

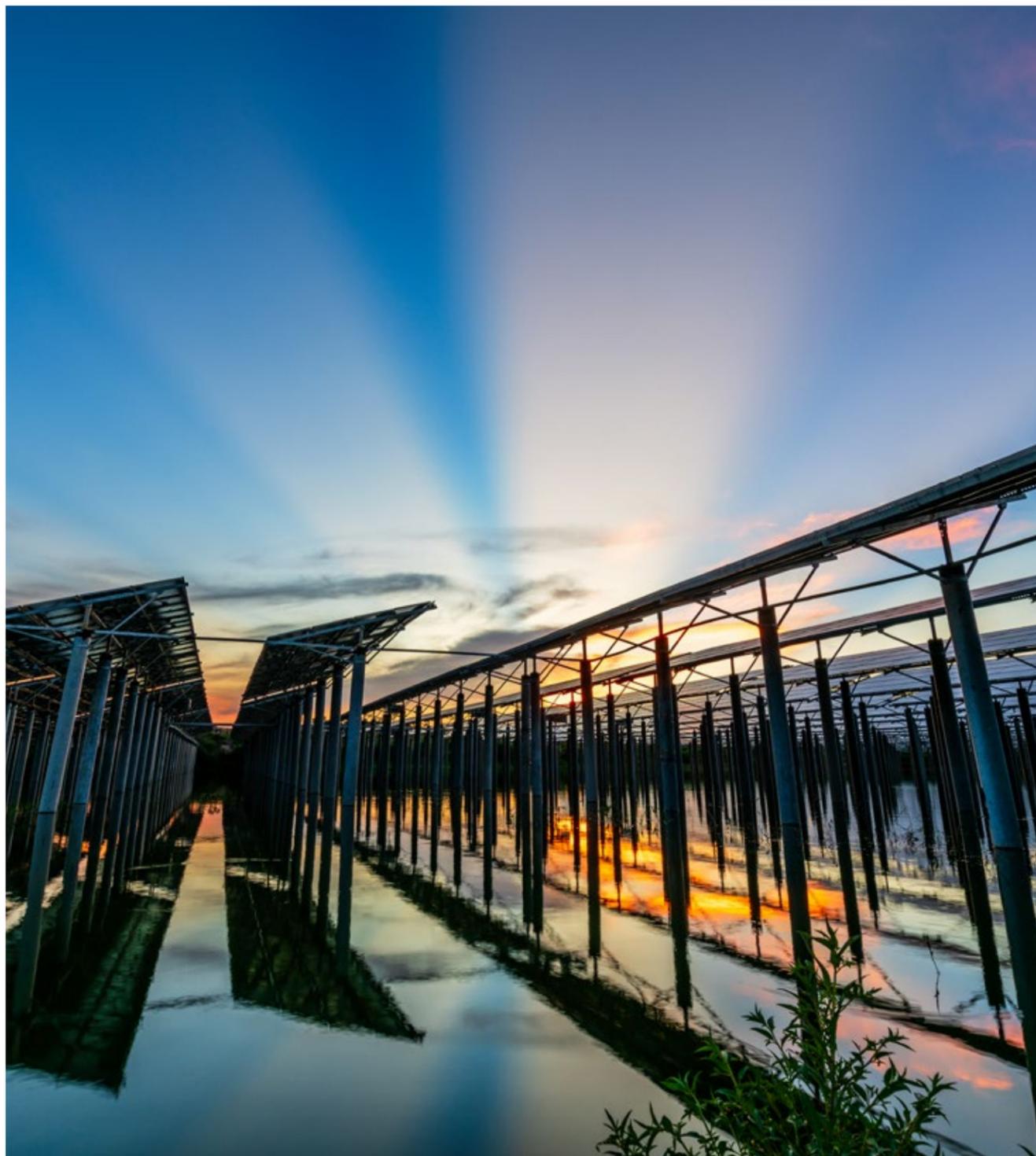


WWF

ITALIA

The background of the entire page is a photograph of a large array of solar panels. The panels are arranged in a grid pattern and are tilted towards the sun. The sky above is a mix of blue and orange, with scattered white clouds, suggesting a sunset or sunrise. The overall tone is bright and optimistic.

**UN'ENERGIA
CHE FA BENE ALLA NATURA:
I BENEFICI DEL FOTOVOLTAICO
PER LA BIODIVERSITÀ**



A cura di
Valerio Renzoni - WWF Italia

Revisione testi
Massimiliano Varriale - WWF Italia, Franco Ferroni - WWF Italia, Gianluca Catullo - WWF Italia

Supervisione
Mariagrazia Midulla - WWF Italia

Progetto grafico
Arimaslab

Indice

INTRODUZIONE	4
1. CAMBIAMENTO CLIMATICO E PERDITA DI BIODIVERSITÀ: UN CIRCOLO VIZIOSO	5
2. IL FOTOVOLTAICO: MOTORE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA	6
3. SISTEMI CONSERVOLTAIICI: INTEGRARE LA PRODUZIONE DELL'ENERGIA ALLA TUTELA DELLA NATURA	7
4. I BENEFICI PER LE PIANTE	15
5. I BENEFICI PER GLI INSETTI IMPOLLINATORI	20
6. I BENEFICI PER IL SUOLO E LA SUA FAUNA	28
7. I BENEFICI PER I PICCOLI VERTEBRATI	30
CONCLUSIONI	34
8. INVERTIRE LA ROTTA: PRODURRE UN'ENERGIA CHE FA BENE ALL'UOMO E ALLA NATURA	34
GLOSSARIO	36
BIBLIOGRAFIA	38

INTRODUZIONE

Il binomio tra cambiamento climatico e perdita di biodiversità racchiude la sfida più grande del nostro secolo. Il cambiamento climatico sta causando gravi conseguenze in tutto il Pianeta e, insieme alla riduzione degli habitat, al sovrasfruttamento delle risorse, all'inquinamento e alla diffusione delle specie aliene è tra le principali cause della perdita di biodiversità a livello mondiale. Tale perdita di biodiversità mina la persistenza e la funzionalità di ecosistemi sani, i quali sono fondamentali, tra l'altro, anche per il naturale assorbimento e stoccaggio del carbonio. Ciò contribuisce in modo significativo alla crisi climatica che minaccia la salute del Pianeta e dei suoi abitanti, umanità compresa. Per interrompere questo circolo vizioso è anzitutto necessario intervenire direttamente alla fonte, ovvero, eliminare i combustibili fossili, principali responsabili delle emissioni di gas serra. Il testo del primo Global Stocktake¹, il meccanismo di monitoraggio sullo stato di avanzamento delle politiche climatiche e utile all'implementazione dei piani d'azione climatica deciso dalle 198 nazioni partecipanti a conclusione della ventottesima Conferenza delle Parti sul Cambiamento Climatico (COP28) ha stabilito il "transitioning away" dai combustibili fossili per raggiungere zero emissioni nette di carbonio entro il 2050. Inoltre, esistono già soluzioni energetiche che possono contribuire ad affrontare le crisi del clima e della biodiversità. Proprio per questo, lo stesso accordo impegna gli Stati a "triplicare la capacità di energia rinnovabile a livello globale e raddoppiare

la media globale del tasso annuo di miglioramento dell'efficienza energetica entro il 2030". Sebbene ogni tecnologia energetica, nel corso del suo intero ciclo di vita, determini inevitabilmente un certo impatto sulla natura, è ampiamente dimostrato che per affrontare dal punto di vista energetico la crisi del clima (e di conseguenza, anche quella della biodiversità), dobbiamo abbandonare rapidamente il sistema basato sui combustibili fossili (carbone, petrolio e gas), a favore di un sistema alternativo incentrato sulle energie rinnovabili. Se pianificate e gestite correttamente, le energie rinnovabili sono in grado di fornire una soluzione energetica non solo pulita, ma anche in armonia con la natura. Secondo le stime più recenti, negli ultimi cinque anni, la capacità produttiva annuale legata all'energia solare è quadruplicata fino a 425 GW ed è destinata a crescere di sei volte, fino a superare i 1.100 GW nel 2030, un livello che – se implementato appieno – si avvicinerebbe molto ai quantitativi necessari allo scenario di Zero Emissioni Nette, l'unico compatibile con il mantenimento della temperatura al di sotto dell'aumento di +1,5°C². Per questo motivo, è fondamentale che la necessaria rapida diffusione delle energie rinnovabili sia accompagnata, nelle politiche che la attuano, dalla tutela della natura. L'obiettivo di questo report è evidenziare che il fotovoltaico è una tecnologia energetica che, se gestita correttamente, può apportare numerosi benefici alla biodiversità dei territori coinvolti, contribuendo ad una produzione di energia compatibile con la salvaguardia della natura.



1 UNFCCC. Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA), 2023, Outcome of the first global stocktake. Draft decision -/CMA.5. Proposal by the President. <https://unfccc.int/documents/636608>
2 IEA (2024), World Energy Outlook 2024, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024?language=it>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

1. CAMBIAMENTO CLIMATICO E PERDITA DI BIODIVERSITÀ: UN CIRCOLO VIZIOSO

L'ultimo Rapporto dell'IPCC³ ha evidenziato che le attività umane, tramite l'emissione di GHG (Greenhouse Gases, gas a effetto serra), hanno "inequivocabilmente" causato il riscaldamento globale, rendendo l'ultimo decennio il più caldo mai registrato⁴. Per questo motivo, con l'Accordo di Parigi, la Comunità Internazionale ha convenuto che è necessario mantenere il riscaldamento ben al di sotto dei 2°C e di perseguire tutti gli sforzi per limitarlo a 1,5°C⁵. La soglia di +1,5°C non è casuale: infatti, al di sopra di questa, si potrebbero innescare dei pericolosi "tipping points" (punti di non ritorno), "Un livello di cambiamento nelle proprietà di un sistema oltre il quale il sistema si riorganizza, spesso bruscamente, e non torna allo stato iniziale anche se i fattori che hanno determinato il cambiamento vengono ridotti. Per il sistema climatico,

si riferisce a una soglia critica quando il clima globale o regionale passa da uno stato stabile a un altro stato stabile."⁶. Parliamo, quindi, di veri e propri limiti che, qualora venissero raggiunti e superati, potrebbero portare a cambiamenti irreversibili dei sistemi naturali interessati. Questi punti di non ritorno presentano due caratteristiche particolarmente problematiche: sono interconnessi tra loro, e hanno un ruolo fondamentale nello stoccaggio naturale delle emissioni di gas climalteranti. Ciò significa che il raggiungimento dei tipping points contribuirà ad incrementare il riscaldamento globale innescando, ancora una volta, una concatenazione di effetti che sarà sempre più complicato interrompere. Il Living Planet Report 2024 riporta che gli ultimi studi scientifici hanno evidenziato ben 25 tipping points, di cui 6 sono già ad alto rischio di

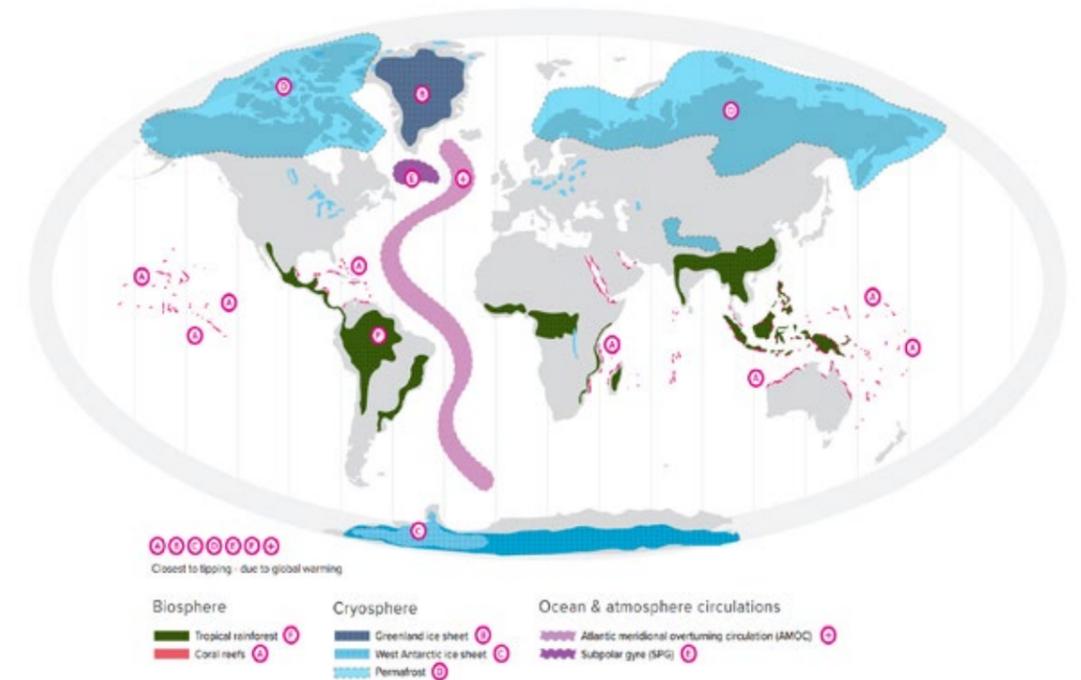


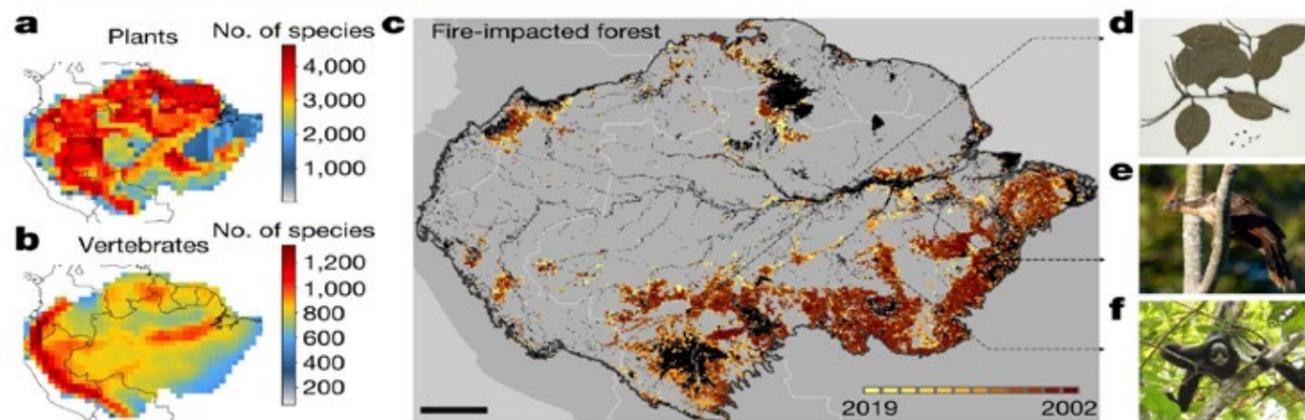
Fig. 1: A-F) I sei sistemi più vicini ai punti critici, in ordine cronologico, in base alla loro probabilità di verificarsi (WWF, Living Planet Report 2024)

3 IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001).
4 Organization, W. M. (2023). The Global Climate 2011-2020: A Decade of Accelerating Climate Change. United Nations. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789263113382>
5 Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dec. 12, 2015, T.I.A.S. No. 16-1104
6 IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562, doi: [10.1017/9781009157940.008](https://doi.org/10.1017/9781009157940.008).

raggiungimento (fig. 1)⁷. Per esempio, a causa dell'attuale riscaldamento dell'Artico, la foresta boreale del sub-artico è sempre più vulnerabile. Tale riscaldamento ha già innescato disturbi su larga scala causati dall'esplosione delle popolazioni di insetti e da un forte aumento degli incendi, che stanno portando alla distruzione delle foreste boreali nordamericane, trasformando potenzialmente queste regioni da "pozzo di carbonio" a "fonte di carbonio"⁸. La gran parte di questi punti di non ritorno degli ecosistemi sono strettamente correlati alla biodiversità, sia che si tratti dell'abbondanza delle specie o di poche specie importanti dal punto di vista funzionale. La biodiversità contribuisce alla stabilità ecologica e climatica della Foresta Amazzonica, la quale, a causa del cambiamento climatico, è sempre più soggetta a fenomeni di siccità. Gli impatti negativi delle attività umane, ed in particolare della deforestazione e degli incendi, esacerbati dagli effetti del cambiamento climatico, continueranno

probabilmente ad aumentare nel tempo, accelerando così la riduzione della copertura forestale⁹. È stato stimato che una perdita del 20-25% della copertura forestale totale nel bacino amazzonico potrebbe essere sufficiente a innescare un punto di non ritorno nel cambiamento di stato dalla foresta tropicale (nell'Amazzonia orientale, meridionale e centrale), verso formazioni simili a savane¹⁰. Un cambiamento di tale portata ha effetti catastrofici sulla biodiversità regionale (fig. 2)¹¹. Circa 2,5 × 10⁶ chilometri quadrati di foresta amazzonica (il 38% di tutte le foreste rimaste nella regione) sono attualmente degradati da incendi, deforestazione, frammentazione di habitat, estrazione di legname e/o siccità estrema. Risulta evidente, quindi, che senza considerare la natura (e i servizi ecosistemici che essa fornisce), gli sforzi per la transizione verso un sistema energetico a zero emissioni potrebbero non essere sufficienti a raggiungere gli obiettivi che abbiamo prefissato.

From: How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity



(Feng et al., 2021)

Fig. 2: a) Mappa della ricchezza di specie di piante e b) mappa della ricchezza di specie di vertebrati in Amazzonia; c) Aree della foresta Amazzonica impattate dagli incendi (Scale bar: 500 km); d-f) esempi di 3 specie: *Allantoma kuhlmannii* (d) (IUCN status: critically endangered), *Opisthocomus hoazin* (hoatzin) (e) (IUCN status: least concern) and *Ateles marginatus* (white-cheeked spider monkey) (f) (IUCN status: endangered), che hanno visto ridurre il proprio areale di 36.7–37.7%, 1.8–2.6% e 4.1–5.9% rispettivamente.¹⁴

2. IL FOTOVOLTAICO: MOTORE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA



Fortunatamente, ad oggi esistono già soluzioni energetiche che possono contribuire realisticamente ad affrontare le crisi del clima e della biodiversità. La comunità scientifica sottolinea che per rimanere entro la soglia del 1,5°C è necessario raggiungere il "Net Zero" (equilibrio tra la quantità di gas serra prodotti dalle attività umane e la quantità rimossa dall'atmosfera) entro il 2050. Il WEO-2023 (World Energy Outlook 2023) redatto dall' IEA (International Energy Agency), organizzazione intergovernativa internazionale che si occupa di energia, ha evidenziato la necessità di triplicare la capacità rinnovabile globale entro il 2023¹², oltre alla chiara esigenza di incrementare fortemente l'efficienza energetica. Le energie rinnovabili dovranno rappresentare, quindi, ben oltre il 70% della produzione elettrica globale entro il 2050. Una rapida diffusione delle rinnovabili sarà fondamentale per la transizione energetica che il mondo dovrà attuare. Per quanto riguarda l'energia solare, in particolare, non stiamo parlando di una novità. La sua centralità nel percorso di transizione energetica globale è ampiamente riconosciuta e già in atto da molto tempo: negli ultimi 40 anni, grazie al progresso tecnologico e alle curve di apprendimento della tecnologia, i prezzi del fotovoltaico sono scesi di oltre due ordini di grandezza con un parallelo crollo del costo medio globale dell'energia prodotta dai nuovi impianti fotovoltaici che, per gli impianti utility scale, è sceso dell'88%¹³ nel periodo 2010-2021 passando da 0,417 a 0,048 dollari USA per kWh. La produzione di energia rinnovabile, entro il 2025, è

destinata a superare quella del carbone divenendo la prima fonte di energia a livello globale.¹⁴ Dal canto suo, anche l'Europa ha adottato, all'interno del pacchetto di riforme "Fit for 55", l'aggiornamento della direttiva UE sulle energie rinnovabili, che mira ad aumentare la quota rinnovabile nel mix energetico dell'UE. Nel settembre 2023, il Parlamento europeo ha approvato il nuovo obiettivo del 42,5% di energie rinnovabili entro il 2030. Anche nel vecchio continente, il fotovoltaico è in crescita esponenziale: secondo il report di Solar Power Europe continua a crescere, segnando per il 2023 un altro anno record nell'UE: il parco fotovoltaico totale ammonta ora a 263 GW, con un aumento del 27% rispetto al 2022 (fig. 3). L'aumento delle ambizioni nazionali in materia di energia solare ha innalzato l'obiettivo aggregato dei diversi Piani Nazionali per l'Energia e il Clima (National Energy and Climate Plans, NECPs) del 76%, portandolo a 591 GW entro il 2030 a livello europeo. Un forte incremento che, tuttavia, è ancora significativamente inferiore all'obiettivo di 750 GW fissato da REPowerEU¹⁵. Anche in Italia è possibile fare molto di più. Il nuovo PNIEC ha fissato per il solare un obiettivo di 61 GW aggiuntivi (131 GW rinnovabili totali) rispetto alla capacità installata a maggio 2024, con una copertura del 69% della produzione lorda di energia elettrica. Purtroppo, tali obiettivi risulterebbero assolutamente insufficienti se inquadrati negli impegni dell'Italia sulla decarbonizzazione del sistema elettrico al 2035, per esempio quelli assunti a più riprese all'interno dei G7 (2021-2023)¹⁶ e ribaditi addirittura nell'ultimo

7 WWF (2024) Living Planet Report 2024 – A System in Peril. WWF, Gland, Switzerland
8 Walker, X. J., Baltzer, J. L., Cumming, S. G., Day, N. J., Ebert, C., Goetz, S., Johnstone, J. F., Potter, S., Rogers, B. M., & Schuur, E. A. (2019). Increasing wildfires threaten historic carbon sink of boreal forest soils. *Nature*, 572(7770), 520–523.
9 Malhi, Y., Aragão, L. E., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, R., Zelazowski, P., Sitch, S., McSweeney, C., & Meir, P. (2009). Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20610–20615.
10 Lovejoy, T. E., & Nobre, C. (2018). Amazon tipping point. *Science advances*, 4(2), eaat2340.
11 Feng, X., Merow, C., Liu, Z., Park, D. S., Roehrdanz, P. R., Maitner, B., Newman, E. A., Boyle, B. L., Lien, A., Burger, J. R., Pires, M. M., Brando, P. M., Bush, M. B., McMichael, C. N. H., Neves, D. M., Nikolopoulos, E. I., Saleska, S. R., Hannah, L., Breshears, D. D., ... Enquist, B. J. (2021). How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity. *Nature*, 597(7877), 516–521. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03876-7>

12 IEA (2023), World Energy Outlook 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)
13 Renewable Power Generation Costs in 2021 (IRENA, 2021); <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>.
14 IEA (2024), Renewables 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>, Licence: CC BY 4.0
15 SolarPower Europe (2023): EU Market Outlook for Solar Power 2023-2027
16 https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/11/06/news/decarbonizzazione_piano_italia-419402707/

di questi, svoltosi a Torino e guidato proprio dalla Presidenza Italiana. Secondo lo studio commissionato da WWF, Greenpeace e Legambiente e condotto da ECCO-Artelys su commissione di WWF Italia e altre associazioni ambientaliste, il raggiungimento di questo obiettivo al 2035 richiederebbe una potenza rinnovabile di 148 GW al 2030, con una quota del 75% sulla produzione elettrica lorda¹⁷. Per quanto riguarda il solare, specificatamente, il Piano prevede un aumento del 55% rispetto al precedente obiettivo di 51 GW, con il raggiungimento di una capacità totale di circa 79 GW al 2030¹⁸ e comunque nettamente inferiore a quanto stimato necessario nello studio ECCO-Artelys o nelle varie stime fatte da Elettricità. In ogni caso, i dati mostrano chiaramente come l'energia solare sarà, nel prossimo futuro, il vero motore della transizione energetica, a tutti i livelli (globale, europeo e nazionale), diventando la tecnologia energetica predominante. Come per tutti gli sviluppi

lo sviluppo corretto del fotovoltaico nei giusti siti, la pianificazione tempestiva è fondamentale. Nonostante tutte le tecnologie energetiche che utilizziamo abbiano un determinato impatto ambientale nel corso del loro intero ciclo di vita (come, per altro, qualsiasi attività umana), è ormai assodato che se si considera l'intera gamma di potenziali impatti ambientali, la produzione e l'accumulo di energia da fonti rinnovabili, ed in particolare quella del fotovoltaico, è decisamente più compatibile con la natura rispetto a qualsiasi altra tecnologia energetica (in particolare, rispetto all'utilizzo di combustibili fossili), ma non solo: se correttamente pianificata e gestita, può apportare grandi benefici all'ambiente e alla biodiversità. Nei prossimi capitoli verranno approfonditi i benefici già evidenziati da molti studi scientifici effettuati negli ultimi anni, che gli impianti fotovoltaici possono apportare alla biodiversità, a livello di diverse comunità vegetali e animali.

