Impatti delle fonti rinnovabili nei territori: fotovoltaico, agrivoltaico ed eolico

La sfida di integrare al meglio le rinnovabili emergenti nei territori passa sia dagli sviluppi tecnologici che aprono nuove prospettive, sia dall'adozione dell'approccio "tailor made" che richiede modalità di progettazione innovative e la condivisione degli obiettivi e dei benefici con gli stakeholder locali affinché gli obiettivi europei e nazionali, sia di mitigazione che di adattamento, siano raggiunti generando sviluppo nei territori che li ospiteranno.

DOI 10.12910/EAI2024-055

di Federica Colucci, Sonia Manzo, Luisa Parrella, Simona Schiavo, Nicola Colonna, Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Antonio Donatelli,Dipartimento Tecnologie energetiche e fonti rinnovabili-ENEA

Nell'ambito degli obiettivi fissati dalla comunità internazionale le fonti di energia rinnovabile hanno un ruolo centrale al fine di assicurare la decarbonizzazione dei sistemi produttivi. Gli obiettivi europei di riduzione delle emissioni di gas climalteranti al 2030 sono centrati su un significativo incremento delle fonti energetiche rinnovabili nel mix energetico di ogni paese membro, in particolare di fonti quali il solare fotovoltaico (FV) e l'eolico, e sulle misure di efficienza energetica. REpowerEU, l'ultimo piano europeo, nato dalla spinta della crisi Ucraina, prevede che le rinnovabili abbiano un peso del 45% al 2030 sui consumi lordi di energia e che la sola potenza installata di fotovoltaico in Europa raggiunga i 600 GW.

Nel nostro Paese, il documento di riferimento per le politiche energetiche è il PNIEC (Piano Nazionale Integrato Energia e Clima) che ha fissato obiettivi al 2025 e al 2030 per ogni tipologia di fonte rinnovabile, con lo scopo di raggiungere un tasso di penetrazione delle rinnovabili del 39,4% nel 2030 sui consumi finali lordi di energia [1].

In questo contesto, il PNRR ha posto in essere "Misure" e "Componenti" allineate con gli obiettivi europei favorendo lo sviluppo e la diffusione di alcune delle rinnovabili chiave.

Questa evoluzione recente delle strategie energetiche e delle relative politiche attuative si è riflessa nel nostro Paese in un incremento significativo degli investimenti nel settore e nell'aumento delle richieste di autorizzazione per la realizzazione e connessione di impianti FER [1] che hanno sollevato, in alcuni territori, preoccupazioni ed opposizioni e la scelta di alcune amministrazioni regionali di porre in essere moratorie sui progetti portando ad un rallentamento dei processi autorizzativi.

Tre soluzioni tecnologiche: Integrare mitigazione e adattamento

Il modello di produzione di energia distribuita, intrinsecamente connesso allo sviluppo delle rinnovabili, implica una ampia diffusione degli impianti FER in tutto il Paese e l'interessamento anche di aree di pregio dove le infrastrutture connesse alle FER potenzialmente impattano sul modello di sviluppo locale fondato, ad esempio, sul turismo connesso ai valori del paesaggio e sui prodotti enogastronomici tipici.

D'altra parte, la necessità di sviluppare le FER, in luoghi vicini a dove preesistono le reti elettriche per la trasmissione dell'energia prodotta, ha portato molti investitori a proporre gli impianti in aree estremamente ristrette, come è successo ad esempio nel Lazio, suscitando la protesta delle popolazioni locali rispetto all'uso del suolo e alla trasformazione del paesaggio.

[1] *Econnextion, Terna. https://www.terna.it/en/electric-system/efficient-territorial-planning/econnextion*

È quindi necessario porsi la domanda di quanto uno sviluppo delle FER, in accordo con gli obiettivi al 2030 e al 2050, possa impattare sui territori da differenti punti di vista. Assumendo che l'impatto ambientale "classico" (es. emissioni in aria, sul ciclo delle acque) sia poco rilevante o trascurabile, se comparato a quello delle centrali termoelettriche, è necessario porre sotto la lente altri elementi di impatto rilevanti e nello stesso tempo connettere questa analisi al tema delle strategie di adattamento, considerando che **le FER sono centrali negli obiettivi di mitigazione**.

