

LINEE GUIDA PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

APPROFONDIMENTO DELLE POSSIBILI MODALITÀ DI SVILUPPO DEGLI IMPIANTI AGRIVOLTAICI

Indice

Indice	1
PREMESSA.....	2
IMPOSTAZIONE METODOLOGICA.....	2
IL CONTESTO TERRITORIALE.....	4
IL PAESAGGIO E LA TRANSIZIONE ENERGETICA	5
<i>Il paesaggio come quadro di riferimento per i progetti di trasformazione</i>	<i>6</i>
<i>Il paesaggio agrario</i>	<i>7</i>
<i>Impianti agrivoltaici e paesaggio agrario</i>	<i>9</i>
LE AREE AGRICOLE NELLA CITTA' METROPOLITANA.....	11
<i>L'uso del suolo agricolo</i>	<i>11</i>
<i>Valutazioni agronomiche di carattere generale</i>	<i>12</i>
<i>Valutazioni di carattere ambientale e naturalistico</i>	<i>12</i>
<i>Vincoli e norme esistenti con ricadute negli ambiti agricoli</i>	<i>15</i>
<i>Un possibile modello di sviluppo per il territorio</i>	<i>16</i>
CONTENUTI DELLA RELAZIONE AGRONOMICA.....	17
<i>La centralità del progetto agricolo</i>	<i>17</i>
<i>Il fondamentale ruolo della ricerca</i>	<i>18</i>
<i>Gli elementi descrittivi della relazione agronomica.....</i>	<i>18</i>
<i>Gli allegati alla relazione.....</i>	<i>20</i>
<i>Fattori operativi e gestionali per il mantenimento dell'attività agricola</i>	<i>20</i>
ADATTABILITA' DELLE COLTIVAZIONI DEL TERRITORIO	22
<i>Categorizzazione delle colture e degli allevamenti.....</i>	<i>24</i>
<i>Punto di saturazione della luce e resa colturale</i>	<i>25</i>
<i>Indicazioni per la scelta del piano colturale</i>	<i>26</i>
<i>L'allevamento del bestiame</i>	<i>28</i>
SISTEMI COSTRUTTIVI.....	30
<i>Sistemi agrivoltaici orizzontali</i>	<i>30</i>
<i>Sistemi agrivoltaici monoassiali.....</i>	<i>31</i>
<i>Sistemi agrivoltaici biassiali</i>	<i>32</i>
<i>Sistemi agrivoltaici verticali</i>	<i>33</i>
<i>Ancoraggi e fondazioni</i>	<i>34</i>
<i>Parametri di producibilità elettrica.....</i>	<i>34</i>
VERIFICHE IN FASE DI ESERCIZIO MEDIANTE IL MONITORAGGIO.....	35
<i>I vari parametri oggetto di monitoraggio.....</i>	<i>35</i>
<i>Monitoraggio del risparmio idrico (requisito D.1)</i>	<i>35</i>
<i>Monitoraggio della continuità dell'attività agricola (requisito D.2).....</i>	<i>36</i>
<i>Monitoraggio del recupero della fertilità del suolo (requisito E.1).....</i>	<i>38</i>
<i>Monitoraggio del microclima" (requisito E.2).....</i>	<i>39</i>
<i>Monitoraggio della resilienza ai cambiamenti climatici" (requisito E.3).....</i>	<i>39</i>
<i>Ulteriori elementi utili da sottoporre a monitoraggio</i>	<i>40</i>
<i>Tempi del monitoraggio.....</i>	<i>40</i>

PREMESSA

La diffusione dell'agrivoltaico in Italia è un fatto relativamente recente, con una crescita che si avvia a diventare sempre più significativa, non solo per raggiungere l'obiettivo di decarbonizzazione, ma anche per effetto degli incentivi contenuti nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza PNRR, orientati a supportare gli impianti agrivoltaici rispetto ai classici impianti fotovoltaici a terra.

Le politiche nazionali stanno imprimendo un'accelerazione e una semplificazione delle procedure di autorizzazione, in relazione ai parametri di ubicazione (indipendentemente dalla potenza relativa al progetto nella fattispecie della Procedura Abilitativa Semplificata PAS) e alle soglie di valutazione dell'impatto ambientale quando il progetto riguarda "aree idonee".

Va precisato al contempo che, con il DL 63/2024 (Decreto Agricoltura), sono stati fissati i divieti di nuove installazioni e di ampliamenti di impianti fotovoltaici a terra in zone agricole.

Gli impianti agrivoltaici rappresentano quindi l'unica tecnologia attuabile nel futuro in tali ambiti, sebbene vi siano molti fattori ancora da dettagliare e approfondire nei diversi contesti e territori:

- il processo di individuazione delle aree idonee;
- la corretta individuazione della procedura di autorizzazione;
- i requisiti soggettivi degli investitori, correlati alle aziende agricole;
- le reali rese produttive nei diversi contesti territoriali;
- i parametri e i dati da considerare nelle fasi di monitoraggio.

IMPOSTAZIONE METODOLOGICA

La stesura dei contenuti e le indicazioni presenti in questa pubblicazione, relativa allo sviluppo degli impianti agrivoltaici (AV) nell'area territoriale della Città Metropolitana di Milano (di seguito anche CMM), sono coerenti con le attuali normative statali e regionali, nonché rispondenti alle "Linee guida in materia di agrivoltaico" del Ministero dell'Ambiente che sono state pubblicate nel giugno del 2022 con *"lo scopo di chiarire quali sono le caratteristiche minime e i requisiti che un impianto fotovoltaico dovrebbe possedere per essere definito agrivoltaico"*

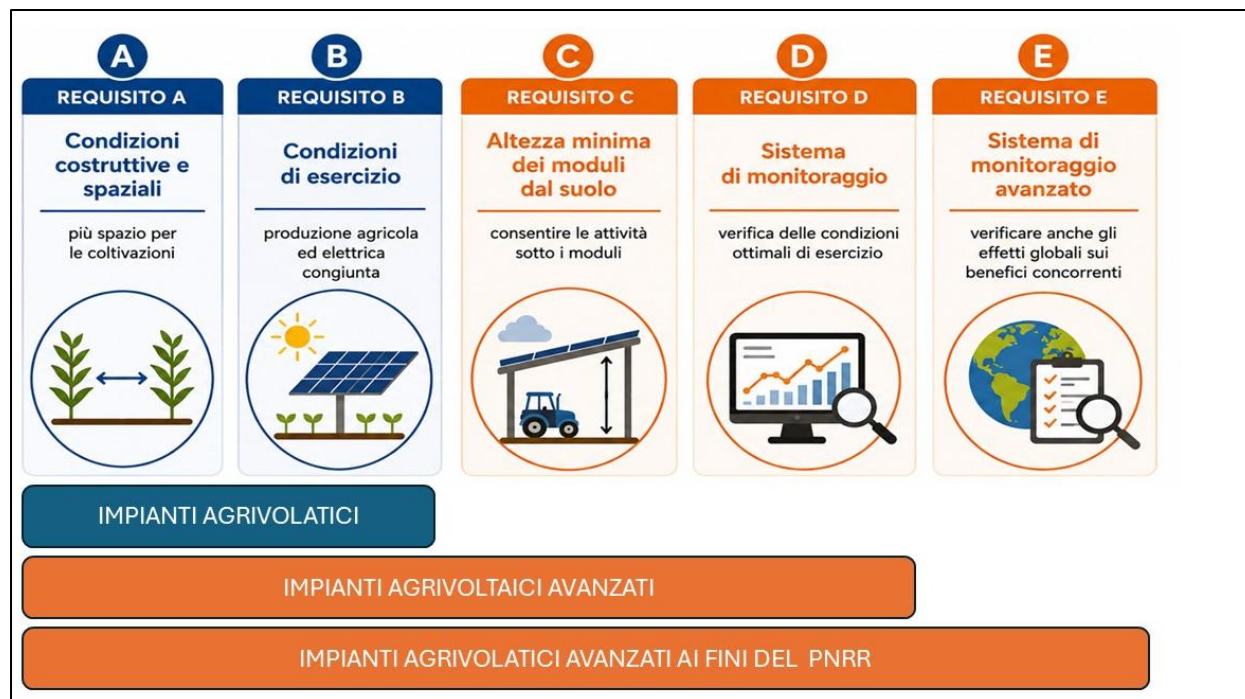


Figura 1 - Tipologie di agrivoltaico in funzione dei diversi requisiti. Elaborazione dell'autore da [Stefano Amaducci, Introduzione all'Agrifotovoltaico, anno 2023].

