

Valeria D'Ambrosio, <https://orcid.org/0000-0002-0201-0590>

Enza Tersigni, <https://orcid.org/0000-0002-2981-1603>

Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia

valeria.dambrosio@unina.it

enza.tersigni@unina.it

Abstract. L'innovazione nel campo dei sistemi agrivoltaici prevede l'adozione di soluzioni integrate volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola, applicando innovazioni convergenti di tipo tecnologico-energetico da un lato e tecnologico-culturale dall'altro. I sistemi agrivoltaici possono essere inquadrati nella categoria dei sistemi integrati biotech e la loro implementazione guarda a innovativi modelli di habitat climate resilient, favorendo una combinazione compatibile fra componenti antropiche e ambientali. Il contributo riporta gli esiti dell'attività di un gruppo di ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II condotta nell'ambito del progetto integrato "Fotovoltaico ad alta efficienza" (PTR 2022-2024) con l'obiettivo di definire strumenti di supporto per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici, a partire dalla costruzione di un quadro sistematizzato dei principali aspetti di innovazione tecnologica nelle sue linee di orientamento per l'incremento della resilienza climatica.

Parole chiave: Sistemi agrivoltaici; *Habitat climate resilient*; Decarbonizzazione; Neutralità climatica.

Transizioni del settore agricolo in chiave *carbon e climate neutral*

contribuire al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica entro il 2050. Sebbene una notevole potenza installata possa essere realizzata nelle aree urbane, nelle aree dismesse e nelle infrastrutture, si prevede che circa il 50% possa essere costituito da impianti cosiddetti "a terra", comprendendo anche i terreni in aree agricole (SolarPower Europe, 2022).

La diffusione di sistemi agrivoltaici, nell'ambito del perseguimento delle strategie dell'*European Green Deal*, può contribuire al raggiungimento degli obiettivi fissati dalle politiche rela-

In ambito europeo le politiche energetiche mirano a una rapida accelerazione della diffusione del solare fotovoltaico per

Innovative agrivoltaic systems: integrated solutions for climate resilient habitats

Abstract. Innovation in the field of agrivoltaic systems involves the adoption of integrated solutions aimed at preserving the continuity of agricultural cultivation activities by applying convergent technological-energy innovations on the one hand, and technological-cultural innovations on the other. Agrivoltaic systems can be framed in the category of biotech integrated systems, and their implementation looks at innovative climate resilient habitat models, favouring a compatible combination of anthropic and environmental components. The paper reports on the outcomes of the activity of a research group of the Department of Architecture, University of Naples Federico II, conducted in the framework of the integrated project 'High-efficiency photovoltaics' (PTR 2022-2024). The aim was to define support tools for environmental sustainability in the design of agrivoltaic systems, starting from the construction of a systematised framework of

tive alla transizione energetica, con potenziali ricadute positive sull'agricoltura, sull'ambiente e sulla biodiversità e, più in generale, sulla gestione integrata delle risorse acqua-energia-cibo-ecosistemi (Chalkias and Stathatos, 2024). Nel rapporto del *Joint Research Centre* della Commissione europea viene stimato che l'utilizzo di solo l'1% della superficie agricola europea destinata ad accogliere sistemi agrivoltaici potrebbe consentire 1 TW di capacità fotovoltaica, ben al di sopra dei 590 GW previsti entro il 2030 dalla recente strategia dell'UE¹ per l'energia solare (Chatzipanagi *et al.*, 2023). Nella Politica Agricola Comune dell'UE, in vigore in Italia dal 2023, l'attuazione di soluzioni agrivoltaiche viene individuata come misura per favorire lo sviluppo di aziende agricole a impatto zero e la trasformazione del settore agricolo in chiave *carbon e climate neutral* attraverso l'innovativa organizzazione di "comunità agro-energetiche" (Abouaiana and Battisti, 2022).

Anche in ambito nazionale, la diffusione di sistemi agrivoltaici si inquadra fra una delle più interessanti opportunità previste dalla Missione 2 "Rivoluzione verde e transizione ecologica" del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, che dichiara l'obiettivo di un profondo cambiamento per realizzare la transizione verde, ecologica e inclusiva del Paese favorendo l'economia circolare, lo sviluppo di fonti di energia rinnovabile e un'agricoltura più sostenibile e resiliente al clima. I co-benefici correlati alla diffusione di sistemi agrivoltaici sono molteplici, a partire dai minori rischi rispetto all'agricoltura tradizionale fortemente dipendente dalle condizioni meteorologiche e sempre più sottoposta agli effetti del cambiamento climatico: protezione da forti venti, grandine o eccessivo irraggiamento solare, controllo

the main aspects of the technological innovation in its orientation towards increasing climate resilience.

Keywords: Agrivoltaic systems; Climate resilient habitat; Decarbonisation; Climate neutrality.

Transitions of the agricultural sector towards carbon and climate neutrality

Energy policies in Europe aim at a rapid acceleration of solar photovoltaic use to contribute to the achievement of decarbonisation and climate neutrality targets by 2050. Although a considerable amount of installed capacity can be realised in urban areas, brownfields and infrastructure, it is expected that around 50% could be so-called 'ground-mounted' systems, including land in agricultural areas (SolarPower Europe, 2022).

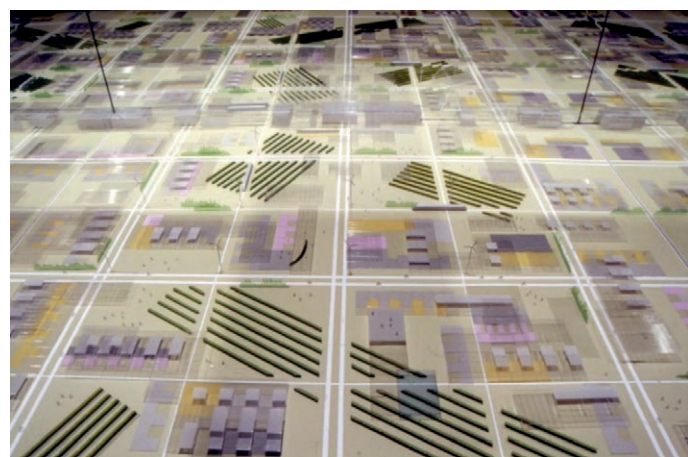
The spread of agrivoltaic systems, as part of the pursuit of the European Green Deal strategies, can contribute to the achievement of goals set by policies related to the energy transition, with potential positive effects on agriculture, on the environment and biodiversity and, more generally, on the integrated management of water-energy-food-ecosystems resources (Chalkias and Stathatos, 2024). In a report by the Joint Research Centre of the European Commission, it is estimated that the use of only 1% of the European agricultural area as land for agrivoltaic systems could enable 1 TW of photovoltaic capacity, well above the 590 GW envisaged by 2030 in the recent EU strategy¹ for solar energy (Chatzipanagi *et al.*, 2023). In the EU Common Agricultural Policy, in force in Italy from 2023, the implementation of agrivoltaic solutions

dei processi di evapotraspirazione delle colture, limitazione del fabbisogno idrico, contrasto delle precipitazioni intense e delle condizioni di siccità (Klyk and Schindele, 2024).