In questa breve disamina, evidenziamo alcune peculiarità ed opportunità di tre soluzioni tecnologiche rinnovabili - agrivoltaico, eolico, FV flottante - e di come queste si possano integrare nei territori modificandone gli assetti paesaggistici ma anche fornendo servizi ai territori stessi o alle loro produzioni e come l'unica modalità possibile per **approcciare lo sviluppo delle rinnovabili atteso sia quella di una visione multidisciplinare e multiscopo dove mitigazione e adattamento siano integrate**.

L'agrivoltaico

I sistemi agrivoltaici sono dei sistemi ibridi costituiti da un sistema fotovoltaico e da un sistema agricolo che svolgono una prestazione integrata e multifunzionale con produzione energetica e agricola. L'agrivoltaico prevede quindi un uso combinato del suolo con diversi livelli di integrazione. I livelli di integrazione e di sinergia dipendono dalla tipologia di configurazione. Nelle *Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici* [2] sono definite tre principali tipologie di sistemi agrivoltaici (Figura 1): a) l'attività agricola avviene tra le file dei moduli fotovoltaici e sotto di essi; b) l'attività agricola avviene esclusivamente tra le file dei moduli fotovoltaici; c) l'attività agricola avviene tra le file dei moduli fotovoltaici disposti verticalmente. La configurazione "a" prevede un uso duale del suolo e un'azione sinergica tra i due sistemi; la "b" prevede un uso combinato del suolo; la "c" prevede un uso combinato del suolo e un'altezza dei moduli fotovoltaici idonea al passaggio di animali e fauna selvatica.

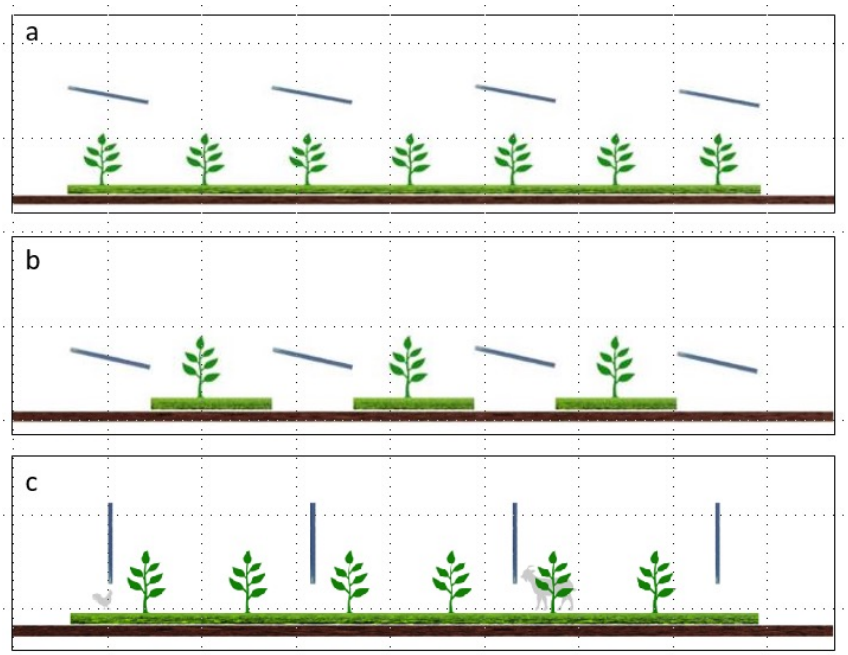

Figura 1: Principali tipologie di sistemi agrivoltaici con diversi livelli di integrazione tra coltivazioni e moduli. Fonte: Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici, MASE, giugno 2022