Le citate “Linee guida” chiariscono quali sono le caratteristiche minime che un impianto fotovoltaico (FV) dovrebbe possedere per essere definito agrivoltaico (AV), ricorrendo a 5 differenti requisiti (A, B, C, D, E) in funzione dei quali si possono di seguito correlare le seguenti definizioni:

- Il rispetto dei requisiti A, B è necessario per definire un impianto fotovoltaico realizzato in area agricola come **“impianto agrivoltaico standard”**. Per tali impianti deve inoltre essere previsto il rispetto del requisito D.2 relativo alla continuità dell’attività agricola.
- Il rispetto dei requisiti A, B, C e D è necessario per soddisfare la definizione di **“impianto agrivoltaico avanzato”**
- Il rispetto dei requisiti A, B, C, D ed E sono preconditione per l’accesso ai contributi del PNRR **“impianto agrivoltaico avanzato e innovativo”**.

Il contenuto e le proposte riportate nei capitoli successivi sono da considerarsi principalmente come indicazioni non vincolanti, non produttivi di obblighi prescrittivi, ma aventi lo scopo di fornire una maggiore definizione tecnica rispetto alla normativa primaria vigente e sono rivolte alle Pubbliche Amministrazioni quale supporto alla valutazione e all’autorizzazione dei progetti, oltre che ai tecnici, ai progettisti ed agli operatori del settore.

Gli approfondimenti seguenti vertono essenzialmente su tematiche agronomiche, con l’obiettivo di fornire ulteriori conoscenze (valide sia per la fase della Formulazione che nella fase dell’Approvazione), per motivare la scelta dei sistemi colturali, per giustificare la progettazione degli impianti, per massimizzare il rendimento agricolo nel contesto energetico prescelto e, non meno importante, per minimizzare i possibili impatti ambientali.

IL CONTESTO TERRITORIALE

La legge 15 gennaio 2026, n. 4, che ha convertito il Decreto-Legge 21 novembre 2025, n. 175 recante "*Misure urgenti in materia di Piano Transizione 5.0 e di produzione di energia da fonti rinnovabili*", prevede che la disciplina di individuazione delle Aree Idonee sia demandata alle **Regioni**, che avranno il compito di porre dei **limiti** di Superficie agricola utilizzata (SAU) da impianti fotovoltaici e agrivoltaici fissati tra lo **0,8% della SAU regionale e al 3% della SAU comunale**, comprendendo nel conteggio anche gli impianti non ancora installati (ma già autorizzati).

Con una popolazione residente di oltre tre milioni di abitanti su di un'estensione di **1.575 kmq**, l'area di Città Metropolitana risulta tra le più popolate d'Europa dopo Londra e Parigi, un territorio complesso e articolato, per via della presenza di ambiti urbanizzati diffusi, della presenza di numerose infrastrutture (reti viarie, di telecomunicazione) e che si configura come un'unica area urbana sempre più estesa ed integrata.

L'espansione urbanistica, che ha interessato l'area metropolitana negli ultimi decenni, ha determinato una riduzione sia della superficie agricola totale sia della superficie agricola utilizzata, con la conseguenza della contrazione della dimensione media aziendale e all'inevitabile aumento della frammentazione delle particelle agricole.

La dispersione insediativa, e le aree di risulta da questa determinate, ha fatto sì che alcuni ambiti interessati da questo fenomeno siano diventati difficilmente utilizzabili per qualsiasi attività, non solo agricola, lasciando, di fatto, larghe aree sottoutilizzate, specialmente nelle aree a ridosso delle infrastrutture viabilistiche.

Compatibilmente ai vincoli di natura specifica (face di rispetto, distanze di sicurezza etc.), l'installazione di impianti agrivoltaici (AV) in aree che hanno perso la struttura fondiaria originaria, potrebbe essere una soluzione per diversificare e rivalorizzare ambiti ritenuti ormai "improduttivi", che nel tempo rischiano di venire abbandonati per la loro marginalità e il minor interesse "strategico" per la produzione primaria. Sullo stesso livello potrebbero trovare spazio e diffusione più compatibile anche tutte quelle proposte di agrivoltaico in adiacenza a cave dismesse e ai depuratori, specialmente se finalizzate all'autosufficienza energetica.

Nel territorio della Città Metropolitana vi sono al contempo ampie porzioni di agricoltura produttiva, ritenuta "**strategica**" per un insieme di fattori legati al suolo, alla fertilità e alla conformazione fondiaria che ne attestano l'elevata produttività agricola e/o il maggiore valore ambientale, tale da consentire lo sviluppo e la sussistenza delle attività imprenditoriali rurali connesse.

La valutazione della compatibilità tra impianti AV e gli ambiti destinati all'attività agricola di interesse strategico (AAS), così come individuati nel PTM, è quindi un tema aperto, su cui occorre porre un approccio differente rispetto a quanto fino ad ora attuato. Queste zone sono quelle che presentano contemporaneamente una particolare rilevanza dell'attività agricola, un'adeguata estensione e continuità territoriale, nonché un'elevata produttività dei suoli, tenendo altresì conto che il territorio agricolo di Città metropolitana è stato classificato non solo in base al suo valore produttivo, ma anche in base alle sue caratteristiche paesaggistiche e naturalistiche.

Gli impianti agrivoltaici (AV) pur rappresentando una novità assoluta nel panorama territoriale locale, richiedono un adeguato approccio verso le comunità locali, orientato alla conciliazione intersettoriale delle esigenze di salvaguardia del settore agricolo in relazione alle necessità energetiche attraverso le fonti rinnovabili.

Secondo uno studio effettuato in Germania, *l'accettazione locale dell'agrivoltaico è fondamentale per una corretta implementazione ed espansione. L'accettazione può diminuire se gli impianti sono situati in aree ricreative e vengono percepiti come una trasformazione tecnica del paesaggio rurale. In Germania, l'accettazione pubblica dell'agrivoltaico entro 5 km dalle aree residenziali si aggira intorno al 60%, un dato superiore a quello del biogas o dell'energia eolica. Ciò è dovuto alla sua peculiare duplice natura di utilizzo del suolo, alle dimensioni relativamente ridotte degli impianti e alla sua natura innovativa e di ricerca. Le preoccupazioni del pubblico possono sorgere se la scala dell'agrivoltaico aumenta, come nel caso del fotovoltaico a terra (GM-PV), con dimensioni maggiori di 10 ettari, ritenute necessarie per la redditività economica*¹. Questa e altre ricerche rivelano quindi come questa transizione tecnologica possa generare notevoli impatti e cambiamenti non solo a livello territoriale, ma facendo leva anche sugli aspetti sociali in modo tale da influenzare il senso di accettazione rispetto alla diffusione delle nuove tecnologie.

