampia rete di ricercatori e istituzioni accademiche. I partner principali includono Infrastrutture S.p.A., l'Università degli studi della Tuscia, l'Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IRET), l'Università degli studi di Pavia, l'Università degli studi del Salento e la University of East London. Tale collaborazione riflette l'importanza di un'analisi scientifica integrata per massimizzare i benefici ecologici degli impianti fotovoltaici e promuovere una coesistenza sostenibile tra tecnologia e natura.

Il sito sperimentale di Montalto di Castro si configura come un esempio pilota per valutare il potenziale degli impianti fotovoltaici installati su suolo come NbS, attraverso una combinazione di metodologie di monitoraggio e analisi ambientale.

3.1 Caso studio Bastardo

Caratteristiche generali dell'impianto

L'impianto fotovoltaico di Bastardo, di proprietà di Enel Green Power SpA, è sito nel comune di Gualdo Cattaneo (PG), in Umbria, ha una capacità di circa 1 MWp ed un layout di tipo fisso, con inclinazione di 30°, con moduli fotovoltaici bifacciali. L'esercizio dell'impianto è stato avviato nel 2023.

Buone pratiche adottate

Nel 2023 è stata avviata una sperimentazione, prevista in fase autorizzativa, su alcune buone pratiche a supporto della salvaguardia della biodiversità e dell'incremento dei servizi ecosistemici:

- creazione di habitat per impollinatori domestici e selvatici, attraverso l'introduzione di 4 arnie (Figura 18a e 18b), di cui una didattica, dotata di sensori di temperatura, umidità, suono e peso, di 5 "hotel" per impollinatori selvatici e di 12 sensori acustici per il censimento degli impollinatori
- semina di specie mellifere con fioritura scalare da aprile ad ottobre (Figura 18c e 18d) scelte in base alle caratteristiche del sito, sia in un'area marginale inutilizzata (elicriso, nepitella e cisto), sia nei corridoi tra le file di moduli fotovoltaici (timo, salvia e rosmarino)
- impianti di specie vegetali per carbon farming (Figura 18e), con elevato sviluppo di biomassa, apporto di materia organica ed elevata capacità di stoccaggio di CO₂
- adozione di pratiche di agricoltura sostenibile: minimizzazione delle lavorazioni del terreno, utilizzo di fertilizzanti organici e di teli di pacciamatura biodegradabili (Figura 18f e 18g)



Figura 18 - Arnio (a) e “hotel” per impollinatori selvatici con sensori acustici per il monitoraggio degli impollinatori (b); impianti di salvia (c) e di nepitella (d), impianto di specie vegetali per il carbon farming (e); impiego di teli pacciamanti biodegradabili (f e g) nell’impianto fotovoltaico di Bastardo (EGP, Italia)

Monitoraggio integrato ambientale, economico e sociale

Le diverse sperimentazioni portate avanti all'interno dell'impianto fotovoltaico di Bastardo sono state studiate per realizzare un vero e proprio laboratorio a cielo aperto nell'impianto stesso, per dimostrare a 360° le potenzialità che un impianto fotovoltaico installato su suolo offre in termini di salvaguardia della biodiversità e di incremento dei servizi ecosistemici.

Le principali matrici valutate nel corso delle sperimentazioni sono elencate di seguito.

- **Uso del suolo:** analisi prima e dopo le installazioni con immagini satellitari per valutare le variazioni nel tempo.
- **Microclima:** misurazioni di temperatura e umidità ambiente, di radiazione solare, direzione e velocità del vento, quantità di pioggia, per rilevare gli effetti della presenza dei moduli fotovoltaici sul microclima locale.
- **Salute del suolo:** analisi chimiche, fisiche e biologiche su campioni prelevati periodicamente per valutare qualità, fertilità e funzionalità ecologica; rilievi di temperatura, umidità e conducibilità elettrica mediante sensoristica dedicata, in diverse condizioni (copertura vegetale, teli di pacciamatura di diverso tipo).
- **Carbonio stoccato nel suolo:** valutazione delle performance delle specie vegetali selezionate in termini di stoccaggio totale di carbonio nel suolo.
- **Gestione dell'acqua:** valutazione del risparmio idrico legato alla interazione tra i moduli fotovoltaici e le colture implementate.
- **Vegetazione:** rilievi sulla biomassa presente in sito prima e dopo l'implementazione delle specie vegetali per monitorare ricchezza floristica, copertura e diversità, con prelievi in situ e/o rilievi da immagini satellitari.
- **Fauna:** 1) Impollinatori: monitoraggio con sensoristica dedicata per misurare la presenza e l'attività degli impollinatori domestici e selvatici (rilievi bioacustici, misura della temperatura, umidità, peso e suono degli alveari), sensori acustici per il censimento degli impollinatori domestici e selvatici. Valutazione dell'abbondanza degli impollinatori, della disponibilità di fiori e dell'idoneità alla nidificazione degli impollinatori. 2) Meso-fauna: da valutare, mediante analisi e-DNA, la numerosità e il peso della popolazione di lombrichi, fondamentali per la salubrità del suolo. Valutazione dell'indice di Qualità Biologica del Suolo, basato sui micro-artropodi (indice QBS-ar).