La misura del PNRR "Sviluppo agrivoltaico" conclusa nei primi giorni di settembre 2024[3]**, finanzia progetti che prevedono l'installazione di sistemi agrivoltaici avanzati che consentono la continuità dell'attività agricola e/o zootecnica anche al di sotto dei moduli fotovoltaici e che massimizzano la sinergia tra i due sistemi, nel rispetto di specifici requisiti tecnici**. Sinergia che si declina nei seguenti ambiti: maggiore efficienza dell'utilizzo del suolo con la produzione di energia e cibo e nell'utilizzo dell'acqua con riduzione del consumo idrico e recupero delle acque piovane, riduzione dell'evapotraspirazione; difesa delle colture da eventi meteorologici estremi; stabilizzazione delle rese agricole; incremento del benessere animale allevato; diversificazione del reddito agrario; miglioramento della sostenibilità dell'azienda in termini di gestione delle risorse, autoconsumo dell'energia, decarbonizzazione e opportunità di elettrificazione e di innovazione di alcuni processi; effetto *cooling* sulla super-

[2] *Realizzate nell'ambito di un gruppo di lavoro coordinato dal MASE (ex Ministero della transizione ecologica) e composto da CREA, GSE, ENEA e RSE*

[3] *La misura del PNRR "Sviluppo agrivoltaico" si è chiusa con 643 progetti e richieste di finanziamento per 920 milioni di euro su 1,1 miliardi di risorse dedicate alla misura*

ficie dei moduli con miglioramento delle prestazioni energetiche. Inoltre, l'agrivoltaico essendo un aggregatore di tecnologie, di conoscenze, di innovazione può quindi promuovere lo sviluppo di nuove competenze e professionalità, con importanti ricadute nei territori legate non solo alla produzione energetica e agricola e alla riqualificazione delle aziende, ma anche alla formazione di nuove figure professionali e all'aggiornamento di quelle già presenti.

Dal 2021 ENEA, con l'istituzione di una Task force @Agrivoltaico Sostenibile e con la successiva presidenza dell'Associazione Italiana Agrivoltaico Sostenibile[4], promuove una visione multidisciplinare e sostenibile dell'agrivoltaico che intende integrare tre dimensioni: paesaggio, energia, agricoltura. L'integrazione di queste tre dimensioni può contribuire alla trasformazione sostenibile dei territori, del paesaggio attraverso progetti e azioni "sartoriali" cioè specifici per i diversi contesti del nostro Paese e allo sviluppo di un'agricoltura innovativa, resiliente e sostenibile.

L'eolico

La tecnologia eolica contribuisce in maniera significativa al processo di decarbonizzazione della produzione energetica globale, con emissioni di CO_2 [5] pari a 11 g CO_2/kWh e fino a 90 volte più basse di quella del carbone. La combinazione di scenari di energia eolica installata su scala globale e scenari climatici consente di stimare un contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici quantificabile nella riduzione fino a 0,64 °C entro la fine del secolo (*scenario NZE e scenario Shared Socioeconomic Pathway SSP3-7.0*) [2]. Mentre da un lato i vantaggi di natura ambientale sono più che evidenti e irrefutabili, restano tuttora oggetto di studio altri elementi come la ricaduta sui territori e gli impatti sugli ecosistemi terrestre e marino. Uno degli elementi più dibattuti è legato all'accettazione da parte di cittadini. **L'Italia non fa eccezione in tal senso e la costruzione di impianti eolici continua a dividere le comunità locali e a suscitare dibattiti accesi per via di preoccupazioni sul deturpamento del paesaggio naturale e culturale e dei rischi di impatti per gli uccelli migratori**. Ciononostante, esempi virtuosi di installazioni in grado di valorizzare il territorio presenti nel nostro Paese includono:

i) Progetto Castiglione (Umbria): primo progetto di Comunità Energetica Rinnovabile (CER) alimentata da impianto eolico tra le colline eugubine e che vedrà la partecipazione attiva della cittadinanza. Si candida come modello replicabile in altre realtà locali.

