

Maria Antonietta Clerici*

Impianti fotovoltaici a terra e occupazione di suoli agricoli di elevata qualità: il caso dell'Emilia-Romagna

Lo studio indaga la diffusione degli impianti fotovoltaici a terra (IF-T) nelle aree agricole dell'Emilia-Romagna, regione ad alta vocazione agroalimentare. L'attenzione è rivolta non solo all'estensione degli impianti, ma soprattutto alla qualità dei suoli coinvolti, valutata attraverso la carta regionale della capacità d'uso (classificazione USDA). I dati sulla localizzazione degli IF-T nel 2025 sono integrati in ambiente GIS con quelli sulle destinazioni d'uso pregresse e sulla capacità d'uso dei suoli, per valutare il grado di occupazione dei terreni di classe I e II, i più pregiati. Emerge una rilevante presenza di piccoli impianti in pianura e uno sfruttamento intenso dei suoli migliori, soprattutto nei comuni intermedi. Il lavoro evidenzia i limiti di criteri localizzativi basati solo su distanze e tutele settoriali e suggerisce di introdurre un criterio pedologico nella definizione delle aree idonee per gli IF-T, per conciliare transizione energetica e tutela del capitale pedologico.

Parole chiave: impianti fotovoltaici a terra, transizione energetica, aree agricole, consumo di suolo, capacità d'uso dei suoli, Emilia-Romagna.

Ground-mounted photovoltaic plants and the occupation of high-quality agricultural soils: The case of Emilia-Romagna, Italy. – This study examines the diffusion of ground-mounted photovoltaic plants (IF-T, *impianti fotovoltaici a terra*) in the agricultural areas of Emilia-Romagna, a region with a strong agri-food vocation in northern Italy. The analysis focuses not only on the spatial extent of plants, but above all on the quality of the soils affected, assessed using the regional land capability map (USDA classification). Data on the location of IF-T in 2025 are integrated in a GIS environment with information on previous land uses and land capability to evaluate the degree to which class I and II soils – the most valuable agricultural land – are occupied. The results show a marked presence of small plant installations in the plains and intensive use of the best soils, especially in intermediate municipalities. The study highlights the limitations of siting criteria based solely on distance thresholds and sectoral protection measures, and suggests introducing a

* Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DAStU), Via Bonardi 3, 20133 Milano, maria.clerici@polimi.it.

Saggio proposto alla redazione l'8 gennaio 2026, accettato il 15 maggio 2026.

pedological criterion into the designation of suitable areas for IF-T to reconcile the energy transition with the protection of soil capital.

Keywords: ground-mounted photovoltaic plants, energy transition, agricultural areas, land consumption, land capability, Emilia-Romagna.

1. INTRODUZIONE. – Il passaggio alle fonti energetiche rinnovabili (FER) è una delle maggiori sfide del XXI secolo, cruciale per affrontare la crisi climatica e promuovere una terza rivoluzione industriale (Rifkin, 2019) più sostenibile sul piano ambientale. Anche l'Unione europea, con il *Green Deal* del 2019, ha fissato obiettivi ambiziosi: ridurre del 55% le emissioni di gas serra entro il 2030 (rispetto ai livelli del 1990) e raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. In questo quadro si inserisce il pacchetto *Fit for 55* (2021), teso a far sì che nel 2030 il 40% dei consumi finali lordi di energia dell'Unione sia coperto da FER, soglia poi portata al 42,5% con il pacchetto *RePowerEU* (2022). In tutto ciò, l'energia solare fotovoltaica svolge un ruolo chiave, grazie all'elevata scalabilità tecnologica e alla crescente competitività economica (Kougias *et al.*, 2021).

In Italia la crescita del fotovoltaico costituisce il fulcro della strategia di transizione energetica delineata nel *Piano nazionale integrato energia e clima* (PNIEC), aggiornato nel 2024. Secondo il Piano, sarà questa tecnologia a fornire il contributo più significativo all'aumento delle FER previsto per il 2030. Entro quella data, la potenza fotovoltaica installata dovrebbe raggiungere i 79,2 GW, con un incremento annuo di 8-10 GW rispetto ai livelli del 2021, tenendo conto sia della dismissione degli impianti più obsoleti sia della necessità di recuperare i ritardi accumulati negli anni precedenti.

La normativa italiana, fin dal 2003, prevede che il fotovoltaico sia collocato prioritariamente in aree urbanizzate per limitare il consumo di nuovo suolo. Tuttavia, alla fine del 2024, il 31% dei 37.002 MW di fotovoltaico installati in Italia risultava localizzato a terra, prevalentemente in aree agricole, per un'estensione complessiva di circa 17.700 ettari (GSE, 2025). La diffusione degli impianti fotovoltaici a terra (IF-T) su superfici agricole è più evidente nel Mezzogiorno, soprattutto in Puglia e Sicilia, ma interessa anche diverse regioni settentrionali (Delfanti *et al.*, 2016; Gallo e De Simone, 2023). Si tratta di una dinamica difficile da contenere: l'occupazione di suoli agricoli rischia di diventare un prezzo della transizione energetica (Perera e Tansini, 2024). Va ricordato che la realizzazione di IF-T in aree agricole, pur limitata dal D.L. 63/2024, non è del tutto vietata. Nei primi mesi del 2025, tali restrizioni sono state rimesse in discussione poiché ritenute in contrasto con gli obiettivi europei di accelerazione dello sviluppo delle FER. Si è aperta così una fase di forte incertezza regolatoria, alimentata anche dalle controversie sull'identificazione delle aree idonee per gli impianti a FER (i relativi criteri nazionali, fissati dal D.M. 21/6/2024, sono stati riformulati con il D.L. 175/2025).

L'installazione di IF-T in ambito agricolo alimenta una competizione per l'uso del suolo, un conflitto spesso latente ma significativo tra la produzione di energia rinnovabile e la tutela delle risorse agricole primarie (Lamhamedi e de Vries, 2022). Il problema non riguarda solo l'estensione delle superfici sottratte all'agricoltura, ma anche la qualità intrinseca dei suoli, un aspetto spesso trascurato. Nonostante l'agrivoltaico sia oggi considerato una possibile soluzione per integrare produzione energetica e agricola (Toledo e Scognamiglio, 2021; Ghosh, 2023), molti impianti continuano a basarsi su moduli a terra, che comportano impermeabilizzazione e sottrazione effettiva di suolo alle coltivazioni. C'è da chiedersi se questo modello sia sostenibile a lungo termine, soprattutto qualora vengano occupati i terreni più fertili e produttivi, che forniscono preziosi servizi ecosistemici (Bonora, 2015; Pileri, 2024).

In questo quadro, l'Emilia-Romagna – cuore della *Food valley* padana – rappresenta un caso di studio emblematico. La regione ha una solida economia agricola, con 74 filiere certificate di cibo e vino (Ismea-Fondazione Qualivita, 2025), ma si caratterizza anche per un elevato livello di urbanizzazione e per una consistente domanda energetica. Gli obiettivi regionali di sviluppo delle FER, definiti nel *Patto per il lavoro e per il clima* (2020), sono inoltre più ambiziosi rispetto a quelli nazionali, creando le condizioni per una possibile accelerazione degli IF-T in aree agricole.

Gli impatti associati all'installazione di IF-T riguardano tre dimensioni d'interesse geografico (Frolova *et al.*, 2019): 1) il cambiamento della copertura dei suoli; 2) la trasformazione del paesaggio e la percezione da parte delle comunità locali; 3) gli effetti sulle proprietà intrinseche dei terreni.

In questo lavoro ci concentriamo sul primo aspetto, finora relativamente poco indagato in letteratura – come rilevano anche Cogato *et al.* (2023) – al di là di un richiamo generale al fatto che il fotovoltaico richiede ampie superfici. Analizziamo la localizzazione degli IF-T in Emilia-Romagna al 30 settembre 2025 nei comuni distinti per grado di urbanizzazione e valutiamo gli usi del suolo sostituiti dagli impianti, riservando particolare attenzione al grado di occupazione dei terreni di maggiore qualità agronomica. A tal fine, analizziamo la distribuzione degli IF-T rispetto alle classi di capacità d'uso dei suoli, derivate dalla cartografia predisposta dalla Regione nel 2021. In particolare, consideriamo la presenza di IF-T nei suoli delle classi I e II, caratterizzati da limitazioni nulle o molto ridotte all'uso agricolo. Gli investitori, guidati da criteri di convenienza economica e logistica, ricercano siti pianeggianti, con elevato irraggiamento solare e prossimi alla rete elettrica, caratteristiche che spesso coincidono con i suoli agricoli migliori (Dias *et al.*, 2019). Il consumo di suolo non è mai un esito positivo, soprattutto se vengono persi, sia pur temporaneamente, i suoli delle classi I e II: suoli che, per l'elevata capacità produttiva e i servizi ecosistemici forniti, costituiscono la componente pedologica più

preziosa di cui disponiamo e che andrebbe salvaguardata orientando gli IF-T verso aree agricole marginali o, preferibilmente, verso tetti e superfici urbanizzate. L'analisi mira a comprendere quale quadro si sia generato a livello comunale rispetto a due dimensioni: l'intensità di utilizzo dei suoli per scopi energetici (localizzazione degli IF-T per classi di capacità d'uso dei suoli) e la pressione esercitata nelle varie classi (percentuale di superficie occupata dagli IF-T in ciascuna classe rispetto alla sua estensione).