Sistemi agrivoltaici per habitat *climate resilient*

I sistemi agrivoltaici possono essere inquadrati nella categoria di sistemi integrati *biotech* in base alla caratteristica di combinare componenti biotiche e componenti tecnologiche avanzate, integrando colture e contesti ambientali, principi insediativi e sistemi tecnologici, ambiti naturali da valorizzare in termini di tutela e sviluppo sostenibile. La realizzazione di sistemi agrivoltaici non può essere tuttavia considerata nella verifica della combinazione dei suoi aspetti funzionali, produttivi e di compatibilità fra tecnologia e ambiente agricolo, ma nelle implicazioni delle componenti insediative di innovativi modelli di habitat capaci di trovare nuovi punti di contatto fra la sfera antropizzata e quella naturale, strutturati secondo sistemi aperti in base ai canoni derivati dall'agricoltura (Branzi, 2006) (Fig. 1). Si propone, infatti, un modello che si strutturi e cambi in simbiosi con la natura e i suoi processi, mutevoli ed evolutivi, così come teorizzato da Andrea Branzi sulla scia delle teorie della modernità liquida di Bauman e, ancora prima, di Kelly (Bauman, 1999; Kelly, 1994). Nei sistemi agrivoltaici si rinvencono ibridazioni fra il contesto rurale e l'apporto delle infrastrutture per la produzione energetica capaci di prefigurare habitat sostenibili e *climate resilient* attraverso la concezione di soluzioni che contribuiscono ai processi di decarbonizzazione e di adattamento.

Lo sviluppo di habitat *climate resilient* favorisce la coesistenza fra componenti antropiche e ambientali e si basa su processi ri-



generativi circolari in cui i cicli tecnologici sono il più possibile armonizzati e compatibili con i cicli naturali. Il riferimento è di un concetto di habitat che richiama quello di «paesaggio ambientale inteso [...] come materiale “vivo” su cui intervenire per dare risposte in termini progettuali alle nuove istanze insediative e abitative della società contemporanea» (Vittoria, 1979).

Diffusione dei sistemi agrivoltaici e strumenti di supporto alle decisioni per il progetto

Negli ultimi anni con la diffusione dei primi impianti agrivoltaici in ambito nazionale e internazionale e con la sperimentazione di soluzioni innovative capaci di migliorare la produttività agricola, e ridurre i rischi legati agli effetti del cambiamento climatico, si è aperto un dibattito sugli interventi ammissibili e sull'appropriata integrazione fra tecnologia e natura. Se da un lato i dati monitorati nei primi impianti realizzati restituiscono informazioni rassicuranti sulla produttività e sui benefici di tali soluzioni nel contrastare stress termico, idrico e biotico per le colture e nel proteggere da eventi atmosferici estremi come grandine, piogge e gelate primaverili tardive, dall'altro si sono accresciute le preoccupazioni per l'impatto sui paesaggi rurali (anche maggiore ri-

is identified as a measure to foster the development of carbon-neutral farms, and the transformation of the agricultural sector in a carbon- and climate-neutral key through the innovative organisation of 'agro-energy communities' (Abouaiana and Battisti, 2022).

Also at the national level, the deployment of agrivoltaic systems is one of the most interesting opportunities envisaged by Mission 2 Green Revolution and Ecological Transition of the National Recovery and Resilience Plan. This mission declares the goal of implementing a profound change to achieve the country's green, ecological and inclusive transition by favouring the circular economy, the development of renewable energy sources, and a more sustainable and climate resilient agriculture. The co-benefits related to the diffusion of agrivoltaic systems are

multiple, starting with the lower risks compared to traditional agriculture, which is highly dependent on weather conditions and increasingly subject to the effects of climate change. Lower risks include protection from strong winds, hail or excessive sunlight, control of crop evapotranspiration processes, limitation of water requirements, and contrasting heavy rainfall and drought conditions (Klyk and Schindele, 2024).

Agrivoltaic systems for climate resilient habitats

Agrivoltaic systems can be framed in the category of biotech integrated systems on the basis of their characteristic of combining biotic components and advanced technological components, integrating crops and environmental contexts, settlement principles and technological systems, and natural

environments to be enhanced in terms of protection and sustainable development. However, the implementation of agrivoltaic systems cannot be considered in the combination of its functional, productive and compatibility aspects between technology and the agricultural environment. It must, instead, be viewed taking into account the implications of the settlement components of innovative habitat models capable of finding new points of contact between the anthropised and natural spheres, structured according to open systems based on the canons derived from agriculture (Branzi, 2006) (Fig. 1). It proposes a model that structures and changes in symbiosis with nature and its changing and evolving processes, as theorised by Andrea Branzi in the wake of the liquid modernity theories of Bauman and, even earlier, Kelly (Bauman, 1999;

Kelly, 1994). Agrivoltaic systems present hybridisations between the rural context and the contribution of energy production infrastructures capable of prefiguring sustainable and climate resilient habitats through the conception of solutions that contribute to decarbonisation and adaptation processes. The development of climate resilient habitats favours the coexistence of human and environmental components. It is based on circular regenerative processes in which technological cycles are harmonised and compatible with natural cycles as far as possible. The reference is to a concept of habitat that recalls that of «environmental landscape understood [...] as a “living” material on which to intervene to give answers in design terms to the new settlement and housing instances of contemporary society» (Vittoria, 1979).

spetto agli impianti a terra) e per fattori quali il cambiamento delle colture, dei rilievi, delle tessiture storiche del paesaggio e, più in generale, del modello del paesaggio agricolo (Toledo and Scognamiglio, 2021).

In UE paesi come Francia, Paesi Bassi o Germania, normative chiare e incentivi mirati per l'implementazione di sistemi agrivoltaici hanno portato alla realizzazione del più alto numero di impianti in Europa². In questi casi, un ampio consenso si è raggiunto sia con la collaborazione fra agricoltori e sviluppatori, sia con l'inclusione delle comunità locali nei processi decisionali. In Italia, al contrario, si rileva ancora un numero limitato di impianti installati, condizione principalmente dovuta a un ritardo nella definizione di quadri normativi, misure di incentivazione e linee di indirizzo³.

Un ruolo rilevante nella diffusione di sistemi agrivoltaici è definito, infatti, dalla presenza di strumenti di supporto decisionale e validazione, fra cui emergono specifiche linee guida basate su requisiti e standard da applicare nella sinergia tra produzione agricola e generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Fra gli aspetti ricorrenti all'interno delle linee guida vi è l'incidenza sul rendimento agricolo ed economico, la riduzione degli impatti climatici, il miglioramento delle attività agro-zootecniche e la reversibilità degli impianti come fattori che devono essere simultaneamente rispettati e non essere compromessi.

Ulteriori strumenti di supporto, che si stanno recentemente diffondendo quali esiti di ricerche o sperimentazioni, sono *tool* digitali⁴ che consentono di calcolare parametri specifici come la produzione di energia elettrica o la resa prevista delle colture con la simulazione di dati quali l'irradianza e la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) ottenibile con i sistemi proposti.

Spread of agrivoltaic systems and decision support tools for the project

In recent years, with the spread of the first agrivoltaic installations nationally and internationally, and with the experimentation of innovative solutions capable of improving agricultural productivity and reducing the risks linked to the effects of climate change, a debate has opened up on eligible interventions and the appropriate integration of technology and nature. While the data monitored in the first implemented installations provide encouraging information on the productivity and benefits of such solutions in counteracting thermal, water and biotic stress on crops, and on protecting against extreme weather events such as hail, rain and late spring frost, concern has increased over the impact on rural landscapes (even greater than with ground-mounted installations) and on factors

such as changing crops, relief, historical landscape textures and, more generally, the pattern of the agricultural landscape (Toledo and Scognamiglio, 2021).

In EU countries such as France, The Netherlands or Germany, clear regulations and targeted incentives for the implementation of agrivoltaic systems have led to the highest number of installations in Europe². In these cases, a broad consensus was achieved both through collaboration between farmers and developers, and the inclusion of local communities in decision-making processes. Instead, in Italy there is still a limited number of systems installed, a condition mainly due to a delay in defining regulatory frameworks, incentive measures and guidelines³.