ii) Parco Tocco di Vento (Abruzzo) che nasce da una modernizzazione della prima centrale eolica nata in Italia e la sua storia viene citata nel New York Times [3] come esempio virtuoso di transizione energetica.

iii) Parco di Rivoli Veronese (Trentino-Alto Adige) che si caratterizza per la sua enorme biodiversità.

iv) Parco eolico Cinquestelle (Liguria), considerato tra i parchi eolici più innovativi, grazie alla sua perfetta armonia tra impianti e tutela ambientale.

Doveroso è infine un breve riferimento alla tecnologia dell'eolico offshore, di ampia potenzialità in un Paese come il nostro che conta oltre 7.900 km di costa. Il suo sviluppo implica la crescita di capacità produttiva di diversi settori industriali: cantieristica, infrastrutture portuali, piattaforme galleggianti con la conseguente formazione di nuova occupazione. Si stima difatti che entro il 2050 il settore dell'eolico offshore possa generare fino a 27.000 nuovi posti di lavoro in Italia [4].

Il fotovoltaico flottante

Gli impianti fotovoltaici flottanti rappresentano una promettente applicazione del fotovoltaico che sta ottenendo crescente attenzione come soluzione sostenibile per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili [5]. La disposizione dei pannelli FV su strutture galleggianti installate in specchi d'acqua come invasi artificiali, canali d'irrigazione, bacini di sedimentazione o aree costiere con ridotto idrodinamismo, consente un'ottimizzazione dello spazio, riducendo i conflitti tra diversi usi del suolo (ad esempio, l'agricoltura o la silvicoltura). Inoltre, gli impianti FV flottanti possono contribuire a ridurre l'evaporazione nei bacini idrici, favorendo la conservazione dell'acqua, particolarmente rilevante in aree dove la scarsità idrica rappresenta una problematica significativa [6]. Tuttavia, l'installazione di pannelli FV flottanti può avere impatti sugli ecosistemi acquatici, sia diretti che indiretti, a breve e a lungo termine. Tra i principali svantaggi associati a questa tecnologia vi sono considerazioni di natura estetica e paesaggistica, la riduzione dell'accessibilità e delle opportunità ricreative presso laghi e corpi idrici. Inoltre, le strutture galleggianti possono influenzare la qualità dell'acqua, alterando il bilancio termico, causando deficit di ossigeno e favorendo la dispersione di microinquinanti ed inquinanti emergenti.

Questi impianti possono anche **modificare il regime idrodinamico del sistema acquatico e influire negativamente sulla biodiversità**, ad esem-

[4] *AIAS: https://www.associazioneitalianagrivoltaicosostenibile.com/lassociazione/*

[5] *Considerando l'intero ciclo di vita di un impianto eolico, che include la produzione e costruzione degli impianti, le attività operative e di manutenzione fino alla dismissione*

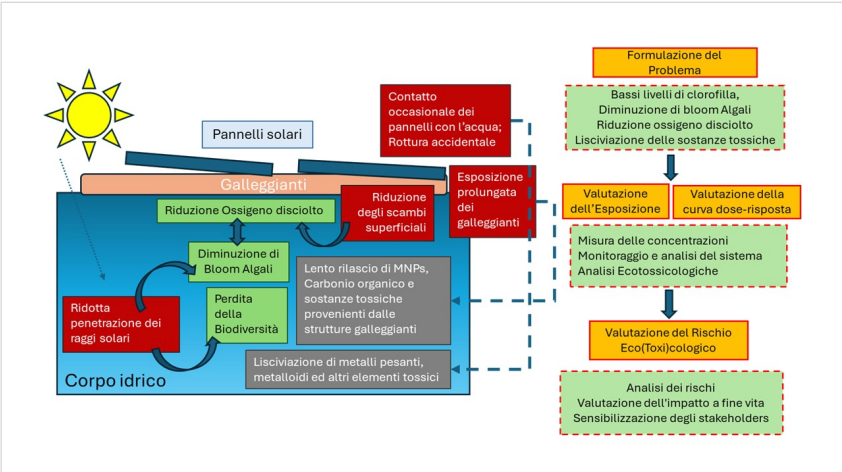

Figura 2: Impatti di impianti FV flottanti sui sistemi acquatici e diagramma di valutazione dei rischi.