Il contributo si inserisce nel dibattito geografico sulla diffusione delle energie rinnovabili (Mauro, 2021), concentrandosi sul rapporto fra localizzazione degli IF-T, qualità agronomica dei suoli e pianificazione territoriale. Non vengono pertanto indagati i fattori socioeconomici e culturali che influenzano la diffusione degli IF-T in aree agricole, quali il valore fondiario dei terreni, la redditività aziendale e le difficoltà di ricambio generazionale. La Regione Emilia-Romagna ha definito, fin dal 2010, criteri di localizzazione degli IF-T basati sulla distanza da infrastrutture e beni tutelati, nonché sulla presenza di produzioni agricole certificate. In questo studio verifichiamo se ciò sia stato efficace nel proteggere i suoli più pregiati o se, nell'attuale fase di revisione delle norme sulle aree idonee alla localizzazione degli IF-T, non sia opportuno introdurre anche un criterio pedologico che orienti i futuri impianti verso le aree agricole marginali e, in primo luogo, verso aree già urbanizzate.

Le prossime due sezioni delineano il quadro teorico della ricerca e gli aspetti metodologici; viene poi presentato il caso di studio (§4) e, infine, si discutono alcuni nodi critici per la pianificazione territoriale degli IF-T (§5).

2. QUADRO TEORICO. – Nonostante i progressi tecnologici, la riduzione dei costi e la facile integrazione in contesti geografici diversi, il fotovoltaico ha un punto di debolezza strutturale: un'elevata *land use intensity* (LUI). Rispetto ad altre tecnologie, richiede infatti superfici più estese per produrre la stessa quantità di energia (Bolinger e Bolinger, 2022; Cogato *et al.*, 2023). Stimare la LUI è fondamentale per valutare la sostenibilità degli obiettivi di transizione energetica in termini di spazio necessario per installare nuovi impianti (van de Ven *et al.*, 2021; Kiesecker *et al.*, 2024).

Nei contesti urbani, questa criticità è poco rilevante: i moduli fotovoltaici possono colonizzare tetti, facciate e un'ampia varietà di spazi marginali (Song *et al.*, 2024). Si possono utilizzare anche i *solar tree* che, oltre a essere esteticamente gradevoli, occupano poco spazio e hanno costi contenuti (Vyas *et al.*, 2022). Il quadro cambia nelle aree agricole. Qui la diffusione degli IF-T è divenuta, negli ultimi anni, uno dei *driver* del consumo di suolo, meno vistoso ma non meno impattante rispetto a poli logistici, *data center* e altri spazi operazionali attratti dalle aree rurali (Trainor *et al.*, 2016). Per gli investitori, la localizzazione nelle campagne è mol-

to appetibile (Lamhamedi e de Vries, 2022): rispetto agli impianti urbani, ci sono minori vincoli tecnici, minori costi di realizzazione e tempi più rapidi di ritorno dell'investimento. È inoltre possibile massimizzare la produzione di energia per unità di superficie scegliendo gli assetti impiantistici più efficienti.

Gli studi che valutano gli impatti del fotovoltaico nel ciclo di vita – dalla produzione dei pannelli al loro smaltimento – convergono su un giudizio positivo circa la sostenibilità complessiva di questa tecnologia (Dhar *et al.*, 2020; Bošnjaković *et al.*, 2023). Tuttavia, vengono immancabilmente rimarcate due criticità: la necessità di utilizzare ampie superfici – includendo non solo l'area occupata dai pannelli, ma anche le infrastrutture e gli spazi accessori – e la competizione per l'uso del suolo con l'agricoltura.

Alcune soluzioni tecniche possono contribuire a ridurre gli impatti nelle aree agricole (Tawalbeh *et al.*, 2021): l'aumento dell'efficienza dei moduli, la riduzione delle distanze tra le file e la co-localizzazione di più tecnologie (ad esempio *wind-solar*). È importante selezionare i siti più idonei alla localizzazione degli impianti combinando fattori ambientali, geografici e infrastrutturali (Watson e Hudson, 2015; Zambrano-Asanza *et al.*, 2021; Reguera Bueno *et al.*, 2025). A ciò si aggiungono misure per la localizzazione preferenziale degli impianti in aree degradate e urbanizzate, in particolare sui tetti degli edifici, pur generando in alcuni casi una competizione con i tetti verdi, importanti tasselli delle infrastrutture verdi (Song *et al.*, 2024). Un'ulteriore opzione, al centro dell'attenzione anche in Italia, è rappresentata dagli impianti agrivoltaici che integrano agricoltura ed energia (*dual land use*). Si tratta tuttavia di soluzioni più costose dei classici IF-T, non compatibili con tutte le colture, che richiedono un attento dimensionamento e un monitoraggio continuo per garantire un equilibrio tra resa agricola, produzione di energia e sostenibilità economica (Pandey *et al.*, 2025).

Gli IF-T determinano un consumo di suolo formalmente reversibile, poiché al termine della vita utile dell'impianto l'uso agricolo può, in linea teorica, essere ripristinato. Di fatto, però, l'installazione di moduli a terra interrompe i normali processi idrologici e pedologici, con effetti sulle proprietà fisico-chimiche dei suoli e sulla fornitura dei servizi ecosistemici (la situazione migliora con l'agrivoltaico: Weselek *et al.*, 2019). Anche dopo lo smantellamento, il recupero della piena funzionalità agronomica non è immediato, e ciò contraddice con l'idea di un impatto temporaneo e indolore (Moscatelli *et al.*, 2022). Sono state segnalate alterazioni del microclima locale (sotto e tra le file di pannelli), riduzione della salute dei suoli (in particolare del carbonio organico e dell'azoto totale), minore capacità di ritenzione idrica e rischi localizzati di erosione e dilavamento (Tawalbeh *et al.*, 2021; Bošnjaković *et al.*, 2023). Tuttavia, molto dipende da come gli impianti vengono progettati e gestiti; anche rispetto al delicato tema della biodiversità alcuni impianti potrebbero diventare rifugi per api, farfalle, uccelli e specie vegetali rare in paesaggi agrari dominati da poche colture intensive (Scognamiglio, 2016).

Un altro ricco filone di studi riguarda l'accettazione sociale del fotovoltaico, tema particolarmente sensibile nelle aree rurali. Questa tecnologia gode di un ampio consenso pubblico sul piano economico e 'morale' – per la creazione di opportunità occupazionali e il contributo alla sostenibilità – ma, quando si passa ai progetti concreti, emergono spesso opposizioni da parte delle comunità locali (Späth, 2018; Li e Gou, 2023; Delatin Rodrigues e Grasso, 2025). Due questioni appaiono decisive. Da un lato, la volontà di difendersi da pratiche di *land grabbing* e speculazione energetica da parte di investitori esterni, percepiti come soggetti che sfruttano le risorse locali senza generare reali benefici per i residenti (Müller, Pampus, 2023). Dall'altro, la preoccupazione per la 'industrializzazione' del paesaggio agrario – attraverso l'inserimento di strutture, materiali e colori estranei al contesto – e per i possibili effetti negativi sul turismo rurale, risorsa fondamentale per molte aree (Ioannidis e Koutsoyiannis, 2020; Kim *et al.*, 2021).

L'impatto paesaggistico e sociale dipende anche dalla dimensione degli impianti e dalla loro concentrazione territoriale (Frolova *et al.*, 2019). In generale, impianti di piccola taglia si integrano meglio nel paesaggio e incontrano minori resistenze, ma l'effetto cumulativo di molte piccole strutture può risultare, alla lunga, più rilevante di quello prodotto da un singolo grande impianto (Naspetti *et al.*, 2018; Hilker *et al.*, 2024). In questo scenario, lo strumento delle Comunità energetiche rinnovabili (CER) può essere utile per migliorare l'accettazione degli IF-T nelle aree rurali. Le CER, infatti, prevedono la partecipazione attiva delle comunità locali alla gestione dell'energia e trasformano gli investimenti nel fotovoltaico da progetti imposti 'dall'esterno' a progetti condivisi. In questo modo l'energia prodotta viene consumata in loco, generando valore per l'area e contribuendo all'auto-sufficienza energetica di imprese e famiglie (Shi *et al.*, 2024).

Nel panorama generale degli studi, solo pochi lavori indagano gli usi del suolo sostituiti dagli IF-T, benché ciò sia cruciale per comprendere la trasformazione del paesaggio e gli impatti generati (Hernandez *et al.*, 2015; Mauro e Lughì, 2017; Poggi *et al.*, 2018; Barral *et al.*, 2023; Cogato *et al.*, 2023). La difficoltà di mappare con precisione gli impianti e la carenza di cartografie dettagliate degli usi del suolo a diverse soglie temporali costituiscono ostacoli significativi. A parte la varietà delle coltivazioni sostituite nei vari contesti locali, si rileva una proiezione degli IF-T verso le aree agricole più marcata rispetto agli impianti eolici, che hanno occupato diffusamente anche aree seminaturali. C'è molta attenzione per la frammentazione ecologica indotta dallo *sprawl* degli IF-T (Vrînceanu *et al.*, 2019; Levin *et al.*, 2023), ma resta poco chiaro l'impatto sui suoli di diversa qualità agronomica, tema al centro di questo lavoro.

3. MATERIALI E METODI. – In Emilia-Romagna, al 30 settembre 2025, gli IF-T occupano una superficie pari a 2.087,6 ha, distribuita in 1.044 poligoni. I dati de-

rivano dalla carta regionale degli usi del suolo (2020), integrata con la georeferenziazione in QGIS degli impianti autorizzati dopo il 1° gennaio 2020 e visibili nelle immagini satellitari Sentinel-2. La superficie considerata corrisponde all'estensione complessiva dei siti (*fenced area*), comprendente moduli, spazi interfilari e infrastrutture di servizio.