A relevant role in the diffusion of agrivoltaic systems is defined by the presence of support and validation tools for decision-making. They include

L'attività di ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II⁵ è stata condotta nell'ambito del PTR 2022-2024 Progetto Integrato "Fotovoltaico ad alta efficienza" con l'obiettivo di definire strumenti di supporto per la sostenibilità ambientale nel progetto di sistemi agrivoltaici, a partire dalla costruzione di un quadro sistematizzato dei principali aspetti di innovazione tecnologica. In particolare, la sostenibilità ambientale perseguita nella ricerca riguarda i sistemi agrivoltaici che richiedono di essere concepiti e verificati in base a specifici indicatori ambientali e tecnologici per l'equilibrio degli ecosistemi e degli habitat, per il contenimento della pressione antropica sul paesaggio ambientale, per l'utilizzo di sistemi di risorse rinnovabili e naturali e per la riduzione degli impatti climatici che coinvolgono i fattori produttivi.

Aspetti di innovazione di prodotto, di processo e di progetto

tecnologica, nonché delle ricadute in termini di sostenibilità legate all'utilizzo di sistemi agrivoltaici per la costruzione di habitat climate resilient. Attraverso una lettura sistemica delle componenti tecnologiche e agro-ambientali (Fig. 2), la schedatura di interventi realizzati in ambito nazionale e internazionale, nonché lo studio della produzione industrializzata di sistemi fotovoltaici per impianti agrivoltaici, sono stati definiti alcuni apporti innovativi per una risposta integrata alle molteplici istanze di carattere produttivo, energetico e ambientale degli impianti agrivoltaici. L'analisi della documentazione tecnica, il rapporto con gli *stakeholder*, la partecipazione a eventi di con-

Un primo esito della ricerca ha riguardato l'elaborazione di un quadro sistematizzato dei principali aspetti di innovazione

specific guidelines based on requirements and standards to be applied in the synergy between agricultural production and electricity generation from renewable sources. Recurring aspects within the guidelines include the impact on agricultural and economic performance, the reduction of climatic impacts, the improvement of agro-livestock activities, and the reversibility of plants as factors that must be simultaneously respected and not compromised.

Further supporting tools that have recently become more widespread as a result of research or experimentation are digital tools⁴ that enable the calculation of specific parameters such as electricity production or expected crop yields by simulating data such as irradiance and photosynthetically active radiation (PAR) achievable with the proposed systems.

The research activity of the Department of Architecture, University of Naples Federico II⁵, was conducted within the framework of the PTR 2022-2024 Integrated Project 'High Efficiency Photovoltaics'. The aim was to define support tools for environmental sustainability in the design of agrivoltaic systems, starting from the construction of a systematised framework of the main aspects of technological innovation. In particular, the environmental sustainability pursued by the research concerns agrivoltaic systems that require to be designed and verified on the basis of specific environmental and technological indicators for the balance of ecosystems and habitats, for the mitigation of anthropic pressure on the environmental landscape, for the use of renewable and natural resource systems, and for the reduction of climatic impacts involving production factors.

fronto e disseminazione promossi da associazioni, centri di ricerca e università più attive del settore, hanno consentito di delineare le principali tendenze in atto, nonché le caratteristiche di innovazione e sostenibilità dell’attuale offerta produttiva e progettuale.

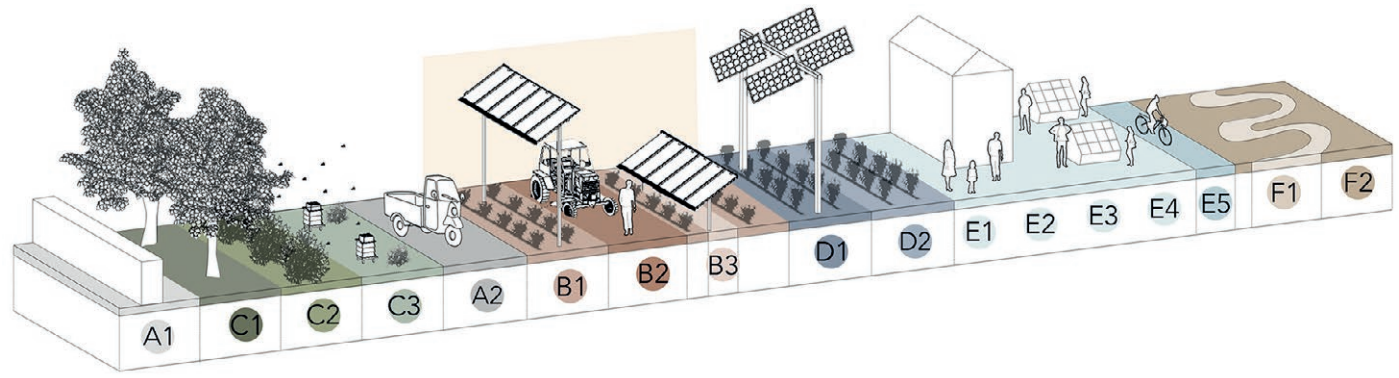
Nel complesso, si rileva un’offerta produttiva caratterizzata da una personalizzazione di tipo *custom fit*, per adattarsi a diverse tipologie di colture e contesti ambientali. Gli impianti agrivoltaici sono infatti concepiti e realizzati ad hoc, caso per caso, e dunque risultano difficilmente riproponibili in linee produttive standardizzate. Le aziende del settore offrono pacchetti integrati di prodotti/servizio dall’alto valore aggiunto, affiancando i proprietari e i gestori degli impianti in tutte le fasi del processo decisionale, realizzativo e gestionale, fornendo un supporto tecnico decisivo ai fini della qualità degli interventi e garantendo l’affidabilità dei risultati in termini di produttività e di rapidi rientri economici.

L’analisi dei progetti nazionali e internazionali evidenzia un approccio progettuale che richiede una significativa attenzione nei confronti del contesto in cui si colloca l’intervento, mediante uno studio preliminare del territorio dal punto di vista geomorfologico, storico e paesaggistico, con un esame approfondito delle condizioni vincolistiche.

Nelle buone pratiche analizzate, emerge come le istanze della sostenibilità ambientale richiedano il rispetto e il miglioramento della biodiversità da parte del progetto, favorendo la connettività ecologica del territorio e delle sue aree naturali, miglio-

rando la resilienza degli ecosistemi ai cambiamenti climatici, e prevedendo, laddove necessarie, misure di mitigazione e di compensazione ambientale volte a ridurre gli impatti ambientali generati dal progetto⁶ (Fig. 3). La ricerca dell’equilibrio tra natura e artificio contempla la dimensione sistemica ed ecologica, la qualità paesaggistica e la sostenibilità degli interventi di trasformazione. Si afferma l’idea di un paesaggio produttivo come luogo del cambiamento in costante evoluzione, in cui ecosistemi multifunzionali forniscono benefici ecologici, sociali ed economici⁷ (Fig. 4).