pio attraverso l'ombreggiamento o la movimentazione del fondale [7]. **Attualmente, la realizzazione di impianti FV flottanti rappresenta una sfida in termini di valutazione degli impatti ambientali. In Italia, esistono solo pochi esempi di impianti di ridotte dimensioni (come l'impianto di Bubano ad Imola e l'impianto di Petra Winery a Suvereto, Livorno) e mancano dati sufficienti per identificare gli effetti a lungo termine sulla qualità delle acque e sugli ecosistemi**.

Pertanto, è cruciale **sviluppare sistemi di monitoraggio della qualità delle acque e dei potenziali rischi** per gli ecosistemi, al fine di valutare gli impatti sia prima che dopo l'installazione e durante l'esercizio degli impianti (Figura 2). Sarebbe inoltre opportuno condurre valutazioni preventive sul possibile rilascio di contaminanti dai corpi di ancoraggio, considerando i cambiamenti nei parametri fisico-chimici dovuti all'installazione, in un'ottica di sostenibilità ambientale dei materiali utilizzati.

Conclusioni

Ognuna delle tre soluzioni esaminate ha specificità proprie da cui discendono opportunità e criticità differenti. **Nel caso di agrivoltaico e FV flottante ci troviamo di fronte a soluzioni nuove per il nostro Paese e per tale motivo meritano un approfondimento di ricerca specifico al fine di identificare e promuovere i modelli di integrazioni migliori nei differenti contesti produttivi e territoriali. Analogo discorso può essere fatto per l'eolico *offshore* che ha però una ampia casistica fuori dei nostri confini**.

La sfida di integrare al meglio le rinnovabili emergenti nei territori passa sia dagli sviluppi tecnologici, che aprono nuove prospettive, sia dall'adozione dell'approccio "*tailor made*" (vestito su misura) che richiede modalità di progettazione innovative e la condivisione degli obiettivi e dei benefici con gli stakeholder locali affinché gli obiettivi europei e nazionali, sia di mitigazione che di adattamento, siano raggiunti generando sviluppo nei territori che li ospiteranno.

Per info: nicola.colonna@enea.it

Riferimenti bibliografici

1. Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2024). Piano Nazionale integrato per l'Energia ed il Clima. Giugno 2024.
2. Long, Y., Chen, Y., Xu, C., Li, Z., Liu, Y., Wang, H. (2023). The role of global installed wind energy in mitigating CO_2 emission and temperature rising, Journal of Cleaner Production, 423, 138778.
3. Rosenthal, E. (2010). Ancient Italian Town Now Has Wind at Its Back, The New York Times, (Sept. 29, 2010), https://www.nytimes.com/2010/09/29/science/earth/29fossil.html.
4. AA.VV. (2024). Eolico offshore galleggiante: opportunità nel percorso di decarbonizzazione e ricadute industriali per l'Italia, The European House – Ambrosetti
5. Bax, V., van de Lageweg, W. I., Hoosemans, R., and van den Berg, B. (2023). Floating photovoltaic pilot project at the Oostvoornse lake: Assessment of the water quality effects of three different system designs. Energy Reports, 9, 1415-1425.
6. Pimentel Da Silva, G. D., and Branco, D. A. C. (2018). Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. Impact Assessment and Project Appraisal, 36(5), 390-400.
7. Essak, L., and Ghosh, A. (2022). Floating photovoltaics: A review. Clean Technologies, 4(3), 752-769.