¹ The spatial socio-technical potential of agrivoltaics in Germany – ScienceDirect

Come ogni transizione, anche quella energetica si inserisce in un processo di cambiamento che implica, a partire da un'evoluzione in atto, la ricerca di nuovi equilibri e la messa a punto di nuove strategie. La transizione energetica e la crescente presenza sul territorio di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili (FER) hanno reso ancora più evidente il complesso rapporto tra "paesaggio" e "ambiente", distinti da un punto di vista della nozione giuridica, ma certamente connessi dal punto di vista dei contenuti disciplinari e delle implicazioni sul territorio.

Con particolare riferimento al paesaggio, non potendo qui analizzare lo sviluppo storico dei concetti di paesaggio e ambiente e dei loro rapporti reciproci, vale però la pena ricordare che i mutamenti della società e delle diverse concezioni che hanno caratterizzato nel corso del tempo l'evoluzione del concetto di paesaggio, hanno via via determinato un progressivo allargamento del significato stesso ad esso attribuito. Il termine paesaggio ha infatti assunto una stratificazione di significati che, nella loro evoluzione e multiscalarità spazio-temporale, va oltre la semplice "immagine" della realtà, per diventare espressione della complessità del reale. Così inteso, il paesaggio rientra in una concezione, che potremmo definire "olistica", della realtà secondo la quale la varietà e complessità dei fenomeni non può essere ridotta a una sommatoria di diversi apporti conoscitivi da parte di discipline settoriali, ma deve ricondursi a un 'sistema' capace, in quanto tale, di accogliere anche componenti dalla ricca polisemia come nel caso, appunto, del paesaggio (es. valore estetico, storico, sociale, antropologico, identitario, economico...).

Proprio in ragione della ricchezza di significati che caratterizza il paesaggio è opportuno esplicitarne una definizione che possa essere condivisa. A tale riguardo è possibile fare riferimento alla definizione contenuta nel D. Lgs. 42/2004 (Codice dei beni culturali e del paesaggio, cd. "Codice Urbani"), in cui per paesaggio si intende *"il territorio espressivo di identità, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali, umani e dalle loro interrelazioni"* (art. 131, comma 1). Tale definizione è coerente con la Convenzione Europea del Paesaggio, i cui principi sono stati recepiti nel diritto nazionale con la legge di ratifica n. 14/2006, che considera il paesaggio come *"determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni"*. Il paesaggio costituisce inoltre la *"componente essenziale del contesto di vita delle popolazioni, espressione della diversità del loro comune patrimonio culturale e naturale, nonché fondamento della loro identità"*.

Al di là delle disposizioni normative direttamente vincolanti per i beni assoggettati a tutela paesaggistica ex lege e appartenenti a pieno titolo del patrimonio culturale di cui al citato D.Lgs. 42/2004, è proprio il potersi riferire, occupandosi di paesaggio, a un "sistema di valori" condiviso, a costituire il quadro entro cui diventa possibile applicare politiche del paesaggio - ovvero compiere scelte chiare, motivate e convincenti - capaci di adattarsi a realtà diverse, nel rispetto dei valori di cui il paesaggio è espressione. Il contributo della Convenzione europea del paesaggio sta proprio nel riconoscimento del paesaggio quale fattore di qualità di vita e oggetto di un diritto che i cittadini esercitano in relazione alla loro vita quotidiana, secondo una logica di sussidiarietà che connette il concetto di paesaggio con quello di sviluppo sostenibile in quanto valore appartenente all'intera comunità. In tal senso anche la giurisprudenza della Corte costituzionale ha avvicinato i concetti di ambiente e paesaggio (es. sentenze Corte cost. 367/2007, 12 e 272/2009) rafforzando il legame tra paesaggio e valore identitario connesso a temi di equità e giustizia sociale.

Con l'affermarsi delle questioni ecologiche e dell'attenzione ai temi ambientali, il paesaggio e l'ambiente hanno, in misura crescente, condiviso un rafforzamento reciproco, per cui spesso un determinato territorio è in grado di esprimere un proprio valore intrinseco e una minore vulnerabilità, laddove le componenti ambientali e quelle paesaggistiche "funzionano" in modo coerente e integrato. La concezione del paesaggio e della sua tutela si allarga: dalle leggi del 1939 (ancor prima la L. 778/1922) alla Convenzione europea sul paesaggio; dalla mera conservazione alla pianificazione e valorizzazione. Oggi, alla tutela del paesaggio, di esclusiva competenza dello Stato, si affianca la sua valorizzazione, quale materia concorrente fra Stato e Regioni, in cui l'intero paesaggio, anche quello quotidiano o degradato, assume una propria rilevanza (anche giuridica).

Nei tempi più recenti, la velocità e l'accelerazione delle trasformazioni hanno via via ridotto la possibilità/capacità dei paesaggi di incamerare i cambiamenti evolutivi di cui diventavano oggetto. In particolare, per quel che qui ci occupa, le soluzioni per affrontare la crisi climatica e la transizione energetica hanno generato contrasti crescenti nel riuscire a conciliare le istanze ambientali con le esigenze di tutela del paesaggio, rendendo attuale, ancor più sotto il profilo

² Capitolo a cura di Claudia Dimaggio – Città Metropolitana di Milano

giuridico, la distinzione fra i due concetti. Il contributo delle fonti rinnovabili, importante nel contrastare la crisi energetica e climatica, determina infatti l'installazione di impianti che, per le loro particolari conformazioni e caratteristiche, incidono sul paesaggio non solo a livello estetico-percettivo ma anche simbolico, intaccando il valore identitario e la dimensione sociale, specie di scala locale, del paesaggio. In tale prospettiva, l'affermazione secondo cui, avendo l'uomo da sempre trasformato il paesaggio, appare coerente affermare di conseguenza la legittima evoluzione nei "paesaggi energetici", appare "giustificativa" e poco utile se non si tiene conto che non vi è proporzionalità nel confrontare i paesaggi evoluti nel tempo e con tecniche tradizionali, rispetto alla rapidissima evoluzione della tecnica e dei possibili salti di scala, a più livelli, che tale evoluzione comporta.

Anche se sotto il profilo giuridico la reciproca autonomia dei concetti di 'paesaggio' e 'ambiente' consente di individuare e valutare i diversi interessi in gioco e i conflitti che ne derivano, dal punto di vista di chi si occupa della compatibilità paesaggistica di un intervento trasformativo, la lunga storia e il sistema di valori che la nozione di paesaggio sottende, resta la chiave per poter affrontare tali questioni specifiche.

Nel 2022 si è giunti infine all'inclusione nell'art. 9 della Costituzione della tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi. Tutto ciò non significa che le due nozioni si equivalgano o confluiscono una nell'altra, ma che, nel considerare ambiente e paesaggio entrambi annoverati fra i principi fondamentali dell'ordinamento, occorre operare un confronto e ricercare un punto di equilibrio, secondo il principio di integrazione delle tutele (Cons. di Stato sent. 8167/2022) e nella logica che non sussistono, fra interessi primari, diritti "tiranni" (Corte Costituz. Sent. 13/2013).

Senza volersi qui addentrare in un'analisi giuridica, si può affermare che se, da una parte, il paesaggio non possa ritenersi, in sé, un ostacolo alla diffusione dell'energia da fonti rinnovabili, dall'altra, la transizione energetica non può essere considerata un "male necessario" a cui il paesaggio deve inevitabilmente soccombere. L'individuazione delle aree idonee/non idonee risponde ad un approccio di tipo vincolistico, necessario a maggior protezione dei beni di valore riconosciuto, ma appiattisce il confronto sull'inserimento degli impianti e il loro "mascheramento", piuttosto che considerare l'energia rinnovabile un fattore di trasformazione del territorio e del paesaggio, di cui occuparsi secondo una specifica strategia. Il tema non pare possa pertanto esaurirsi nel puntare sulla semplificazione e accelerazione delle procedure, o nel soggiacere a un interesse prevalente in senso assoluto e che si vorrebbe già stabilito 'ex ante'. Piuttosto occorre operare un attento, motivato e convincente bilanciamento degli interessi meritevoli di tutela (valutazione riservata al procedimento amministrativo, caso per caso) e forse, ancor prima, di scegliere il *come* si vuole governare la transizione, a quale modello fare riferimento.