Per ogni poligono a fotovoltaico è stata ricostruita la destinazione d'uso nel 2003 (poco prima dell'espansione degli impianti in ambito agricolo) sulla base della carta regionale degli usi del suolo. Parallelamente, con l'obiettivo di valutare anche la qualità dei suoli interessati, è stata utilizzata la carta regionale della capacità d'uso dei suoli a fini agricoli e forestali (2021), basata sulla *Land capability classification* (LCC) dell'United States Department of Agriculture (USDA: Klingebiel, Montgomery, 1961). Tale classificazione distingue otto classi principali: le classi I-IV includono i suoli più vocati all'agricoltura, con limitazioni crescenti; le classi V-VII comprendono suoli idonei soprattutto al pascolo e alla forestazione; la classe VIII raccoglie i suoli destinati prevalentemente al mantenimento dell'ambiente naturale.

Mediante tecniche GIS di *overlay* spaziale abbiamo ricostruito in quali classi di suolo ricadono gli IF-T, prestando particolare attenzione alle prime due classi, quelle più pregiate.

Per analizzare le relazioni fra diffusione degli IF-T e capacità d'uso dei suoli sono stati calcolati due indici a scala regionale, provinciale e comunale:

$$D1 = (SF_i / \sum SF_i) \times 100$$

$$D2 = (SF_i / SC_i) \times 1.000$$

dove:

SF_i = superficie occupata da IF-T nella classe di capacità d'uso *i-esima*;

$\sum SF_i$ = superficie complessiva occupata da IF-T (somma di tutte le classi);

SC_i = superficie totale della classe di capacità d'uso *i-esima*.

L'indice D1 delinea la 'geografia interna' della localizzazione degli IF-T, mettendo in evidenza le classi di suolo relativamente più colpite dalla diffusione di queste strutture: si assume la 'prospettiva del fotovoltaico'. L'indice D2 misura invece la pressione esercitata dagli IF-T sulle diverse classi di suolo, offrendo una stima del grado di trasformazione e sottrazione di superfici con differente capacità d'uso: qui prevale la 'prospettiva del suolo'.

Per i suoli migliori (classi I e II) i comuni sono stati suddivisi in quattro gruppi, sulla base della mediana degli indici D1 e D2:

A) comuni con elevata quota di superficie a fotovoltaico nella classe considerata (I o II) sul totale e forte pressione in tale classe (D1 e D2 superiori alle rispettive mediane);

B) comuni con bassa quota di superficie a fotovoltaico nella classe considerata sul totale, ma forte pressione in tale classe (D1 basso, D2 alto);

C) comuni con elevata quota di superficie a fotovoltaico nella classe considerata sul totale, ma bassa pressione in tale classe (D1 alto, D2 basso);

D) comuni con bassa quota di superficie a fotovoltaico nella classe considerata sul totale e bassa pressione in tale classe (D1 e D2 bassi).

Il riferimento alla scala comunale è utile per cogliere le configurazioni territoriali della diffusione degli IF-T e il loro rapporto con le politiche locali; un'analisi alla scala del singolo impianto, sia pur più precisa, renderebbe meno leggibili tali dinamiche.

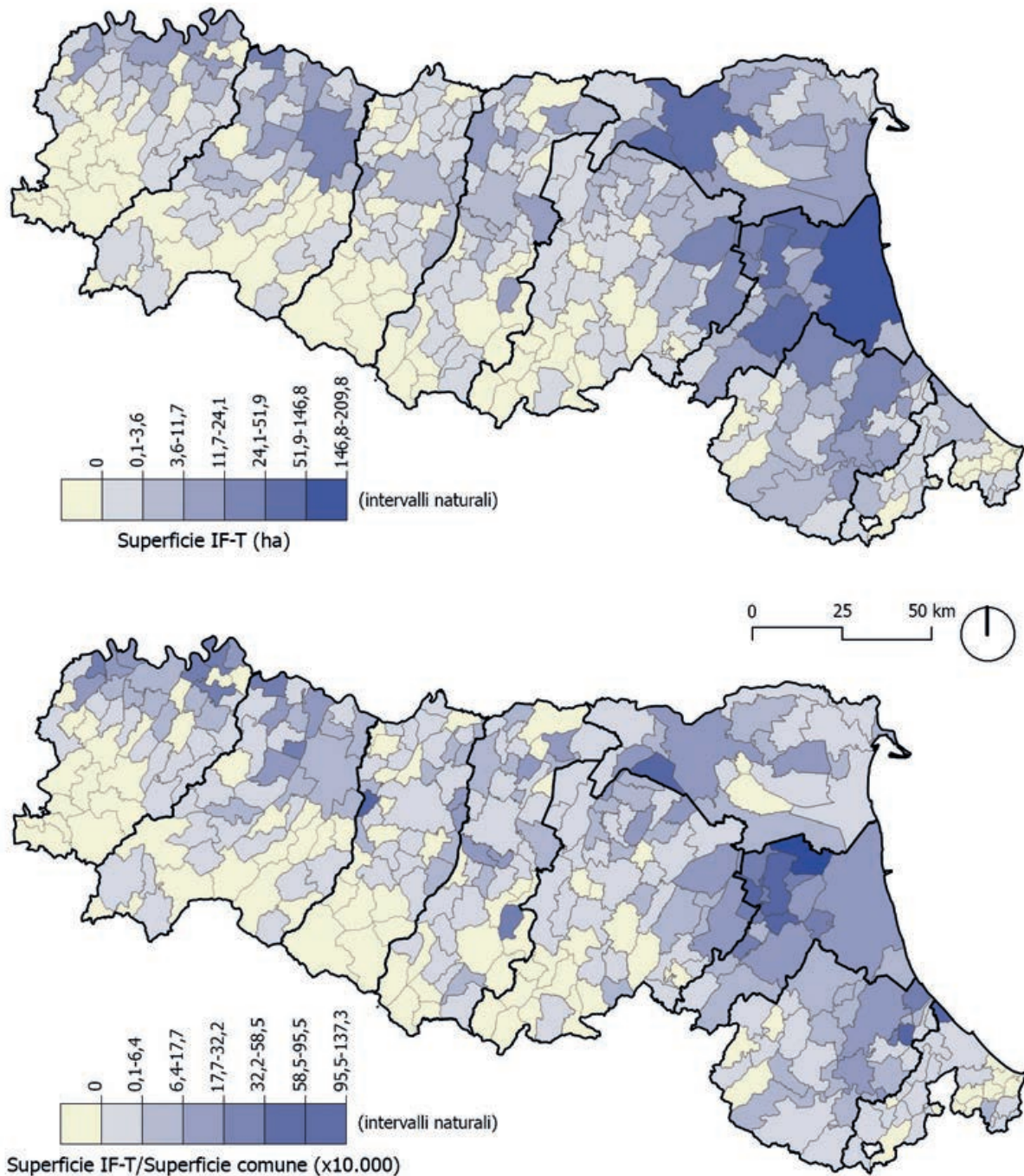
Infine, i comuni sono stati classificati secondo il grado di urbanizzazione (DEGURBA-*Degree of urbanisation*: Eurostat, 2021), distinguendo le città (11 comuni), le aree intermedie (119 comuni) e le zone rurali (200 comuni). Ciò consente di leggere la diffusione degli IF-T alla luce delle diverse geografie insediative e demografiche regionali.

4. RISULTATI. – In Emilia-Romagna, gli IF-T sono diventati un elemento ricorrente del paesaggio, soprattutto nelle aree pianeggianti, dove si trova l'84,4% della superficie totale di queste strutture. È evidente un forte addensamento nella pianura orientale (Fig. 1), favorito da valori più elevati d'irradianza solare e da una fitta presenza di elettrodotti che agevola l'allacciamento degli impianti. La provincia di Ravenna fa la parte del leone (Tab. 1): è piccola, ma concentra ben il 33,1% delle superfici a fotovoltaico dell'intera regione. Seguono, a una certa distanza (10-15%), le province di Ferrara, Forlì-Cesena e Bologna, mentre Reggio Emilia e Rimini chiudono la graduatoria. Per l'estensione degli IF-T, spicca il comune di Ravenna (209,8 ha), storico hub dei combustibili fossili ora molto attivo nello sviluppo delle FER. In modo diffuso, i valori sono elevati anche in altri comuni del settore orientale della regione, mentre a ovest sono più esigui, salvo alcune eccezioni.

Dominano i piccoli impianti: ben 566 su 1.044 poligoni fotovoltaici (54,2% del totale) non raggiungono 1 ha. Tuttavia, ci sono anche 23 poligoni che superano i 10 ha, con punte massime nei comuni di Ravenna (86 ha) e Alfonsine (67 ha).

Il rapporto fra la superficie degli IF-T e la superficie complessiva di province e comuni consente di valutare la pressione sui territori a scopi energetici. Guardando ai dati provinciali (Tab. 1), al di là dei cambiamenti di posizione rispetto alla graduatoria basata sulla sola estensione degli IF-T, l'occhio cade sull'ampio divario fra Ravenna e Reggio Emilia. A scala comunale (Fig. 1), si registrano valori di pressione elevati sia in molti capoluoghi, sia in numerosi altri comuni, con un picco ad Alfonsine (a nord-ovest di Ravenna). La differenza fra i quadranti est ed ovest della

regione, rilevata in precedenza, si attenua: in diversi comuni della pianura piacentina e parmense, lungo il Po, gli IF-T sono meno estesi rispetto al settore orientale, ma la pressione è elevata.



Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna e Istat (vedi sezione 3).