Il monitoraggio di dati in situ nei primi impianti realizzati restituisce risultati positivi in relazione alla resa agricola, ormai rilevabile in maniera affidabile in relazione all’incremento della qualità del raccolto. In Francia, uno studio condotto su sette impianti con coltivazioni differenti, monitorati nell’arco del triennio 2020-2023, ha evidenziato percentuali di incremento della produzione dal 10% al 40% per la viticoltura, dal 13% al 20% per la frutticoltura, e dal 9% al 23% per le verdure⁸. Colture coltivate in ambiente agrivoltaico riescono a utilizzare l’acqua più efficientemente, tollerano meglio le temperature elevate e sono protette da eventi meteorologici quali grandine, stress termico, siccità. Al tempo stesso, la presenza di colture al di sotto dei pannelli fotovoltaici fa registrare incrementi nell’efficienza energetica e la produzione di energia elettrica, dovuti all’attività evapotraspirativa delle colture che provoca un raffreddamento della superficie dei pannelli, la riduzione dell’accumulo di polvere e altri materiali sui pannelli nonché l’aumento del fattore



Subsistemi ambientali	Elementi spaziali		
A. Accessibilità e connessioni	A1 Recinzione perimetrale	D. Aree di sperimentazione	D1 Aree di sperimentazione tecnologica
	A2 Accessibilità e passaggio carrabile		D2 Terreno di controllo
	B1 Aree per la coltivazione agricola		E1 Aree attrezzate a scopo didattico
B. Volume agrivoltaico o spazio poro	B2 Accessibilità e passaggio per mezzi agricoli e persone	E. Aree attrezzate per la comunità	E2 Aree per la trasformazione o consumo in loco
	B3 Area di ingombro dell'impianto (S _{av})		E3 Aree attrezzate a scopo ricreativo
	C1 Schermature visuali		E4 Aree per la vendita diretta
C. Fasce di mitigazione	C2 Aree di rinaturalizzazione e salvaguardia della biodiversità		E5 Accessibilità e percorsi per la mobilità lenta
	C3 Aree di inserimento di specie vegetali e animali funzionali all'attività agricola	F. Tare agricole	F1 Superfici occupate da elementi naturali e/o artificiali
			F2 Aree di buffer

SOLAR HILLS

IMPIANTO AGROVOLTAICO

apicoltura e impianto olivicolo intensivo

PROPONENTE



PARTNER



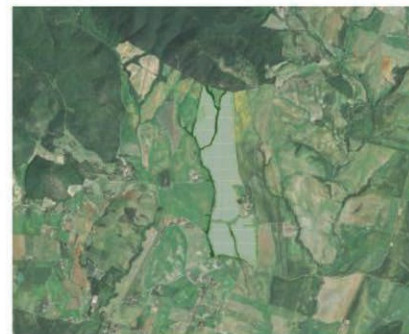
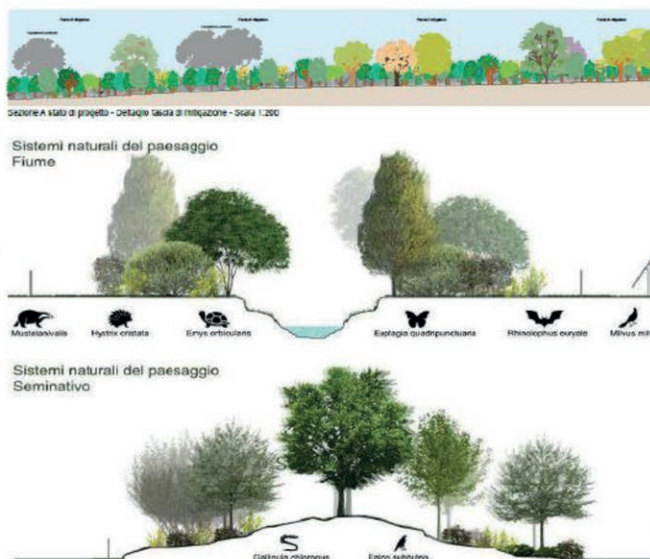
DATI



LOCALIZZAZIONE



OXYCAPITAL



Aspects of product, process and design innovation

A first research outcome concerned the development of a systematised framework of the main aspects of technological innovation, as well as the spin-offs in terms of sustainability linked to the use of agrivoltaic systems for the implementation of climate resilient habitats. Through a systemic reading of the technological and agro-environmental components (Fig. 2), the cataloguing of national and international interventions, and the study of industrialised production of photovoltaic systems for agrivoltaic systems, a number of innovative contributions were defined for an integrated response to the multiple production, energy and environmental demands of agrivoltaic systems. The analysis of technical documentation, the relationship with stakeholders, and participation in meetings and dissemination

events promoted by the most active associations, research centres and universities in the sector, enabled to outline the main current trends, as well as the innovation and sustainability characteristics of the actual production and design offer.

Overall, there is a custom fit production offer designed to adapt to different types of crops and environmental contexts. Agrivoltaic systems are conceived and realised ad hoc, case by case. Hence, they are difficult to reproduce in standardised production lines. Companies in the sector offer integrated product/service packages with high added value, working alongside plant owners and operators in all phases of the decision-making, implementation and management process, providing decisive technical support for the quality of the interventions, and guaranteeing the reliability of the results in terms

of productivity and rapid economic returns.

The analysis of national and international projects highlights a design approach that requires significant attention to the context in which the intervention is located. This is achieved by conducting a preliminary study of the territory from a geomorphological, historical and landscape point of view, with an in-depth examination of the constraining conditions.

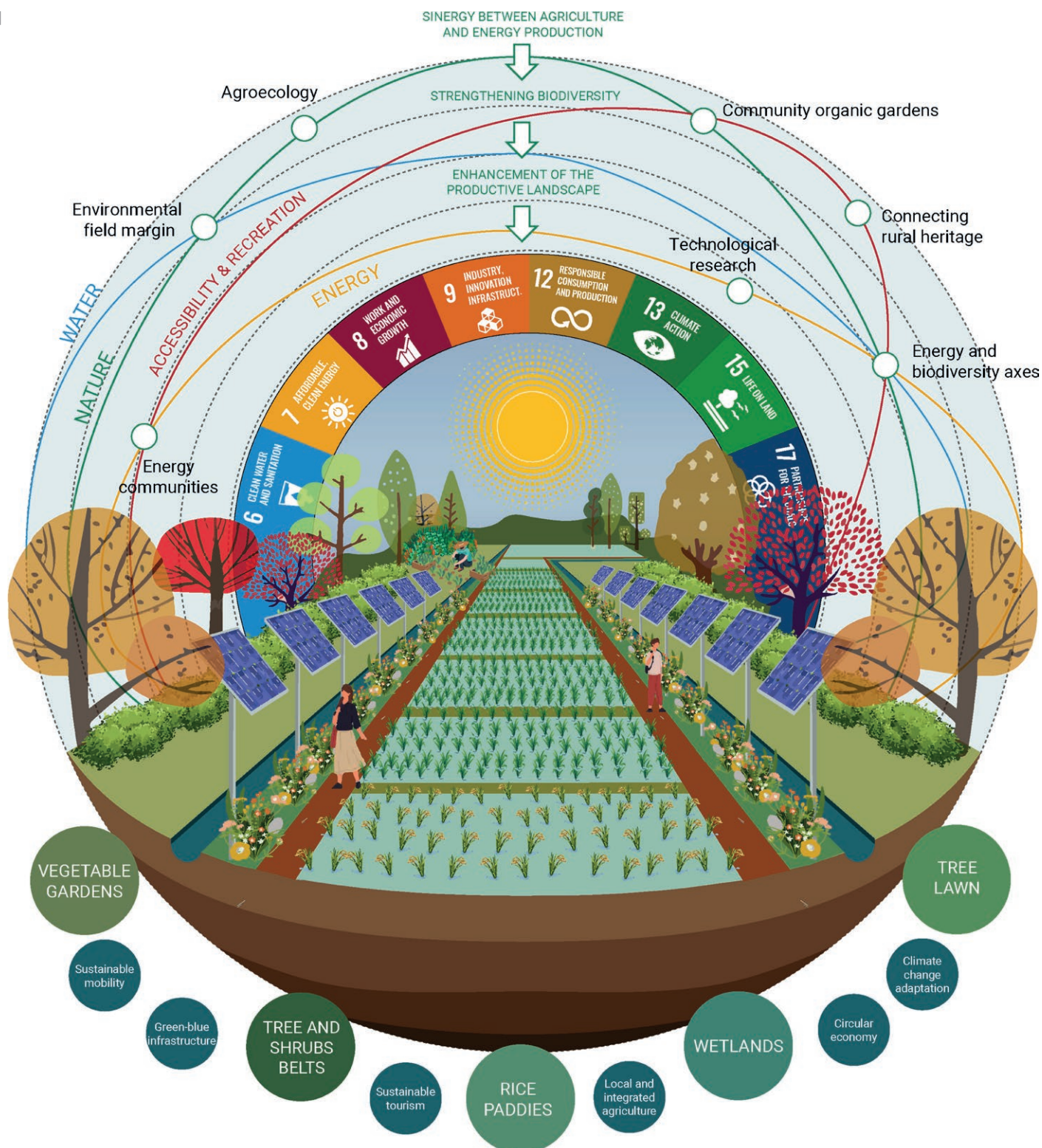
The good practices analysed reveal how the instances of environmental sustainability require the project to respect and improve biodiversity, favouring the ecological connectivity of the territory and its natural areas, improving the resilience of ecosystems to climate change, and foreseeing, where necessary, environmental mitigation and compensation measures aimed at reducing the environmental impacts