Il paesaggio come quadro di riferimento per i progetti di trasformazione

Il paesaggio non è solo la somma di caratteristiche geofisiche e climatiche di un territorio, bensì il risultato dell'interazione tra l'uomo e l'ambiente. Sintesi dinamica di natura e cultura, il paesaggio riflette le modalità con cui le comunità hanno abitato, modellato e trasformato nel tempo il territorio, è l'esito di una stratificazione di relazioni che contribuisce a definire l'identità dei luoghi. Il paesaggio si configura così come espressione visibile di un ambiente in continua evoluzione storica: uno spazio che non è solo materiale, ma anche rappresentazione della nostra sensibilità estetica e deposito delle relazioni, anche affettive, che vi si radicano.

Non si tratta di individuare, e preservare, unicamente gli elementi di "valore", ma di cogliere i caratteri che definiscono i luoghi così da evidenziare criticità e potenzialità e mettere a fuoco i rischi legati ai possibili scenari di trasformazione e definire i più opportuni obiettivi di qualità paesaggistica.

Il paesaggio, integrando i diversi punti di vista con cui si legge e si progetta il territorio, non va inteso come tema settoriale. La conoscenza deve superare l'approccio meramente descrittivo e mettersi a confronto, mediante attività di lettura interpretativa, con le previsioni trasformatrici e le esigenze operative. L'analisi e la conoscenza dei luoghi costituiscono il punto di partenza indispensabile per affrontare una trasformazione consapevole che si proponga di essere durevole e sostenibile.

Il concetto di trasformazione è insito nel paesaggio. Affrontare il progetto trasformativo dei luoghi come un processo unitario di trasformazione e costruzione di paesaggio può, specie in caso di trasformazioni rilevanti, tradursi in una nuova configurazione paesaggistica capace di costituire un nuovo quadro di coerenza. A tale proposito, nella

definizione delle possibili trasformazioni, il coinvolgimento delle comunità aumenta la consapevolezza dell'esistenza di sistemi differenziati di valori, significativi anche se di scala locale perché espressione di valori identitari.

Quindi cosa significa occuparsi di paesaggio? Significa occuparsi di un sistema di *relazioni* e comporta l'utilizzo di più scale spazio-temporali. Il percorso dalla scala territoriale alla scala progettuale assume una specifica rilevanza metodologica. La *multiscalarità* costituisce dimensione propria del paesaggio e ne esprime la complessità e ricchezza di significati, ma non esonera dalla necessità, al tempo stesso, di ricercare una "scala appropriata" per lo studio e il progetto di paesaggio. A tale riguardo le scale di studio, di analisi e di progetto assumono una rilevanza che va oltre la semplice rappresentazione (alla scala territoriale, mettere in luce la struttura e le pre-condizioni; alla scala locale, le criticità e potenzialità).

Il paesaggio, in quanto concetto complesso, assume molteplici significati e dimensioni, a cui fanno riferimento una grande varietà di componenti e di fattori. Non basta pertanto cercare una "definizione", quanto piuttosto riferirsi a un "approccio metodologico" capace di leggere, costruire, tenere insieme le diverse fasi di conoscenza/sintesi e interpretazione/valutazione.

Al fine di valutare gli effetti paesaggistici delle trasformazioni proposte in relazione ai caratteri dei luoghi in cui si inseriscono, è necessario partire dalla *conoscenza puntuale del contesto* e dei valori paesaggistici in esso presenti e porre in relazione le scelte progettuali allo specifico paesaggio di riferimento, valutando l'incidenza del progetto e le alterazioni da questo prodotte. Tale valutazione deve tener conto delle specifiche relazioni esistenti, alle diverse scale, in riferimento al singolo caso in esame. Occorre dunque non appiattirsi su regole generali valide ovunque, ma considerare "caso per caso" trattando consapevolmente e responsabilmente lo specifico rapporto progetto-contesto e paesaggio di riferimento.

Al fine di perseguire l'integrazione del paesaggio nel progetto occorre pertanto attuare una strategia comune: conoscenza finalizzata dei luoghi; formulazione di obiettivi chiari di qualità paesaggistica; applicazione di principi progettuali e compositivi motivati; controllo del progetto nella sua unitarietà.

Gli aspetti metodologici sono inoltre importanti perché la qualità di un paesaggio dipende anche dalla chiarezza della sua percezione, dalla coerenza e dalla continuità dell'articolazione dei sistemi che legano reciprocamente i vari elementi, ovvero l'identità del paesaggio si esprime attraverso una continuità di atti fra loro *coerenti* che consente di riconoscere i cambiamenti. In questo senso la connessione tra paesaggio e comunità genera identità e l'identificazione della collettività con il proprio passato e con il proprio territorio costituisce elemento capace di generare qualità paesistica che diventa anche qualità della vita degli abitanti.

Il paesaggio agrario

Attraverso gli usi agricoli, a cui fanno riferimento tecniche, forme di organizzazione sociale e processi economici differenziati nel corso del tempo, il territorio rurale, nella sua specifica configurazione geomorfologica e pedologica, si costituisce in una "tessitura" che attribuisce connotazioni specifiche al paesaggio agrario, a partire dalle relazioni fra i suoi diversi elementi costitutivi, tra cui:

- Nuclei insediativi (isolati, aggregati, in attività, quale tipologia, di rilevanza paesaggistica)
- Vegetazione (arbustiva/arborea, a macchia o lineare di ripa e bordo campo)
- Reticolo idrografico (rogge e canali principali e secondari, fonti di approvvigionamento, manufatti idraulici, fontanili)
- Sistemazioni agrarie, assetto poderale e forme colturali tradizionali (es. prati permanenti, marcite)
- Viabilità interpodereale (tracciati stabili, di rilevanza paesaggistica)

Tutti questi elementi concorrono alla definizione di un paesaggio ma essi rilevano principalmente nel modo con cui si organizzano, nella chiarezza della trama, nella continuità storica, nel valore naturalistico associato.

Tutelare il paesaggio agrario significa quindi conoscere e occuparsi delle forme di organizzazione e della connotazione del territorio in riferimento agli usi agricoli. Più in generale, accanto a un approccio estetico-percettivo, che individua

le eccellenze e i quadri d'insieme delle bellezze, e a quello ecologico, orientato a cogliere in forme processuali le relazioni fra paesaggio naturale e paesaggio culturale, occorre considerare la sua dinamica evolutiva complessiva, individuandone le regole e le invarianti strutturali, non per farne un museo ma per comprenderne le regole che garantiscano coerenza alle trasformazioni. In questo senso anche la conservazione deve essere non semplicemente “a oltranza”, ma tenere conto della distinzione fra patrimonio e risorsa, laddove il patrimonio è un costruito complesso della lunga durata in cui il valore è dato anche della mera esistenza, mentre la risorsa è intrinsecamente legata al valore d'uso e di scambio.

L'attività agricola può, da una parte strutturare e conservare o, dall'altra, destrutturare e semplificare il paesaggio (pratiche agricole meccanizzate, ampliamento dei fondi, riduzione di specie e varietà, ecc.). Anche la politica agricola comunitaria ha influenze indirette sul paesaggio (ad esempio incentivando coltivazioni particolari), considerando che il cambiamento nel modo di fare agricoltura comporta un cambiamento del paesaggio agrario.