Fig. 1 - IF-T nei comuni dell'Emilia-Romagna, 30/09/2025

Tab. 1 - IF-T in Emilia-Romagna per province, 30/09/2025

<i>Province</i>	<i>N. poligoni IF-T</i>	<i>Superficie IF-T (ha)</i>	<i>% Superficie IF-T su totale</i>	<i>Pressione IF-T (Sup. IF-T/Sup. territoriale) x 10.000</i>
Piacenza	68	181,7	8,7	7,02
Parma	54	201,4	9,6	5,84
Reggio Emilia	64	79,0	3,8	3,45
Modena	79	141,5	6,8	5,26
Bologna	121	205,2	9,8	5,54
Ferrara	94	308,4	14,8	11,74
Ravenna	318	691,3	33,1	37,18
Forlì-Cesena	214	240,8	11,5	10,13
Rimini	32	38,5	1,8	4,17
Totale	1.044	2.087,6	100,0	9,28

Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna (vedi sezione 3).

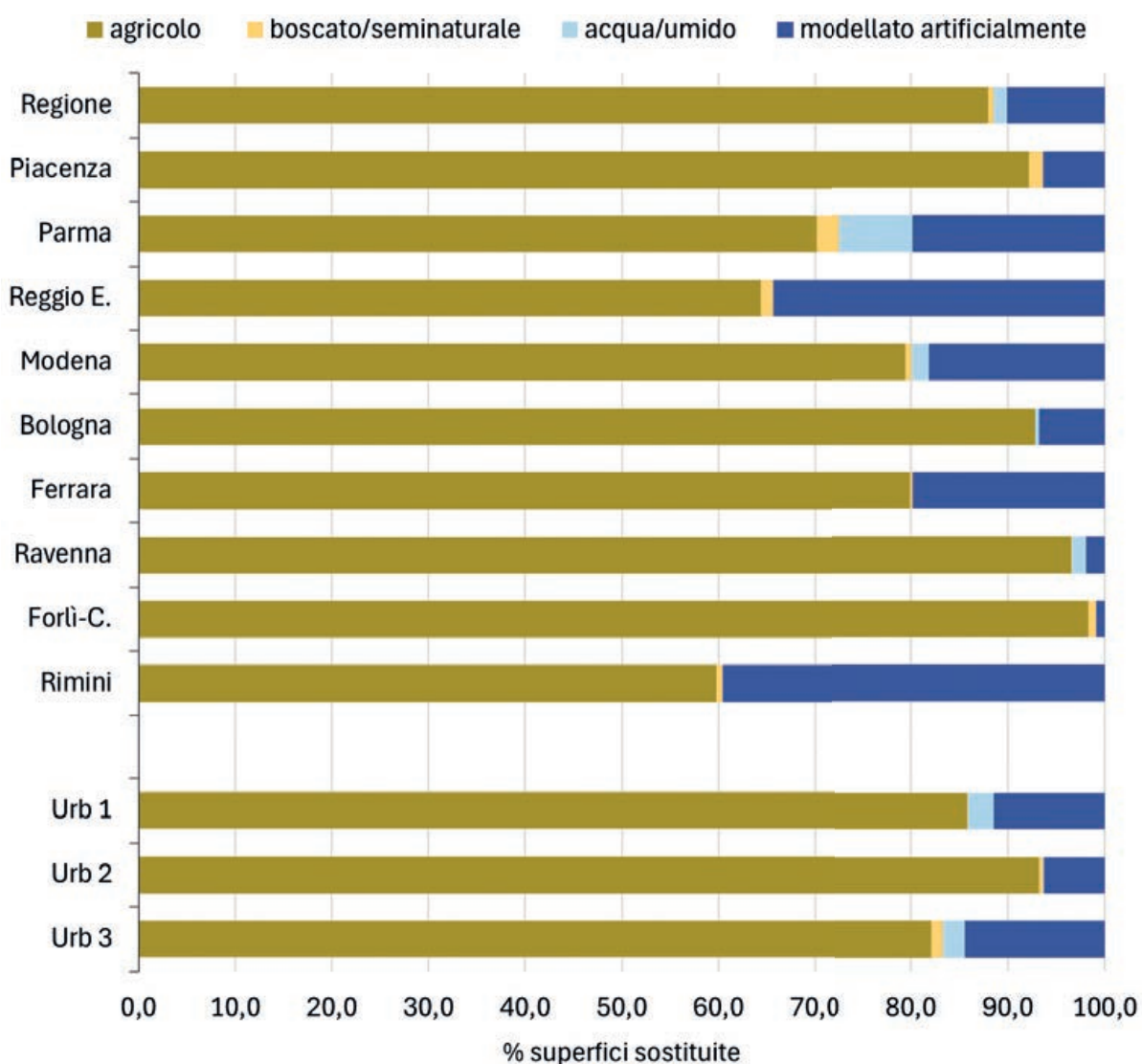
I comuni intermedi (piccole città e sobborghi) sono snodi chiave nella geografia energetica regionale: concentrano quasi la metà della superficie totale degli IF-T e hanno anche elevati valori di pressione (Tab. 2).

Tab. 2 - IF-T in Emilia-Romagna per grado di urbanizzazione, 30/09/2025

<i>Grado di urbanizzazione (DEGURBA)</i>	<i>N. Comuni</i>	<i>Superficie IF-T (ha)</i>	<i>% Sup. IF-T su totale</i>	<i>Pressione IF-T (Sup. IF-T/Sup. territoriale) x 10.000</i>
Urb 1 - Città	11	442,0	21,2	17,54
Urb 2 - Piccole città e sobborghi	119	969,3	46,4	13,97
Urb 3 - Zone rurali	200	676,3	32,4	5,19
Totale	330	2.087,6	100,0	9,28

Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna (vedi sezione 3).

Ben l'88% delle superfici attualmente occupate da IF-T era in precedenza destinato (2003) a usi agricoli (Fig. 2). Alcune strutture si sono insediate anche in aree boscate e seminaturali (0,6%) e in ambienti d'acqua (1,3%). Gli IF-T sono stati quindi vettori di consumo di suolo e solo in misura limitata hanno interessato aree già urbanizzate (10,1%). La competizione fra produzione di energia e agricoltura è massima nelle province di Forlì-Cesena e Ravenna, dove quasi tutti gli IF-T hanno 'scacciato' coltivazioni agricole; è molto forte anche nelle province di Bologna e Piacenza, mentre si attenua a Reggio Emilia e Rimini, dove sono state convertite ad usi energetici anche molte aree degradate (cave, discariche, ecc.). Sono soprattutto i comuni intermedi a mostrare un sovrautilizzo delle aree agricole, con un surplus di 7-11 p.p. rispetto a città e zone rurali.

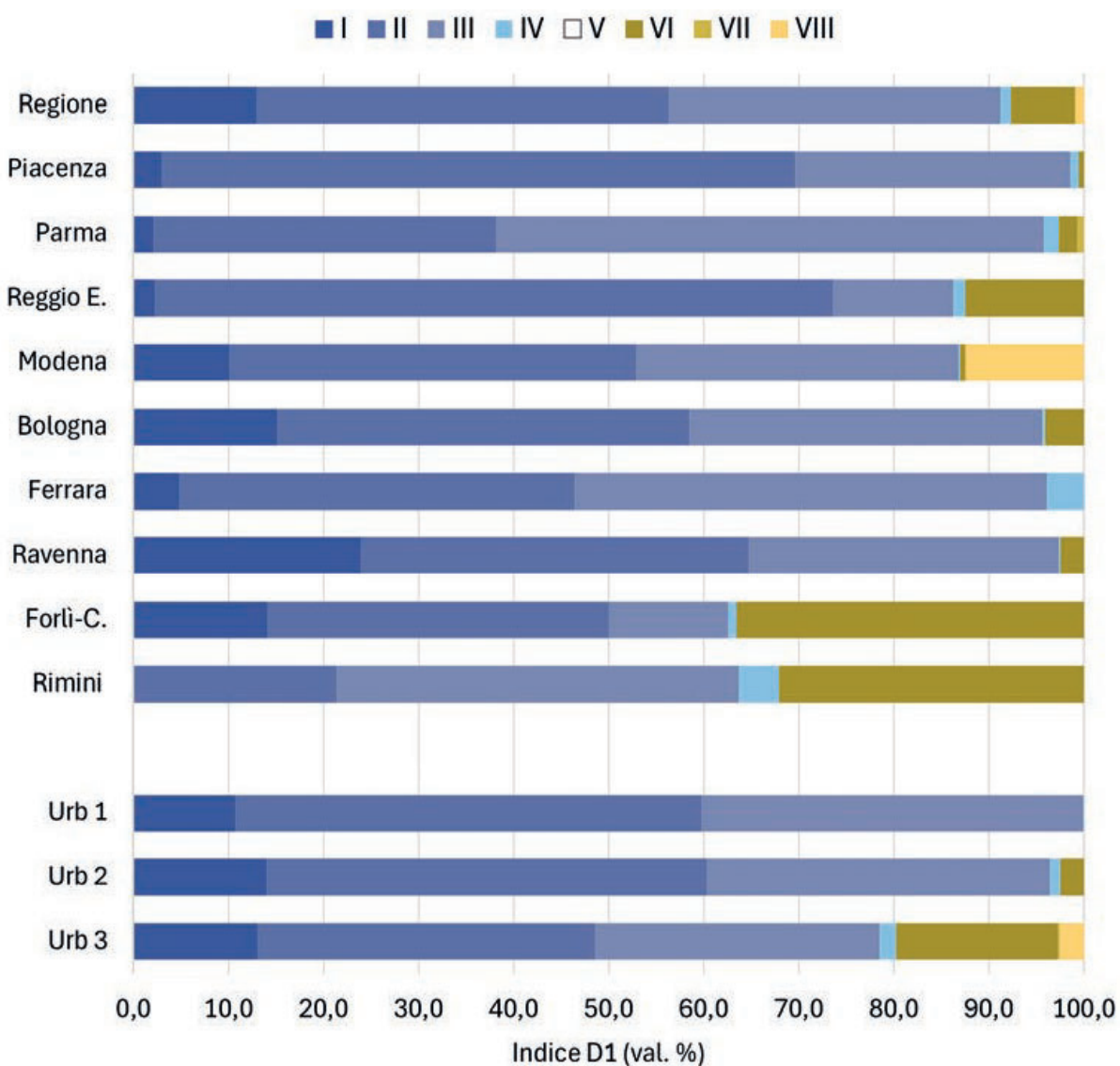


Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna e Istat (vedi sezione 3).