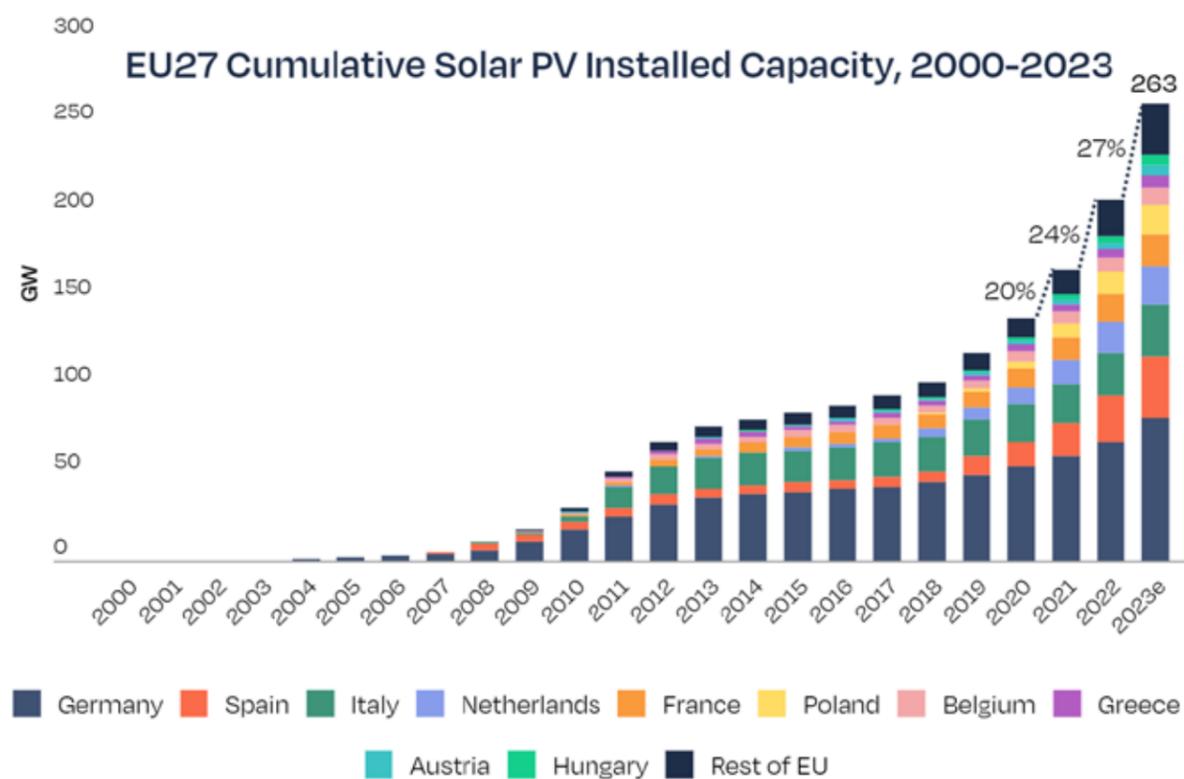


Fig.3: Capacità installata totale in Europa (Solar Power Europe 2023).

su larga scala, è altrettanto evidente che per garantire

¹⁷ <https://eccoclimate.org/it/scenario-di-decarbonizzazione-del-sistema-elettrico-italiano-entro-il-2035/>
¹⁸ <https://www.mase.gov.it/comunicati/clima-energia-litalia-ha-inviato-il-pniec-bruxelles>

3. SISTEMI CONSERVOLTAICI: INTEGRARE LA PRODUZIONE DELL'ENERGIA ALLA TUTELA DELLA NATURA

Di fronte alla richiesta di un'espansione di energie rinnovabili che siano sempre più compatibili con la natura e l'ambiente, gli impianti solari offrono l'opportunità, sotto moltissimi punti di vista, di contribuire positivamente alla conservazione della biodiversità. Non a caso, negli ultimi anni, si sta diffondendo il concetto di "sistemi conservoltaici"¹⁹: si tratta di impianti fotovoltaici che, grazie alla corretta pianificazione delle strutture dell'impianto e alla gestione naturalistica dello stesso, permettono di ottenere numerosi effetti sinergici tra la conservazione della biodiversità e la produzione di energia rinnovabile (fig. 4). Soprattutto laddove il terreno di partenza è già in un contesto degradato, come in diversi contesti agricoli, l'utilizzo del territorio per impianti solari si potrebbe considerare doppiamente positivo, in quanto può portare non solo alla produzione di energia rinnovabile, ma anche a un aumento del valore del territorio in termini di conservazione della biodiversità. Certamente, le caratteristiche di un impianto fotovoltaico

che possono influenzare l'habitat circostante sono diverse: dalla struttura dei pannelli (dimensioni e altezza dei pannelli, distanza tra le file di pannelli), alle pratiche gestionali dell'impianto (non gestito oppure integrato ad attività di coltivazione o di pascolo come nell'agrivoltaico). Per questo, soprattutto negli ultimi anni, sono stati effettuati molti studi dalla comunità scientifica per valutare gli effetti degli impianti fotovoltaici, prendendo in esame molti di questi aspetti²⁰ (fig. 5). Talvolta, si teme che l'espansione del fotovoltaico porti a una competizione con altri usi del suolo, come accade con i terreni coltivabili. In realtà, a livello globale, l'attuale mappatura dei siti per l'eolico e il solare, indica che è sufficiente una bassa porzione di siti con un disturbo minimo per la natura (siti a basso conflitto) per raggiungere le proiezioni dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) coerenti con il contenimento dell'aumento della temperatura media globale al di sotto di 1,5°C²¹. In Italia, inoltre, secondo i dati di Elettricità Futura, la principale

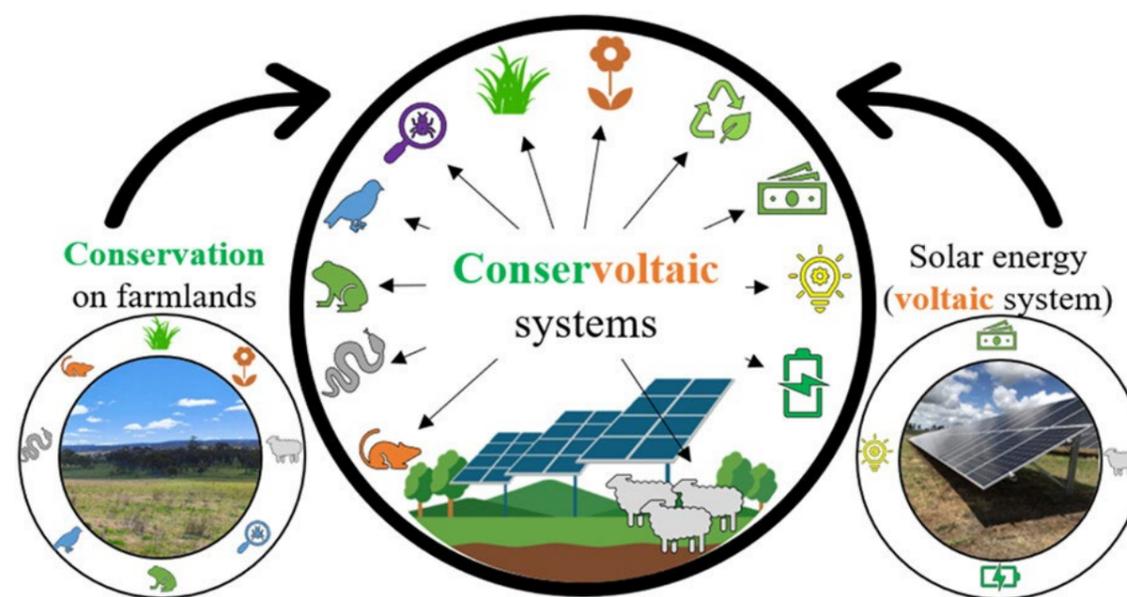


Fig. 4: modello di un sistema conservoltaico. L'integrazione di impianti solari e pratiche sostenibili può favorire l'ambiente e la biodiversità (Nordberg & Schwarzkopf, 2023)

¹⁹ Nordberg, E. J., & Schwarzkopf, L. (2023). Developing conservoltaic systems to support biodiversity on solar farms. *Austral Ecology*, 48(3), 643–649. <https://doi.org/10.1111/aec.13289>
²⁰ Lafitte, A., Sordello, R., Ouédraogo, D.-Y., Thierry, C., Marx, G., Froidevaux, J., Schatz, B., Kerbirou, C., Gourdain, P., & Reyjol, Y. (2023). Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: A systematic map with critical appraisal of study validity. *Environmental Evidence*, 12(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13750-023-00318-x>
²¹ CleanAction (2023). "Nature-safe Energy: Linking energy and nature to tackle the climate and biodiversity crises" Report. https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/cleanaction_nature_safe_energy_report.pdf

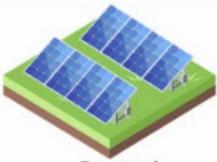
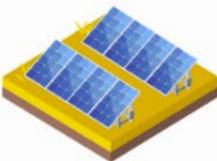
Type of comparator	Illustrated example	Other examples
Presence	 	<ul style="list-style-type: none"> Under PV panels, between PV panels and in open areas within USSE facilities Inside USSE facilities and in reference natural habitats outside USSE facilities With or without PV panels
Management	 	<ul style="list-style-type: none"> Grazing Mowing Rehabilitation with different seed mixes Conventional roof and green roof PV panel cleaning
Type of PV installation	 	<ul style="list-style-type: none"> Different sizes and shapes Different heights Different inter-row widths (i.e. packing factor) Different tracking systems Different technologies Different angles Different orientations
Construction or Presence & Construction	   → t (time)	<ul style="list-style-type: none"> Changes of land use Alteration of habitat quality Changes in habitat connectivity
Context	 	<ul style="list-style-type: none"> Different locations Different climatic zones Different pre-installation habitats Different surrounding habitats

Fig. 5: esempio delle principali caratteristiche degli impianti fotovoltaici di cui va tenuto conto in fase di gestione e di progettazione per rendere questa tecnologia vantaggiosa per la natura (Lafitte et al., 2023)

Associazione della filiera industriale nazionale dell'energia elettrica, per raggiungere il target sottoscritto dall'Italia al G7 di triplicare le rinnovabili servirebbe meno dell'1% dei terreni agricoli. Considerato che la maggior parte degli impatti del fotovoltaico dipende dal contesto, gli sforzi della ricerca dovrebbero essere investiti in contesti e componenti dell'ecosistema come agroecosistemi, praterie o arbusteti in climi continentali o l'efficacia dell'agrivoltaico in climi aridi e continentali.²² Dal punto di vista della conservazione della natura e della tutela

dell'ambiente, però, è importante sottolineare che queste preoccupazioni sono molto spesso infondate, soprattutto nelle aree agricole. Di tutta la terra abitabile circa il 37,5% è utilizzata per l'agricoltura²³. I sistemi di produzione vegetale comportano un significativo cambiamento nella diversità biologica, oltre a modifiche del suolo, dell'acqua e della topografia, e sono gestite con pratiche come la lavorazione del terreno, la fertilizzazione, l'irrigazione e l'uso di pesticidi, che alterano notevolmente le reti alimentari e più in generale gli ecosistemi, tendendo a

22 Gómez-Catasús, J., Morales, M. B., Giralt, D., del Portillo, D. G., Manzano-Rubio, R., Solé-Bujalance, L., ... & Bota, G. (2024). Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps. *Conservation Letters*, e13025.

23 Follett, P. A., Bruin, J., & Desneux, N. (2020). Insects in agroecosystems—an introduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(1), 3-6.

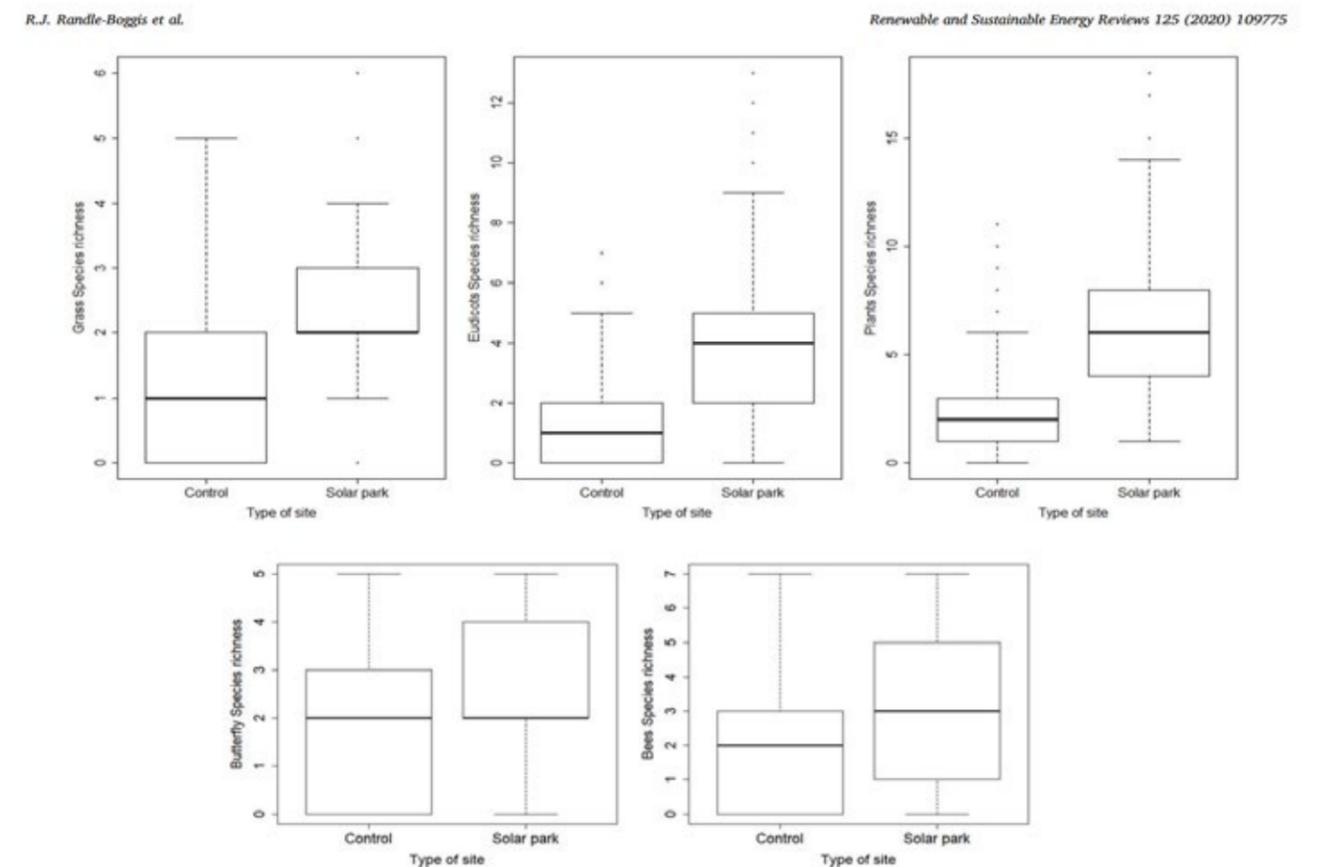


Fig.6: Confronti tra la ricchezza di specie di piante, erbe, eudicotiledoni, api e farfalle tra i siti di controllo e i parchi solari. La ricchezza di specie di piante, erbe, eudicot, api e farfalle è risultata maggiore nei parchi solari rispetto ai siti di controllo. (Randle-Boggis et al., 2020)⁶

semplificarli tramite il processo di degradazione e frammentazione degli habitat. Tali fattori, che rendono il settore agroalimentare la principale causa di perdita della biodiversità (addirittura, secondo il rapporto "Food System Impacts on Biodiversity Loss" dell'UNEP²⁴, l'agricoltura da sola rappresenta una minaccia per 24.000 delle 28.000 specie a rischio di estinzione), non hanno quasi alcun ruolo nella gestione dei terreni dedicati agli impianti solari. Un primo potenziale benefico degli impianti fotovoltaici deriva proprio dalla differente gestione dei terreni coinvolti rispetto ad altre attività, come per esempio quella agricola. Infatti, nei terreni interessati dagli impianti, molto spesso non è necessario utilizzare grandi quantità di fertilizzanti o pesticidi, né si cerca di ottenere la massima resa attraverso sfalci precoci e frequenti. In un'ottica di conservazione della biodiversità, questo tipo di utilizzo del suolo può essere certamente vantaggioso rispetto ad altri usi produttivi. Considerando che spesso questi impianti sono situati in contesti agricoli intensivi, secondo quanto riporta uno

studio pubblicato nel 2020, il potenziale di effetti positivi sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici generati da un parco solare è potenzialmente superiore a quello di ogni altro cambiamento di utilizzo del suolo²⁵. Per giungere a questa conclusione, i ricercatori hanno effettuato delle rilevazioni presso 9 impianti fotovoltaici. Il confronto con le aree circostanti, applicato per diversi gruppi animali (in particolare impollinatori) e vegetali (fig. 6), evidenzia come la biodiversità vegetale e animale sia stata, in media, fortemente favorita dalla presenza dei parchi solari. Un'altra caratteristica tipica legata alla gestione di molti parchi fotovoltaici è la presenza di recinzioni per motivi di sicurezza, le quali rendono i terreni non accessibili al pubblico, fatta eccezione per la manutenzione degli impianti o per gli interventi di manutenzione occasionali (o eventualmente, per attività di coltura e/o pascolo per l'agrivoltaico): ciò significa che, in questi casi, i disturbi antropici sono in gran parte eliminati. Tra l'altro, tali recinzioni sono di solito abbastanza permeabili da consentire il passaggio di animali di dimensioni medio-

24 Benton, T. G., Bieg, C., Harwatt, H., Pudasaini, R., & Wellesley, L. (2021). Food system impacts on biodiversity loss. *Three levers for food system transformation in support of nature*. Chatham House, London, 02-03.

25 Randle-Boggis, R. J., White, P. C. L., Cruz, J., Parker, G., Montag, H., Scurlock, J. M. O., & Armstrong, A. (2020). Realising co-benefits for natural capital and ecosystem services from solar parks: A co-developed, evidence-based approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125, 109775. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109775>

piccole (come rettili, anfibi e piccoli mammiferi). Un altro aspetto che a seguito di una adeguata progettazione offre importanti benefici alla biodiversità risiede nella struttura e nel posizionamento dei pannelli: essi, infatti, proiettando ombra e modificando l'andamento delle precipitazioni al suolo sottostante, offrono l'opportunità di "creare" nuovi microclimi (fig. 7). Spesso la temperatura, la luce e l'umidità del suolo diminuiscono nelle aree sottostanti ai moduli rispetto ai terreni adiacenti: se da un lato, questo potrebbe svantaggiare alcune specie erbacee che preferiscono la luce diretta del sole, dall'altro, rappresenta un'opportunità per quelle specie più tolleranti all'ombra. Questo discorso può valere non solo per piccoli impianti, ma anche per quelli *utility scale*, ovvero su larga scala²⁶. Quindi, le ombreggiature create dai pannelli possono offrire nuove caratteristiche abiotiche che determinano la formazione di microhabitat favorevoli per piante (come quelle che gradiscono

l'ombra) che spesso fioriscono più tardi. In tali casi, è possibile garantire la presenza di fiori per gli impollinatori anche fino ai primi mesi autunnali, prolungando il periodo di impollinazione²⁷. Diversità e abbondanza di specie sono direttamente correlate alla complessità strutturale dei margini dei campi. I vantaggi della coltivazione di flora autoctona e diversificata sono numerosi. Non solo possono fornire un habitat per impollinatori, farfalle e uccelli che nidificano a terra, ma anche la densità di piante da fiore in una determinata area può essere fattore determinante per l'abbondanza di insetti impollinatori come lepidotteri, apoidei e sirfidi. Il declino dell'abbondanza di queste specie è motivo di grande preoccupazione al momento e la fornitura di fonti alimentari sufficienti è fondamentale per sostenere e promuovere le loro popolazioni nei paesaggi impattati dall'uomo. Un ulteriore incentivo per la semina di prati di fiori selvatici è rappresentato da un crescente numero di