È rilevante sottolineare che sono stati registrati miglioramenti significativi degli indicatori relativi alla biodiversità del sito rispetto al periodo antecedente l'avvio della sperimentazione. In particolare, sono stati misurati i seguenti risultati: incremento del 75% dell'abbondanza degli impollinatori, del 74% della disponibilità di fiori e del 3,2% dell'idoneità alla nidificazione degli impollinatori. Le arnie sono risultate essere vitali e attive, con una produzione di miele nella norma.

Il sistema di monitoraggio adottato comprende anche gli impatti economici e sociali delle sperimentazioni, che danno una dimensione complessiva della sostenibilità delle soluzioni adottate. Le valutazioni in corso e previste si concentrano su due ambiti chiave:

- reddito agricolo generato, grazie all'uso multifunzionale del suolo, realizzato attraverso la coltivazione di erbe aromatiche nei corridoi dell'impianto fotovoltaico e in un'area marginale, dove sono state piantate anche specie mellifere ed è stata avviata la produzione di miele.
- coinvolgimento degli stakeholder già a partire dalle fasi di progettazione delle sperimentazioni e poi nella gestione (agricoltore e apicoltore locali, Università, start-up).

Bibliografia

Commissione Europea. (2023). *Nature Restoration Regulation*. Disponibile su: [Nature Restoration Regulation](#)

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale (Codice dell'Ambiente)*. Parte II — Procedimenti per la Valutazione Ambientale Strategica (VAS), per la Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC). Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n.88 del 14 aprile 2006 e s.m.i.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale (Codice dell'Ambiente)*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n.88 del 14 aprile 2006 e s.m.i.

Decreto Legislativo 3 marzo 2014, n. 49. *Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n.73 del 28 marzo 2014.

European Commission – EC. (2021a) Evaluating the impact of nature-based solutions: a handbook for practitioners, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577>

European Commission – EC. (2021b) Evaluating the impact of nature-based solutions: appendix of Methods, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/11361>

GSE - Gestore dei Servizi Energetici (2023). *Istruzioni operative per la gestione dei RAEE provenienti da moduli fotovoltaici incentivati*. Disponibile su: <https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/conto-energia/gestione-moduli>

GSE. (2024). *Solare Fotovoltaico - Rapporto Statistico 2023*. Gestore dei Servizi Energetici.

Bibliografia

Living planet report 2016”, WWF, ottobre 2016

M. Fagnano, N. Fiorentino, D. Visconti, G.M. Baldi, M. Falce, M. Genovese, M. Di Blasi, Effects of a Photovoltaic Plant on Microclimate and Crops’ Growth in a Mediterranean Area, *Agronomy* 2024, 14(3), 466

Ministero dello Sviluppo Economico & Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. (2017). *Strategia Energetica Nazionale 2017 (SEN)*. Disponibile su: [Strategia Energetica Nazionale 2017](#)

Piano Nazionale per l'Energie e il Clima, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, giugno 2024

Prassi di Riferimento UNI/PdR 148:2023, Una prassi di riferimento per i sistemi agrivoltaici

R.R. Hernandez, S.B. Easter, M.L. Murphy-Mariscal, F.T. Maestre, M. Tavassoli, E.B. Allen, C.W. Barrows, J. Belnap, R. Ochoa-Hueso, S.Ravi, M.F. Allen, Environmental impacts of utility-scale solar energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014) 766–779

Report fotovoltaico Q4 2024, Italia solare, febbraio 2025

UNEA - United Nations Environment Assembly of the United Nations Environment Programme. (2022). *Resolution 5. Fifth session 'Nature-based solutions for supporting sustainable development'*. Nairobi. 7 March 2022

V. Hernández, M. Genovese, M. Di Blasi, Roberto Andrès, J. Cos, F. Contreras, A. Guevara, P. Hellin, P. Flores, Agrivoltaic in a Semi-Aride Climate: Co-Existence of Agricultural Activities in Utility-Scale Plants of EGP for Multiple and Sustainable Land Use, Vol. 1 (2022): AgriVoltaics World Conference 2022