Fig. 2 - Usi del suolo sostituiti dagli IF-T in Emilia-Romagna (1° livello)

Considerando il dettaglio delle coltivazioni sostituite dagli IF-T, il 74,3% delle superfici era in precedenza destinato a seminativi semplici (1.365 ha); seguono i frutteti (11,8%), i seminativi non irrigui (6,8%), i vigneti (3,7%), i prati stabili (2%) e altri nove tipi di coltivazioni (in una lettura degli usi del suolo al quarto livello di dettaglio). Stante le molteplici vocazioni agricole locali, si osservano alcune differenze fra le province. Si possono considerare, ad esempio, le colture permanenti (frutteti e vigneti), che hanno ceduto ampi spazi al fotovoltaico nelle province di Ravenna, Forlì-Cesena e Modena, mentre nella provincia di Piacenza sono stati rimpiazzati quasi esclusivamente seminativi semplici.

Tutte le classi di capacità d'uso dei suoli – ad eccezione della classe V (aree golenali) – sono state coinvolte dallo *sprawl* degli IF-T (Fig. 3).



Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna e Istat (vedi sezione 3).

Fig. 3 - IF-T in Emilia-Romagna su suoli di classe I-VIII: indice D1

La maggior parte delle superfici a fotovoltaico si concentra (indice D1) su suoli di classe II (alta qualità agronomica: 43,3%); seguono le classi III (media qualità: 34,9%), I (massima qualità: 13%) e IV (bassa qualità: 1,1%). A scala regionale emerge una criticità: gli IF-T non solo hanno rimpiazzato usi agricoli, ma hanno colonizzato diffusamente i terreni più pregiati poiché nelle classi I e II ricade ben il 56,3% della superficie totale a fotovoltaico. I vincoli sulla dimensione degli impianti e sulla potenza installabile, introdotti dalla Regione fin dal 2010 per le aree agricole non sottoposte a tutela ambientale e paesaggistica, non sono stati sufficienti a dirottare gli IF-T verso i terreni agricoli più marginali (classi III e IV). L'uso dei suoli di classe II si attesta su valori molto alti (60-70%) nelle province di Piacenza e Reggio Emilia, mentre per la classe I spiccano le province di Ravenna, Bologna e Forlì-Cesena.

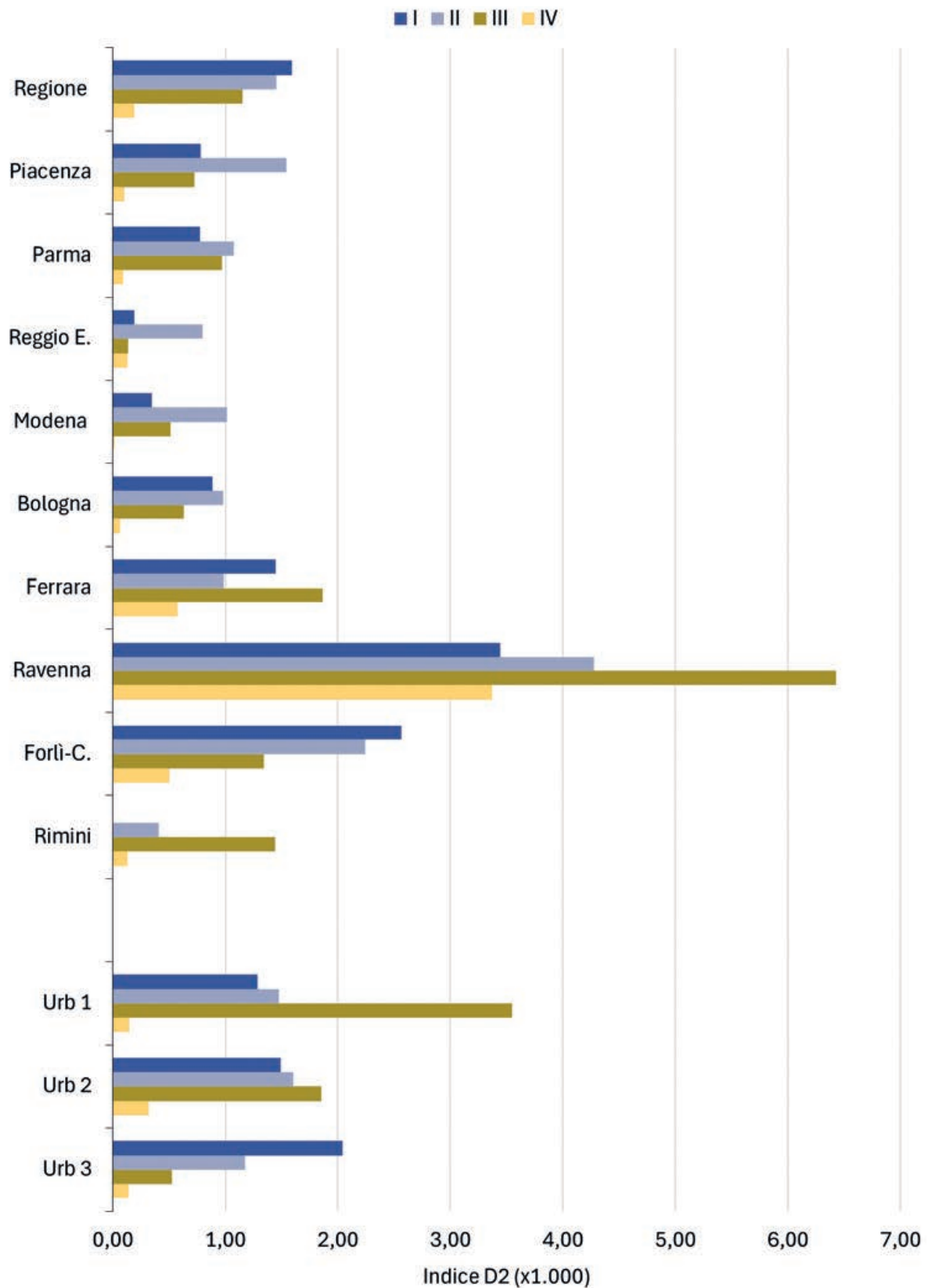
Rispetto ai dati regionali, i comuni intermedi si distinguono per l'uso intenso dei terreni più pregiati, soprattutto di classe I. Nelle città, invece, è stata coinvolta maggiormente la classe III, ma sono stati utilizzati anche molti suoli di classe II. Nei comuni rurali, gli IF-T hanno colonizzato molti terreni non adatti all'agricoltura (classi VI-VIII), specie in ambiti collinari e montani, ma c'è stato anche un uso rilevante dei terreni più pregiati.

A parità di superficie occupata dagli IF-T, l'impatto è maggiore se vengono utilizzati i suoli appartenenti a classi rare, soprattutto quando si tratta dei terreni più pregiati. Per cogliere questo aspetto abbiamo utilizzato l'indice D2, che misura la pressione esercitata dal fotovoltaico nelle singole classi di suolo. Limitando l'analisi ai terreni adatti all'agricoltura (Fig. 4), a scala regionale emerge una pressione massima sulla classe I e via via decrescente nelle tre classi successive. Si tratta di un risultato rilevante: dall'indice D1 si ricava che i suoli di massima qualità sono stati utilizzati meno di altri, ma l'indice D2 mostra come essi siano stati quelli più sacrificati, soprattutto nelle province di Ravenna, Forlì-Cesena e Ferrara.

Nelle città l'indice D2 è molto alto per la classe III, con uno stacco netto rispetto alle altre: un comportamento virtuoso che non si ritrova né nei comuni intermedi – con una pressione simile nelle prime tre classi – né in quelli rurali, che si contraddistinguono per l'elevata pressione sui suoli di massima qualità.