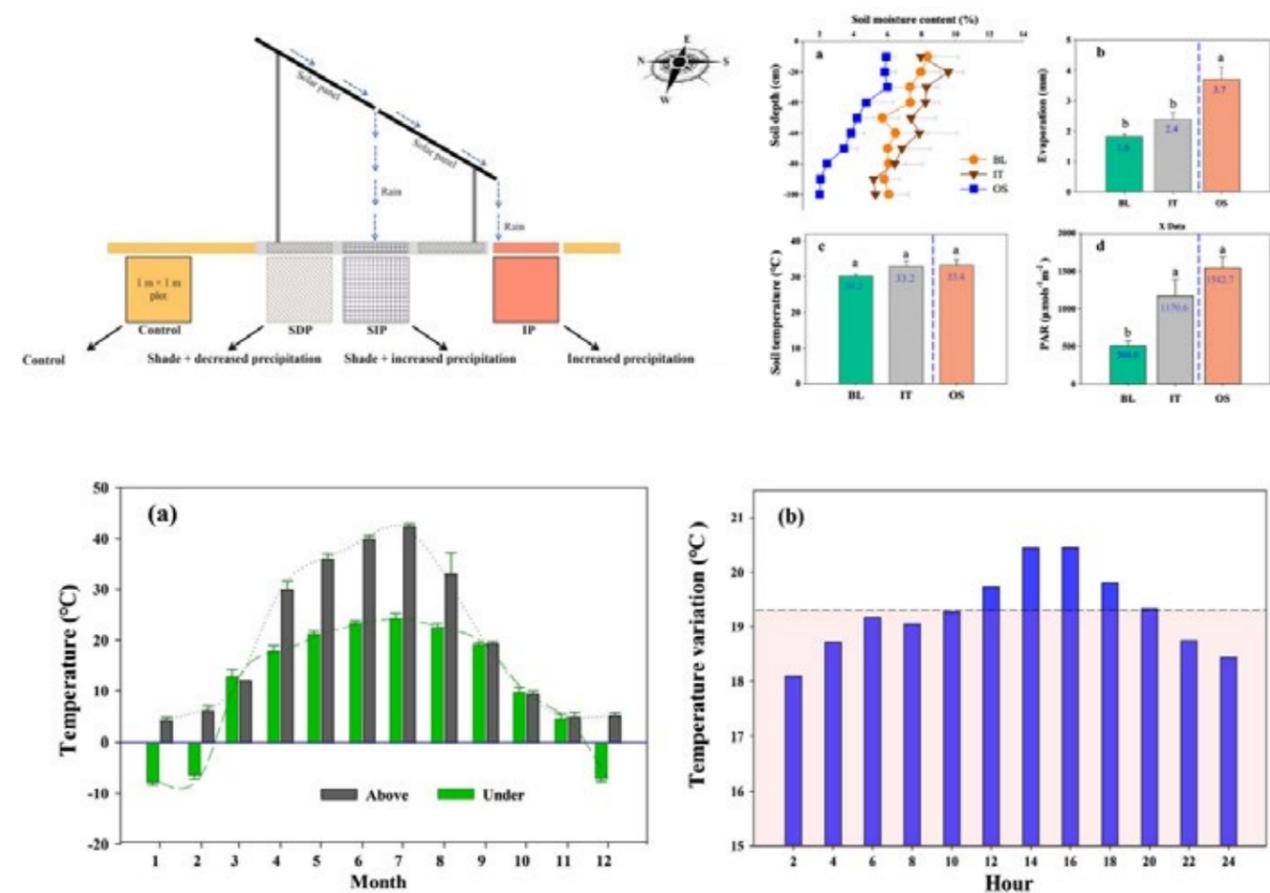


Fig.7: Le strutture dei pannelli possono variare le condizioni abiotiche generando nuovi microclimi: a) in alto a sinistra, schema della distribuzione di ombra e precipitazioni (Liu et al., 2023), b) in alto a destra, esempio delle variazioni di 'umidità del suolo (0-100 cm di profondità), temperatura del suolo, evaporazione e radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) sotto la linea dei pannelli fotovoltaici (BL), tra due file di pannelli fotovoltaici (IT) e nelle aree di controllo a 30 m dalla centrale solare (OS). Le medie con lettere diverse sono significativamente diverse ($P < 0.05$) (Liu et al., 2019). c) sotto, variazione delle temperature medie mensili e giornaliere sotto ai pannelli (Liu et al., 2019)

studi che suggerisce che quando coltivati in aree agricole, i prati possono avere un impatto diretto sulla resa di colture vicine selezionate²⁸. Anche la biodiversità a livello del suolo e del sottosuolo può beneficiare dell'installazione di un impianto fotovoltaico proprio grazie alla variazione di tali parametri abiotici (come umidità, temperatura, fotoperiodo, pH), ma anche alla particolare gestione costituita dall'assenza o minor utilizzo di fertilizzanti, insetticidi ed erbicidi, e dalla diminuzione dei disturbi dovuti all'aratura. Tali benefici possono amplificarsi a catena: per esempio, attraverso le reti trofiche. Una maggiore abbondanza di insetti e altri artropodi favorisce le specie di piccoli vertebrati come rettili, anfibi e piccoli mammiferi che se ne nutrono²⁹. Un'altra caratteristica fondamentale degli impianti fotovoltaici è la "duttilità" di un sistema di questo genere: infatti, oltre alle diverse caratteristiche strutturali (dimensioni, posizione, spazi tra file di moduli) e di pratiche integrabili (colture, allevamento), essi garantiscono la possibilità di poter prevedere strutture o aree di compensazione integrate come bacini/corsi d'acqua o cespugli e siepi, che possono essere create sia all'esterno che all'interno dei parchi fotovoltaici. In taluni casi, è possibile prevedere l'installazione di moduli flottanti che possono contribuire al fabbisogno di risorse agricole su scala locale e regionale, migliorando al contempo la qualità e l'efficienza dell'utilizzo della risorsa idrica, come già dimostrato da

alcuni impianti fotovoltaici negli USA³⁰. Tutti questi aspetti contribuiscono a rendere il fotovoltaico una tecnologia che offre una ampia gamma di soluzioni che non solo siano compatibili con la natura, ma che possano offrire, oltretutto, benefici alla biodiversità a livello di numerose comunità vegetali e animali (fig. 8).

Infine è importante evidenziare come la realizzazione degli impianti fotovoltaici, in particolare nelle aree agricole, potrebbe contribuire al raggiungimento dell'obiettivo della Strategia Europea Biodiversità 2030 che prevede di destinare almeno il 10% della superficie agricola totale ad aree dedicate alla tutela della biodiversità. Questo obiettivo della Strategia europea è stato recepito dalla Strategia nazionale Biodiversità, adottata dal nostro Paese nell'agosto 2023, che prevede in particolare con l'Azione B6.1 di "favorire la destinazione di almeno il 10% delle superfici agricole (a scala aziendale) ad elementi caratteristici del paesaggio con elevata diversità quali ad es. fasce tampone, siepi e boschetti, fasce inerbite, canali erbosi e zone umide" e con la Sotto-Azione B6.1.d) indica la necessità di "recuperare e ripristinare gli ecosistemi delle pianure adibite ad agricoltura e zootecnia intensiva e arrestare i fenomeni di abbandono degli ecosistemi agro-silvo-pastorali marginali di collina e montagna, attraverso la promozione del mantenimento di pratiche agro-zootecniche ad alta sostenibilità ambientale e



Fig.8: Alcuni esempi delle tante possibilità offerte dal fotovoltaico per conservare e beneficiare la natura e la biodiversità. A) Gli apporti d'acqua per il lavaggio dei pannelli (a sinistra) su un impianto fotovoltaico sono anche apporti alla produttività agricola sottostante (p.e. agrivoltaico), che porta a una maggiore efficienza nell'uso dell'acqua, alla prevenzione dell'erosione e al mantenimento della fertilità del suolo, alla riduzione del consumo di terra e ad altri vantaggiosi risultati tecno-ecologici. Evidente la differenza con il lavaggio dei pannelli (a destra) su un impianto in cui l'apporto idrico è diretto verso un terreno degradato, compatto e sterile, che non ottimizza i risultati ottenibili per la biodiversità; b) terreni adiacenti alle coltivazioni integrate con pannelli fotovoltaici e piantati con piante da fiore a bassa crescita per impollinatori autoctoni e gestiti che contribuiscono ad aumentare i rendimenti agricoli, a ridurre i costi di gestione (cioè di sfalcio) e a produrre miele e altri prodotti; C) esempio di impianti agrivoltaici "a perno centrale" inseriti agli angoli dei campi coltivati/pascoli producono effetti in termini di riduzione di consumo di suolo e aumento della resilienza del sistema alimentare; D) Gli impianti fotovoltaici galleggianti possono contribuire al fabbisogno di risorse agricole su scala locale e regionale, migliorando la qualità dell'acqua e l'efficienza nell'uso dell'acqua (Hernandez et al., 2019)

26 Li, Y., Kalnay, E., Motesharrei, S., Rivas, J., Kucharski, F., Kirk-Davidoff, D., Bach, E., & Zeng, N. (2018). Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation. *Science*, 361(6406), 1019–1022.
27 Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A. P., Moldenke, A. R., DeBano, S. J., Best, L. R., & Higgins, C. W. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13.

28 Solar Trade Association (2019). The Natural Capital value of solar. Eds N. Gall and E. Rosewarne.
29 Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.
30 Hernandez, R. R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore-O'Leary, K., Diédhiou, I., Grodsky, S. M., Saul-Gershenz, L., Davis, R., & Macknick, J. (2019). Techno-ecological synergies of solar energy for global sustainability. *Nature Sustainability*, 2(7), 560–568.

attraverso forme di compensazione al reddito degli agricoltori che riconoscano la salvaguardia dei servizi ecosistemici del territorio". Questi obiettivi sono tra quelli più osteggiati da alcune Associazioni agricole, insieme agli obiettivi di riduzione dell'uso dei pesticidi e fertilizzanti, perché considerano non economicamente sostenibile per le aziende agricole la riduzione delle superfici agricole utilizzate per le colture da reddito, senza una adeguata compensazione. Le superfici destinate alla tutela della biodiversità sono considerate superfici non produttive, anche se in realtà producono e mantengono servizi ecosistemici indispensabili per la stessa produzione agricola come il mantenimento del carbonio organico, la fitodepurazione delle acque, l'impollinazione e il pest control. Questa ostilità del mondo agricolo verso qualsiasi forma di riduzione della superficie agricola utilizzabile per le colture da reddito si è manifestata in particolare con l'opposizione alla norma della condizionalità della nuova Politica Agricola Comune 2023-2027 che prevedeva di destinare il 4% delle aree a seminativo ad aree per la conservazione della natura (BCAA 8) e con l'opposizione al Regolamento europeo

sul ripristino della natura, in particolare l'articolo 10 del Regolamento relativo alle aree agricole. Ad oggi, a livello nazionale, si stima che le superfici agricole destinate ad elementi caratteristici del paesaggio e alla tutela della biodiversità naturale non sono superiori al 3% del totale. Siamo pertanto molto distanti dalla percentuale del 10% indicata dalle Strategie per la biodiversità come il minimo indispensabile per assicurare il mantenimento nel medio e lungo termine dei servizi ecosistemici indispensabili per garantire alti livelli di produttività dei sistemi agricoli ed una loro resilienza ai mutamenti ambientali globali e locali. La realizzazione di impianti fotovoltaici nelle aree agricole, se correttamente pianificata e gestita, può essere una valida opzione per diversificare l'utilizzo del suolo nelle aziende agricole, contribuendo da una parte al raggiungimento degli obiettivi delle Strategie per la biodiversità, europea e nazionale, e dall'altra alla diversificazione del reddito degli agricoltori aumentando la sostenibilità economica delle aziende, rendendo i sistemi agroalimentari più resilienti agli effetti del cambiamento climatico e dell'instabilità dei mercati.



4. I BENEFICI PER LE PIANTE

Il patrimonio floristico italiano è particolarmente rilevante sia per ricchezza di specie e sottospecie (2.704 licheni, 1.209 briofite e 8.249 entità vascolari), sia per valore biogeografico. Secondo i dati aggiornati al gennaio 2022, più del 20% delle 8.249 entità della flora vascolare italiana è endemica, ovvero esclusiva del nostro territorio, e di queste, 1.164 hanno un areale ristretto a una sola regione³¹. La valutazione IUCN su 2.430 entità vascolari evidenzia che 54 specie (2,2% delle entità valutate) sono estinte o probabilmente estinte. 590 entità (24,3% delle entità valutate) sono a rischio di estinzione. La recente Lista Rossa nazionale della flora vascolare mostra che le pressioni più comuni che minacciano le specie vegetali italiane sono le modifiche dei sistemi naturali (il 39% dei 2.430 taxa valutati sono soggetti a questa forma di pressione); al secondo posto si colloca invece lo sviluppo agricolo (27%)³². Con la Convenzione sulla Biodiversità di Rio de Janeiro del 1992, la biodiversità è stata riconosciuta come un patrimonio da salvaguardare e da arricchire: per questo, per contrastare il suo continuo declino causato dalla distruzione degli habitat naturali e dal cambiamento climatico, la comunità scientifica ha spinto la ricerca a sviluppare sistemi per la creazione ed il recupero degli habitat naturali. In questo senso, diversi studi hanno preso in esame gli effetti, e quindi i potenziali benefici, degli impianti solari per le comunità vegetali, essendo queste la base degli ecosistemi. È noto, infatti, che la presenza dei moduli (come quella di qualsiasi struttura), possa apportare delle variazioni dei parametri ambientali nelle aree sottostanti, come la temperatura superficiale, le precipitazioni, l'umidità. Una ricerca del 2023³³ condotta in Cina ha analizzato quali fossero le risposte delle comunità vegetali all'interno di un impianto solare, prestando particolare attenzione agli effetti dovuti ai cambiamenti abiotici provocati dalla presenza della struttura del pannello, ed individuando diverse aree di influenza in base alle variazioni delle precipitazioni e dell'ombreggiamento che viene messa a confronto con un'area esterna di controllo. Ciò che emerge è un aumento della biomassa sotterranea nelle aree sotto e ai lati del pannello (fig. 9), rispettivamente di circa 4, 9,5 e 4 volte. In tutte le aree coinvolte dal pannello, poi, è stato rilevato un aumento della ricchezza di specie e dell'indice di Shannon della comunità vegetale sottostante (fig. 9). Reindirizzando l'acqua piovana verso il lato inferiore, infatti, i pannelli fotovoltaici hanno stimolato la biomassa vegetale e il contenuto di carbonio organico totale del suolo al centro e davanti ai pannelli, contribuendo positivamente allo stoccaggio del carbonio in queste

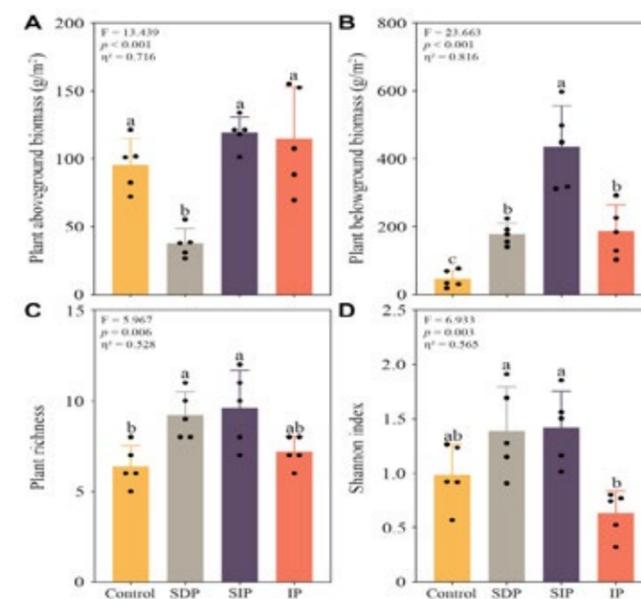


Fig.9: Risposte della biomassa vegetale e della diversità alfa della comunità vegetale agli impianti fotovoltaici in Liu et al., 2023. (A) Variazioni della biomassa vegetale sopra e (B) sotto terra. (C) Variazioni della ricchezza e (D) dell'indice di Shannon. Le lettere minuscole diverse indicano differenze significative ($p < 0,05$). shade and decreased precipitation treatment (SDP), shade and increased precipitation treatment (SIP), increased precipitation treatment (IP)

- 31 <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/index.php/it/biodiversita-stato-e-minacce/consistenza-e-livello-di-minaccia-di-specie-vegetali>
- 32 Orsenigo, S., Fenu, G., Gargano, D., Montagnani, C., Abeli, T., Alessandrini, A., ... & Rossi, G. (2021). Red list of threatened vascular plants in Italy. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 155(2), 310-335.
- 33 Liu, Z., Peng, T., Ma, S., Qi, C., Song, Y., Zhang, C., Li, K., Gao, N., Pu, M., & Wang, X. (2023). Potential benefits and risks of solar photovoltaic power plants on arid and semi-arid ecosystems: An assessment of soil microbial and plant communities. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1190650.

aree. Ciò che concludono gli autori è che l'uniformità (evenness) e la ricchezza della comunità vegetale sotto e nei dintorni dei pannelli fotovoltaici sono superiori a quelle delle aree dei campi di controllo (fig. 10).

Questi risultati suggeriscono che, a lungo termine, un impianto solare facilita lo stoccaggio del carbonio del suolo sottostante nonché il recupero della diversità della vegetazione negli habitat aridi e semi-aridi. Tali risultati sono coerenti con uno studio precedente, effettuato nel 2019³⁴ negli stessi territori, il quale mostra, inoltre, che a beneficiare della presenza dei pannelli sono anche le aree lineari tra le file di moduli (fig. 11). Infatti, i benefici di un impianto solare possono non limitarsi solo alle aree sottostanti il pannello: anzi, spesso, ad evidenziare benefici sono anche le aree "interfila", ovvero quelle situate tra una fila di moduli e un'altra. Uno degli aspetti più interessanti degli impianti solari è l'opportunità di poter favorire la generazione di differenti condizioni abiotiche che permette la compresenza di più microclimi in spazi ravvicinati, favorendo la biodiversità proprio a partire dalla comunità vegetale. Un gruppo di ricercatori

dell'Università di Brno e dell'Università di Varsavia hanno esaminato, presso un impianto in Repubblica Ceca, le specie vegetali presenti sotto i pannelli solari e negli spazi interfilari. Lo studio sostiene che la presenza di pannelli fotovoltaici può certamente modificare la composizione delle specie vegetali, come atteso, e che, anche nel contesto di un paesaggio agricolo, il sito interessato dall'impianto fotovoltaico ha un buon potenziale per creare uno spazio adatto alla crescita delle specie vegetali, in particolare quelle erbacee autoctone (che costituiscono la base dell'ecosistema funzionale) e fornendo, in questo caso, una protezione dalla diffusione delle specie invasive, risultate come meno presenti sotto i moduli³⁵. Quindi, i siti con impianti fotovoltaici possono offrire un beneficio importante agli ecosistemi naturali, contribuendo alla loro stabilizzazione. I sistemi erbacei naturali e semi-naturali come le praterie (grasslands), particolarmente interessate dalle attività agricole ma anche da siti adatti all'installazione di impianti fotovoltaici, sono ambienti estremamente ricchi di biodiversità e diffusi in tutti i continenti: in Europa, le praterie sono un habitat particolarmente diffuso e allo stesso tempo molto

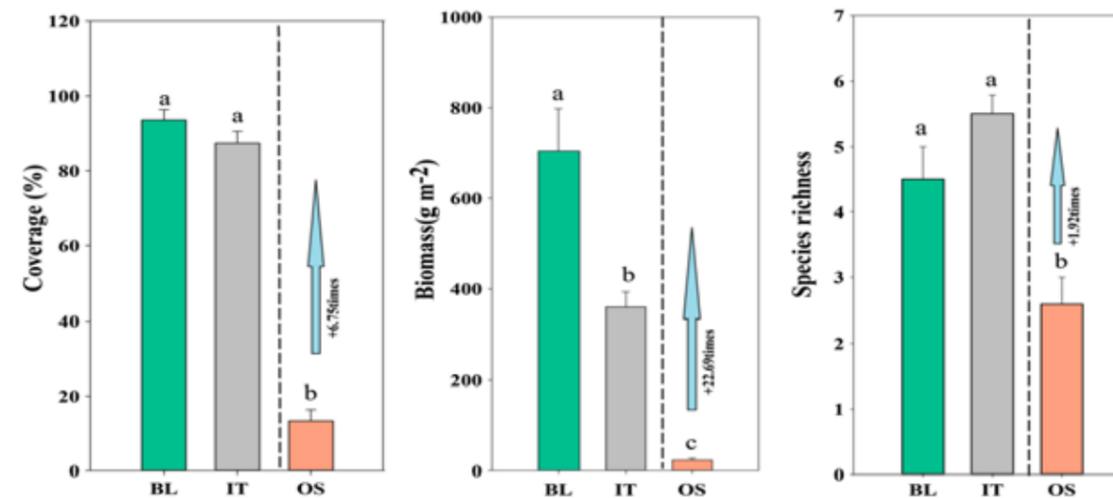


Fig.11: Differenze nella copertura vegetale, nella biomassa e nella ricchezza di specie tra le aree al di sotto dei pannelli fotovoltaici (BL), le aree tra due file di pannelli fotovoltaici (IT) e le aree controllo, a 30 m dalla centrale solare (OS). Le lettere diverse indicano che le medie sono significativamente diverse ($P < 0.05$). Le frecce blu verso l'alto rappresentano l'aumento moltiplicativo della copertura, della biomassa e della ricchezza di specie tra la zona OS e il valore medio delle zone BL e IT. Liu et al., 2019

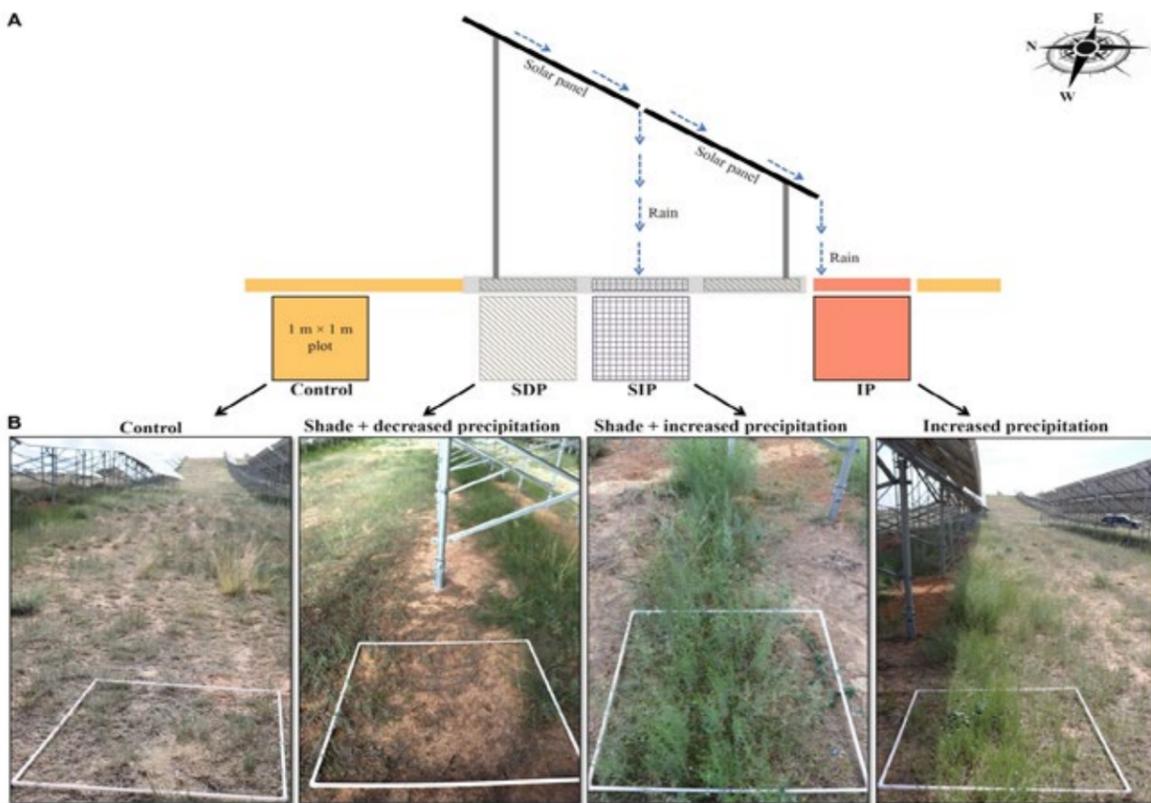


Fig. 10: Variazioni della vegetazione e dei microambienti sotto e davanti ai pannelli fotovoltaici all'interno della fattoria solare in Liu et al., 2023. Si possono apprezzare le differenze nella componente vegetale

34 Liu, Y., Zhang, R., Huang, Z., Cheng, Z., López-Vicente, M., Ma, X., & Wu, G. (2019). Solar photovoltaic panels significantly promote vegetation recovery by modifying the soil surface microhabitats in an arid sandy ecosystem. *Land degradation & development*, 30(18), 2177–2186.