generated by the project⁶ (Fig. 3). The search for a balance between nature and artifice contemplates the systemic and ecological dimension, landscape quality and sustainability of transformation interventions. The concept of a productive landscape as a place of constantly evolving change, where multifunctional ecosystems provide ecological, social and economic benefits, is affirmed⁷ (Fig. 4).

The monitoring of in situ data in the first plants installed provides positive results concerning crop yield, which can now be reliably measured in relation to increased crop quality. In France, a study conducted on seven plants with different crops, monitored over the three-year period 2020-2023, showed production increase rates from 10% to 40% for viticulture, from 13% to 20% for fruit growing, and from 9% to 23% for vegetables⁸. Crops grown in

Interrelationships between agriculture, energy and landscape, with synergies and spillovers on environmental, social and economic sustainability; co-benefits of agri-environmental systems with respect to biodiversity and ecosystem quality of sites supporting local communities; correlations with the SDGs of Agenda 2030 (Source: LAND)

04 |



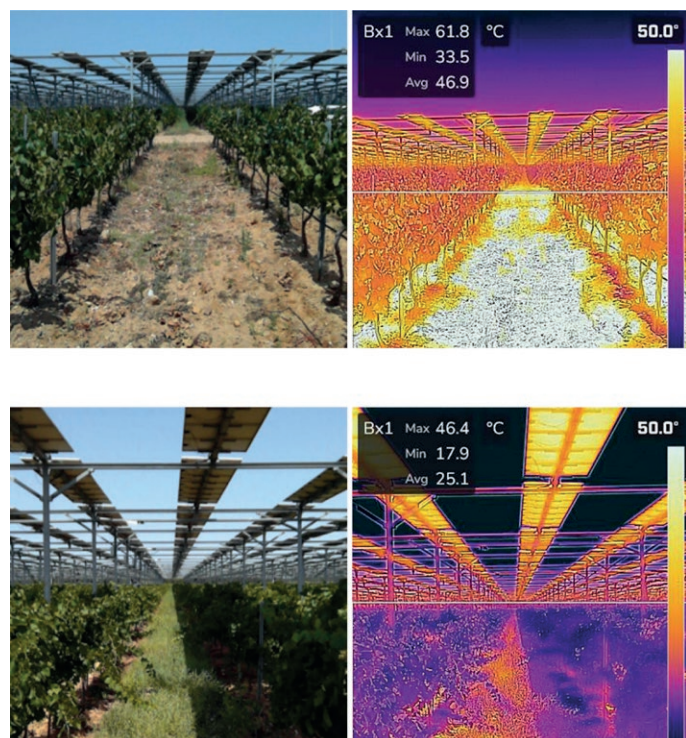
05 | Primo impianto pilota di agrivoltaico dinamico sui vigneti di Tresserre in Francia, inaugurato nel 2018. Termografie effettuate nel luglio 2023 (30°C temperatura aria): temperatura media sulla superficie delle vigne senza protezione (in alto) circa 47°C; temperatura con protezione agrivoltaica (in basso) circa 25°C (Fonte: Sun'Agri)
 First dynamic agrivoltaic pilot plant on vineyards in Tresserre, France, opened in 2018. Thermographs taken in July 2023 (30°C air temperature): average temperature on the vineyard surface without protection (top) about 47°C; temperature with agrivoltaic protection (bottom) about 25°C (Source: Sun'Agri)

di albedo con la possibilità di impiegare celle bifacciali⁹. La maggior parte delle aziende produttrici di impianti agrivoltaici offre la possibilità di personalizzare le caratteristiche dei componenti in base alle esigenze colturali e microclimatiche, proponendo, per esempio, reti protettive da grandine e pioggia e teli mobili, opportunamente pilotati in remoto dagli operatori e progettati in modo che possano modificare automaticamente la propria configurazione in caso di improvvisi fenomeni climatici avversi. Schermi riflettenti dinamici, gestiti da sistemi centralizzati collegati ai sensori di temperatura e di luce, forniscono una regolazione della temperatura automatizzata in tempo reale, preservando le colture dai danni derivanti dal calore estremo e consentendo una costante regolazione microclimatica al di sotto dell'installazione¹⁰. Il recupero delle acque piovane costituisce un importante supporto alla gestione eco-efficiente della risorsa idrica, in particolar modo per le aree soggette a siccità. La movimentazione automatizzata dei *tracker* in modalità di captazione delle acque piovane fa sì che queste siano convogliate mediante canaline di gronda o canali interrati in appositi serbatoi o bacini di accumulo idrico e utilizzate in funzione delle specifiche esigenze colturali, per l'irrigazione e il lavaggio dei moduli fotovoltaici¹¹.

L'introduzione di stazioni di monitoraggio e di sensori – applicata sia ai sistemi di produzione energetica, che alle colture –, integrata con *software* e app di gestione per un controllo dei parametri ambientali in tempo reale, consente di ottimizzare le produzioni. Soluzioni quali il pilotaggio agronomico in remoto consentono di monitorare in continuo le prestazioni dell'impianto con modifiche istantanee, ottimizzando il benessere idrico, il controllo dei cicli evapotraspirativi e la crescita delle

an agrivoltaic environment are able to use water more efficiently, tolerate high temperatures better, and are protected from weather events such as hail, heat stress and drought. At the same time, the presence of crops underneath the photovoltaic panels leads to increases in energy efficiency and electricity production due to the evapotranspiration of the crops. This causes cooling of the panel surface, a reduction in the accumulation of dust and other materials on the panels, and an increase in the albedo factor with the possibility of using double-sided cells⁹. Most manufacturers of agrivoltaic systems offer the possibility of customising component characteristics according to crop and microclimatic needs, offering, for example, hail and rain protection nets and mobile screens, remotely piloted by operators and designed so that they can automatically

change their configuration in the event of sudden adverse weather phenomena. Dynamic reflective screens, piloted by centralised systems connected to temperature and light sensors, provide real-time automated temperature regulation, preserving crops from extreme heat damage and allowing constant microclimate regulation below the installation¹⁰. Rainwater harvesting is an important support for eco-efficient water resource management, especially for drought-prone areas. The automated handling of trackers in rainwater harvesting mode ensures that rainwater is channelled via guttering or underground channels into special tanks or water storage basins, and used according to specific crop needs, for irrigation and washing of photovoltaic modules¹¹. The introduction of monitoring stations and sensors – applied to both



piante. Dai primi impianti realizzati si rileva come la possibilità di controllo dell'inclinazione degli inseguitori solari favorisca la protezione delle colture durante i fenomeni di ondata di calore, generando ombreggiature in grado di ridurre la temperatura dell'aria fino a 4°C e favorendo l'incremento dell'umidità fino al 14% (Lopez *et al.*, 2023). La protezione si rileva efficace anche rispetto alle gelate tardive, mantenendo al di sotto dei pannelli valori che raggiungono quasi 2°C in più grazie a specifici sistemi di protezione migliorando al contempo la qualità del raccolto⁸ (Fig. 5).