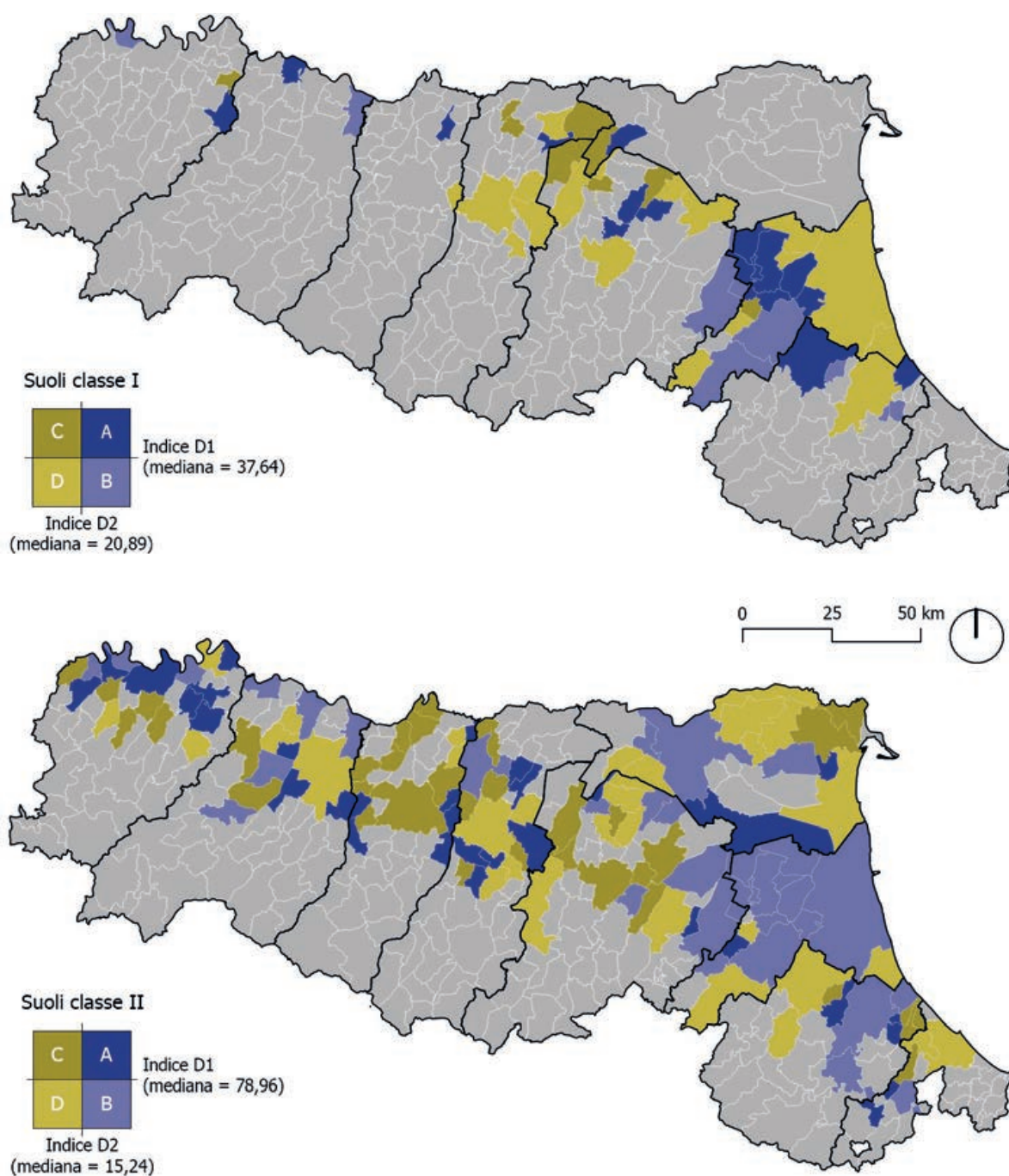
Come già rilevato, in Emilia-Romagna c'è un'abbondanza di piccoli poligoni fotovoltaici con superfici inferiori a 1 ha (54,4% del totale); il peso di queste strutture è ancor più rilevante sui suoli di classe I (65,8%), verosimilmente per i loro valori fondiari più elevati, che disincentivano i grandi investimenti.

Gli IF-T hanno colonizzato i suoli di classe I in 54 comuni e quelli di classe II in 133 comuni. Le geografie sono diverse: nel primo caso i centri si addensano nell'est della regione, soprattutto nel ravennate; nel secondo, invece, sono più omogeneamente distribuiti nell'intera fascia di pianura.



Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna e Istat (vedi sezione 3).

Fig. 4 - IF-T in Emilia-Romagna su suoli di classe I-IV: indice D2



Fonte: elaborazioni su dati Regione Emilia-Romagna e Istat (vedi sezione 3).

Fig. 5 - IF-T in Emilia-Romagna su suoli di classe I e II: comuni di tipo A, B, C e D

Recuperando la classificazione dei comuni introdotta nella sezione 3, le criticità maggiori si riscontrano laddove si combinano una forte concentrazione degli IF-T nelle classi considerate (I o II) e uno sfruttamento intensivo (alta pressione) in tali classi (caso A). Rispetto ai suoli di classe I (Fig. 5), questa situazione si ritrova in molti comuni a nord di Bologna e nelle province di Ravenna e Forlì-Cesena. Sem-

pre a est ci sono molti comuni con un'elevata pressione sui suoli di massima qualità (caso B), un'altra situazione problematica. Le criticità sono minori nel caso C, proprio di molti comuni fra Modena e Bologna, dove, pur registrandosi un sovrautilizzo dei suoli considerati, la pressione resta bassa. Infine, molti comuni – soprattutto a est – rientrano nel caso D: qui gli IF-T hanno occupato suoli pregiati, ma con un impatto finora limitato. Nella parte occidentale della regione è raro trovare IF-T su suoli di classe I – benché essa sia presente – ma i comuni in cui ciò accade hanno spesso un profilo A, quello più problematico.

Rispetto ai suoli di classe II, i casi A e C si concentrano nel settore ovest, lungo la via Emilia, spesso a corona dei capoluoghi. A est prevale il caso B, in particolare nel triangolo Bologna-Ferrara-Ravenna, mentre i casi D sono sparpagliati.

Per i suoli di classe I e II, l'ulteriore diffusione degli IF-T – se proprio non si può evitare – dovrebbe essere limitata (andrebbe considerato attentamente anche l'inserimento dell'agrivoltaico). L'intensità delle misure applicabili è tuttavia diversa (Tab. 3).

Tab. 3 - Ipotesi priorità di pianificazione

<i>Tipo comuni</i>	<i>Suoli classe I (qualità massima)</i>	<i>Suoli classe II (qualità alta)</i>
A	● Massima tutela Bloccare nuove installazioni; vincoli rigidi; compensazioni e recupero suoli	● Alta restrizione Limiti di densità e superficie per progetto; criteri stringenti di compatibilità con culture locali; incentivi per spostare gli impianti
B	● Protezione mirata Zonizzazione fine per proteggere le parcelle colpite; buffer agricoli; misure di ripristino e compensazioni	● Contenimento impatti locali Limiti di superficie per progetto; vincoli paesaggistici; monitoraggio impatti; misure di mitigazione puntuali
C	● Prevenzione attiva Mappatura parcelle critiche; vincoli puntuali, limiti di frammentazione; incentivi per alternative non suolo; monitoraggio per evitare espansione	●● Gestione cautelativa Regole di densità ed esclusioni per aree sensibili; procedure di autorizzazione più rigorose; promozione di altri siti per localizzazione impianti
D	●● Sorveglianza preventiva Inserire regole nei Piani urbanistici per evitare future pressioni; favorire altri siti (tetti, aree industriali, <i>brown-field</i>)	● Sviluppo controllato Consentire solo impianti compatibili con criteri paesaggistici e ambientali; incentivi per uso superfici degradate; monitoraggio periodico

Fonte: nostre elaborazioni.

Per i suoli di classe I appaiono più appropriate misure di tutela stringente e magari anche di delocalizzazione degli IF-T esistenti (caso A), oltre a strumenti di protezione (caso B), prevenzione (caso C) e sorveglianza (caso D). In un'ottica comunicativa, un ipotetico semaforo sintetizzerebbe questi orientamenti con una prevalenza di rosso e giallo. Per i suoli di classe II, invece, prevalgono il giallo e il verde, a indicare la necessità di una gestione oculata, con possibilità di sviluppo limitato e regolato. Questi suoli sono meno intoccabili rispetto a quelli di classe I, ma andrebbero comunque tutelati attraverso regole di densità più o meno stringenti (casi A e B), regole preventive (caso C) e norme tese a vincolare gli insediamenti al rispetto di criteri ambientali e paesaggistici (caso D).

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI. – La diffusione degli IF-T in aree agricole pone interrogativi rilevanti sul consumo di suolo, sulla trasformazione del paesaggio e sul conflitto fra due obiettivi ugualmente prioritari: la transizione energetica e la tutela delle produzioni agricole. In questo lavoro abbiamo analizzato l'intensità e le modalità di questo processo in Emilia-Romagna al 30 settembre 2025, in una fase di ridefinizione della normativa regionale per l'individuazione delle aree idonee per gli impianti a FER, alla luce dei criteri fissati a livello nazionale nel 2024 e riformulati dal D.L. 175/2025. Disporre di un quadro chiaro di quanto accaduto finora è essenziale per identificare i nodi critici da affrontare nella nuova fase pianificatoria, ancora in via di faticosa definizione.

Dalla ricerca emergono tre risultati principali: l'elevato grado di diffusione degli IF-T nelle aree agricole di maggiore qualità; il ruolo chiave assunto dai comuni intermedi nelle geografie energetiche regionali; la marcata frammentazione degli impianti, dovuta alla prevalenza di piccole strutture.

In Emilia-Romagna la maggior parte degli IF-T si colloca in pianura, su terreni precedentemente coltivati; solo in pochi casi sono state utilizzate aree degradate o già urbanizzate, limitando così la possibilità di ridurre il consumo di nuovo suolo per fini energetici. Gli IF-T hanno rimpiazzato soprattutto seminativi e frutteti, colture che connotano in modo tipico il paesaggio agrario regionale. Ma il dato più rilevante è un altro: la forte occupazione dei suoli appartenenti alle classi I e II. La colonizzazione di questi suoli pregiati si osserva anche in altre regioni a forte vocazione agricola, come la Puglia (Aretano *et al.*, 2022), ma nel caso dell'Emilia-Romagna risulta sorprendente, alla luce dell'orientamento restrittivo adottato con la D.A.L. 28/2010 per governare la localizzazione degli IF-T. Questo orientamento è stato mantenuto nella D.A.L. 125/2023 – che ha recepito il D.Lgs. 119/2021 sulle aree idonee *ope legis* – e ispira anche i più recenti provvedimenti regionali.