35 Uldrijan, D., Kováčiková, M., Jakimiuk, A., Vavrková, M. D., & Winkler, J. (2021). Ecological effects of preferential vegetation composition developed on sites with photovoltaic power plants. *Ecological Engineering*, 168, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106274>

importante per la conservazione della biodiversità, tenendo conto che il 50% delle specie vegetali endemiche in Europa dipende da esse³⁶. A livello globale, le praterie mediterranee risultano essere, in termini di biodiversità, seconde solo a quelle tropicali^{37,38}. Poiché le praterie ricche di specie vegetali sono anche di grande importanza per il mondo animale, grazie alla varietà di alimentazione e habitat che offrono, esse svolgono un ruolo significativo anche nella conservazione della biodiversità animale. Da decenni si assiste a una diminuzione delle superfici erbose, soprattutto a causa delle attività agricole e all'abbandono dei pascoli sostituiti dall'allevamento convenzionale o da conversione spontanea verso arbusteti e boschi, dall'altro. In Italia, la superficie agricola utilizzata (Sau) è di circa 12,8 milioni di ettari³⁹, corrispondenti ad una quota di oltre il 40% del territorio nazionale⁴⁰. Poiché in Italia numerose specie dipendono da ecosistemi agricoli, quest'ultima ha un'influenza altrettanto importante sulla diversità delle specie. Purtroppo, gran parte dei terreni agricoli è utilizzata in modo intensivo, con l'impiego di prodotti fitosanitari e fertilizzanti. L'Italia è anche al sesto posto nel mondo tra i paesi che utilizzano maggiormente i pesticidi, con più di

114.000 tonnellate l'anno di circa 400 sostanze diverse⁴¹ e si colloca al quarto posto in Europa per vendita di prodotti fitosanitari, dopo Francia, Spagna e Germania (dati Eurostat)⁴². L'aumento delle attività ad alto impatto ambientale nelle aree maggiormente produttive, sommata alla degradazione del paesaggio agrario a mosaico, ha portato alla sostituzione di importanti habitat agricoli con colture permanenti e intensive, principalmente monoculture. Tale fenomeno ha prodotto gravi danni all'integrità di questi habitat: secondo la Rete Rurale Nazionale, che ha analizzato i dati di trend di Habitat e Specie inseriti nella Direttiva Habitat (Reporting 2013-2018), il 90% degli habitat terrestri seminaturali di interesse comunitario connessi all'agricoltura è in uno stato di conservazione cattivo (38%) o sfavorevole (52%), con un 36% che presenta un trend decrescente rispetto al quinquennio precedente (2007-2012)⁴³. Nonostante l'agricoltura e il fotovoltaico non siano in alcun modo in contrasto tra loro, il confronto tra l'uso di suolo ad opera dell'agricoltura convenzionale, e quello prodotto dagli impianti solari ci permette di sottolineare, ancora una volta, i potenziali benefici degli impianti fotovoltaici nei confronti della natura. Una ricerca condotta in Italia ha

36 Veen, P., Jefferson, R., De Smidt, J., & Van der Straaten, J. (2014). *Grasslands in Europe: Of high nature value*. BRILL.

37 Faber-Langendoen, D., & Josse, C. (2010). *World grasslands and biodiversity patterns*. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.

38 Guarino, R., Vrahnakis, M., Rojo, M., Giuga, L., & Pasta, S. (2020). Grasslands and shrublands of the Mediterranean region. In *Encyclopedia of the World's Biomes* (Vol. 3, pp. 638–655). Elsevier.

39 ISTAT (2020): <https://noi-italia.istat.it/pagina.php?id=3&categoria=11&action=show&L=0>

40 L'agricoltura italiana in numeri (2020). <https://www.terrainnova.it/report-lagricoltura-italiana-numeri-focus-regione-regione/>

41 ISPRA, 2021. *Transizione Ecologica Aperta Dove va l'ambiente italiano?* <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/publicazioni/publicazioni-di-pregio/tea.pdf>

42 https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/aei_fm_salpesto9/default/table?lang=en; <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240517-1#:~:text=There%20was%20a%20sharp%20downturn,the%20quantity%20sold%20in%202021>

43 WWF Italia, (2023). *Biodiversità fragile, maneggiare con cura*

confrontato l'impatto sull'uso del suolo di diversi impianti solari sul territorio nazionale (sparsi tra Marche e Sardegna) con l'impatto prodotto dai campi di grano, andando ad analizzare un indice (LU= Land Use) che tenesse conto di 4 diverse categorie di impatti: "Suolo", "Acqua", "Vegetazione", "Biodiversità". Ciò che è stato evidenziato è che l'impatto totale dell'uso di suolo derivante da un parco solare è significativamente inferiore a quello generato da un campo di grano con cui era stato messo a confronto (fig. 12). Tali risultati, suggeriscono che la conversione della destinazione d'uso di un terreno dall'agricoltura intensiva convenzionale ad un impianto solare, in particolare se gestito con pratiche agroecologiche, sarebbe assolutamente vantaggiosa dal punto di vista ambientale, ma anche economico.⁴⁴ Le monoculture intensive sono spesso utilizzate anche per scopi energetici, in particolare per la produzione di biogas e biocarburanti. Il biogas è una miscela principalmente composta di metano e anidride carbonica e prodotta per mezzo di un processo di digestione anaerobica di diversi substrati organici, come residui organici vegetali o animali. Quindi, seppur in forme diverse, l'energia solare e quella ottenuta dal biogas o dai biocarburanti implicano l'utilizzo di porzioni di terreno più o meno ampie. Nel

caso del fotovoltaico v'è una occupazione diretta di terreno per l'installazione dei pannelli. Gli impianti a biomasse, invece, seppur localizzati solitamente nelle aree industriali, richiedono grandi porzioni di territorio per il loro approvvigionamento. Infatti, una quota sostanziale della biomassa utilizzata per la produzione di biogas è rappresentata non da residui, ma da "colture energetiche" (*energy crops*): si tratta di coltivazioni realizzate appositamente allo scopo di essere raccolte e sfalciate per produrre biomassa, come mais e sorgo. In Europa, stando ai dati del 2021, sono l'Italia e la Germania a "guadagnarsi" il primato per numero di impianti di biogas attivi, con la maggior parte degli impianti italiani (1.900 unità) situati nella Pianura Padana e in altre regioni settentrionali.⁴⁵ Gli effetti negativi della coltivazione di colture energetiche dedicate sull'ambiente sono ben noti. In particolare, l'uso massiccio di prodotti fitosanitari, soprattutto insetticidi, l'elevata concimazione azotata e la riduzione della rotazione delle colture. Chiaramente, anche l'erosione del suolo è un problema non trascurabile nelle coltivazioni energetiche. Per esempio, il mais non raggiunge una copertura del suolo superiore al 30% (considerata la soglia minima per un'efficace protezione del suolo dall'erosione) fino a una fase molto avanzata

Table 7. The individual scores for each indicator for the wheat field and the solar park (grassland). And the total LU for the production of 1 FU for each thematic scores for a wheat field and a solar park (grassland) [(ha × yr)/FU].

	Wheat	Solar	Land Use	Wheat	Solar
Soil compaction	91	39			
Soil structure disturbance	37	0			
Soil erosion	100 *	0	Soil	40	18
Cation exchange capacity	84	30			
Base saturation	-13	66			
Evapotranspiration	26	3	Water	9	1
Surface runoff	0	0			
Total aboveground living biomass	91	96			
Leaf area index	9	0			
Free net primary production	26	0	Vegetation	32	25
Crop biomass	26	0			
Vegetation height	89	90			
Artificial change in water balance	100	0			
Liming, fertilisation, impoverishment	100 *	0			
Biocides	100 *	0	Biodiversity	31	15
Canopy cover of exotic species	1	46			
Number of species	94	65			
Total	961	435			
Average	56.5	25.6			

* The values are cut off at the maximum value of 100.

Fig. 12: La comparazione dell'impatto di uso del suolo (LU) tra campi di grano e impianti fotovoltaici fatta da Vervloesem et al., 2022. I valori indicati evidenziano il livello di impatto dei due usi del suolo (colonne) per ogni categoria d'impatto (righe) A valore maggiore corrisponde impatto maggiore. Per quanto riguarda il "suolo", tutti i valori degli indicatori, tranne quello relativo alla "saturazione della base", sono più alti per il campo di grano che per l'azienda solare. Il campo di grano ha risultati peggiori per tutte le 4 macrocategorie.

44 Vervloesem, J., Marcheggiani, E., Choudhury, M. A. M., & Muys, B. (2022). Effects of photovoltaic solar farms on microclimate and vegetation diversity. *Sustainability*, 14(12), 7493.

45 Pastorelli, R., Valboa, G., Lagomarsino, A., Fabiani, A., Simoncini, S., Zaghi, M., & Vignozzi, N. (2021). Recycling biogas digested from energy crops: Effects on soil properties and crop productivity. *Applied Sciences*, 11(2), 750.

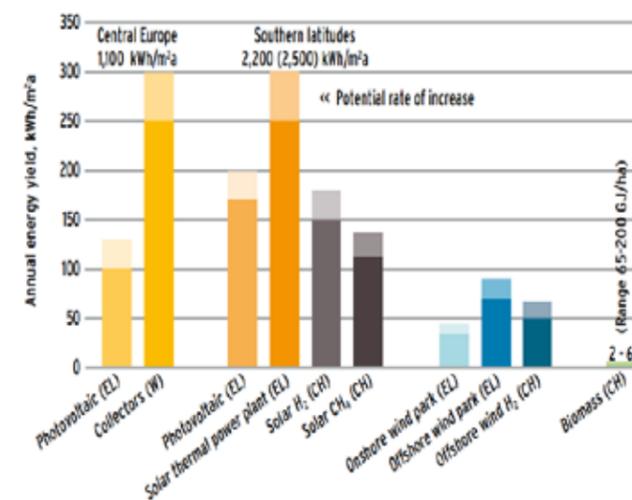


Fig.13: Rendimenti per ettaro di diversi sistemi energetici rinnovabili; EL: elettricità, H: calore, CH: sistema di accumulo di energia chimica; Fonte: BFN, (2019). Renewable energy report

dopo la semina⁴⁶ Ciò porta all' infiltrazione e diffusione di sostanze nutritive e inquinanti nelle particelle del suolo, con un conseguente inquinamento degli habitat adiacenti. A lungo termine, il consumo di suolo può persino mettere in pericolo la sicurezza alimentare, poiché il tasso di rigenerazione del suolo è più lento di quello della sua perdita. Nel 2010, uno studio condotto da ricercatori dell'Università di Cambridge⁴⁷ ha realizzato un'analisi comparativa degli effetti ambientali dovuti al fotovoltaico e quelli legati alla coltivazione di mais come *energy crop* per la produzione di biogas. Lo studio ha esaminato il potenziale di mitigazione delle due tecnologie per alcune categorie di impatto dell'input di energia non rinnovabile, delle emissioni di gas serra, dell'acidificazione e dell'eutrofizzazione, dell'erosione del suolo. In tutti gli scenari analizzati, il fotovoltaico risulta essere complessivamente superiore al biogas. Ciò che ne è risultato è che l'erosione del suolo, che può essere completamente mitigata con il fotovoltaico, per i campi di mais è superiore di circa 20 volte rispetto ai tassi di rinnovamento rilevati. Per quanto riguarda l'impatto ecologico, nelle ipotesi più favorevoli per il sistema mais-biogas, il fotovoltaico ha un potenziale superiore del 100% nella mitigazione dell'impatto ambientale. Ciò che concludono gli autori è che anche nello scenario più favorevole al biogas e più scettico nei confronti del fotovoltaico, quest'ultimo ha chiaramente un potenziale maggiore per mitigare i possibili impatti ambientali legati alla produzione di energia. Tali risultati sono

coerenti con altri studi che hanno dimostrato come, a parità di energia prodotta, i rendimenti specifici per area forniti dal fotovoltaico sono da uno a due ordini di grandezza superiori a quelli della biomassa coltivata per la produzione di biogas e biocarburanti⁴⁸ (fig. 13).

I benefici per le piante: Conclusioni

Per riassumere i potenziali benefici degli impianti fotovoltaici agli habitat in cui sono inseriti, e di conseguenza alle comunità vegetali in essi presenti, si può affermare che:

- La struttura dei moduli, andando a modificare parametri come temperatura, umidità, precipitazioni nelle aree sottostanti, può generare particolari microclimi che possono favorire anche piante autoctone adatte a queste condizioni, che altrimenti non lo sarebbero state
- Il mosaico di microclimi così creato può favorire una maggiore biodiversità proprio per la differenziazione dei microhabitat, favorendo alcune specie nelle aree sottostanti le file di moduli e altre negli spazi interfila
- In base alle condizioni locali e alla gestione, il ripristino della comunità vegetale nei siti in cui vengono installati impianti fotovoltaici può rispondere in maniera eccellente, soprattutto in ambienti aridi e semiaridi o nelle praterie. Risulta molto importante tener conto della gestione per il miglior contenimento delle piante esotiche
- Nelle aree agricole caratterizzate da colture intensive, con agroecosistemi di conseguenza molto semplificati, l'inserimento di impianti fotovoltaici consente non solo una diversificazione degli habitat ma anche la creazione di aree seminaturali con un basso disturbo antropico, garantendo allo stesso tempo una diversificazione del reddito delle aziende agricole e di conseguenza una maggiore sostenibilità economica
- Le numerose possibilità di gestione e di integrazione con altre pratiche (colture, pascoli) degli impianti possono consentire di verificare quali siano le più opportune per i siti in questione
- Rispetto agli impatti legati al consumo di suolo, l'energia solare risulta essere, anche tra le fonti rinnovabili, tra le più sostenibili

46 Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.

47 Graebig, M., Bringezu, S., & Fenner, R. (2010). Comparative analysis of environmental impacts of maize-biogas and photovoltaics on a land use basis. *Solar Energy*, 84(7), 1255-1263. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.002>

48 BFN, (2019). Renewable energy report (https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-09/bfnerneuerbareenergienreport2019_en_barrierefrei.pdf)

5. I BENEFICI PER GLI INSETTI IMPOLLINATORI

Quasi il 90% delle specie di piante da fiore selvatiche del mondo e il 75% delle specie mondiali di interesse agrario dipendono per la loro riproduzione, interamente o in parte, dall'impollinazione operata da animali.⁴⁹ Seppur sia difficile stimare il reale valore dei servizi ecosistemici offerti dall'impollinazione, che spaziano dalla produzione alimentare, alla salvaguardia degli habitat e delle risorse naturali, fino alla conservazione della biodiversità, uno studio tra i più autorevoli evidenzia che il valore economico del servizio di impollinazione operato dagli animali ammonta a circa 153 miliardi di euro a livello mondiale⁵⁰. In Europa, invece, questo ammonta a circa 22 miliardi, di cui più del 10% (2,5 miliardi) in Italia. Per quanto riguarda la sola produzione agricola mondiale direttamente associata all'impollinazione, essa rappresenta un valore economico stimato tra 235 e 577 miliardi di dollari a livello globale. L'esistenza degli impollinatori e quindi dei servizi ecosistemici vitali ad essi collegati, di cui l'uomo e l'ambiente beneficiano, sono gravemente minacciati (fig. 14): secondo l'IUCN, circa il 10% dei lepidotteri e degli apoidei è a rischio estinzione⁵¹. Il declino degli insetti impollinatori è dovuto a numerose pressioni ambientali che spesso agiscono in sinergia tra loro, tra cui: distruzione, degrado e frammentazione degli habitat; inquinamento da agenti fisici e chimici; cambiamento climatico e diffusione di specie aliene invasive; parassiti e patogeni⁵². Una ricerca che ha considerato più di 2.000 specie europee di insetti ha stabilito che l'alterazione di alcuni parametri abiotici (come la temperatura media stagionale, le temperature massime e minime o l'umidità relativa) causata dal cambiamento climatico, ha comportato che gran parte delle specie impollinatrici modificassero la propria fenologia, ovvero, la sequenza delle fasi del ciclo vitale in rapporto ai fattori climatici, e di conseguenza la distribuzione stagionale dei servizi di impollinazione, che è stata anticipata⁵³. Tale shift ha generato una variazione della sovrapposizione spaziale e temporale tra impollinatori e fioritura, rendendo più complessa l'interazione e diminuendo, quindi, la disponibilità di



Fig. 14: infografica dell'Unione Europea sul declino degli impollinatori. <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20191129STO67758/il-declino-di-api-e-altri-impollinatori-le-cause-infografica>

risorse trofiche per questi insetti (fig. 15). Oltre agli effetti del cambiamento climatico, che rientrano nei danni indiretti provocati dall'uomo, ve ne sono anche altri direttamente influenzati dalle attività umane. Tra gli agenti chimici v'è in primis l'uso, spesso massiccio, di pesticidi con prodotti molto tossici sia nelle aree rurali, per proteggere le colture, sia in ambienti urbani per il controllo di animali considerati molesti. Tutti i trattamenti con le diverse classi di pesticidi hanno un effetto dannoso sugli insetti impollinatori. Alcune di queste sostanze chimiche sono state inserite nella lista dei cosiddetti "Dirty Dozen chemicals" per via di alcune caratteristiche fortemente svantaggiose come la resistenza alla degradazione biologica, chimica e fotolitica che si traduce in persistenza nelle matrici ambientali, la capacità di biomagnificare e bioaccumulare, la tossicità e la potenziale cancerogenicità⁵⁴. Nei terreni dedicati agli impianti solari non è necessario utilizzare grandi quantità di fertilizzanti o pesticidi, anzi, spesso non se ne usano. Una gestione sostenibile dell'impianto fotovoltaico deve escludere completamente l'utilizzo di pesticidi e fertilizzanti chimici di sintesi, sostituibili con adeguate pratiche agroecologiche, quando si ritiene indispensabile intervenire per contenere eventuali parassiti o patogeni. Da questo punto di vista, l'espansione dello sviluppo di impianti fotovoltaici su larga scala nei paesaggi agricoli può rappresentare, quindi, un vantaggio per gli insetti impollinatori. Inoltre, la possibilità di effettuare un

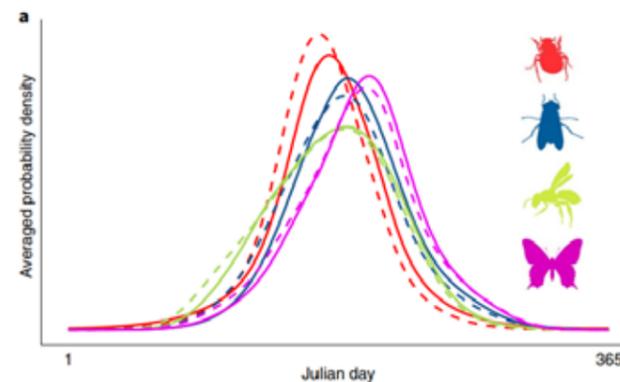


Fig. 15: Variazioni della fenologia all'interno degli ordini tra il 1980 (linee continue) e il 2016 (linee tratteggiate) per ordini: Coleotteri (rosso), Ditteri (blu), Imenotteri (verde chiaro) e Lepidotteri (magenta). La fenologia media è calcolata facendo la media di tutte le funzioni di densità di probabilità (gaussiane che rappresentano le fenologie) su tutte le specie di ciascun ordine, assumendo abbondanze identiche. (Duchenne et al., 2020)

duplice uso del terreno, ovvero per la produzione di energia e per la piantumazione di diverse tipologie di piante o il pascolo animale tra i pannelli fotovoltaici, come nel caso dell'agrivoltaico, può offrire ulteriori benefici per gli insetti impollinatori. Sebbene i siti destinati all'uso del fotovoltaico siano relativamente piccoli rispetto agli usi del suolo dominanti, come l'agricoltura, i parchi solari possono diventare aree di valorizzazione con geometrie diverse, offrendo la creazione di potenziali habitat diversificati e che minimizzano gli impatti degli effetti indiretti dell'agricoltura (come, ad esempio, l'irrorazione di sostanze chimiche). Tra l'altro, queste aree sono spesso situate nei paesaggi agricoli, dove è più necessario intervenire per ridurre il declino della biodiversità degli impollinatori. Una review effettuata nel 2021, dopo aver passato in rassegna decine di ricerche, ha convenuto che attraverso una gestione ponderata dei parchi fotovoltaici che preveda la fornitura di risorse di foraggiamento e riproduzione, l'aumento dell'eterogeneità e la connettività del paesaggio e la generazione di variazioni microclimatiche è possibile ottenere un importante miglioramento della biodiversità degli impollinatori⁵⁵. Uno studio condotto nell'arco di più anni (2018-2022) per comprendere le risposte delle comunità di insetti impollinatori alla comparsa di nuovi habitat creati dagli impianti fotovoltaici in paesaggi agricoli ha rilevato una forte crescita, nel tempo, di tutti i parametri osservati relativi all'habitat e alla biodiversità: rango floreale, ricchezza di specie di piante da fiore, diversità di gruppi di insetti, abbondanza di apoidei selvatici e abbondanza totale di insetti (fig. 16). Le conclusioni a cui porta la ricerca evidenziano che le risposte della comunità di impollinatori possono essere relativamente rapide (<4 anni) rispetto alle attività di ripristino dei pascoli e sostengono la creazione di quest'habitat "solare-impollinatori" come pratica di conservazione per la salvaguardia biodiversità⁵⁶. La gestione ottimale di un impianto fotovoltaico per la conservazione dei principali gruppi di insetti impollinatori (Apoidei, Sirfidi, Lepidotteri) deve escludere l'utilizzo di pesticidi e fertilizzanti chimici di sintesi, favorire la presenza di piante con fiori nettariiferi e polliniferi e piante nutrici per i Lepidotteri, con interventi di ripristino della natura attraverso l'utilizzo prioritario di fiorume prodotto nello stesso territorio dove è localizzato l'impianto. L'utilizzo di miscugli di sementi di piante nettariifere e pollinifere deve essere attentamente valutato in relazione anche al contesto territoriale nel quale si opera, evitando miscugli con piante alloctone o naturalizzate e privilegiando piante pluriennali alle annuali che riducono la necessità di intervenire con ripetute lavorazioni del terreno e

49 Bellucci, V., Piotto, B., & Sili, V. (2021). Piante e insetti impollinatori: Un'alleanza per la biodiversità. ISPRA, serie e rapporti, 350, 2021.

50 Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological economics*, 68(3), 810–821.

51 Nieto, A., Roberts, S.P.M., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., García Criado, M., Biesmeijer, J.C., Bogusch, P., Dathe, H.H., De la Rúa, P., De Meulemeester, T., Dehon, M., Dewulf, A., Ortiz-Sánchez, F.J., Lhomme, P., Pauly, A., Potts, S.G., Praz, C., Quaranta, M., Radchenko, V.G., Scheuchl, E., Smit, J., Straka, J., Terzo, M., Tomozii, B., Window, J. and Michez, D. 2014. European Red List of bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union.

52 Potts, S. G., Imperatriz Fonseca, V., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). *Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production.*

53 Duchenne, F., Thébault, E., Michez, D., Elias, M., Drake, M., Persson, M., Rousseau-Piot, J., Pollet, M., Vanormelingen, P., & Fontaine, C. (2020). Phenological shifts alter the seasonal structure of pollinator assemblages in Europe. *Nature Ecology & Evolution*, 4(1), 115–121.