L'impiego di *software* basati su IoT facilita la gestione integrata dell'impianto con strumenti innovativi di agricoltura digitale e di precisione, ottimizzando la produzione agricola ed energetica

energy production systems and crops – integrated with management software and apps for real-time control of environmental parameters allows for optimised production. Solutions such as remote agronomic piloting allow continuous monitoring of plant performance with instantaneous changes, optimising water efficiency, control of evapotranspiration cycles and plant growth. Initial installations show how the possibility of controlling the inclination of solar trackers favours the protection of crops during heat wave phenomena, generating shading capable of reducing air temperature by up to 4°C and favouring an increase in humidity of up to 14% (Lopez *et al.*, 2023). The protection is also effective against late frost, maintaining values of up to almost 2°C below the panels thanks to specific protection systems, while improving crop quality⁷ (Fig. 5).

The use of IoT-based software facilitates integrated plant management with innovative digital and precision farming tools, optimising agricultural and energy production and, thereby, increasing resilience to climate change¹². User-friendly Web applications and cloud-based back-up offer intuitive access to measured data, providing tools and templates that allow users to extract valuable information for continuous improvement, make informed, data-driven decisions, and take appropriate maintenance and corrective actions to respond resiliently to new demand frameworks and any revamping or integration needs over time¹³. Environmental monitoring systems can provide farmers with useful information to optimise crop yields and obtain important feedback on the benefits of using photovoltaic roofing. Climate data collected by weather sta-

e favorendo in tal modo l'incremento della resilienza al cambiamento climatico¹². Le applicazioni *web user friendly* e il *back up* in *cloud* offrono un accesso intuitivo ai dati misurati, fornendo strumenti e modelli che consentono agli utenti di estrarre informazioni preziose per il miglioramento continuo, di prendere decisioni informate e basate sui dati adottando opportune azioni manutentive e correttive per rispondere in chiave resiliente ai nuovi quadri esigenziali e a eventuali necessità di revamping o integrazione nel tempo¹³. I sistemi di monitoraggio ambientale possono fornire agli agricoltori utili informazioni per ottimizzare le rese agricole, ottenendo altresì *feedback* importanti sui vantaggi derivanti dall'impiego di coperture fotovoltaiche. I dati climatici raccolti dalle centraline meteo, trasmessi ai tracker, consentono di modificare in tempo reale il proprio assetto spaziale in caso di situazioni critiche e fenomeni meteorologici avversi¹⁴.

Un tool per la valutazione della sostenibilità ambientale del progetto Un ulteriore esito della ricerca è costituito dall'EASY APV tool (Environmental Sustainability of AgriPhotoVoltaic), uno strumento di supporto decisionale finalizzato a valutare i livelli di rispondenza di un progetto a sei obiettivi di sostenibilità ambientale che riguardano: O1. Integrazione fra produzione agricola ed energetica, O2. Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica, O3. Efficienza della produzione energetica, O4. Resilienza climatica, O5. Salvaguardia e promozione della biodiversità, O6. Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo. Ogni obiettivo è specificato attraverso un set di requisiti a cui corrispondono uno o più indicatori di tipo qualitativo o quantitativo

per i quali sono fissati dei valori-soglia (Fig. 6). Per la definizione degli indicatori si è tenuto conto dei principali strumenti normativi e indirizzi di natura non cogente vigenti in Italia, della letteratura tecnico-scientifica di riferimento e degli indirizzi europei sul tema della sostenibilità ambientale (CICES – *Common International Classification of Ecosystem Services*). Per alcuni indicatori si è fatto riferimento ai punti di controllo contenuti nella *Matrice di Certificazione Volontaria Agrivoltaico Sostenibile*[®] redatta dall'Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile (AIAS)¹⁵. Gli indicatori, dopo un processo di normalizzazione, sono stati partizionati in tre classi, corrispondenti al livello di soddisfacimento dell'indicatore (0=basso; 1=medio; 2=alto). Secondo un approccio gerarchico per ogni categoria – obiettivi, requisiti e indicatori – è stato attribuito un peso attraverso il metodo della conoscenza esperta. Il punteggio finale della valutazione è fornito dalla media pesata di tutti gli indicatori ed esprime quattro livelli di sostenibilità ambientale mentre, attraverso un grafico radar, sono visualizzabili i livelli di rispondenza del progetto analizzato rispetto ai sei obiettivi di sostenibilità ambientale (Fig. 7). Il tool sviluppato in ambiente Excel ha una interfaccia *user friendly* con una schermata di avvio sintetica con obiettivi, requisiti e indicatori associati ai rispettivi pesi. Ogni indicatore rimanda a una scheda di approfondimento che definisce le finalità, il metodo di verifica, i riferimenti normativi e/o bibliografici e una sezione dedicata al calcolo. Il tool è stato sottoposto a una fase di *testing*, con il duplice scopo da un lato di tarare soglie, *range* e *benchmark* degli indicatori, dall'altro di verificare la correttezza delle procedure e l'usabilità

O	Obiettivi	peso rel.	R	Requisiti	peso rel.	peso ass.
O1	Integrazione fra produzione agricola ed energetica	20%	R1.1	Adeguatezza spaziale e tecnologica	100%	20%
O2	Ecoefficienza della produzione agricola e zootecnica	30%	R2.1	Produttività agricola	20%	6,0%
			R2.2	Ottimizzazione della radiazione solare al suolo nella sinergia impianto-culture	20%	6,0%
			R2.3	Gestione ecoefficiente della risorsa idrica	35%	10,5%
			R2.4	Tutela delle specie autoctone e/o endemiche	15%	4,5%
			R2.5	Conduzione di pratiche agricole sostenibili	10%	3,0%
O3	Efficienza della produzione energetica	10%	R3.1	Produttività energetica	25%	2,5%
			R3.2	Efficienza energetica	50%	5,0%
			R3.3	Promozione dell'autoconsumo e dell'autosufficienza energetica	25%	2,5%
O4	Resilienza climatica	20%	R4.1	Regolazione del ciclo del carbonio	25%	5,0%
			R4.2	Verifica dei parametri microclimatici	25%	5,0%
			R4.3	Mitigazione degli impatti generati da eventi climatici estremi	50%	10%
O5	Salvaguardia e promozione della biodiversità	10%	R5.1	Tutela della funzionalità ecologica dell'habitat e della biodiversità vegetale e animale dei siti	100%	10%
O6	Riduzione del consumo di risorse e degli impatti sul suolo	10%	R6.1	Circolarità delle risorse	50%	5%
			R6.2	Riduzione degli impatti sul suolo	50%	5%



dell'interfaccia. Il test è stato effettuato su un panel di cinque progetti esistenti selezionati al fine di coprire un campione diversificato di alternative progettuali. In particolare, la scelta del panel ha preso in considerazione parametri di tipo geografico, tecnologico (gli impianti sono di tipo elevato, con strutture di supporto a inseguimento monoassiale o biassiale, e interfilare con strutture a inseguimento monoassiale), colturale (le colture selezionate sono beneficate o tolleranti all'ombreggiamento), dimensionale (da circa 10 a 60 he di estensione), energetico (impianti da 5 a 40 MWp di potenza).