Non solo sono stati sacrificati molti suoli delle classi I e II, ma si registra anche un'elevata pressione in termini di superficie occupata dagli IF-T rispetto all'estensione complessiva di tali classi. I nostri dati indicano una pressione massima sui

suoli di classe I, i più fertili e produttivi in assoluto. La preferenza degli investitori per questi terreni risponde a logiche economiche e ingegneristiche – aree pianeggianti, assenza di ostacoli morfologici, buona accessibilità alle infrastrutture stradali ed elettriche – ma, dal punto di vista della pianificazione territoriale, genera un'evidente inefficienza allocativa: sono destinati a usi energetici i suoli più preziosi per l'agricoltura, con una perdita difficilmente reversibile nel breve periodo.

L'analisi condotta a scala comunale, attraverso gli indici D1 e D2, restituisce un quadro differenziato. Le situazioni più critiche riguardano, da un lato, i comuni in cui entrambi gli indici sono elevati (caso A), dall'altro i comuni caratterizzati da un forte sfruttamento dei suoli pregiati (caso B). Molti comuni del settore orientale della regione rientrano in queste categorie, con un marcato addensamento nelle province di Ravenna e Forlì-Cesena.

Sulla base di queste configurazioni, abbiamo delineato diversi livelli di cautela da integrare nelle future politiche energetiche locali. Si potrebbe obiettare che tali cautele siano eccessive, dato che l'estensione complessiva degli IF-T rappresenta meno dell'1% della superficie agricola utilizzata a scala regionale. L'argomento ha una sua validità, ma rischia di indurre in una 'trappola dei valori assoluti': la questione non riguarda solo la quantità di suolo consumato, bensì la qualità dei suoli sottratti. Finora la diffusione degli IF-T ha interessato soprattutto i suoli di elevata qualità agronomica; se questa tendenza non verrà guidata da criteri selettivi, il conflitto fra transizione energetica e tutela delle risorse agricole si accentuerà, con rilevanti implicazioni economiche e paesaggistiche.

Poiché la localizzazione di IF-T in aree agricole è tuttora consentita, almeno in alcuni casi, dal D.L. 63/2024, appare necessario salvaguardare in via prioritaria i suoli migliori. In questa prospettiva, la carta regionale della capacità d'uso dei suoli può costituire uno strumento di primo livello per valutare l'idoneità dei siti candidati, da integrare con indagini a 'grana fine' sulle caratteristiche pedologiche. Limitarsi a proteggere le aree agricole con produzioni certificate – come avviene attualmente in Emilia-Romagna – non garantisce la conservazione dei suoli migliori, che possono trovarsi anche al di fuori di tali perimetrazioni. Analogamente, criteri di localizzazione fondati solo sulla distanza da infrastrutture e insediamenti produttivi – assunti nelle norme nazionali – prescindono dalla qualità intrinseca dei suoli e rischiano di riprodurre le inefficienze osservate.

Negli ultimi anni si è affermato un forte interesse per gli impianti agrivoltaici, spesso presentati come una soluzione in grado di attenuare il conflitto energia/agricoltura. Tuttavia, strutture elevate da terra e moduli verticali comportano un impatto visivo marcato sul paesaggio; inoltre, la rigidità degli impianti (pali, cablaggi, distanze interfilari fisse) e il rischio di compattazione dei suoli possono risultare più problematici proprio nei suoli di maggiore pregio (Pandey *et al.*, 2025). Anche in questo caso, l'adozione di criteri pedologici appare decisiva per evitare che l'in-

novazione tecnologica si traduca in nuove forme di consumo di suolo agricolo di alta qualità.

Guardando all'Emilia-Romagna, si conferma il ruolo centrale dei comuni intermedi nella geografia del fotovoltaico, in continuità con quanto rilevato in altre regioni italiane (Delfanti *et al.*, 2016; Lanzani, 2024). Già 'punti caldi' nelle dinamiche di *sprawl* insediativo, questi comuni hanno catalizzato numerosi IF-T, con un sovrautilizzo dei suoli pregiati e valori di pressione particolarmente elevati nella classe II (ma significativi anche per la classe I), rispetto alle città e ai comuni rurali. La loro centralità deriva dalla combinazione di ampia disponibilità di aree agricole, prossimità alle grandi città e migliore accessibilità alle infrastrutture elettriche (cabine primarie) rispetto a molti contesti rurali. In prospettiva, una maggiore attenzione ai comuni intermedi sembra auspicabile, sia per evitare che i paesaggi locali tendano verso un 'mare di vetro', sia per limitare la perdita di suoli agricoli di migliore qualità.

La maggior parte degli IF-T è di piccola taglia (< 1 ha) e rientra nella categoria *commercial & industrial*, soprattutto su suoli di classe I. Ciò riflette sia il comportamento opportunistico degli investitori, che si sono orientati verso le procedure autorizzative più snelle previste per i piccoli impianti, sia i vincoli dimensionali introdotti dalla Regione fin dal 2010. Sebbene i piccoli impianti risultino in genere più accettabili per le comunità locali, come discusso nella sezione 2, resta aperta la questione degli impatti cumulativi: una costellazione di piccole strutture distribuite a macchia di leopardo può frammentare il paesaggio agrario quanto un unico grande impianto, con in più maggiori difficoltà di gestione e monitoraggio. Per affrontare questo nodo, appare opportuno muoversi in due direzioni: da un lato, incentivare forme di aggregazione virtuosa – ad esempio attraverso CER a scala agricola – in modo da mantenere contenuta la taglia dei singoli impianti coordinandone però la localizzazione; dall'altro, includere nella valutazione di idoneità delle nuove aree anche la densità degli impianti già esistenti nelle immediate vicinanze.

La diffusione degli IF-T in ambito agricolo non sembra destinata a interrompersi, soprattutto se verranno rivisti i vincoli introdotti dal D.L. 63/2024 (a rischio di incostituzionalità) e in assenza di una regia forte capace di orientare i nuovi impianti verso siti urbanizzati. In questo scenario, diventa necessario valutare la sostenibilità territoriale delle politiche energetiche in modo più ampio rispetto a quanto avvenuto finora, andando oltre la mera contabilizzazione della superficie consumata per includere la dimensione qualitativa dei suoli interessati.

Lo studio presenta alcune limitazioni. Pur utilizzando i dati sulla qualità dei suoli dei singoli IF-T, l'analisi è stata condotta a scala comunale, riaggregando gli indicatori; in tal modo viene meno il dettaglio sulla variabilità intra-comunale dei suoli e degli IF-T. Inoltre, non sono stati considerati fattori economici e ambientali

(es. rendita fondiaria, rese per ettaro, frammentazione ecologica), utili per una valutazione più completa delle dinamiche in atto.

L'approccio proposto può essere sviluppato, sia attraverso analisi a 'grana fine' sui singoli siti incorporando tali variabili, sia estendendo l'indagine ad altre regioni della Pianura Padana, per verificare il nesso fra geografie del fotovoltaico, qualità dei suoli e specificità dei quadri normativi locali.

Nel quadro di un crescente interesse geografico per lo sviluppo delle energie rinnovabili (Mauro, 2021) e rispetto alla rilevanza politica del contrasto al consumo di suolo (Bonora, 2015), questo lavoro evidenzia come la qualità dei suoli agricoli sia un fattore da non trascurare nella pianificazione degli IF-T. Se governata solo con criteri infrastrutturali o paesaggistici, la transizione energetica può generare una forte pressione sui suoli di maggiore qualità agronomica. L'inserimento di un criterio pedologico nella definizione delle aree idonee contribuirebbe a ridurre questo squilibrio e il caso dell'Emilia-Romagna offre indicazioni utili anche per altri territori alle prese con il dilemma *food vs energy*.