La valenza di un paesaggio agrario può variare dal contesto: gli aspetti legati alla produttività possono ad esempio passare in secondo piano in ambito periurbano dove l'aumento costante delle popolazioni urbanizzate crea una sempre maggiore pressione sulle risorse mentre i servizi eco-sistemici appaiono sempre più a rischio e l'agricoltura vede rafforzati gli aspetti multifunzionali.

Ma vi è stata anche un'importante influenza sviluppo urbanistico e dell'espansione edilizia che hanno comportato marginalizzazione e banalizzazione del territorio rurale. Quindi è necessario instaurare, specie nelle aree a forte urbanizzazione, come quella metropolitana, un rapporto tra territorio e agricoltura in cui l'agricoltore non è solo produttore di un bene primario, ma un “gestore del territorio”.

Il valore e la ricchezza paesaggistica dei paesaggi rurali sono strettamente connessi con la ricchezza delle trame colturali, ma anche con la densità delle componenti storico-culturali, riconducibili agli edifici rurali, chiese, edicole, villaggi storici, alle piante monumentali, alle trame fondiari.

Il Quadro conoscitivo desumibile dai diversi strumenti di pianificazione a varie scale (PTR, PTPR, PTM e PTCP, PTC Parchi) e banche dati disponibili consentono di acquisire le informazioni necessarie riguardo: caratterizzazione del suolo (pedologia e uso del suolo); geomorfologia; sistemi idrografici naturali e artificiali; insediamenti rurali; rilevanze naturalistiche e paesaggistiche.

Il territorio metropolitano presenta una grande varietà sia dal punto di vista geomorfologico (sistemi terrazzati, fasce diversificate di pianura, ambiti vallivi), che pedologico, che dal punto di vista della complessità dei paesaggi (es. frangia urbana e territorio periurbano).

La rilevanza storica di un paesaggio agrario viene generalmente valutata sulla base di specifici elementi strutturali e costitutivi. Tale rilevanza cresce quanto più questi caratteri risultano conservati nella loro integrità e continuità nel tempo. In particolare, essa si fonda su:

- la configurazione dell'uso del suolo, gli assetti della vegetazione e le tipologie colturali adottate (quali boschi di origine storica, pascoli semplici o arborati, sistemi colturali tradizionali, avvicendamenti storici, ecc.);
- l'organizzazione insediativa e infrastrutturale, comprendente la rete della viabilità, i sistemi idraulici e irrigui, le opere di bonifica storica, la distribuzione degli edifici rurali e dei nuclei abitati, nonché la struttura spaziale delle attività agricole;
- le sistemazioni idraulico-agrarie (ad esempio terrazzamenti, ciglionamenti, sistemazioni a cavalletto o a cavino, piantate intermedie), insieme alla morfologia e alla dimensione degli appezzamenti.

Un paesaggio che conserva le relazioni funzionali tra le proprie componenti strutturali – ad esempio attraverso il mantenimento di colture storiche – è in grado di mantenere un buon livello di integrità.

Per una valutazione in tal senso è importante considerare:

- la presenza di tutti gli elementi indispensabili a esprimere la significatività storica;

- il mantenimento di un'estensione territoriale sufficiente a rappresentare i caratteri e i processi che definiscono tale significatività;
- l'eventuale incidenza di fattori di alterazione o degrado.

Tra i principali elementi di vulnerabilità associati ai fenomeni che possono compromettere il paesaggio agrario rientrano:

- l'abbandono delle attività agricole e della gestione e manutenzione del territorio (es. le sistemazioni idraulico-agrarie come manufatti idraulici, ciglionamenti e terrazzamenti);
- la ricolonizzazione forestale successiva all'abbandono;
- l'urbanizzazione incontrollata e disordinata, inclusi i fenomeni di dispersione insediativa e la scarsa qualità dell'edificato;
- la concentrazione di attività produttive e la loro dismissione;
- l'infrastrutturazione pesante che genera interclusione e frammentazione;
- l'intensificazione, l'industrializzazione e la specializzazione delle produzioni agricole;
- utilizzo di materiali e modalità costruttive incongrue nelle ristrutturazioni degli edifici e dei manufatti rurali, nonché nella realizzazione della viabilità e delle sistemazioni dei versanti;
- l'inquinamento.

Per ridurre l'elevato grado di vulnerabilità di questi territori occorre che essi siano inclusi in strategie di sviluppo socio-economico finalizzate al recupero dei servizi ecosistemici garantiti dalle attività agricole. A tale riguardo è importante predisporre strumenti di finanziamento e promuovere iniziative culturali e sociali volte alla valorizzazione del patrimonio storico-culturale del paesaggio rurale a rendere sostenibili dal punto di vista economico anche le pratiche agricole non intensive, tipiche di aziende orientate alla multifunzionalità. Al fine di valorizzare i paesaggi agrari tradizionali occorre considerare la biodiversità agricola e, in relazione alle specifiche condizioni geomorfologiche dei terreni, approfondire il legame tra la conservazione delle tecniche colturali tradizionali e la qualità dei relativi prodotti agricoli.

Impianti agrivoltaici e paesaggio agrario

Dal punto di vista agronomico è necessaria una relazione agronomica che descriva il sistema agrario prima dell'intervento – colture praticate, lavorazioni, gestione della fertilità, rese – e un piano colturale post-installazione motivato sulla base di documentazione scientifica, con attenzione alla tolleranza delle colture all'ombreggiamento e all'adattamento alle condizioni microclimatiche indotte dall'impianto.

Dal punto di vista paesaggistico, il paesaggio agrario va analizzato come sistema complesso, risultato dell'interazione storica tra morfologia e suolo, assetti colturali e pratiche agricole, architetture rurali, elementi vegetazionali strutturali – siepi, filari, alberature – e relazioni ecologiche e funzionali (v. cap. precedenti). Il principio cardine è perseguire la maggiore integrazione possibile tra il progetto agronomico, quello paesaggistico e quello tecnologico.

L'agrivoltaico incide direttamente sulla struttura produttiva, percettiva e culturale del territorio rurale, la valutazione di tale trasformazione sotto il profilo paesaggistico non può essere disgiunta da quella agronomica. L'impianto non deve alterare irreversibilmente la leggibilità del paesaggio agrario, le trame territoriali storiche e il ruolo strutturante delle colture e degli elementi vegetazionali.

Al fine di evidenziare la coerenza (o le criticità) tra assetto agricolo esistente e introduzione dell'impianto agrivoltaico e, quindi, valutare la compatibilità dell'intervento con il paesaggio agrario, con rif. alla DGR XII/2783 del 15/07/2024 e coerentemente a quanto precedentemente espresso in termini di approccio metodologico, sarà necessario porre attenzione, in particolare, ai seguenti aspetti:

1. Analisi dello specifico paesaggio agrario e dello stato ante impianto

- Il paesaggio come risultato dell'interazione storica tra:
 - morfologia e suolo;
 - assetti colturali e pratiche agricole,
 - presenza di architetture/infrastrutture rurali e organizzazione delle superfici;
 - elementi vegetazionali strutturali (siepi, filari, alberature, bordi campo);
 - relazioni ecologiche e funzionali;
 - relazioni estetico-percettive, con particolare attenzione allo studio delle visuali profonde.
- Ricostruire l'evoluzione e la struttura attuale del sistema agrario, distinguendo:
 - ordinamenti colturali;
 - intensità delle pratiche;
 - permanenza o fragilità degli assetti storici.
- Valutare il ruolo simbolico, identitario e produttivo del paesaggio rurale interessato;
- Descrivere il sistema agrario in essere prima dell'intervento, con riferimento a:
 - colture praticate;
 - lavorazioni agricole;
 - gestione della fertilità del suolo e dell'irrigazione;
 - modalità di raccolta e rese;
 - dinamiche di sviluppo

2. Previsione post impianto

- verificare la capacità dell'agrivoltaico di mantenere il carattere produttivo e paesaggistico del suolo agricolo mediante piano colturale previsto dopo l'installazione dell'impianto, in cui vi sia:
 - descrizione delle lavorazioni agricole;
 - valutazione della compatibilità dei mezzi agricoli con la configurazione dell'impianto;
 - gestione della fertilità e dell'irrigazione;
 - rese attese, in rapporto alla tolleranza delle colture all'ombreggiamento dei pannelli fotovoltaici e all'adattamento alle condizioni microclimatiche indotte dall'impianto
 - valutazione della continuità funzionale e paesaggistica del sistema agricolo nel medio-lungo periodo.