Limiti, ricadute e prospettive di ricerca

emergente decisiva per far fronte alla crescente domanda energetica attraverso lo sviluppo di modelli alternativi di produzio-

L'adozione di sistemi di energia rinnovabile nel settore agricolo è considerata una strategia

ne e di consumo, che puntino a una riduzione delle emissioni di gas serra e all'implementazione di misure di adeguamento agli impatti ambientali e socioeconomici. Le configurazioni dei sistemi agrivoltaici prevedono la generazione di reddito da una doppia fonte produttiva con forti impatti di mercato e di tipo sociale, determinando un miglioramento delle condizioni economiche delle comunità rurali (Giri and Mohanty, 2022). Migliorare le sinergie tra politiche agricole ambientali ed energetiche considerando non soltanto l'efficienza energetica ma anche la resa delle colture e l'incentivo alla biodiversità, può consentire di superare le sfide tecnologiche garantendo ricadute sostenibili per il futuro.

Emerge chiaramente la necessità di definire standard specifici univoci a livello europeo anche attraverso la costruzione di strumenti di supporto condivisi per il progetto in grado di favorire il controllo delle prestazioni integrate offerte (Chatzipanagi *et al.*, 2023). In

tions and transmitted to the trackers allow for real-time changes in spatial settings in the event of critical situations and adverse weather phenomena¹⁴.

A tool for assessing the environmental sustainability of the project

A further outcome of the research is a decision-support tool aimed at assessing a project's levels of compliance with six environmental sustainability objectives: O1. Integration of agricultural and energy production, O2. eco-efficiency of agricultural and livestock production, O3. Efficiency of energy production, O4. Climate resilience, O5. Preservation and promotion of biodiversity, O6. Reduction of resource consumption and soil impacts. Each objective is specified through a set of requirements with one or more corresponding qualitative or quantitative indicators for which threshold values

are set (Fig. 6). The principal regulatory instruments and guidelines of a non-binding nature in force in Italy, the technical-scientific literature of reference and the European guidelines about environmental sustainability (CICES – Common International Classification of Ecosystem Services) were taken into account in defining the indicators. For some indicators, reference was made to the checkpoints contained in the *Voluntary Certification Matrix for Sustainable Agrivoltaics*¹⁵ drawn up by the Italian Association for Sustainable Agrivoltaics¹⁵. The indicators, after a normalisation process, were subdivided into three classes, corresponding to the level of satisfaction of the indicator (0=low; 1=medium; 2=high).

According to a hierarchical approach, each category – objectives, requirements and indicators – was given a

weight through the expert knowledge method. The final evaluation score is provided by the weighted average of all indicators and expresses four levels of environmental sustainability while, through a radar graph, the levels of compliance of the analysed project with respect to the six environmental sustainability objectives can be visualised (Fig. 7).

The tool developed in Excel has a user-friendly interface with a start-up screen summarising objectives, requirements and indicators associated with their respective weights. Each indicator refers to an in-depth sheet that defines the objectives, the verification method, normative and/or bibliographical references, and a section dedicated to calculation.

The tool underwent a testing phase, with the dual purpose of calibrating thresholds, ranges and benchmarks

of the indicators on the one hand, and verifying the accuracy of procedures and the usability of the interface on the other. The test was carried out on a panel of five existing projects selected to cover a diversified sample of project alternatives. In particular, the choice of the panel took into consideration parameters such as geography, technology (the plants are high, with monoaxial or biaxial tracking support structures, and inter-row with monoaxial tracking structures), cultivation (the selected crops either benefit from or are tolerant to shading), size (from about 10 he to 60 he of surface area), and energy (plants from 5 MWp to 40 MWp of power).

Limits, spin-offs and research perspectives

The adoption of renewable energy systems in the agricultural sector is

tal senso, gli esiti dell'attività di ricerca presentati sono orientati a sviluppare gli aspetti di convergenza in termini di sostenibilità e innovazione tecnologica attraverso la sistematizzazione delle informazioni e la proposta di un *tool* per il supporto decisionale.

Il *tool* si configura come uno strumento di supporto per i diversi attori coinvolti nei processi decisionali per la valutazione dell'efficacia, dell'efficienza e della sostenibilità ambientale degli interventi, attraverso la rispondenza a un quadro prestazionale integrato degli aspetti energetici, produttivi e ambientali. Lo strumento sviluppato sconta tuttavia il limite di essere stato testato su un numero ridotto di progetti, per quanto diversificati tra loro. Un ulteriore limite, legato alla ridotta disponibilità di dati, non ha consentito di applicare approcci di *threshold analysis* per calcolare i valori ottimali delle soglie degli indicatori, né tantomeno di determinare valori ottimali dei pesi mediante approcci di intelligenza computazionale. La struttura del *tool* è tuttavia implementabile, a valle di ulteriori attività di ricerca e sviluppo di progetti integrando il set di indicatori con ulteriori voci o affinando soglie e *benchmark* attraverso il reperimento di dati di monitoraggio.

Si prevede infatti che dati provenienti dal campo e da sensori saranno resi disponibili nella transizione del settore agroalimentare verso un ambiente sempre più permeato dall'innovazione digitale. Esistono molti *software* di *smart farming* che tendono a digitalizzare il sistema agricolo verso un obiettivo di agricoltura 4.0 e, come per altri settori, il futuro dell'agricoltura potrà essere basato sul supporto dell'intelligenza artificiale sia per il posizionamento strategico e la progettazione degli impianti, sia per la gestione delle risorse idriche e il monitoraggio delle condizioni meteorologiche e climatiche, fino all'utilizzo di componenti robotiche verso processi di produzione sempre più

seen as a decisive emerging strategy to meet the growing energy demand by developing alternative production and consumption models. The aim is to reduce greenhouse gas emissions and implement measures to adapt to environmental and socio-economic impacts. Agrivoltaic system layouts involve income generation from a dual production source with strong market and social impacts, leading to improved economic conditions for rural communities (Giri and Mohanty, 2022). Improving synergies between agricultural, environmental and energy policies by considering not only energy efficiency but also crop yields and biodiversity incentives will overcome technological challenges and ensure sustainable spillovers for the future. The need clearly emerges to define specific univocal standards at a Euro-

pean level also through the construction of shared support tools for the project, studied to favour control of the integrated performance offered (Chatzipanagi *et al.*, 2023). In this sense, the outcomes of the research presented are geared towards developing convergence aspects in terms of sustainability and technological innovation through the systematisation of information, and the proposal of a decision support tool. The tool is a support device for the various actors involved in decision-making processes evaluating the effectiveness, efficiency and environmental sustainability of interventions, considering compliance with an integrated energy, production and environmental performance framework. The tool developed has the limitation of having been tested on a small number of projects, however

automatizzati. Le fasi di monitoraggio saranno essenziali per il controllo delle produzioni e delle attività agricole oltre che per il rispetto dei requisiti di sostenibilità. Tale cambiamento di scenario necessita però di nuove figure professionali – anche ibride – al fine di gestire la complessità di un ambito sempre più caratterizzato dalla pervasività delle tecnologie digitali, verso sistemi culturali sostenibili e tecnologicamente avanzati.

ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

I paragrafi 1, 2, 3 e 6 sono scritti da Valeria D'Ambrosio, i paragrafi 4 e 5 da Enza Tersigni.

NOTE

¹ La EU Solar Energy Strategy – parte del piano RepowerEU dell'UE – prevede un obiettivo di oltre 320 GW di capacità solare fotovoltaica di nuova installazione entro il 2025 e di quasi 600 GW entro il 2030. Queste capacità aggiuntive anticipate dovrebbero sostituire il consumo di 9 BCM di gas naturale all'anno entro il 2027.

² agrisolareurope.org/map/

³ In ambito nazionale, a giugno 2022 il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con il supporto di CREA, GSE, ENEA, RSE pubblica le Linee Guida sugli Impianti Agrivoltaici (MASE, 2022) che definiscono i requisiti tecnici e le caratteristiche che un impianto deve possedere per essere qualificato come agrivoltaico. Con il decreto del MASE 22 dicembre 2023, n. 436, in vigore dal 14 febbraio 2024, sono stati definiti i criteri e le modalità per la concessione dei benefici. In data 16 maggio 2024, con decreto del Capo Dipartimento Energia n. 233, sono state approvate le Regole Operative, proposte dal GSE, relative al decreto ministeriale Agro-voltaico.