Bibliografia

- Aretano R., La Ghezza V., Radicchio B., Rotolo C., Ungaro N., Campanaro C. (2022). Impianti fotovoltaici in Puglia: valutazione integrata degli impatti sulle aree agricole. In: Munafò M., a cura di, *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2022. Report SNPA 32/22*. Roma: ISPRA/SNPA.
- Barral M.Á., Ruíz Díez A., Prados M.-J., García-Marín R., Delicado A. (2023). Renewable energies and land use changes in the South of the Iberian Peninsula: A geographical interpretation of the national energy policies. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 97: 1-46. DOI: 10.21138/bage.3356.
- Bolinger M., Bolinger G. (2022). Land requirements for utility-scale PV: An empirical update on power and energy density. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 12(2): 589-594. DOI: 10.1109/JPHOTOV.2021.3136805.
- Bonora P. (2015). *Fermiamo il consumo di suolo. Il territorio tra speculazione, incuria e degrado*. Bologna: il Mulino.
- Bošnjaković M., Santa R., Crnac Z., Bošnjaković T. (2023). Environmental impact of PV power systems. *Sustainability*, 15(15): 11888. DOI: 10.3390/su151511888.
- Cogato A., Marinello F., Pezzuolo A. (2023). Soil footprint and land-use change to clean energy production: Implications for solar and wind power plants. *Land*, 12(10): 1822. DOI: 10.3390/land12101822.
- Delatin Rodrigues D., Grasso M. (2025). The resistance to solar energy expansion in Italy: A systemic perspective. *Sustainability Science*, 20(4): 1329-1342. DOI: 10.1007/s11625-025-01678-8.
- Delfanti L., Colantoni A., Recanatesi F., Bencardino M., Sateriano A., Zambon I., Salvati L. (2016). Solar plants, environmental degradation and local socioeconomic contexts:

- A case study in a Mediterranean country. *Environmental Impact Assessment Review*, 61: 88-93. DOI: 10.1016/j.eiar.2016.07.003.
- Dhar A., Naeth M.A., Jennings P.D., El-Din M.G. (2020). Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. *Science of the Total Environment*, 718: 134602. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134602.
- Dias L., Gouveia J.P., Lourenco P., Seixas J. (2019). Interplay between the potential of photovoltaic systems and agricultural land use. *Land Use Policy*, 81: 725-735. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.11.036.
- Eurostat (2021). *Applying the Degree of Urbanisation. A Methodological Manual to Define Cities, Towns and Rural Areas for International Comparisons*. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Frolova M. *et al.* (2019). Effects of renewable energy on landscape in Europe: Comparison of hydro, wind, solar, bio-, geothermal and infrastructure energy landscapes. *Hungarian Geographical Bulletin*, 68(4): 317-339. DOI: 10.15201/hungeobull.68.4.1.
- Gallo A., De Simone C.S. (2023). Analisi della distribuzione spaziale degli impianti fotovoltaici a terra: un confronto territoriale tra la Lombardia e la Puglia. *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 179: 27-43. DOI: 10.13137/2282-572X/36922.
- Ghosh A. (2023). Nexus between agriculture and photovoltaics (agrivoltaics, agriphotovoltaics) for sustainable development goal: A review. *Solar Energy*, 266: 112146. DOI: 10.1016/j.solener.2023.112146.
- GSE (2025). *Solare fotovoltaico. Rapporto statistico 2024*. Testo disponibile al sito: www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Solare%20Fotovoltaico%20-%20Rapporto%20Statistico%202024.pdf (consultato il 21 novembre 2025).
- Hernandez R.R., Hoffacker M.K., Murphy-Mariscal M.L., Wud G.C., Allen M.F. (2015). Solar energy development impacts on land cover change and protected areas. *PNAS*, 112(44): 13579-13584. DOI: 10.1073/pnas.1517656112.
- Hilker J.M., Busse M., Müller K., Zscheischler J. (2024). Photovoltaics in agricultural landscapes: 'Industrial land use' or a 'real compromise' between renewable energy and biodiversity? Perspectives of German nature conservation associations. *Energy, Sustainability and Society*, 14: 6. DOI: 10.1186/s13705-023-00431-2.
- Ioannidis R., Koutsoyiannis D. (2020). A review of land use, visibility and public perception of renewable energy in the context of landscape impact. *Applied Energy*, 276: 115367. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115367.
- Ismea-Fondazione Qualivita (2025). *XXIII Rapporto Ismea-Qualivita sulle produzioni agroalimentari e vitivinicole italiane DOP, IGP e SGT*. Testo disponibile al sito: www.qualivita.it/rapporto-ismea-qualivita-2025/ (consultato il 3 dicembre 2025).
- Kiesecker J.M., *et al.* (2024). Land use and Europe's renewable energy transition: Identifying low-conflict areas for wind and solar development. *Frontiers in Environmental Science*, 12: 1355508. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1355508.
- Kim T.-H., Chun K.-S., Yang S.-R. (2021). Analyzing the impact of agriphotovoltaic power plants on the amenity value of agricultural landscape: The case of the Republic of Korea. *Sustainability*, 13(20): 11325. DOI: 10.3390/su132011325.

- Klingebiel A.A., Montgomery P.H. (1961). *Land Capability Classification*. USDA Agricultural Handbook 210. Washington DC: U.S. Government Printing Office.
- Kougias I., Taylor N., Kakoulaki G., Jäger-Waldau A. (2021). The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144: 111017. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111017.
- Lamhamedi B.E.H., de Vries W.T. (2022). An exploration of the land-(renewable) energy nexus. *Land*, 11(6): 767. DOI: 10.3390/land11060767.
- Lanzani A., a cura di (2024). *Italia di mezzo. Prospettive per la provincia in transizione*. Roma: Donzelli.
- Levin M.O., Kalies E.L., Forester E., Jackson E.L.A., Levin A.H., Markus C., McKenzie P.F., Meek J.B., Hernandez R.R. (2023). Solar energy-driven land-cover change could alter landscapes critical to animal movement in the continental United States. *Environmental Science & Technology*, 57(31): 11499-11509. DOI: 10.1021/acs.est.3c00578.
- Li S., Gou Z. (2023). Accepting solar photovoltaic panels in rural landscapes: The tangle among nostalgia, morality, and economic stakes. *Land*, 12(10): 1956. DOI: 10.3390/land12101956.
- Mauro G., a cura di (2021). L'analisi geografica delle fonti di energia. *Geotema*, 65 (monografico).
- Mauro G., Lughì V. (2017). Mapping land use impact of photovoltaic farms via crowdsourcing in the Province of Lecce (Southeastern Italy). *Solar Energy*, 155: 434-444. DOI: 10.1016/j.solener.2017.06.046.
- Moscatelli M.C., Marabottini R., Massaccesi L., Marinari S. (2022). Soil properties changes after seven years of ground mounted photovoltaic panels in Central Italy coastal area. *Geoderma Regional*, 29: e00500. DOI: 10.1016/j.geodrs.2022.e00500.
- Müller K., Pampus M. (2023). The solar rush: Invisible land grabbing in East Germany. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1): 1264-1277. DOI: 10.1080/14786451.2023.2260009.
- Naspetti S., Mandolesi S., Zanolì R. (2018). Using visual Q sorting to determine the impact of photovoltaic applications on the landscape. *Land Use Policy*, 57: 564-573. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.06.021.
- Pandey G., Lyden S., Franklin E., Millar B., Harrison M.T. (2025). A systematic review of agrivoltaics: Productivity, profitability, and environmental co-benefits. *Sustainable Production and Consumption*, 56: 13-36. DOI: 10.1016/j.spc.2025.03.006.
- Perera M., Tansini C., a cura di (2024). *Land for Renewables. Briefing on Spatial Requirements for a Sustainable Energy Transition in Europe*. Brussels: European Environmental Bureau.
- Pileri P. (2024). *Dalla parte del suolo. L'ecosistema invisibile*. Roma-Bari: Laterza.
- Poggi F., Firmino A., Amado M. (2018). Planning renewable energy in rural areas: Impacts on occupation and land use. *Energy*, 155: 630-640. DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.009.
- Reguera Bueno G., Simal Pérez N., Cortés-Carmona M., Alonso-Montesinos J. (2025). Land use, soiling impact and distance to electrical grid applied to determine the viability of solar photovoltaic systems in the south of Spain. *Renewable Energy*, 239: 122108. DOI: 10.1016/j.renene.2024.122108.

- Rifkin J. (2019). *Un Green New Deal globale*. Milano: Mondadori.
- Scognamiglio A. (2016). 'Photovoltaic landscapes': Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 629-661. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.072.
- Shi Z., Liang F., Pezzuolo A. (2024). Renewable energy communities in rural areas: A comprehensive overview of current development, challenges, and emerging trends. *Journal of Cleaner Production*, 484: 144336. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.144336.
- Song C., Guo Z., Liu Z., Hongyun Z., Liu R., Zhang H. (2024). Application of photovoltaics on different types of land in China: Opportunities, status and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191: 114146. DOI: 10.1016/j.rser.2023.114146.
- Späth L. (2018). Large-scale photovoltaics? Yes please, but not like this! Insights on different perspectives underlying the trade-off between land use and renewable electricity development. *Energy Policy*, 122: 429-437. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.07.029.
- Tawalbeh M., Al-Othman A., Kafiah F., Abdelsalam E., Almomani F., Alkasrawi M. (2021). Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of the Total Environment*, 759: 143528. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143528.
- 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*, 13(12): 6871. DOI: 10.3390/su13126871.
- Trainor A.M., McDonald R.I., Fargione J. (2016). Energy sprawl is the largest driver of land use change in United States. *PLoS ONE*, 11(9): e0162269. DOI: 10.1371/journal.pone.0162269.
- van de Ven D.-J., Capellan-Peréz I., Arto I., Cazcarro I., de Castro C., Patel P., Gonzalez-Eguino M. (2021). The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. *Scientific Reports*, 11(1): 2907. DOI: 10.1038/s41598-021-82042-5.
- Vrînceanu A., Grigorescu I., Dumitraşcu M., Mocanu I., Dumitrica C., Micu D., Kucsicsa G., Mitrica B. (2019). Impacts of photovoltaic farms on the environment in the Romanian Plain. *Energies*, 12(13): 2533. DOI: 10.3390/en12132533.
- Vyas M., Chowdhury S., Verma A., Jain V.K. (2022). Solar photovoltaic tree: Urban PV power plants to increase power to land occupancy ratio. *Renewable Energy*, 190: 283-293. DOI: 10.1016/j.renene.2022.03.129.
- Watson J.J.W., Hudson M.D. (2015). Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138: 20-31. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.001.
- Weselek A., Ehmann A., Zikeli S., Lewandowski I., Schindele S., Högy P. (2019). Agrophotovoltaic systems: Applications, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4): 35. DOI: 10.1007/s13593-019-0581-3.
- Zambrano-Asanza S., Quiros-Tortos J., Franco J.F. (2021). Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143: 110853. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110853.