3. Verifica di coerenza tra progetto agronomico, progetto paesaggistico e impianto

- Il progetto agronomico, quello paesaggistico e quello tecnologico sono tra loro il più possibile integrati e coerenti.
- L'impianto non altera irreversibilmente:
 - la leggibilità del paesaggio agrario,
 - le trame territoriali storiche,
 - il ruolo strutturante delle colture e degli elementi vegetazionali.
- Le opere di mitigazione e gestione rafforzano, e non sostituiscono artificialmente, i caratteri propri del paesaggio rurale.

LE AREE AGRICOLE NELLA CITTA' METROPOLITANA

Il campo di applicazione e di ricaduta degli approfondimenti agronomici relativi agli impianti agrivoltaici (AV), è riferito al territorio della Città Metropolitana di Milano che, nonostante la forte urbanizzazione del nucleo centrale, mantiene ancora una buona quantità di spazi aperti con una superficie agricola utilizzata che ammonta a circa il **58%** della superficie territoriale complessiva.

Le aziende agricole della Città Metropolitana sono, alla data del maggio 2026, circa 1.400 suddivise all'interno di 133 comuni e con una superficie agricola utile, rilevata dal Dusaf 7.0 (anno 2023) totale pari a **91.723** ettari.

L'uso del suolo agricolo

L'uso del suolo è caratterizzato da una produzione agricola basata principalmente sulla coltivazione dei cereali (mais, riso e frumento) e delle foraggere a uso zootecnico (fieno, erba medica ed erbai di leguminose).

La coltivazione del mais è diffusa in tutto il territorio metropolitano, mentre le risaie caratterizzano una buona parte della pianura irrigua del sud ovest, compresa fra le aste del Naviglio Grande e del Naviglio Pavese.

Il quadro conoscitivo, in termini di estensione della Superficie Agricola Utile coltivata, riporta un dettaglio che è leggibile nella figura seguente:

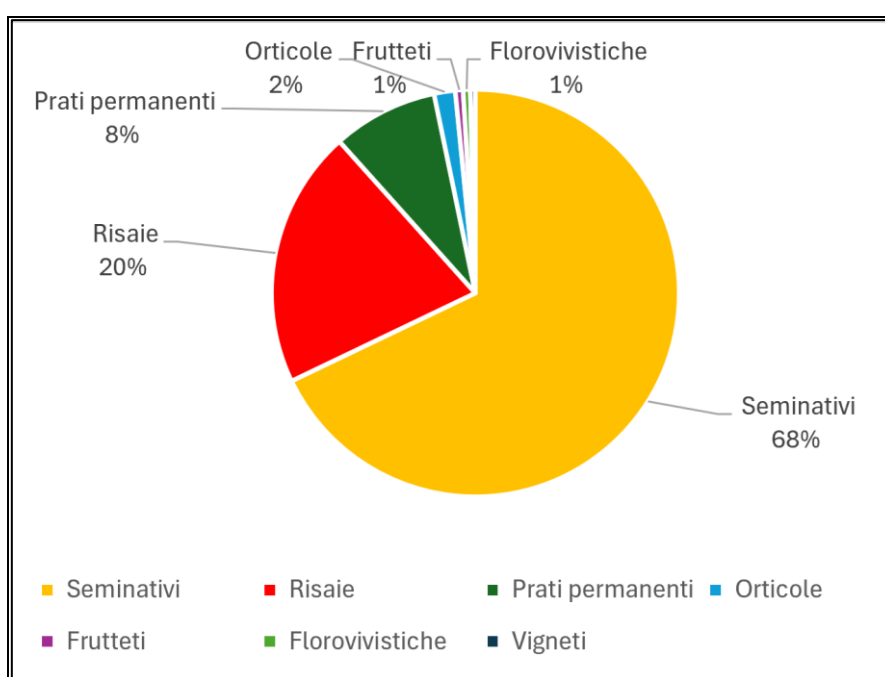


Figura 2 Distribuzione percentuale degli usi agricoli in Città metropolitana di Milano – Dusaf 7.0

Tab 1 Estensione superficiale delle colture agricole nel territorio di Città metropolitana di Milano – Dusaf 7.0

Coltura	Superficie (ha)
Seminativi	62.316
Risaie	18.807
Prati permanenti	7.680
Orticole	1.543
Frutteti	566
Florovivaistiche	517
Vigneti	364
Totale	91.793

Questi dati confermano lo spiccato orientamento della produzione agricola verso i cereali e i foraggi, che a loro volta contribuiscono a posizionare il territorio metropolitano ai primi posti per la produzione di latte bovino e di carne suina dell'intera Regione Lombardia.

Valutazioni agronomiche di carattere generale

Il territorio di CMM annovera un lungo elenco di produzioni casearie DOP e di insaccati IGP, con filiere più o meno allungate.

Diversamente dalla viticoltura, dalla frutticoltura o dall'olivicoltura, dove i terreni sono strettamente correlati al prodotto che viene poi trasformato e venduto dallo stesso imprenditore agricolo, le produzioni cerealicole o foraggere forniscono materie prime che entrano a pieno titolo nei disciplinari di produzione DOP o IGP.

Ad esempio, per il Grana Padano, *l'alimentazione base delle bovine da latte è costituita da **foraggi verdi o conservati**, e viene applicata alle vacche in lattazione, agli animali in asciutta ed alle manze oltre i 7 mesi di gravidanza. L'alimentazione delle vacche da latte si basa sulla utilizzazione di alimenti ottenuti dalle coltivazioni aziendali o nell'ambito del territorio di produzione del latte del GRANA PADANO D.O.P.*

Secondo tale principio, ai sensi delle Linee Guida ministeriali, gli impianti AV ammissibili per le aree agricole di CMM in cui si producono foraggi e cereali destinati a prodotti a marchio DOP o IGP, dovrebbero quindi essere solo quelli di **tipo avanzato** come descritti in premessa (**requisiti C D E.**)

Nel dettaglio del territorio provinciale sono presenti le seguenti marchiature.

Formaggi DOP

- Gorgonzola, Grana Padano, Provolone Valpadana, Quattrolo Lombardo, Salva Cremasco e Taleggio.

Salumi IGP

- Coppa di Parma, Cotechino Modena, Mortadella Bologna, Salame Brianza, Salame Cremona, Salamini italiani alla cacciatora, Zampone Modena.