54 Olisah, C., Adeola, A. O., Iwuozor, K. O., Akpomie, K. G., Conradie, J., Adegoke, K. A., Oyedotun, K. O., Ighalo, J. O., & Amaku, J. F. (2022). A bibliometric analysis of pre- and post Stockholm Convention research publications on the Dirty Dozen Chemicals (DDCs) in the African environment. *Chemosphere*, 308, 136371

55 Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2021). Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111065. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111065>

56 Walston, L. J., Hartmann, H. M., Fox, L., Macknick, J., McCall, J., Janski, J., & Jenkins, L. (2024). If you build it, will they come? Insect community responses to habitat establishment at solar energy facilities in Minnesota, USA. *Environmental Research Letters*, 19(1), 014053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad0f72>

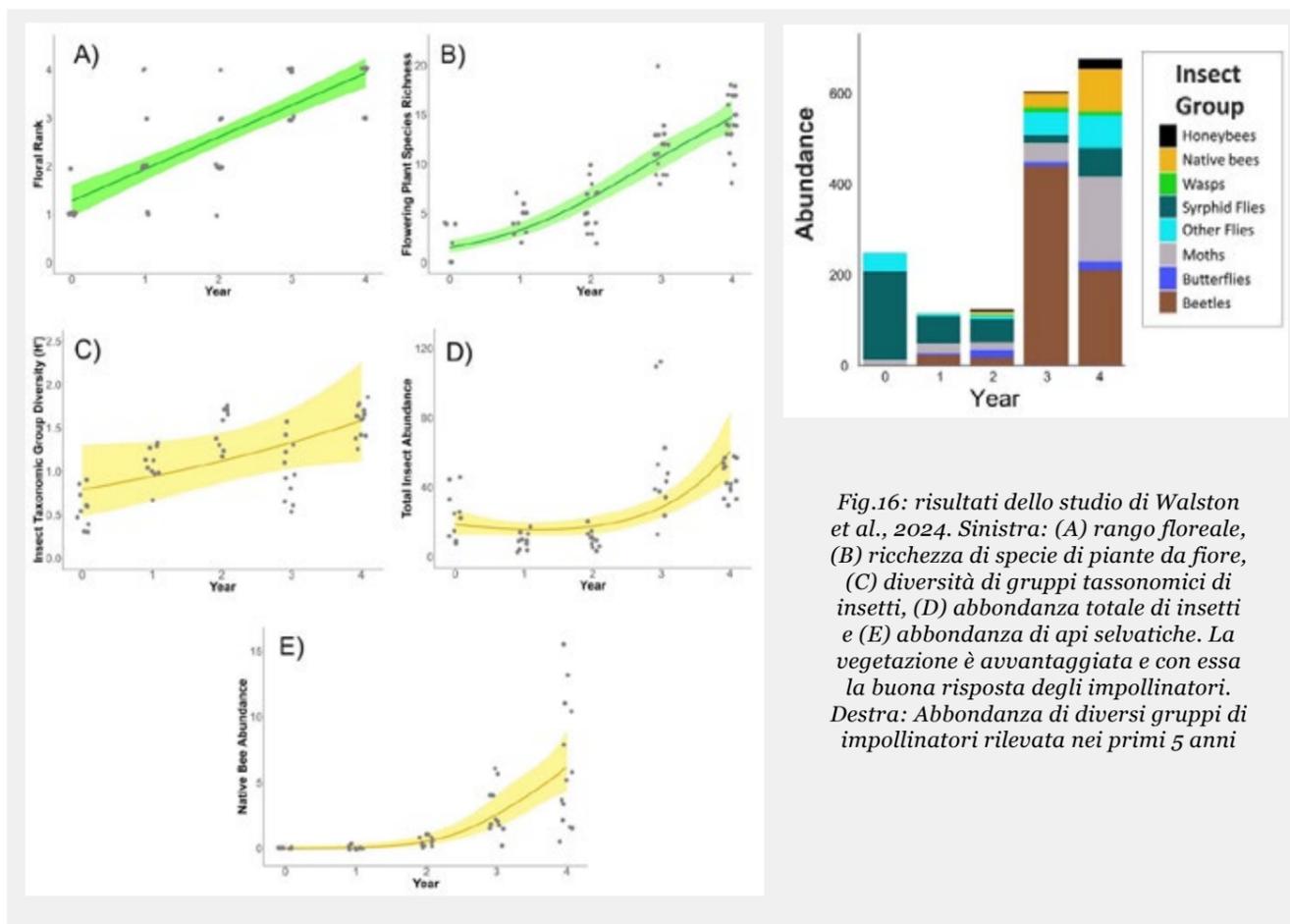


Fig.16: risultati dello studio di Walston et al., 2024. Sinistra: (A) rango floreale, (B) ricchezza di specie di piante da fiore, (C) diversità di gruppi tassonomici di insetti, (D) abbondanza totale di insetti e (E) abbondanza di api selvatiche. La vegetazione è avvantaggiata e con essa la buona risposta degli impollinatori. Destra: Abbondanza di diversi gruppi di impollinatori rilevata nei primi 5 anni

semine. I risultati di una recente ricerca pubblicata nel 2024 suggeriscono che una combinazione delle risorse locali e delle caratteristiche del paesaggio circostante influisce sulla biodiversità degli impollinatori nei parchi solari. In particolare, la biodiversità della maggior parte dei gruppi di impollinatori è aumentata con una maggiore disponibilità di risorse floreali in loco. La ricchezza di specie floreali ha avuto un effetto positivo su bombi, farfalle e sirfidi, confermando i risultati ottenuti in siti senza le infrastrutture dei parchi solari (Fig. 17).⁵⁷

Importante inoltre lasciare indisturbato il suolo in ampie aree della superficie dell'impianto, evitando qualsiasi lavorazione del terreno, anche superficiale, al fine di mantenere condizioni idonee per la nidificazione e il rifugio di specie di insetti impollinatori che occupano il

sottosuolo per le loro funzioni vitali e riproduttive. Può essere infine utile inserire nell'area dell'impianto nidi artificiali diversificati per le specie che prediligono come siti di riproduzione e rifugio le fessure di alberi e muri o steli cavi delle piante.

Infine, le superfici occupate dagli impianti agrofotovoltaici, che consentono il mantenimento di seminativi o di colture arboree permanenti, possono essere gestite dall'agricoltore anche per l'adesione all'ecosistema 5 previsto dal Piano Strategico Nazionale della PAC 2023-2025 "Misure specifiche per gli impollinatori" con una utile integrazione del reddito, funzionale anche ad una parziale copertura delle spese di una corretta gestione funzionale alla tutela degli insetti impollinatori⁵⁸.

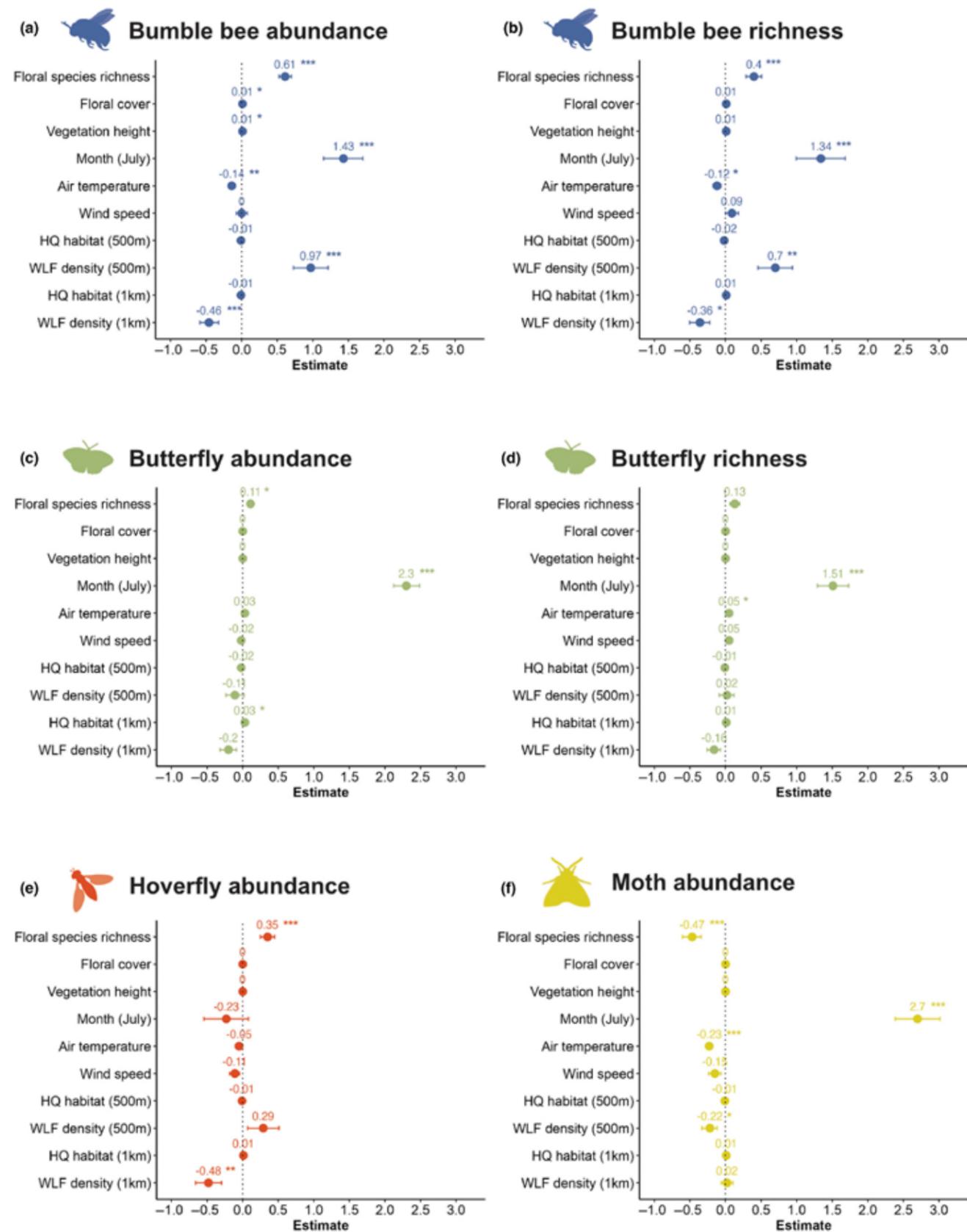


Fig. 17: Stime dell'effetto delle variabili delle risorse in loco, delle variabili caratteristiche del paesaggio, del mese e delle variabili meteorologiche su (a) abbondanza di bombi e (b) ricchezza di specie floreali: (a) abbondanza e (b) ricchezza di bombi, (c) abbondanza e (d) ricchezza di farfalle, (e) abbondanza di sirfidi e (f) abbondanza di falene nei parchi solari (Blaydes et al. 2024)⁵⁹

⁵⁷ Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2024). On-site floral resources and surrounding landscape characteristics impact pollinator biodiversity at solar parks. *Ecological Solutions and Evidence*, 5(1), e12307.

⁵⁸ Convegno Rete Rurale Nazionale (28/02/2023): <https://www.youtube.com/watch?v=CIVM6GP3I48>

I benefici per gli apoidei

Tra gli insetti impollinatori, i più importanti sono probabilmente gli imenotteri apoidei. In Europa, la riproduzione di circa l'84% delle specie vegetali e il 76% della produzione alimentare dipende dall'impollinazione degli Apoidei⁵⁹, con un valore economico stimato di 14 miliardi di euro all'anno^{60 61}. Uno studio condotto nel 2016⁶² in cui sono stati analizzati 11 impianti solari con differenti gestioni situati nel Sud dell'Inghilterra, è stato uno dei primi a segnalare le risposte positive da parte degli apoidei nei confronti della presenza dei pannelli. L'elemento in comune tra i siti era la loro destinazione d'uso precedente (tutti terreni agricoli), sia a seminativo che a pascolo. Per quanto riguarda i bombi studiati è stato dimostrato che la diversità all'interno delle aree interessate dagli impianti solari era superiore in ben 9 siti su 11. In 7 di questi, la differenza è risultata essere maggiore in maniera significativa (fig. 18). È stato possibile dimostrare, quindi, che la diversità nelle aree interessate dagli impianti solari può essere favorita indipendentemente dalla rispettiva gestione. Tali risultati sono coerenti con quanto osservato



Row

Site	Mean Abundance Across All Surveys		Significance
	S	C	
Site 1	8	0	HSD (P=<0.001)
Site 2	35	6	HSD (P=<0.01)
Site 3	4	2	NS (P=0.41)
Site 4	196	36	HSD (P=<0.001)
Site 5	54	0	HSD (P=<0.001)
Site 6	13	6	NS (P=>0.05)
Site 7	82	16	HSD (P=<0.001)
Site 8	1	1	NS (P=1.00)
Site 9	1	1	NS (P=1.00)
Site 10	49	6	HSD (P=<0.001)
Site 11	39	1	HSD (P=<0.001)
Overall comparison of solar plots and control plots			SD (P=0.02)

Fig.18: Confronto dell'abbondanza di bombi tra i siti degli impianti solari (S) e le aree di controllo (C). Nella riga in basso è riportato un confronto complessivo tra l'area solare e quella di controllo mediante il test U di Mann-Whitney. Bianco: non significativo; verde: significativo (Montag et al., 2016)

59 ISPRA (2020). Il declino delle api e degli impollinatori. Le risposte alle domande più frequenti. Quaderni Natura e Biodiversità n.12/2020. ISBN 978-88-448-1000-9, 43 p.

60 Hanley, N., Breeze, T. D., Ellis, C., & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosystem Services*, 14, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.09.013>

61 Leonhardt, S. D., Gallai, N., Garibaldi, L. A., Kuhlmann, M., & Klein, A.-M. (2013). Economic gain, stability of pollination and bee diversity decrease from southern to northern Europe. *Basic and Applied Ecology*, 14(6), 461–471.

62 Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T. (2016). The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. *Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity*.

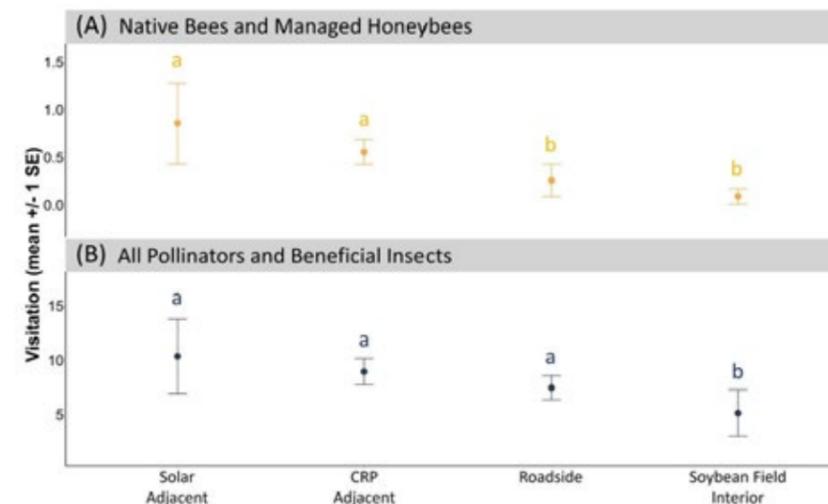


Fig. 19: Osservazioni (A) di api autoctone e api gestite e (B) visite totali di impollinatori e ai fiori di soia in diverse località del campo (Walston et al., 2024). CRP: Conservation Reserve Program

da un recente studio (2024) per altri due impianti situati negli USA, dove è stato evidenziato che i benefici per gli impollinatori di un impianto fotovoltaico possono essere estesi anche alle aree agricole circostanti: lo studio, confrontando l'abbondanza di apoidei in campi di soia adiacenti a un impianto solare e quelli adiacenti a un programma di conservazione che prevedeva il ripristino di praterie, ha convenuto che gli effetti positivi ottenuti erano del tutto simili⁶³ (fig. 19). Naturalmente, è bene ricordare che non tutte le pratiche gestionali sono uguali e che gli impianti solari offrono diverse soluzioni, sotto questo punto di vista, per poter migliorare la biodiversità degli impollinatori come gli apoidei. Per esempio, alcuni studi suggeriscono che sia la densità di bottinatori sia la densità di nidi possono essere incrementate in siti con parchi solari gestiti interamente come prato di fiori selvatici, i quali potrebbero supportare, potenzialmente, addirittura il doppio di individui e di nidi rispetto a un parco fotovoltaico con fiori selvatici presenti solo nelle aree marginali⁶⁴.

I benefici per i lepidotteri

È stimato che l'impollinazione degli insetti sia garantita, per circa il 10%, dai Lepidotteri⁶⁵, i quali costituiscono il

gruppo maggiormente rappresentativo di impollinatori, con più di 150.000 specie descritte⁶⁶. È noto che i lepidotteri, in particolare quelli diurni, rispondano in tempi molto rapidi ai cambiamenti ambientali sia su scala di paesaggio che a livello di microhabitat, rendendosi indicatori ottimali per molteplici ecosistemi terrestri⁶⁷. Essi sono presenti in una ampia gamma di habitat e sono rappresentati da un numero consistente di specie altamente specializzate, con esigenze ecologiche ristrette. Tale specializzazione è dovuta principalmente alle esigenze ecologiche delle larve, le quali dipendono spesso in maniera molto specifica dalle piante alimentari di cui si nutrono⁶⁸. Inoltre, avendo cicli di vita brevi (anche più di un ciclo all'anno come nel caso delle polivoltine), le risposte delle farfalle alle variazioni nella qualità dell'habitat sono decisamente più rapide rispetto ad altri⁶⁹. Per queste ragioni, i lepidotteri sono ampiamente riconosciuti come degli ottimi indicatori per la valutazione della complessità o degli eventuali disturbi degli habitat. Il monitoraggio di diversi impianti in Inghilterra ha osservato una maggior presenza di lepidotteri per numero di specie e per numero medio di individui in questi siti rispetto ad aree di controllo circostanti, dimostrando come questo gruppo di impollinatori possa trarre beneficio dalla presenza dei moduli solari. I risultati delle indagini indicano che gli impianti fotovoltaici possono svolgere

63 Walston, L. J., Hartmann, H. M., Fox, L., Macknick, J., McCall, J., Janski, J., & Jenkins, L. (2024). If you build it, will they come? Insect community responses to habitat establishment at solar energy facilities in Minnesota, USA. *Environmental Research Letters*, 19(1), 014053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad0f72>

64 Blaydes, H., Gardner, E., Whyatt, J., Potts, S., & Armstrong, A. (2022). Solar park management and design to boost bumble bee populations. *Environmental Research Letters*, 17(4), 044002.

65 Wardhaugh, C. W. (2015). How many species of arthropods visit flowers? *Arthropod-Plant Interactions*, 9(6), 547–565.

66 van Nieuwerkerken, E. (2011). *Order lepidoptera linnaeus*, 1758.

67 Bonelli, S., Cerrato, C., Bordignon, L., Lai, V., Ripetta, S., Vovlas, A., Patricelli, D., Witek, M., Barbero, F., & Sala, M. (2012). Le farfalle come bioindicatori: Revisione e casi di studio. *Biologia ambientale*, 26(2), 59–67.

68 Renwick, J. A. A. (1989). Chemical ecology of oviposition in phytophagous insects. *Experientia*, 45(3), 223–228.

69 Van Swaay, C., & Warren, M. (1999). Red data book of European butterflies (Rhopalocera) (Vol. 99). Council of Europe.

un ruolo importante nei servizi ecosistemici legati all'impollinazione, aumentando l'abbondanza e la diversità delle specie di questo gruppo di insetti (Fig. 20)⁷⁰.

In conclusione, i siti interessati dalla presenza degli impianti possono fungere, quindi, da importante "serbatoio" di invertebrati impollinatori, in particolare all'interno di paesaggi coltivati in modo intensivo. Tali vantaggi dipendono molto, come sempre, anche dalla gestione degli impianti: essendo le farfalle particolarmente specializzate, è lecito aspettarsi che l'integrazione di pratiche agroecologiche ai terreni interessati dagli impianti solari porterebbe ulteriori benefici. Una ricerca condotta dall'Istituto Mediterraneo della biodiversità e dell'Ecologia Marina e Continentale (FR) sottolinea che per ottenere i benefici migliori per gli impollinatori, soprattutto nel contesto delle praterie mediterranee, risulta fondamentale rivegetare le aree interfilari e sotto le file di pannelli solari una volta installati; adattare la frequenza di sfalcio alla fenologia delle piante; aumentare sia la diversità delle specie di piante ospiti sia la loro copertura⁷¹.



Site	Mean Abundance Across All Surveys		Significance
	S	C	
Site 1	11	3	SD (P= 0.03)
Site 2	3	0	NS (P=>0.05)
Site 3	15	3	HSD (P=0.004)
Site 4	4	2	NS (P= 0.41)
Site 5	99	7	HSD (P=<0.001)
Site 6	13	68	HSD (P=<0.001)
Site 7	10	2	SD (P=0.02)
Site 8	3	3	NS (P= 1.00)
Site 9	6	2	NS (P=0.15)
Site 10	16	0	HSD (P=<0.001)
Site 11	39	1	HSD (P=<0.01)
Overall comparison of solar plots and control plots			HSD (P=0.005)

Fig. 20: Confronto dell'abbondanza di lepidotteri tra siti degli impianti fotovoltaici (S) e quelli di controllo adiacenti. In 7 siti su 11 l'abbondanza è significativamente maggiore. Nella riga inferiore è riportato un confronto complessivo tra area solari e quelle di controllo (Montag et al., 2016)

⁷⁰ Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T. (2016). The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. *Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity*

⁷¹ Guiller, C., Affre, L., Deschamps-Cottin, M., Geslin, B., Kaldonski, N., & Taton, T. (2017). Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(6), 1817–1823.

I benefici per gli Ortoteri

Seppur sicuramente non della stessa fama dei due gruppi precedenti, anche gli ortoteri (grilli e cavallette), da sempre accostati alla fitofagia, sono stati rivalutati nella loro funzione di impollinatori negli ultimi anni, in particolare grazie a ricerche condotte in Europa Centrale⁷². Come sottolinea un importante report tedesco⁷³ è proprio in Germania (Brandeburgo), che alcuni monitoraggi hanno mostrato come le comunità di ortoteri rispondano alla presenza di impianti solari. In solo 3 parchi solari, sono state osservate più di 35 specie⁷⁴. Tenendo conto che la fauna regionale di Ortoteri contava circa 58 specie, ciò corrisponde a una percentuale di circa il 60%, un dato sorprendente. Inoltre, la segnalazione della presenza di specie altamente minacciate suggerisce che questi impianti possono anche essere un habitat per specie altamente specializzate. Anche per questo gruppo è possibile evidenziare alcune caratteristiche degli impianti che possono favorirne la diversità. Il confronto tra due parchi solari adiacenti, quindi con stesse caratteristiche originarie del terreno, ma diversa progettazione, ha messo in luce che un'ampia spaziatura tra le file di moduli può aumentare significativamente il numero di specie presenti (in questo caso, fino al 40% in più)⁷⁵, favorendo, oltretutto, quelle specie minacciate altamente specializzate, le quali dipendono fortemente dalle praterie secche o dalle aree con poca o nessuna vegetazione.