⁴ Alcuni tool di riferimento sono: HyPERFarm project AGRIPV tool, Sandbox Solar's SPADE application o InSPIRE Financial Calculator.

diverse they may be. A further limitation, linked to the limited availability of data, was that threshold analysis approaches could not be applied to calculate optimal values for indicator thresholds. Furthermore, optimal values could not be determined for weights by means of computational intelligence approaches. However, the structure of the tool can be implemented after further research and project development by supplementing the set of indicators with additional items, or by refining thresholds and benchmarks through the retrieval of monitoring data. Indeed, it is expected that data from the field and from sensors will be made available in the transition of the agri-food sector towards an environment increasingly permeated by digital innovation. There are many smart farming software that tend to digitise

the agricultural system towards a goal of Agriculture 4.0. Indeed, as in other sectors, the future of agriculture may be based on the support of artificial intelligence both for strategic positioning and plant design, as well as for the management of water resources and weather and climate monitoring, up to the use of robotic components for an automated agricultural production process. Monitoring processes will be essential for controlling agricultural production and activities, as well as for meeting sustainability requirements. However, this change of scenario requires new professional figures – even hybrids – to manage the complexity of a field increasingly characterised by the pervasiveness of digital technologies favouring sustainable and technologically advanced cultivation systems.

⁵ Il gruppo di ricerca dell'Università di Napoli Federico II è costituito: per il Dipartimento di Architettura da V. D'Ambrosio, E. Tersigni, (Coordinamento) M. Losasso, M. Rigillo, C. Girardi, F. Marandino, G. Santomartino; per il Dipartimento di Agraria da E. Cervelli, S. Pindozi, F. Castaldi, S. Mokrane, P. F. Recchi; per ENEA-TERIN da A. Scognamiglio.

⁶ progettoverde.eu.

⁷ landsrl.com.

⁸ sunagri.fr.

⁹ Norma UNI/PdR 148:2023.

¹⁰ insolight.ch.

¹¹ kenergia.it.

¹² i-pergola.it.

¹³ givamisura.com.

¹⁴ insolight.ch.

¹⁵ Dal 2024 SITdA è entrata a far parte dei Soci AIAS e un gruppo di Soci SITdA del Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II è parte di un comitato tecnico-scientifico finalizzato alla revisione e validazione dei punti di controllo contenuti nella *Matrice di Certificazione Volontaria Agrivoltaica Sostenibile*[®] redatta dall'AIAS.

REFERENCES

Abouaiana, A.A. and, Battisti, A. (2022), "Multifunction Land Use to Promote Energy Communities in Mediterranean Region. Cases of Egypt and Italy", *LAND*, Vol. 11, pp. 1-24. Available at: <https://doi.org/10.3390/land11050673> (Accessed on 26/12/2024).

Bauman, Z. (1999), *Modernità liquida*, il Mulino, Bologna.

Branzi, A. (2006), *Modernità debole e diffusa, Il mondo del progetto all'inizio del XXI secolo*, SKIRA, Ginevra-Milano.

Chatzipanagi, A., Taylor, N. and Jaeger-Waldau, A. (2023), *Overview of the potential and challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union*,

Publications Office of the European Union, Luxembourg. Available at: [doi:10.2760/208702](https://doi.org/10.2760/208702) (Accessed on 26/12/2024).

Chalkias, D.A., Stathatos, E. (2024), *The Emergence of Agrivoltaics*, Springer International Publishing, Svizzera.

Giri, N.C., Mohanty, R.C. (2022), "Agrivoltaic system: Experimental analysis for enhancing land productivity and revenue of farmers", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 70, pp. 54-61. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.07.003> (Accessed on 26/12/2024).

Lopez, G., Chopard, J., Persello, S., Juillion, P., Lesniak, V., Vercambre, G., Génard, M. and Fumey, D. (2023), "Agrivoltaic systems: an innovative technique to protect fruit trees from climate change", *Proceeding of XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): International Symposium on Innovative Perennial Crops Management*. Available at: [doi:10.17660/ActaHortic.2023.1366.20](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1366.20) (Accessed on 26/12/2024).

Kelly, K. (1994), *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems, and the Economic World*, Addison-Wesley, Boston.

Klyk, C. and Schindele, S. (Eds.) (2024), *Agrivoltaics: Technical, ecological, commercial and legal aspects*, *The Institution of Engineering and Technology*, London, United Kingdom.

SolarPower Europe (2022), *EU Market Outlook for Solar Power 2022-2026*. Available at: https://api.solarpowereurope.org/uploads/5222_SPE_EMO_2022_full_report_ver_03_1_319d70ca42.pdf?updated_at=2022-12-19T08:21:34.541Z (Accessed on 26/12/2024).

Toledo, C., Scognamiglio, A. (2021), "Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns)", *Sustainability*, vol. 13, 6871. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13126871> (Accessed on 26/12/2024).

Vittoria, E. (1979), "Abitabilità della campagna: il rapporto agricoltura-architettura", in Gangemi V. (a cura di), "L'habitat agricolo del basso volturmo", Istituto di Tecnologia dell'Architettura, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli, Napoli.

ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGEMENTS, COPYRIGHT

Paragraphs 1, 2, 3 and 6 are written by Valeria D'Ambrosio, paragraphs 4 and 5 by Enza Tersigni.

NOTES

¹ The EU Solar Energy Strategy – part of the EU's RepowerEU plan – includes a target of more than 320 GW of newly installed solar PV capacity by 2025 and almost 600 GW by 2030. These additional anticipated capacities are expected to replace the consumption of 9 BCM of natural gas per year by 2027.

² agrisolareurope.org/map/

³ At a national level, in June 2022 the Ministry of the Environment and Energy Security, with the support of CREA, GSE, ENEA, and RSE, published the Guidelines on Agrivoltaic Plants (MASE, 2022) that define the

technical requirements and characteristics a plant requires to be qualified as agrivoltaic. MASÈs decree no. 436 of 22 December 2023, in force since 14 February 2024, defined the criteria and methods for granting benefits. On 16 May 2024, with the decree of the Head of the Energy Department no. 233, the Operational Rules, proposed by the GSE, were approved in relation to the Agrivoltaic Ministerial Decree.

⁴ Some reference tools are: HyPER-Farm project AGRIPV tool, Sandbox Solar's SPADE application or InSPIRE Financial Calculator.

⁵ The research group of the University of Naples Federico II includes: for the Department of Architecture V. D'Ambrosio, E. Tersigni, (Coordination) M. Losasso, M. Rigillo, C. Girardi, F. Marandino, G. Santomartino; for the Department of Agriculture E. Cervelli, S. Pindozi, F. Castaldi,

S. Mokrane, P. F. Recchi; for ENEA-TERIN A. Scognamiglio.

⁶ progettoverde.eu.

⁷ landsrl.com.

⁸ sunagri.fr.

⁹ Standard UNI/PdR 148:2023.

¹⁰ insolight.ch.

¹¹ kenergia.it.

¹² i-pergola.it.

¹³ givamisura.com.

¹⁴ insolight.ch.

¹⁵ Since 2024, the Italian Society of Architectural Technology (SITdA) has become a member of the Italian Sustainable Agrivoltaic Association (AIAS). A group of SITdA members from the Department of Architecture, University of Naples Federico II is part of a technical-scientific committee aimed at reviewing and validating the checkpoints contained in the Voluntary Certification Matrix for Sustainable Agrivoltaics[®] drawn up by AIAS.