DOP/IGP AREA PRODUZIONE		
Formaggi		
Bitto	DOP	Lombardia
Formaggella del Luinese	DOP	Lombardia
Formai de Mut dell'alta Valle Brembana	DOP	Lombardia
Gorgonzola	DOP	Lombardia, Piemonte
Grana Padano	DOP	Lombardia, Emilia Romagna, Piemonte, Trento, Veneto
Nostrano Valtrompia	DOP	Lombardia
Parmigiano Reggiano	DOP	Lombardia, Emilia Romagna
Provolone Valpadana	DOP	Lombardia, Emilia Romagna, Trento, Veneto
Quattrolo Lombardo	DOP	Lombardia
Salva Cremasco	DOP	Lombardia
Silter	DOP	Lombardia
Strachinut	DOP	Lombardia
Taleggio	DOP	Lombardia, Piemonte, Veneto
Valtellina Casera	DOP	Lombardia
ORTOFRUTTICOLI		
Asparago di Cantello	IGP	Lombardia
Mela di Valtellina	IGP	Lombardia
Melone Mantovano	IGP	Lombardia, Emilia Romagna
Pera Mantovana	IGP	Lombardia

DOP/IGP AREA PRODUZIONE		
OLIE GRASSI		
Garda DOP – Olio EVO	DOP	Lombardia, Veneto, Prov. Aut. Trento
Laghi Lombardi - Olio EVO	DOP	Lombardia
SALUMI		
Bresaola della Valtellina	IGP	Lombardia
Coppa di Parma	IGP	Emilia Romagna, Lombardia
Cotechino Modena	IGP	Lombardia, Veneto, Emilia Romagna
Mortadella Bologna	IGP	Emilia-Romagna, Piemonte, Lombardia, Veneto, Toscana, Marche, Lazio e la provincia autonoma di Trento
Salame Brianza	DOP	Lombardia
Salame Cremona	IGP	Lombardia, Emilia Romagna, Piemonte, Veneto
Salame d'oca di Mortara	IGP	Lombardia
Salame di Varzi	DOP	Lombardia
Salamini italiani alla Cacciatora	DOP	Lombardia, Friuli Venezia Giulia, Veneto, Piemonte, Emilia-Romagna, Umbria, Toscana, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise
Zampone Modena	IGP	Lombardia, Emilia Romagna, Veneto
PESCI		
Salmerino del Trentino	IGP	Lombardia, Trento
Trote del Trentino	IGP	Lombardia, Trento
MIELE		
Miele Varesino	DOP	Lombardia
PASTA		
Pizzoccheri della Valtellina	IGP	Lombardia

Fonte: Elaborazioni SMEA su dati Regione Lombardia e Organismi di Controllo

Figura 3 I prodotti DOP/IGP della Lombardia – Ismea su dati di Regione Lombardia

L'unico comune che può fregiarsi di marchiatura IGT (Indicazione Geografica Tipica) e DOC (Denominazione di Origine Controllata) per la presenza di vigneti, è San Colombano al Lambro.

Valutazioni di carattere ambientale e naturalistico

Nella Città Metropolitana di Milano, il Sistema delle Aree protette di Regione Lombardia vede la presenza di 5 Parchi regionali interamente o parzialmente ricadenti nel territorio provinciale:

1. Parco Adda Nord: parco fluviale e di cintura metropolitana,

2. Parco delle Groane: parco forestale e di cintura metropolitana,
3. Parco Lombardo della Valle del Ticino: parco fluviale, forestale, agricolo e di cintura metropolitana,
4. Parco Nord Milano: parco di cintura metropolitana,
5. Parco Agricolo Sud Milano: parco agricolo e di cintura metropolitana.

Ad eccezione del Bosco di Vanzago (sito IT2050006), che è gestito direttamente dal WWF, le aree di Rete Natura 2000 sono tutte in gestione ai Parchi regionali sopra citati, come di seguito indicato:

- Oasi le Foppe di Trezzo sull'Adda (Parco Adda Nord),
- Boschi delle Groane, Pineta di Cesate (Parco delle Groane),
- Basso Corso e Sponde del Ticino, Boschi della Fagiana, Turbigaccio, Boschi di Castelletto e Lanca di Bernate (Parco Lombardo della Valle del Ticino),
- Bosco di Vanzago (WWF Italia),
- Bosco di Cusago, Fontanile Nuovo, Oasi di Lacchiarella, Sorgenti della Muzzetta (Parco Agricolo Sud Milano).

Unitamente ai Parchi locali di interesse sovracomunale (PLIS) riconosciuti, ai Momenti naturali e alle Riserve naturali, l'intero Sistema si estende complessivamente su un territorio di quasi **175.000 ettari**.

Prendendo in esame il territorio agricolo al di fuori di queste aree, la rappresentazione delle aree agricole non gravate dal vincolo ambientale sono così raffigurabili.

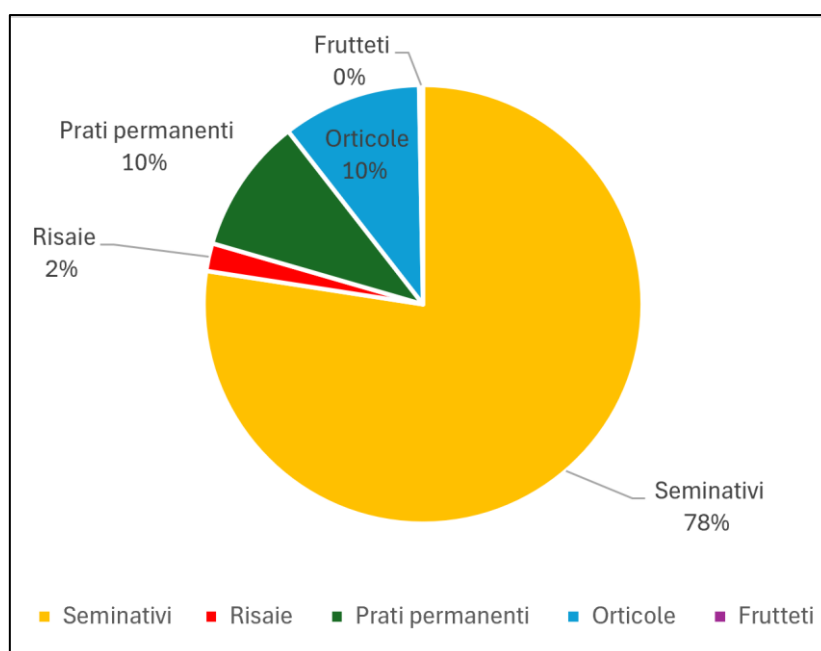


Figura 4 Distribuzione percentuale degli usi agricoli in Città metropolitana di Milano, al di fuori delle aree protette – Dusaf 7.0

Tab 2 Estensione superficiale delle colture agricole nel territorio di Città metropolitana di Milano, al di fuori delle aree protette – Dusaf 7.0

Coltura	Superficie (ha)
Seminativi	11.672
Risaie	309
Prati permanenti	1.505
Orticole	1.543
Frutteti	44
Totale	15.164