I benefici per gli insetti impollinatori: conclusioni

Per quanto riguarda i potenziali benefici per gli insetti impollinatori derivanti dagli impianti fotovoltaici, si può affermare che (fig. 21):

- La presenza degli impianti solari può favorire la diversità di alcuni gruppi di impollinatori sia direttamente, attraverso la creazione di nuovi microhabitat dovuti alle variazioni abiotiche (ombreggiamento, temperatura, umidità, precipitazioni), sia indirettamente attraverso la diversificazione delle comunità vegetali del sito
- La vasta gamma di soluzioni disponibili a livello di struttura (dimensioni, altezza) e posizionamento

dei moduli e delle file può favorire l'abbondanza e il numero di specie

- L'aumento delle distanze tra le file di moduli favorisce il numero di specie e la densità di popolazione
- L'integrazione di pratiche agroecologiche come la semina di piante autoctone o il pascolo amplificano gli effetti positivi dell'impianto
- I parchi solari possono essere habitat più stabili grazie alla cura e al mantenimento del sito, favorendo gli insetti più specializzati o con forti fluttuazioni naturali della popolazione (come per i lepidotteri).
- Nel contesto di un paesaggio agricolo, soprattutto se intensivo, i parchi fotovoltaici possono fungere da habitat serbatoio per gli impollinatori



(Blaydes et al., 2021)

Fig.21: Illustrazione del potenziale dei parchi fotovoltaici per il miglioramento della biodiversità degli impollinatori attraverso (1) la fornitura di risorse per il foraggiamento, (2) la disponibilità di risorse per la nidificazione e la riproduzione, (3) l'adozione di pratiche di gestione adeguate, come quelle agroecologiche a discapito di quelle dell'agricoltura convenzionale (4) l'aumento degli habitat seminaturali nel paesaggio e la promozione della connettività e (5) la generazione di variazioni microclimatiche

⁷² Rácz, I., Szanyi, S., & Nagy, A. (2023). Review on flower-visiting behaviour of orthopterans and setting priorities for further studies. *Biologia Futura*, 74(4), 393–400.

⁷³ Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.

⁷⁴ LEGUAN GMBH (2016a). Biologisches Monitoring zu Solarpark II Fürstenwalde. Bericht 2015 [Biological monitoring of Fürstenwalde Solarpark II. Report 2015] - on behalf of Trautmann Goetz Landschaftsarchitekten, Berlin. 11 pp. + Photo Appendix.

⁷⁵ LEGUAN GMBH (2016a). Monitoring der PV-Anlage Finow II und III. Abschlussbericht 2015 [Monitoring of the Finow II and III PV Facility final report] - on behalf of S Quadrat Finow Tower Grundstücks, GmbH & Co Kg. 90 p.

6. I BENEFICI PER IL SUOLO E LA SUA FAUNA

Il suolo è una risorsa tanto vitale quanto insostituibile: rappresenta le fondamenta (in tutti i sensi) della società, dell'economia e dell'ambiente e da esso dipendono il nostro sistema produttivo alimentare e la nostra resilienza al cambiamento climatico e agli eventi meteorologici estremi ad esso collegato, come la siccità e le inondazioni⁷⁶. Le funzioni ecologiche che un suolo di buona qualità è in grado di assicurare garantiscono, insomma, la fornitura di servizi ecosistemici di approvvigionamento (alimenti, materie prime), di regolazione e mantenimento (regolazione del clima, sequestro e stoccaggio del carbonio, regolazione idrica, conservazione della biodiversità, etc) e culturali. L'importanza di salvaguardare il suolo è legata, oltre ai servizi ecosistemici che esso offre, anche ai costi dell'inazione riguardo al suo degrado, che nell'Unione Europea superano i 50 miliardi di euro all'anno.⁷⁷ È noto che la presenza di un impianto fotovoltaico, come qualsiasi struttura, modifica la superficie del suolo, riducendo l'albedo superficiale e variando la temperatura e la distribuzione delle precipitazioni⁷⁸. Questi cambiamenti intervengono sui fattori fondamentali del microclima locale, per cui il suolo e gli organismi che vi abitano sono soggetti a gradienti di luce variabili che modificano l'evaporazione e la ritenzione idrica, l'umidità e la temperatura del suolo⁷⁹. I risultati di una ricerca⁸⁰ hanno dimostrato che gli impianti solari aumenterebbero il sequestro di carbonio attraverso la promozione diretta della biomassa vegetale e del contenuto di carbonio organico del suolo nelle aree intorno ai pannelli fotovoltaici. Nei siti analizzati nello studio citato, la capacità di sequestro del carbonio nel suolo interessato dall'impianto fotovoltaico aumenta di oltre il 10% rispetto a quello del campo di controllo a 5 anni dall'installazione, suggerendo un effetto positivo dei pannelli sull'effetto "pozzo di carbonio" degli ecosistemi aridi e semi-aridi. All'interno di una fascia a clima mediterraneo, invece, i cambiamenti nel microclima

sotto i pannelli solari possono essere veramente notevoli, con i pannelli solari che possono ridurre la temperatura del suolo in primavera e in estate di circa 2/5 °C^{81 82}. Gli organismi animali che popolano il suolo sono estremamente diversificati tra loro, data l'ampia disponibilità di nicchie ecologiche. 1 m² di un suolo può contenere anche 1000 specie diverse con densità delle popolazioni nell'ordine di 106 per i nematodi, 105 per i microartropodi e 104 per altri invertebrati. Non solo il suolo è un vero e proprio hotspot di biodiversità, ma il ruolo svolto dalla fauna edafica è fondamentale nei processi di formazione e funzionalità dei suoli e, conseguentemente, nei diversi servizi ecosistemici connessi, tra cui la degradazione della sostanza organica e il riciclo dei nutrienti. In particolare, le funzioni che vengono svolte dai vari organismi del suolo nel processo di decomposizione dei residui vegetali ed animali sono cruciali per la crescita delle piante e della produzione primaria (Maharning et al., 2008)⁸³. È importante, quindi, valutare l'effetto del fotovoltaico a terra o dell'agrivoltaico sul suolo e sulla comunità di artropodi che ci vive, oltre a considerare il ruolo della gestione dell'impianto, al fine di identificare le pratiche più adatte per preservare la qualità del suolo e la biodiversità nei terreni interessati dagli impianti fotovoltaici. Uno studio effettuato in Italia nel 2023⁸⁴ ha preso in esame due parchi solari del Nord Italia, caratterizzati da una diversa gestione della vegetazione: sito 1 (sissa)-prato sfalcato con trattore; sito 2 (gusciana)-prato gestito con pecore e asini. In ogni parco sono state identificate tre condizioni: sotto il pannello fotovoltaico (fila), tra le file di pannelli (interfila) e intorno all'impianto fotovoltaico (controllo). Sono stati caratterizzati anzitutto il pH e la materia organica presente nel suolo (SOM), la comunità di artropodi del suolo, la biodiversità e l'indice QBS-ar, un'indice proposto nel 2001 e usato ancora oggi per valutare il livello di qualità del suolo utilizzando come parametro la

presenza/assenza di microartropodi edafici^{85 86}. Il QBS-ar si basa sul concetto che i microartropodi morfologicamente ben adattati al suolo siano numericamente maggiori nei suoli con condizioni migliori in termini di copertura vegetale, contenuto di sostanza organica, bassa degradazione, inquinamento e compattazione ridotti (fig. 22). Lo studio permette di aggiungere alcune riflessioni anche sulle potenziali pratiche agricole integrate agli impianti. Mentre gli artropodi del suolo all'esterno dei pannelli traggono vantaggio dal sistema di gestione con l'allevamento, probabilmente grazie all'elevato contenuto di SOM (dovuta all'allevamento) e all'assenza di fattori di disturbo come il passaggio dei trattori, la fauna del suolo sotto i pannelli è favorita nell'impianto integrato con la coltivazione. Gli animali al pascolo, infatti, tendono a riposare e a cercare riparo sotto i pannelli, e questo comportamento potrebbe spiegare questa differenza nella presenza di artropodi del suolo sotto i pannelli tra i due sistemi; ciò rappresenta un fattore di disturbo per la fauna del suolo in quanto riduce la copertura del suolo, porta alla sua compattazione e aumenta l'erosione, inducendo così una perdita di invertebrati del suolo⁸⁷. La comprensione degli effetti degli impianti fotovoltaici sull'ambiente del suolo sta emergendo e le conoscenze sui cambiamenti del microclima, del suolo (ciclo del carbonio, composizione della comunità microbica del suolo e umidità del suolo) e della vegetazione si stanno accrescendo; tuttavia, gli effetti sulla biodiversità degli artropodi del suolo, che sono importanti bioindicatori, sono ancora molto poco studiati. I risultati ottenuti dallo studio evidenziano che gli artropodi del suolo potrebbero essere influenzati dalla presenza di pannelli a terra, ma con un impatto che sembrerebbe dipendere in larga misura dalla gestione del parco (fig. 23). Importante, quindi, cercare di lasciare indisturbato il suolo in ampie aree della superficie dell'impianto, evitando qualsiasi lavorazione del terreno, anche superficiale, al fine di mantenere le condizioni idonee per gli invertebrati che vivono al livello del suolo. Allo stesso tempo, le aree tra i pannelli sono risultate molto simili a quelle di controllo e potrebbero quindi rappresentare delle aree di conservazione della biodiversità.

I benefici per il suolo e la sua fauna: conclusioni

Per quanto riguarda i potenziali benefici per il suolo e la sua fauna derivanti dagli impianti fotovoltaici, si può affermare che:

- I pannelli solari possono aumentare la funzione di "pozzo di carbonio" attraverso la promozione della biodiversità vegetale

Group	EMI score
Protura	20
Diplura	20
Collembola	1–20
Microcoryphia	10
Zygentomata	10
Dermaptera	1
Orthoptera	1–20
Embioptera	10
Blattaria	5
Psocoptera	1
Hemiptera	1–10
Thysanoptera	1
Coleoptera	1–20
Hymenoptera	1–5
Diptera (larvae)	10
Other holometabolous insects (larvae)	10
Other holometabolous insects (adults)	1
Acari	20
Araneae	1–5
Opiliones	10
Palpigradi	20
Pseudoscorpiones	20
Isopoda	10
Chilopoda	10–20
Diplopoda	10–20
Pauropoda	20
Symphyla	20

Fig. 22: tabella riassuntiva dei diversi valori legati all'indice QBS-ar per la valutazione della qualità del suolo attraverso lo studio della sua biodiversità. I valori vengono sommati per restituire un indice al suolo. A valori più alti, in base al contesto ecologico, corrisponde una maggiore qualità del suolo (Parisi et al., 2005)

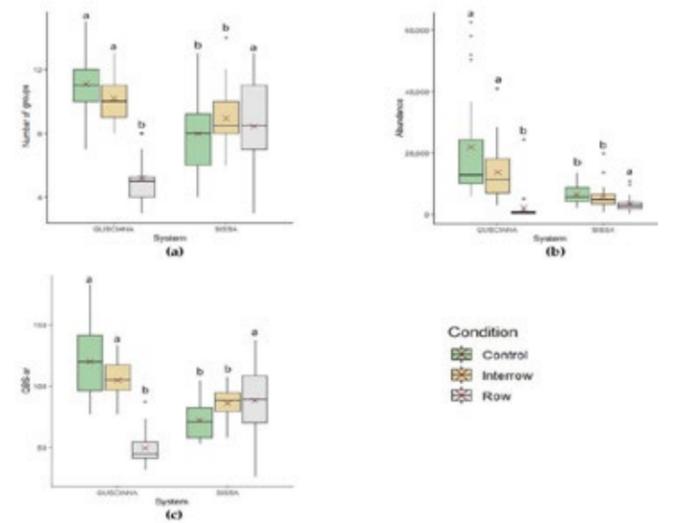


Fig. 23: a) numero di taxa, b) abbondanza totale c) valore QBS-ar in ogni condizione nei due sistemi di fotovoltaico. Lettere diverse sopra la casella della stessa condizione indicano una differenza significativa ($p \leq 0,05$) tra i due sistemi. (Menta et al., 2023)

76 Marinosci, I., Desiderio, G., Caricato, G., Dattola, L., Ragone, G., Carati, M., Meloni, C., Trappolini, E., Lazzari, M., & Bellingeri, D. (2023). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2023. In *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2023*. Report SNPA, 37/23.

77 Risoluzione del Parlamento europeo del 28 aprile 2021 sulla protezione del suolo (2021/2548(RSP))

78 Luo, L., Zhuang, Y., Liu, H., Zhao, W., Chen, J., Du, W., & Gao, X. (2023). Environmental impacts of photovoltaic power plants in northwest China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103120. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103120>

79 Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., & Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766–779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>

80 Liu, Z., Peng, T., Ma, S., Qi, C., Song, Y., Zhang, C., Li, K., Gao, N., Pu, M., & Wang, X. (2023). Potential benefits and risks of solar photovoltaic power plants on arid and semi-arid ecosystems: An assessment of soil microbial and plant communities. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1190650.

81 González-Ubierna, S., & Lai, R. (2019). Modelling the effects of climate factors on soil respiration across Mediterranean ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 165, 46–54.

82 Armstrong, A., Ostle, N. J., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074016.

83 Regione Emilia Romagna (2018). Rapporto: QUALITÀ BIOLOGICA DEI SUOLI EMILIANOROMAGNOLI

84 Menta, C., Remelli, S., Andreoni, M., Gatti, F., & Sergi, V. (2023). Can Grasslands in Photovoltaic Parks Play a Role in Conserving Soil Arthropod Biodiversity? *Life*, 13(7), 1536.

85 Parisi, V. (2001). La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, 37, 105–114.

86 Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 105(1–2), 323–333.

87 Menta, C., Remelli, S., Andreoni, M., Gatti, F., & Sergi, V. (2023). Can Grasslands in Photovoltaic Parks Play a Role in Conserving Soil Arthropod Biodiversity? *Life*, 13(7), 1536.

- La generazione di microhabitat nuovi può creare variazioni della comunità di artropodi del suolo, favorendone alcuni gruppi
- Le pratiche integrate alla gestione degli impianti fotovoltaici devono essere ben progettate e realizzate per generare benefici alla conservazione della biodiversità: gli impianti agrivoltaici integrati con l'allevamento

possono favorire le aree circostanti i moduli. Gli impianti integrati con la coltivazione, invece, possono favorire la biodiversità anche sotto i pannelli. Risulta fondamentale, infine, la gestione del terreno coinvolto dall'impianto. Evitare il disturbo del suolo in ampie aree della superficie interessata dall'impianto può contribuire a mantenere condizioni idonee per gli animali che vivono al livello del suolo.

7. I BENEFICI PER I PICCOLI VERTEBRATI

La perdita degli agroecosistemi e degli ambienti seminaturali ha un impatto significativo su moltissime specie di vertebrati. L'interazione tra le attività umane e la natura preesistente ha creato un mosaico di habitat e nicchie ecologiche diversificate, che hanno favorito la specializzazione delle specie che vi vivono. In questi habitat è presente un numero molto elevato di specie di vertebrati di grande importanza ecologica e conservazionistica: anfibii anuri (rane e rospi) e urodeli (tritoni), rettili (come lacertidi, testuggini, serpenti), moltissimi uccelli, tra cui passeriformi, uccelli migratori e rapaci predatori, piccoli mammiferi come i chiroteri (pipistrelli). In Europa, l'intensificazione dell'agricoltura ha causato un'importante frammentazione e degradazione degli habitat, semplificando moltissimo questi paesaggi. In particolare, la pratica della monocoltura ha ridotto notevolmente la complessità del paesaggio agrario, attraverso grandi estensioni di colture nelle quali alcuni elementi ecologici fondamentali come le fasce tampone, siepi e alberature o le aree umide,

sono stati completamente eliminati⁸⁸. A ciò si aggiunge il problema del consumo di suolo che determina un forte processo di degradazione ambientale. Purtroppo, per tutti questi motivi la biodiversità dei paesaggi agricoli e seminaturali è in forte declino. Gli impianti fotovoltaici sono spesso inseriti in contesti che già presentavano in precedenza impatti e minacce per la biodiversità, come appunto, le aree agricole e/o rurali con un tasso più o meno elevato di urbanizzazione⁸⁹. Come è stato riportato nei precedenti capitoli, dopo un prevedibile breve periodo di disturbo dovuto alla costruzione dell'impianto fotovoltaico (fasi di cantiere), la vegetazione all'interno dei siti può tornare alle sue condizioni originali e addirittura migliorare in termini di diversità e biomassa, accompagnata poi dal ritorno della fauna invertebrata associata. Questo è un primo potenziale vantaggio per i piccoli vertebrati, che possono così beneficiare di nuove nicchie trofiche. A ciò si aggiungono le numerose misure gestionali e di compensazione che possono essere realizzate all'interno e all'esterno dell'impianto:



88 Van Zanten, B. T., Verburg, P. H., Espinosa, M., Gomez-y-Paloma, S., Galimberti, G., Kantelhardt, J., Kapfer, M., Lefebvre, M., Manrique, R., & Piore, A. (2014). European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: A review. *Agronomy for sustainable development*, 34, 309–325.

89 Sinha, P., Hoffman, B., Sakers, J., & Althouse, L. (2018). Best practices in responsible land use for improving biodiversity at a utility-scale solar facility. *Case Studies in the Environment*.

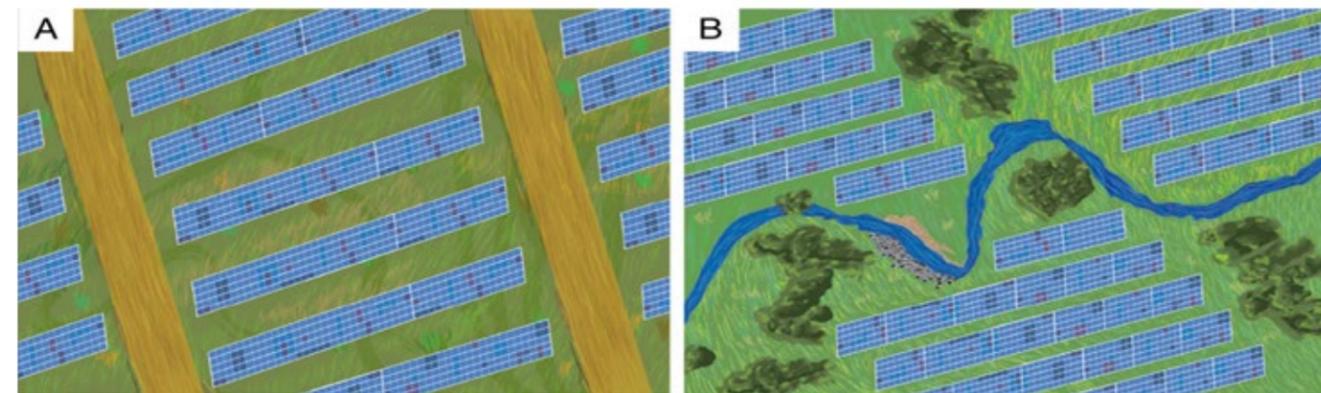


Fig. 24: A) Un modello stilizzato di un parco fotovoltaico utilizzato esclusivamente per la produzione dell'energia solare. (B) Un progetto ecologicamente strategico che incorpora elementi pre-esistenti e nuovi (naturali e artificiali) che può favorire la biodiversità locale. Boscarino-Gaetano et al., 2024

a partire dalle recinzioni di sicurezza, che rendono il sito un vero e proprio rifugio per le specie dal continuo disturbo dei terreni circostanti e dalla predazione, fino all'integrazione di elementi naturali o artificiali come nidi, tane, cavità, bacini idrici, siepi, che possono contribuire alla formazione di habitat favorevoli (fig. 24).

Benefici per Anfibi e Rettili

Seppur possa sembrare scontato, ciò che va premesso è che indipendentemente dalla presenza o meno di un parco solare, solo le aree con un habitat acquatico, le quali permettono di garantire la riproduzione e la crescita degli stadi giovanili, possono essere considerate più o meno idonee per gli anfibii. Tuttavia, molti anfibii trascorrono la maggior parte della loro vita al di fuori dell'acqua e in fase adulta si trovano, quindi, prevalentemente in habitat terrestri. Infatti, non sono rare le specie di anfibii che percorrono regolarmente lunghe distanze (anche chilometri) per trasferirsi dalle zone di riproduzione agli habitat estivi e invernali. È stato riportato che i parchi solari, anche in assenza di bacini idrici, possono essere dei buoni habitat terrestri, utilizzabili come corridoi di migrazione tra acque adiacenti⁹⁰ (fig. 25). Inoltre, grazie alle misure di compensazione, come per esempio l'integrazione di bacini idrici e di strutture per lo svernamento o l'estivazione, questi possono potenzialmente essere hotspot particolarmente favorevoli per gli anfibii. In alcuni contesti agricoli, sono già note pratiche di questo tipo: in Italia, per esempio, alcune ricerche hanno mostrato come gli abbeveratoi degli animali da pascolo stiano aiutando le popolazioni di

anfibii anuri e urodeli⁹¹, sottolineando l'importanza che possono avere queste strutture idriche artificiali nella loro conservazione. Esistono, poi, rifugi creati artificialmente (ma che possono essere costituiti anche da soli elementi naturali come tronchi, rocce, tane) già utilizzati anche in altri contesti. In particolare, tali strutture artificiali possono ricoprire un ruolo fondamentale per gli anfibii come siti di svernamento. Gli ibernacoli artificiali possono migliorare ambienti impoveriti o, laddove non lo fossero,

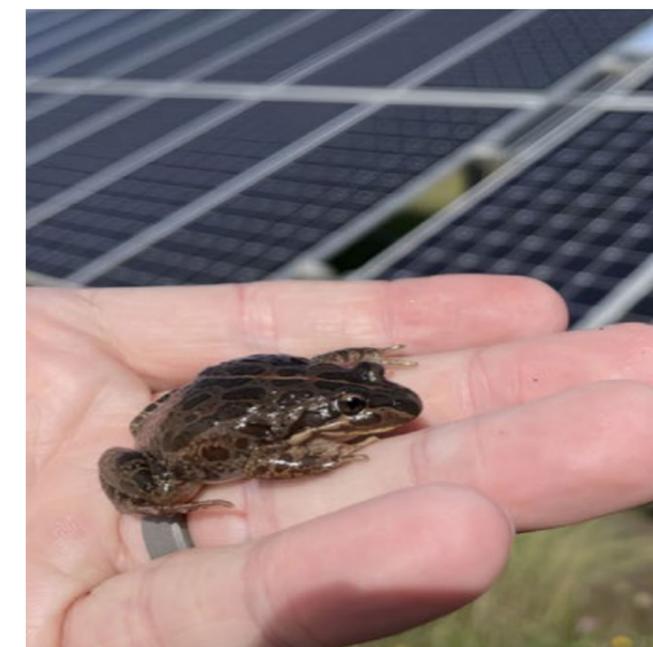


Fig. 25: Una rana della specie *Limnodynastes tasmaniensis* trovata sotto i pannelli solari nel Nuovo Galles del Sud, Australia. Boscarino et al., 2024

90 Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.

91 Buono, V., Bissattini, A. M., & Vignoli, L. (2019). Can a cow save a newt? The role of cattle drinking troughs in amphibian conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(6), 964–975.

fornire ulteriori siti di svernamento⁹². Alcuni studi suggeriscono che queste strutture possano essere delle buone misure di compensazione all'interno dei parchi solari per favorire gli anfibi^{93 94}. Queste tesi sembrano confermate anche da alcuni monitoraggi in campo. Una ricerca effettuata nel 2016 in Germania⁹⁵ effettuata in un sito dove è stato creato un corpo idrico in aggiunta a uno già esistente e sono state installate tane per lo svernamento, ha evidenziato che tali soluzioni hanno offerto un habitat idoneo e favorevole ad una popolazione di rane che vi risiedeva. Tali strutture, risultano molto utili anche per i rettili. Non a caso, spesso, le misure di compensazione sono proposte sulla base delle evidenze conosciute sulle lucertole, tra gli animali più interessati dalle fasi di progettazione⁹⁶. Per questo gruppo, non è raro che vengano incluse aree per il *basking* (l'esposizione diretta al sole per la regolazione della temperatura corporea), strutture che fungono da nascondigli o utili alla deposizione delle uova e allo svernamento. Studi effettuati in alcuni impianti in Germania^{97 98 99}, a seguito di monitoraggi durati per più anni, hanno osservato un continuo aumento delle popolazioni di lucertole. Per quanto riguarda alcuni degli impianti è stato possibile evidenziare che, in presenza di condizioni preesistenti adeguate (popolazioni riproduttive a livello locale), le lucertole hanno ripopolato il parco fotovoltaico. Infatti, in un periodo di 4 anni, il numero totale di individui rilevati all'interno dell'impianto è quadruplicato rispetto all'anno precedente l'inizio della costruzione. È stato inoltre osservato che, laddove coesistono differenti caratteristiche strutturali come diversa distanza tra le file o altezza dei moduli, risulta esserci, da parte delle lucertole, una

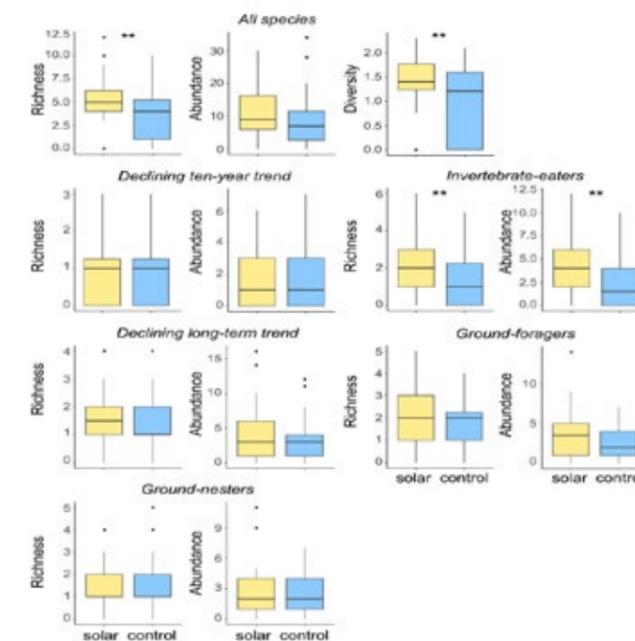
preferenza per le aree con zone ampie e soleggiate^{100 101}. Da tutti questi risultati risulta evidente come gli impianti fotovoltaici, con una pianificazione e una gestione adeguate (ad esempio, spaziatura variabile delle file a seconda della posizione) e una progettazione degli spazi aperti e delle zone periferiche attente (ad esempio, tramite lo sviluppo della vegetazione caratteristica degli ambienti aridi e semi-aridi, l'inserzione di strutture naturali e artificiali, una manutenzione adeguata), possono essere habitat di grande importanza anche per la fauna rettile.

Benefici per gli uccelli

Gli uccelli sono il più grande gruppo di vertebrati terrestri per numero di specie e sono ampiamente influenzati dal cambiamento climatico globale in atto¹⁰². Le analisi delle tendenze relative alle caratteristiche delle specie hanno evidenziato quali specie sono state maggiormente colpite e suggeriscono che alcune categorie di specie sono più colpite di altre. Ad esempio, è particolarmente ben documentato il declino diffuso delle specie che vivono all'interno dei paesaggi agricoli o nelle praterie^{103 104}. Il Farmland Bird Index (FBI), l'indicatore del monitoraggio delle popolazioni delle specie di uccelli comuni degli ambienti agricoli, indica un declino del 36% in 24 anni di monitoraggio (2000-2023), il 70% delle 28 specie monitorate presentano un declino della popolazione; nelle aree di pianura con maggiore agricoltura intensiva l'FBI indica un declino del 51% per le specie agricole (Fonte: Lipu, Rete Rurale Nazionale)¹⁰⁵. In particolare,

le principali cause sono ascrivibili all'intensificazione agricola e alle pratiche agricole ad essa connesse, ovvero l'utilizzo di sostanze chimiche e una semplificazione degli habitat. Per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici, i cui siti si trovano spesso in contesti agricoli o semi-naturali, gli studi disponibili sugli uccelli, i quali presentano areali molto ampi, evidenziano la potenzialità di queste strutture, in particolare quelle *utility scale* (o comunque molto estese). Soprattutto per quanto concerne gli uccelli nidificanti, gli impianti fotovoltaici possono rivestire una grande importanza negli habitat agricoli. Una ricerca condotta in Slovacchia ha valutato l'impatto dei parchi solari a terra sulla ricchezza di specie, sull'abbondanza, sull'indice di diversità di Shannon e sulla composizione delle comunità di uccelli in ben 32 siti (confrontandoli con altrettanti di controllo)¹⁰⁶. I ricercatori hanno riscontrato che i parchi solari presentavano una

maggiore ricchezza e diversità di specie di uccelli e una maggiore ricchezza e abbondanza di insettivori. Inoltre, hanno anche evidenziato che i siti degli impianti solari avevano una diversa composizione delle comunità di uccelli e una maggiore diversità beta (numero di comunità presenti), che, sommate, indicano una maggiore biodiversità complessiva (fig. 26). Gli impianti fotovoltaici, quindi, possono favorire la biodiversità degli uccelli in un paesaggio agricolo semplificato e coltivato intensivamente, divenendo elementi paesaggistici in grado di aumentare la ricchezza e la diversità delle specie di uccelli e di modificarne la composizione delle comunità. Inoltre, è importante sottolineare che gli impianti fotovoltaici esaminati non hanno previsto alcun tipo di gestione mirata per la conservazione degli uccelli. Pertanto, come sottolineano gli autori, è possibile ipotizzare che i benefici per la biodiversità di questo gruppo sarebbero ancora maggiori nel caso di impianti per i quali venga tenuto conto dei potenziali benefici per la natura in fase di progettazione e di gestione. Gli elementi degli impianti fotovoltaici che possono apportare benefici per le specie di uccelli sono numerosi. Alcune specie trovano condizioni favorevoli grazie al basso disturbo degli impianti, molte altre specie, invece, come l'averla capirossa, il tordo bottaccio, l'usignolo, il saltimpalo e il mignattaio, utilizzano le strutture verticali dei moduli o delle recinzioni come nascondigli e quindi spostano i loro territori ai confini degli impianti che altrimenti non colonizzerebbero¹⁰⁷. A ciò è possibile integrare la piantumazione di alberi e arbusti, l'installazione di altri elementi ecologici naturali e artificiali per la nidificazione e fornire un'adeguata gestione della manutenzione. Infine, molti studi sottolineano l'importanza di questi elementi come habitat di alimentazione per gli uccelli migratori. Uno studio del Regno Unito¹⁰⁸ ha mostrato che, grazie alla conversione dei siti da terreni agricoli a praterie con strutture più complesse, la diversità delle specie di uccelli nei parchi solari è mediamente più alta rispetto alle aree di controllo. Secondo i ricercatori, ciò è spiegabile anche con una migliore disponibilità di cibo e una maggiore disponibilità di coperture e posatoi all'interno dei siti degli impianti.



(Jarčuška et al, 2024)

Fig.26: Confronto tra siti fotovoltaici e di controllo in termini di:

- ricchezza di specie e dell'abbondanza e della diversità di Shannon di tutte le specie;
- ricchezza e abbondanza con riferimento a specie di uccelli dei paesaggi agricoli con trend (rispettivamente decennale e a lungo termine) della popolazione in declino
- ricchezza e abbondanza di alcune comunità importanti per l'ecosistema agricolo.

N.B. L'asterisco indica differenze statisticamente significative tra le tipologie di sito

- 92 Latham, D., & Knowles, M. (2008). Assessing the use of artificial hibernacula by great crested newts *Triturus cristatus* and other amphibians for habitat enhancement, Northumberland, England. *Conservation Evidence*, 5, 74–79.
- 93 Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.
- 94 Boscarino-Gaetano, R., Vernes, K., & Nordberg, E. J. (2024). Creating wildlife habitat using artificial structures: A review of their efficacy and potential use in solar farms. *Biological Reviews*.
- 95 LEGUAN GMBH, 2019: Monitoring auf der Photovoltaik-Anlage Eisenspalterei in Eberswalde, Bericht 2019 [Monitoring at the Eisenspalterei PV facility in Eberswalde, report 2019] - on behalf of envalue GmbH, Hofkirchen.
- 96 Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.
- 97 LEGUAN GMBH, 2014: Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Zwischenbericht 2014 [Monitoring at the Finow II and III PV facility Interim Report 2014] – on Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co KG. 33 p.
- 98 LEGUAN GMBH, 2015: Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Zwischenbericht 2015 [Monitoring at the Finow II and III PV facility Interim Report 2015] – on Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co KG. 90 p.
- 99 LEGUAN GMBH, 2016b: Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Abschlussbericht [Monitoring at the Finow II and III PV facility Final Report] – on Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co KG. 90 p.
- 100 HAUKE, J., 2019a: Freiflächenphotovoltaikanlage Mösthinsdorf, LK Saalekreis, LSA. Artenschutz Zauneidechse (*Lacerta agilis*). Monitoring 2015-2017. Schlussbericht [Mösthinsdorf open space photovoltaic plant, rural district Saalekreis, LSA. Sand lizard (*Lacerta agilis*) species protection. monitoring 2015-2017. Final report] - on behalf of ENERPAC. 19 p.
- 101 HAUKE, J., 2019b: Monitoringbericht Reptilien (in Vorb.), Solarpark Hohenerxleben, Stadt Staßfurt, Salzlandkreis. Monitoring 2015-2017.
- 102 Lees, A. C., Haskell, L., Allinson, T., Bezeng, S. B., Burfield, I. J., Renjifo, L. M., Rosenberg, K. V., Viswanathan, A., & Butchart, S. H. (2022). State of the world's birds. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 231–260.
- 103 Stanton, R., Morrissey, C., & Clark, R. (2018). Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 244–254.
- 104 Rigal, S., Dakos, V., Alonso, H., Auniņš, A., Benkő, Z., Brotons, L., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., De Carli, E., & Del Moral, J. C. (2023). Farmland practices are driving bird population decline across Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(21), e2216573120.
- 105 Rete Rurale Nazionale & Lipu, 2021. Farmland Bird Index nazionale e andamenti di popolazione delle specie in Italia nel periodo 2000-2020.

- 106 Jarčuška, B., Gálffyová, M., Schnürmacher, R., Baláz, M., Mišík, M., Repel, M., Fulín, M., Kerestúr, D., Lackovičová, Z., & Mojžiš, M. (2024). Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape. *Journal of Environmental Management*, 351, 119902.

- 107 Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. *Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV)*.

- 108 Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T. (2016). The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity.

(se le condizioni del suolo lo consentono) grazie alla buona disponibilità di cibo, di nascondigli adatti e di habitat per la deposizione delle uova. Se le popolazioni sono numerose, gli animali migrano e colonizzano altri habitat circostanti, potendo contribuire, quindi, a sostenere le popolazioni esistenti.

- Le distanze tra le file di moduli hanno un'influenza sul numero di individui e sulle densità di popolazione raggiunte, considerando che una distanza maggiore, aumentando le aree soleggiate, favorisce un aumento delle popolazioni presenti. Ciò non ha comunque alcuna influenza sulla presenza di anfibi, poiché questi preferiscono l'ombra, che è offerta dai moduli stessi, soprattutto durante la stagione calda.
- I parchi solari possono essere habitat adatti agli anfibi: in assenza di corpi idrici all'interno degli impianti, essi stessi offrono, comunque, condizioni favorevoli grazie alla copertura delle file di moduli e all'abbondanza di cibo sottoforma di insetti.
- Un ruolo fondamentale, sia per gli anfibi che per i rettili, è dato dalla progettazione e della gestione dell'impianto. La possibilità offerta dagli impianti

solari di potervi integrare elementi come strutture per lo svernamento, per la riproduzione, per il *basking* (rettili), per la nutrizione o anche per nascondersi, favorisce questi due gruppi (es: bacini idrici, rocce, alberi, siepi, filari).

- Il potenziale incremento della biodiversità di insetti nei parchi solari offre la possibile creazione di nuove o aumentate nicchie trofiche per i rettili e gli anfibi residenti nei siti degli impianti solari.

Per quanto riguarda gli uccelli si può affermare che:

- Soprattutto in paesaggi agricoli e semplificati, i siti in cui sono stati installati i parchi solari possono costituire degli hotspot di complessità degli habitat.
- Anche per gli uccelli, è stato dimostrato che l'integrazione di strutture, in particolare per la nidificazione, può favorire determinate specie¹⁰⁹
- Come per rettili e anfibi, il potenziale incremento della diversità di insetti nei parchi solari può essere considerato un vantaggio per la comunità di insettivori

CONCLUSIONI

8. INVERTIRE LA ROTTA: PRODURRE UN'ENERGIA CHE FA BENE ALL'UOMO E ALLA NATURA

Il capitolo conclusivo di questo report è dedicato all' *Homo sapiens*, a noi. Riferirsi all'umanità con la nomenclatura binomiale è utile a ricordarci che anche noi siamo una specie e che in quanto tale, interagiamo con gli habitat in cui siamo inseriti e da cui dipendiamo modificandoli, proprio come tutte le altre. Sicuramente, siamo una specie unica, perché è evidente che le nostre interazioni e i nostri impatti sono di un ordine di grandezza spaziale e temporale imparagonabile a quelli di qualsiasi altra specie esistente, e proprio per questo, siamo quella che più di tutte può arrestare quel circolo vizioso che abbiamo causato, invertendolo in uno virtuoso. È ora che la politica

e conseguentemente la società si impegnino più che mai nel fronteggiare la crisi climatica che l'uomo stesso ha causato. Senz'altro per la Terra, ma anche e soprattutto per i suoi abitanti, noi in primis. Molti dei vantaggi diretti di una transizione verso i sistemi energetici rinnovabili sono ben noti e ampiamente descritti: a partire dalla riduzione delle emissioni che significa, per esempio, meno ondate di calore (50.000 morti in Europa secondo un recente studio pubblicato su *Nature Medicine*¹¹⁰), minor frequenza di eventi estremi (8,5 miliardi di danni causati dall'alluvione dell'Emilia Romagna del 2023¹¹¹), minor siccità e desertificazione (al 2019 il 17,4% della

superficie nazionale è in stato di degrado¹¹²). Ciò di cui si parla meno sono proprio i benefici indiretti che questi nuovi sistemi energetici, realisticamente compatibili con la natura, possono portare all'uomo tramite la tutela e la promozione degli habitat e della biodiversità, a partire proprio dai territori in cui viviamo e in cui svolgiamo le nostre attività. Tra queste, la prima a beneficiarne è senz'altro l'attività agricola. La comunità scientifica suggerisce che la combinazione di sistemi fotovoltaici con le pratiche agricole è in grado di aumentare la produttività dei terreni interessati del 60-70%¹¹³ e, allo stesso tempo, incrementa il valore economico del terreno fino al 30% rispetto all'agricoltura convenzionale¹¹⁴. Insomma, il fotovoltaico può costituire un'importante differenziazione nelle fonti di introito per il settore agricolo. Le coltivazioni a carico dei terreni interessati dagli impianti solari, poi, sono spesso decisamente più sostenibili di quelle convenzionali, perché più diversificate, meno intensive e soprattutto molto meno avvezze a pratiche dannose come l'utilizzo di sostanze chimiche. Solo l'1% della massa di pesticidi utilizzata agisce in maniera diretta ed efficace¹¹⁵: la quota restante, oltre ad attaccare insetti benefici come gli impollinatori va ad accumularsi nelle matrici ambientali: partendo dall'acqua che beviamo, nell'aria che respiriamo e fino al suolo, facendo sì che le sostanze chimiche immesse permangano nei diversi cicli degli elementi e si accumulino nelle piante che coltiviamo. Ridurre l'utilizzo di queste sostanze chimiche vuol dire aumentare la qualità dell'ambiente grazie al quale viviamo, ovvero, migliorare la nostra vita. A ciò vanno sommati i benefici che possiamo trarre dalla tutela della natura e della biodiversità che si può operare anche grazie ai sistemi conservoltaici. L'utilizzo attento del suolo applicabile in un impianto fotovoltaico, può conservarne la qualità (sia in termini abiotici che biotici) e continuare a garantire i suoi innumerevoli servizi ecosistemici: il supporto alla vita e alla biodiversità, ospitando piante, animali e le attività umane;

l'approvvigionamento, grazie alla produzione di biomassa e materie prime nel terreno; la regolazione dei cicli idrologico e bio-geochimico, fungendo da serbatoio di carbonio e, non ultimo, in termine di valori culturali, in quanto elemento imprescindibile del paesaggio circostante. La promozione delle comunità vegetali integrabili in un impianto fotovoltaico (NB: non solo a scopi agricoli), poi, è la base per la creazione di benefici a tutto l'ecosistema. I benefici per gli impollinatori riportano un incremento dei ben noti servizi ecosistemici che essi forniscono: dalla conservazione delle entità floristiche selvatiche del territorio fino alla produzione agroalimentare, l'impatto positivo sulla natura e sulla nostra vita è enorme. Insomma, la diffusione dei sistemi conservoltaici, che prevedano l'integrazione sinergica tra la produzione di energia e la salvaguardia della natura, portano benefici non soltanto all'ambiente, ma anche e soprattutto a noi (in termini economici, sanitari, sociali), rendendo il fotovoltaico uno strumento fondamentale, e soprattutto a porta di mano, per affrontare la crisi climatica.

Per cogliere appieno le opportunità offerte da un impianto fotovoltaico per la conservazione della biodiversità è però fondamentale considerare questo obiettivo dalle fasi iniziali della progettazione dell'impianto, dopo una attenta verifica della presenza di specie e habitat nel territorio circostante l'area dell'impianto ed una valutazione del loro stato di conservazione. Gli interventi di ripristino della natura da prevedere come compensazione dovranno essere definiti e integrati nel progetto complessivo dell'impianto fotovoltaico al fine di garantire una diversificazione dell'area interessata per soddisfare le esigenze ecologiche dei diversi gruppi tassonomici. Infine nella gestione ordinaria dell'impianto dovrebbe essere incluso anche un periodico monitoraggio della biodiversità per una conferma della validità degli interventi di ripristino ed eventuali adattamenti.



109 Boscarino-Gaetano, R., Vernes, K., & Nordberg, E. J. (2024). Creating wildlife habitat using artificial structures: A review of their efficacy and potential use in solar farms. *Biological Reviews*.

110 Gallo, E., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F., Tonne, C., Basagaña, X., Achebak, H., & Ballester, J. (2024). Heat-related mortality in Europe during 2023 and the role of adaptation in protecting health. *Nature Medicine*. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03186-1>

111 <https://www.regione.emilia-romagna.it/notizie/2024/maggio/alluvione-un-anno-dopo>

112 <https://www.isprambiente.gov.it/it/news/convenzione-onu-per-combattere-la-desertificazione-entro-il-2030-dovranno-essere-recuperati-1-miliardo-di-ettari-di-aree-degradate>

113 Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>

114 Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>

115 Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112.

GLOSSARIO

Aboveground plant biomass (AGB): peso totale della materia organica presente sulla superficie del suolo relativa alla comunità vegetale di un determinato sito (FAO, 2007: Forests and Climate Change Working Paper 5). Si misura, solitamente, in g/m².

Belowground plant biomass (BGB): massa vegetale vivente presente che si trova sotto la superficie del suolo in un determinato sito (FAO, 2007: Forests and Climate Change Working Paper 5), usualmente inclusiva delle radici e del suolo ad esse associato. Si misura, solitamente, in g/m². Come per la AGB, la valutazione della biomassa sottosuperficiale (BGB) fornisce informazioni sull'immagazzinamento e sul ciclo del carbonio e dei nutrienti nell'ecosistema

Evenness: In ecologia, l'evenness delle specie si riferisce alla somiglianza delle abbondanze di ciascuna specie in un ambiente (IPBES).

Fauna del suolo: anche detta fauna edafica, è composta da nematodi, lombrichi, artropodi come acari e collemboli, piccoli mammiferi. L'azione della fauna edafica è fondamentale nella formazione dei suoli e nel mantenimento delle loro funzionalità, come porosità, aerazione e dislocazione della sostanza organica, le quali vengono influenzate positivamente.

Habitat: In ecologia, indica sia l'area e le risorse utilizzate da una particolare specie (l'habitat di una specie) sia un insieme di animali e piante e dell'ambiente abiotico in cui vivono. Il metodo di descrizione più completo degli habitat a livello europeo è la classificazione EUNIS (European Nature Information System). La definizione di habitat utilizzata per la classificazione degli habitat EUNIS è: "un luogo in cui vivono normalmente piante o animali, caratterizzato principalmente dalle sue caratteristiche fisiche (topografia, fisionomia delle piante o degli animali, caratteristiche del suolo, clima, qualità dell'acqua, ecc)". (EEA)

Impianto agrivoltaico (o agrovoltaico, o agro-fotovoltaico): impianto fotovoltaico che adotta soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione (MASE, Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

Impianto agrivoltaico avanzato: impianto agrivoltaico che, in conformità a quanto stabilito dall'articolo 65, comma 1-quater e 1-quinquies, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, e ss. mm.: i) adotta soluzioni integrative innovative con montaggio dei moduli elevati da terra, anche prevedendo la rotazione dei moduli stessi, comunque in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale, anche eventualmente consentendo l'applicazione di strumenti di agricoltura digitale e di precisione; ii) f) prevede la contestuale realizzazione di sistemi di monitoraggio che consentano di verificare l'impatto dell'installazione fotovoltaica sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture, la continuità delle attività delle aziende agricole interessate, il recupero della fertilità del suolo, il microclima, la resilienza ai cambiamenti climatici (MASE, Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

Impianto fotovoltaico: insieme di componenti che producono e forniscono elettricità ottenuta per mezzo dell'effetto fotovoltaico; esso è composto dall'insieme di moduli fotovoltaici e dagli altri componenti (BOS), tali da consentire di produrre energia elettrica e fornirla alle utenze elettriche in corrente alternata o in corrente continua e/o di immetterla nella rete distribuzione o di trasmissione (MASE, Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

Indice di Shannon: indice ampiamente utilizzato per confrontare la diversità tra vari habitat. Presuppone che gli individui siano campionati casualmente da una popolazione indipendente di grandi dimensioni e che tutte le specie siano rappresentate nel campione. Tiene conto sia della ricchezza di specie sia della loro evenness.

Insetti impollinatori (pronubi): si definiscono pronubi gli insetti che trasportando il polline da un fiore all'altro consentono l'impollinazione. Sono molti gli insetti in grado di svolgere questo compito, tra i più rilevanti vi sono sicuramente gli Imenotteri Apoidei (api e bombi), ma anche lepidotteri (farfalle e falene), coleotteri e ditteri sirfidi.

Micro-Habitat: insieme dei requisiti fisici su piccola scala di un particolare organismo o popolazione (IPBES).

PAC (Politica Agricola Comune): insieme di regole dettate dall'Unione europea, ai sensi dell'articolo 39 del Trattato sul Funzionamento dell'Unione europea, per incrementare la produttività dell'agricoltura; assicurare un tenore di vita equo alla popolazione agricola; stabilizzare i mercati; garantire la sicurezza degli approvvigionamenti;

assicurare prezzi ragionevoli ai consumatori (MASE, Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici)

Ricchezza di specie: è definita come il numero di specie presenti in una comunità, in un ecosistema o in una regione

SAU (Superficie Agricola Utilizzata): superficie agricola utilizzata per realizzare le coltivazioni di tipo agricolo, che include seminativi, prati permanenti e pascoli, colture permanenti e altri terreni agricoli utilizzati. Essa esclude quindi le coltivazioni per arboricoltura da legno (pioppeti, noceti, specie forestali, ecc.) e le superfici a bosco naturale (latifoglie, conifere, macchia mediterranea). Dal computo della SAU sono escluse le superfici delle colture intercalari e quelle delle colture in atto (non ancora realizzate). La SAU comprende invece la superficie delle piantagioni agricole in fase di impianto (MASE, Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici)

Servizi ecosistemici: I benefici che le persone ottengono dalla natura (MEA, 2003). Questa è la definizione originale dell'IPBES (Millennium Ecosystem Assessment) ed è quella più utilizzata dalla comunità di ricerca e politica e dalla letteratura tecnica. Nell'ambito dell'IPBES, dal 2018 il termine "servizi ecosistemici" e i suoi sottotipi sono stati sostituiti dalla terminologia associata al quadro concettuale dei "Nature's Contributions to People (NCP)": tutti i contributi della natura (cioè la biodiversità, gli ecosistemi e i processi ecologici ed evolutivi ad essi associati) alla buona qualità della vita delle persone. I contributi benefici della natura includono la fornitura di cibo, la purificazione dell'acqua, il controllo delle inondazioni e l'ispirazione artistica, mentre i contributi negativi includono la trasmissione di malattie e la predazione che danneggiano le persone o i loro beni. Molti NCP possono essere percepiti diversamente a seconda del contesto culturale, temporale o spaziale.

Sistema agrivoltaico avanzato: sistema complesso composto dalle opere necessarie per lo svolgimento di attività agricole in una data area e da un impianto agrivoltaico installato su quest'ultima che, attraverso una configurazione spaziale ed opportune scelte tecnologiche, integri attività agricola e produzione elettrica, e che ha lo scopo di valorizzare il potenziale produttivo di entrambi i sottosistemi, garantendo comunque la continuità delle attività agricole proprie dell'area (MASE, Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici).

Sistema conservoltaico: sistema fotovoltaico che offre le opportunità di combinare la produzione di energia solare e la conservazione della biodiversità. L'applicazione di strategie innovative di progettazione e gestione dei parchi fotovoltaici (ad esempio, attività mirate di ripristino degli habitat), unite alla corretta selezione di siti già degradati da precedenti utilizzi del suolo, come seminativi o pascoli, soprattutto in aree a bassa produttività possono contribuire alla conservazione della natura. (Nordberg & Schwarzkopf, 2023).

Tipping Points (punti di non ritorno): un livello di cambiamento nelle proprietà di un sistema oltre il quale il sistema si riorganizza, spesso bruscamente, e non torna allo stato iniziale anche se i fattori che hanno determinato il cambiamento vengono ridotti. Per il sistema climatico, si riferisce a una soglia critica quando il clima globale o regionale passa da uno stato stabile a un altro stato stabile (IPCC, 2018)

BIBLIOGRAFIA

Armstrong, A., Ostle, N. J., & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074016.

Bellucci, V., Piotto, B., & Sili, V. (2021). Piante e insetti impollinatori: Un'alleanza per la biodiversità. ISPRA, serie e rapporti, 350, 2021.

Benton, T. G., Bieg, C., Harwatt, H., Pudasaini, R., & Wellesley, L. (2021). Food system impacts on biodiversity loss. Three levers for food system transformation in support of nature. Chatham House, London, 02–03.

BFN, (2019). Renewable energy report (https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-09/bfnerneuerbareenergienreport2019_en_barrierefrei.pdf)

Blaydes, H., Gardner, E., Whyatt, J., Potts, S., & Armstrong, A. (2022). Solar park management and design to boost bumble bee populations. *Environmental Research Letters*, 17(4), 044002.

Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2021). Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111065. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111065>

Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2024). On-site floral resources and surrounding landscape characteristics impact pollinator biodiversity at solar parks. *Ecological Solutions and Evidence*, 5(1), e12307.

Bonelli, S., Cerrato, C., Bordignon, L., Lai, V., Ripetta, S., Vovlas, A., Patricelli, D., Witek, M., Barbero, F., & Sala, M. (2012). Le farfalle come bioindicatori: Revisione e casi di studio. *Biologia ambientale*, 26(2), 59–67.

Boscarino-Gaetano, R., Vernes, K., & Nordberg, E. J. (2024). Creating wildlife habitat using artificial structures: A review of their efficacy and potential use in solar farms. *Biological Reviews*.

Buono, V., Bissattini, A. M., & Vignoli, L. (2019). Can a cow save a newt? The role of cattle drinking troughs in amphibian conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(6), 964–975.

CleanAction (2023). “Nature-safe Energy: Linking energy and nature to tackle the climate and biodiversity crises” Report. https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/cleanaction_nature_safe_energy_report.pdf

Convegno Rete Rurale Nazionale (28/02/2023): <https://www.youtube.com/watch?v=CIvM6GP3I48>

Dinesh, H., & Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>

Duchenne, F., Thébault, E., Michez, D., Elias, M., Drake, M., Persson, M., Rousseau-Piot, J., Pollet, M., Vanormelingen, P., & Fontaine, C. (2020). Phenological shifts alter the seasonal structure of pollinator assemblages in Europe. *Nature Ecology & Evolution*, 4(1), 115–121.

Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>

Faber-Langendoen, D., & Josse, C. (2010). World grasslands and biodiversity patterns. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.

Feng, X., Merow, C., Liu, Z., Park, D. S., Roehrdanz, P. R., Maitner, B., Newman, E. A., Boyle, B. L., Lien, A., Burger, J. R., Pires, M. M., Brando, P. M., Bush, M. B., McMichael, C. N. H., Neves, D. M., Nikolopoulos, E. I., Saleska, S. R., Hannah, L., Breshers, D. D., ... Enquist, B. J. (2021). How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity. *Nature*, 597(7877), 516–521. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03876-7>

Follett, P. A., Bruin, J., & Desneux, N. (2020). Insects in agroecosystems—an introduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(1), 3–6.

Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hall, B., Hauser, M., Ribes, A., Rosen, D., Gillett, N. P., Palmer, M. D., Rogelj, J., von Schuckmann, K., Trewin, B., Allen, M., Andrew, R., Betts, R. A., Borger, A., Boyer, T., Broersma, J. A., Buontempo, C., Burgess, S., Cagnazzo, C., Cheng, L., Friedlingstein, P., Gettelman, A., Gütschow, J., Ishii, M., Jenkins, S., Lan, X., Morice, C., Mühle, J., Kadow, C., Kennedy, J., Killeck, R. E., Krümmel, P. B., Minx, J. C., Myhre, G., Naik, V., Peters, G. P., Pirani, A., Pongratz, J., Schleussner, C.-F., Seneviratne, S. I., Szopa, S., Thorne, P., Kovilakam, M. V. M., Majamäki, E., Jalkanen, J.-P., van Marle, M., Hoesly, R. M., Rohde, R., Schumacher, D., van der Werf, G., Vose, R., Zickfeld, K., Zhang, X., Masson-Delmotte, V., and Zhai, P.: Indicators of Global Climate Change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence, *Earth Syst. Sci. Data*, 16, 2625–2658, <https://doi.org/10.5194/essd-16-2625-2024>, 2024.

Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810–821.

Gallo, E., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F., Tonne, C., Basagaña, X., Achebak, H., & Ballester, J. (2024). Heat-related mortality in Europe during 2023 and the role of adaptation in protecting health. *Nature Medicine*. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03186-1>

Gómez-Catasús, J., Morales, M. B., Giralt, D., del Portillo, D. G., Manzano-Rubio, R., Solé-Bujalance, L., ... & Bota, G. (2024). Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps. *Conservation Letters*, e13025.

González-Ubierna, S., & Lai, R. (2019). Modelling the effects of climate factors on soil respiration across Mediterranean ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 165, 46–54.

Graebig, M., Bringezu, S., & Fenner, R. (2010). Comparative analysis of environmental impacts of maize–biogas and photovoltaics on a land use basis. *Solar Energy*, 84(7), 1255–1263. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.04.002>

Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A. P., Moldenke, A. R., DeBano, S. J., Best, L. R., & Higgins, C. W. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13.

Guarino, R., Vrahnakis, M., Rojo, M., Giuga, L., & Pasta, S. (2020). Grasslands and shrublands of the Mediterranean region. In *Encyclopedia of the World's Biomes* (Vol. 3, pp. 638–655). Elsevier.

Guiller, C., Affre, L., Deschamps-Cottin, M., Geslin, B., Kaldonski, N., & Tatoni, T. (2017). Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(6), 1817–1823.

Hanley, N., Breeze, T. D., Ellis, C., & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosystem Services*, 14, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.09.013>

HAUKE, J., 2019a: Freiflächenphotovoltaikanlage Mösthinsdorf, LK Saalekreis, LSA. Artenschutz Zauneidechse (*Lacerta agilis*). Monitoring 2015-2017. Schlussbericht [Mösthinsdorf open space photovoltaic plant, rural district Saalekreis, LSA. Sand lizard (*Lacerta agilis*) species protection. monitoring 2015-2017. Final report] - on behalf of ENERPARC. 19 p.

HAUKE, J., 2019b: Monitoringbericht Reptilien (in Vorb.), Solarpark Hohenerleben, Stadt Staßfurt, Salzlandkreis. Monitoring 2015-2017.

Hernandez, R. R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore-O’Leary, K., Diédhiou, I., Grodsky, S. M., Saul-Gershenz, L., Davis, R., & Macknick, J. (2019). Techno–ecological synergies of solar energy for global sustainability. *Nature Sustainability*, 2(7), 560–568.

Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., & Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766–779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>

Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou, 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas*

emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 175-312, doi:10.1017/9781009157940.005.

<https://eccoclimate.org/it/scenario-di-decarbonizzazione-del-sistema-elettrico-italiano-entro-il-2035/>

<https://indicatoriambientali.isprambiente.it/index.php/it/biodiversita-stato-e-minacce/consistenza-e-livello-di-minaccia-di-specie-vegetali>

https://www.g7italy.it/wp-content/uploads/G7-Climate-Energy-Environment-Ministerial-Communique_Final.pdf

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/climate-pledges-explorer>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/news/convenzione-onu-per-combattere-la-desertificazione-entro-il-2030-dovranno-essere-recuperati-1-miliardo-di-ettari-di-aree-degradate>

<https://www.mase.gov.it/comunicati/clima-energia-litalia-ha-inviato-il-pniec-bruxelles>

<https://www.regione.emilia-romagna.it/notizie/2024/maggio/alluvione-un-anno-dopo>

https://www.repubblica.it/green-and-blue/2023/11/06/news/decarbonizzazione_piano_italia-419402707/

IEA (2023), World Energy Outlook 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

IPCC (2021). Chapter 7. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

ISPRA (2020). *Il declino delle api e degli impollinatori. Le risposte alle domande più frequenti. Quaderni Natura e Biodiversità n.12/2020*. ISBN 978-88-448-1000-9, 43 p.

ISPRA (2021). *Transizione Ecologica Aperta Dove va l'ambiente italiano?* <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/pubblicazioni-di-pregio/tea.pdf>

ISTAT (2020): <https://noi-italia.istat.it/pagina.php?id=3&categoria=11&action=show&L=0>

Jarčuška, B., Gálffyová, M., Schnürmacher, R., Baláž, M., Mišík, M., Repel, M., Fulín, M., Kerestúr, D., Lackovičová, Z., & Mojžiš, M. (2024). Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape. *Journal of Environmental Management*, 351, 119902.

L'agricoltura italiana in numeri (2020). <https://www.terrainnova.it/report-lagricoltura-italiana-numeri-focus-regione-regione/>

Lafitte, A., Sordello, R., Ouédraogo, D.-Y., Thierry, C., Marx, G., Froidevaux, J., Schatz, B., Kerbiriou, C., Gourdain, P., & Reyjol, Y. (2023). Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: A systematic map with critical appraisal of study validity. *Environmental Evidence*, 12(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13750-023-00318-x>

Lapola, D. M., Pinho, P., Barlow, J., Aragão, L. E., Berenguer, E., Carmenta, R., Liddy, H. M., Seixas, H., Silva, C. V., & Silva-Junior, C. H. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, 379(6630), eabp8622.

Latham, D., & Knowles, M. (2008). Assessing the use of artificial hibernacula by great crested newts *Triturus cristatus* and other amphibians for habitat enhancement, Northumberland, England. *Conservation Evidence*, 5, 74–79.

Lees, A. C., Haskell, L., Allinson, T., Bezeng, S. B., Burfield, I. J., Renjifo, L. M., Rosenberg, K. V., Viswanathan, A., & Butchart, S. H. (2022). State of the world's birds. *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 231–260.

LEGUAN GMBH (2016a). *Biologisches Monitoring zu Solarpark II Fürstenwalde. Bericht 2015* [Biological monitoring of Fürstenwalde Solarpark II. Report 2015] - on behalf of Trautmann Goetz Landschaftsarchitekten, Berlin. 11 pp. + Photo Appendix.

LEGUAN GMBH (2016a). *Monitoring der PV-Anlage Finow II und III. Abschlussbericht 2015* [Monitoring of the Finow II and III PV Facility final report] - on behalf of S Quadrat Finow Tower Grundstücks, GmbH & Co Kg. 90 p.

LEGUAN GMBH, 2014: *Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Zwischenbericht 2014* [Monitoring at the Finow II and III PV facility Interim Report 2014] – on Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co KG. 33 p.

LEGUAN GMBH, 2015: *Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Zwischenbericht 2015* [Monitoring at the Finow II and III PV facility Interim Report 2015] – on Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co KG. 90 p.

LEGUAN GMBH, 2016b: *Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Abschlussbericht* [Monitoring at the Finow II and III PV facility Final Report] – on Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co KG. 90 p.

LEGUAN GMBH, 2019: *Monitoring auf der Photovoltaik-Anlage Eisenspalterei in Eberswalde, Bericht 2019* [Monitoring at the Eisenspalterei PV facility in Eberswalde, report 2019] - on behalf of envalue GmbH, Hofkirchen.

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W., & Schellnhuber, H. J. (2019). Climate tipping points—Too risky to bet against. *Nature*, 575(7784), 592–595. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>

Leonhardt, S. D., Gallai, N., Garibaldi, L. A., Kuhlmann, M., & Klein, A.-M. (2013). Economic gain, stability of pollination and bee diversity decrease from southern to northern Europe. *Basic and Applied Ecology*, 14(6), 461–471.

Li, Y., Kalnay, E., Motesharrei, S., Rivas, J., Kucharski, F., Kirk-Davidoff, D., Bach, E., & Zeng, N. (2018). Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation. *Science*, 361(6406), 1019–1022.

Liu, Y., Zhang, R., Huang, Z., Cheng, Z., Lópe-Vicente, M., Ma, X., & Wu, G. (2019). Solar photovoltaic panels significantly promote vegetation recovery by modifying the soil surface microhabitats in an arid sandy ecosystem. *Land degradation & development*, 30(18), 2177–2186.

Liu, Z., Peng, T., Ma, S., Qi, C., Song, Y., Zhang, C., Li, K., Gao, N., Pu, M., & Wang, X. (2023). Potential benefits and risks of solar photovoltaic power plants on arid and semi-arid ecosystems: An assessment of soil microbial and plant communities. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1190650.

Lovejoy, T. E., & Nobre, C. (2018). Amazon tipping point. *Science advances*, 4(2), eaat2340.

Luo, L., Zhuang, Y., Liu, H., Zhao, W., Chen, J., Du, W., & Gao, X. (2023). Environmental impacts of photovoltaic power plants in northwest China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103120. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103120>

Malhi, Y., Aragão, L. E., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, R., Zelazowski, P., Sitch, S., McSweeney, C., & Meir, P. (2009). Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(49), 20610–20615.

Marinosci, I., Desiderio, G., Caricato, G., Dattola, L., Ragone, G., Carati, M., Meloni, C., Trappolini, E., Lazzari, M., & Bellingeri, D. (2023). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2023. In *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2023. Report SNPA, 37/23.

Menta, C., Remelli, S., Andreoni, M., Gatti, F., & Sergi, V. (2023). Can Grasslands in Photovoltaic Parks Play a Role in Conserving Soil Arthropod Biodiversity? *Life*, 13(7), 1536.

Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T. (2016). The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. *Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity*.

Nieto, A., Roberts, S.P.M., Kemp, J., Rasmont, P., Kuhlmann, M., García Criado, M., Biesmeijer, J.C., Bogusch, P.,

Dathe, H.H., De la Rúa, P., De Meulemeester, T., Dehon, M., Dewulf, A., Ortiz-Sánchez, F.J., Lhomme, P., Pauly, A., Potts, S.G., Praz, C., Quaranta, M., Radchenko, V.G., Scheuchl, E., Smit, J., Straka, J., Terzo, M., Tomozii, B., Window, J. and Michez, D. 2014. European Red List of bees. Luxembourg: Publication Office of the European Union.

Nordberg, E. J., & Schwarzkopf, L. (2023). Developing conservoltaic systems to support biodiversity on solar farms. *Austral Ecology*, 48(3), 643–649. <https://doi.org/10.1111/aec.13289>

Olisah, C., Adeola, A. O., Iwuozor, K. O., Akpomie, K. G., Conradie, J., Adegoke, K. A., Oyedotun, K. O., Ighalo, J. O., & Amaku, J. F. (2022). A bibliometric analysis of pre- and post Stockholm Convention research publications on the Dirty Dozen Chemicals (DDCs) in the African environment. *Chemosphere*, 308, 136371

Organization, W. M. (2023). The Global Climate 2011-2020: A Decade of Accelerating Climate Change. United Nations. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789263113382>

Organization, W. M., (2024). State of the Global Climate 2023. United Nations. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789263113474>

Orsenigo, S., Fenu, G., Gargano, D., Montagnani, C., Abeli, T., Alessandrini, A., ... & Rossi, G. (2021). Red list of threatened vascular plants in Italy. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 155(2), 310-335.

Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Dec. 12, 2015, T.I.A.S. No. 16-1104

Parisi, V. (2001). La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, 37, 105–114.

Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 105(1–2), 323–333.

Pastorelli, R., Valboa, G., Lagomarsino, A., Fabiani, A., Simoncini, S., Zaghi, M., & Vignozzi, N. (2021). Recycling biogas digestate from energy crops: Effects on soil properties and crop productivity. *Applied Sciences*, 11(2), 750.

Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., & Hauke, J. (2019). Solar parks-profits for biodiversity. Association of Energy Market Innovators (bne/Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV).

Potts, S. G., Imperatriz Fonseca, V., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production.

Rácz, I., Szanyi, S., & Nagy, A. (2023). Review on flower-visiting behaviour of orthopterans and setting priorities for further studies. *Biologia Futura*, 74(4), 393–400.

Randle-Boggis, R. J., White, P. C. L., Cruz, J., Parker, G., Montag, H., Scurlock, J. M. O., & Armstrong, A. (2020). Realising co-benefits for natural capital and ecosystem services from solar parks: A co-developed, evidence-based approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125, 109775. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109775>

Renewable Power Generation Costs in 2021 (IRENA, 2021); <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>.

Renwick, J. A. A. (1989). Chemical ecology of oviposition in phytophagous insects. *Experientia*, 45(3), 223–228.

Rete Rurale Nazionale & Lipu, 2021. Farmland Bird Index nazionale e andamenti di popolazione delle specie in Italia nel periodo 2000-2020.

Rigal, S., Dakos, V., Alonso, H., Auniņš, A., Benkő, Z., Brotons, L., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., De Carli, E., & Del Moral, J. C. (2023). Farmland practices are driving bird population decline across Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(21), e2216573120.

Risoluzione del Parlamento europeo del 28 aprile 2021 sulla protezione del suolo (2021/2548(RSP))

Sinha, P., Hoffman, B., Sakers, J., & Althouse, L. (2018). Best practices in responsible land use for improving biodiversity at a utility-scale solar facility. *Case Studies in the Environment*.

SolarPower Europe (2023): EU Market Outlook for Solar Power 2023-2027

Solar Trade Association (2019). The Natural Capital value of solar. Eds N. Gall and E. Rosewarne.

Stanton, R., Morrissey, C., & Clark, R. (2018). Analysis of trends and agricultural drivers of farmland bird declines in North America: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254, 244–254.

Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112.

Uldrijan, D., Kováčiková, M., Jakimiuk, A., Vaverková, M. D., & Winkler, J. (2021). Ecological effects of preferential vegetation composition developed on sites with photovoltaic power plants. *Ecological Engineering*, 168, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106274>

UNFCCC. Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement (CMA), 2023, Outcome of the first global stocktake. Draft decision -/CMA.5. Proposal by the President. <https://unfccc.int/documents/636608>

Van Nieuwerkerken, E. (2011). Order lepidoptera linnaeus, 1758.

Van Swaay, C., & Warren, M. (1999). Red data book of European butterflies (Rhopalocera) (Vol. 99). Council of Europe.

Van Zanten, B. T., Verburg, P. H., Espinosa, M., Gomez-y-Paloma, S., Galimberti, G., Kantelhardt, J., Kapfer, M., Lefebvre, M., Manrique, R., & Piorr, A. (2014). European agricultural landscapes, common agricultural policy and ecosystem services: A review. *Agronomy for sustainable development*, 34, 309–325.

Veen, P., Jefferson, R., De Smidt, J., & Van der Straaten, J. (2014). Grasslands in Europe: Of high nature value. BRILL.

Vervloesem, J., Marcheggiani, E., Choudhury, M. A. M., & Muys, B. (2022). Effects of photovoltaic solar farms on microclimate and vegetation diversity. *Sustainability*, 14(12), 7493.

Walker, X. J., Baltzer, J. L., Cumming, S. G., Day, N. J., Ebert, C., Goetz, S., Johnstone, J. F., Potter, S., Rogers, B. M., & Schuur, E. A. (2019). Increasing wildfires threaten historic carbon sink of boreal forest soils. *Nature*, 572(7770), 520–523.

Walston, L. J., Hartmann, H. M., Fox, L., Macknick, J., McCall, J., Janski, J., & Jenkins, L. (2024). If you build it, will they come? Insect community responses to habitat establishment at solar energy facilities in Minnesota, USA. *Environmental Research Letters*, 19(1), 014053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/adof72>

Wardhaugh, C. W. (2015). How many species of arthropods visit flowers? *Arthropod-Plant Interactions*, 9(6), 547–565.

WWF Italia, (2023). Biodiversità fragile, maneggiare con cura



Rapporto commissionato dal WWF Italia

**5 milioni di sostenitori nel mondo.
Una rete globale attiva in oltre 100 Paesi.
1300 progetti di conservazione.
In Italia oltre 100 Oasi protette.
Migliaia le specie interessate dall'azione
del WWF sul campo.**

WWF Italia ETS
Via Po, 25/c
00198 Roma

Tel: 06844971
e-mail: segreteria generale@wwf.it
sito: wwf.it