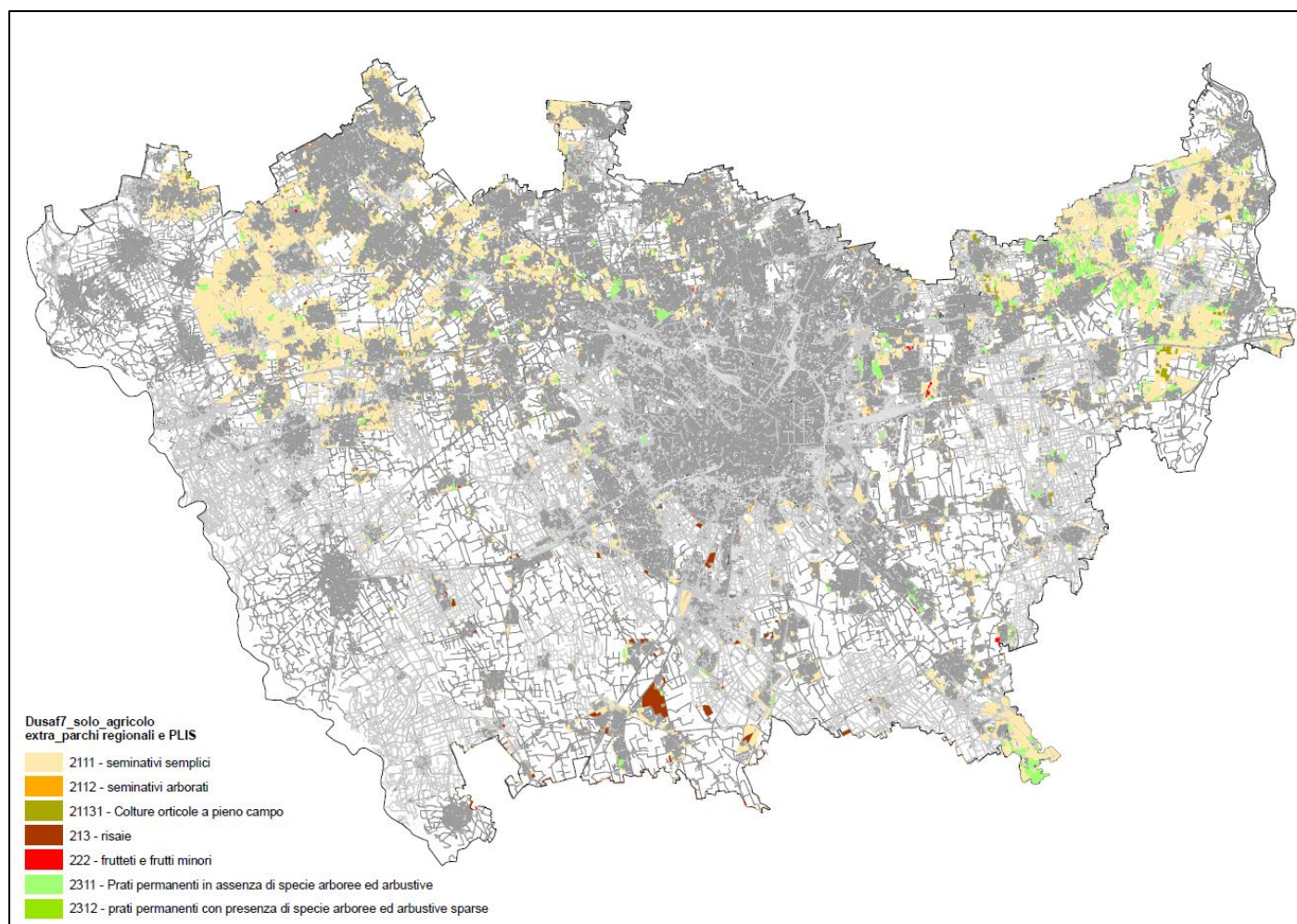


Figura 5 Usi agricoli in Città metropolitana di Milano di, al di fuori delle aree protette – Dusaf 7.0.

La progettazione di un impianto agrivoltaico deve quindi necessariamente essere preceduto da una approfondita lettura del contesto ambientale e naturalistico, specialmente laddove l'agricoltura è praticata all'interno di aree che presentano specifiche perimetrazioni e regolamentazioni.

Poco meno del 10% del territorio di Città Metropolitana di Milano è caratterizzato dalla presenza di aree boscate, individuate e categorizzate dai rispettivi Piani di indirizzo forestale ai sensi della Dgr 7728/2008 e della LR. 31/2008. Su tali superfici la fattibilità di installazione impianti è praticamente nulla, sia per effetto della normativa lombarda sulla trasformabilità di tali ambiti, sia per effetti di quanto già previsto dal Programma Regionale Energia Ambiente e Clima PREAC (Dgr 7553/2022 Regione Lombardia - Allegato 13), che indica di evitare la compromissione delle zone forestali.

A livello ambientale e naturalistico occorre porre molta attenzione all'individuazione di elementi significativi come alberi monumentali, filari di pregio o di valore storico al fine di evitarne l'eliminazione a causa delle infrastrutture progettuali.

L'articolazione e la dislocazione delle aree protette rende necessaria la conservazione di fasce vegetazionali rilevanti per il mantenimento della connettività ecologica e la salvaguardia della biodiversità, secondo le previsioni e gli elementi riconosciuti dalla Rete Ecologica Regionale (RER) e della Rete Verde del PTM.

I progettisti e i valutatori delle istanze, dovranno verificare che non vengano a crearsi chiusure o interruzioni dei varchi esistenti, oppure che i progetti non vengano a trovarsi in posizioni tali da interferire sulla funzione ecologica degli stessi corridoi.

Nella stesura degli elaborati di analisi, come descritto più avanti, dovranno essere verificate le presenze di aree di riproduzione, alimentazione e transito di specie faunistiche protette, specialmente se connesse a Direttive comunitarie.

Vincoli e norme esistenti con ricadute negli ambiti agricoli

La lettura e la ricognizione dei comparti agricoli, al di fuori delle perimetrazioni dei Parchi o degli ambiti di rilevanza paesaggistica, evidenzia valori e caratteristiche peculiari che impongono altre riflessioni e attenzioni, in relazione alla verifica di compatibilità e integrabilità dei progetti di impianti agrivoltaici che si stanno via via materializzando sui tavoli degli Enti locali.

Prati stabili

Regione Lombardia, con la Legge Regionale 8 agosto 2025, n. 15 denominata Valorizzazione e tutela del paesaggio della pianura lombarda e dei prati stabili” ha previsto una specifica norma *per la valorizzazione del paesaggio della pianura lombarda e dei prati stabili del territorio regionale*. Nel testo viene sottolineato il valore di tali ambiti in *termini culturali, storici, agricoli, enogastronomici e paesaggistici le capacità produttive, anche sotto il profilo estetico*, espresse dalle comunità che risiedono nei territori pianiziali.

I prati stabili, marcite comprese, concorrono alla funzione produttiva legata alla filiera dell'allevamento delle vacche da latte, che garantisce la produzione di fieno con caratteristiche qualitative distintive, destinato all'alimentazione del bestiame e alla filiera dei prodotti agroalimentari, DOP e IGP nel caso particolare.

Tale indicazione, unitamente alle varie altre pratiche che sono richiamate dagli articoli della legge regionale, costituiscono parte delle buone prassi di gestione dei prati stabili e, di conseguenza, vanno tenuti in debita considerazione nelle relazioni agronomiche al capitolo “stato di fatto e inquadramento territoriale”. Tenendo conto che le superfici foraggere, come indicato nelle tabelle delle colture più idonee, risultano essere tra le più compatibili nel mantenimento delle produzioni agrarie connesse alla produzione elettrica con moduli rialzati, si dovrebbe evitare di autorizzare proposte che vadano nella direzione di un cambio colturale verso orticole, cereali e altre forme diverse dal prato stabile.

Percorsi di transumanza

Regione Lombardia, riconoscendo l'interesse pubblico legato al mondo del pastoralismo, degli alpeggi e della transumanza quali elementi fondamentali e strategici per il presidio del territorio e la salvaguardia dell'ambiente ed evidenziandone l'insito valore culturale e la rilevanza nella filiera della produzione agroalimentare tradizionale locale, ha promulgato il 25 luglio 2022 la Legge Regionale n. 14/2022 denominata “*Disposizioni regionali per la tutela e la valorizzazione del pastoralismo, dell'alpeggio, della transumanza e per la diffusione dei relativi valori culturali*”

L'articolo 3 della suddetta legge stabilisce il principio, in collaborazione con i Comuni, del riconoscimento e dell'individuazione di *percorsi di transumanza e monticazione, nei quali sia garantito il libero passaggio delle mandrie e delle greggi e il pascolo, coinvolgendo i proprietari pubblici e privati dei prati stabili e delle aree idonee al pascolo*.

Questi percorsi non ricalcano vie o tracciati fisicamente sempre individuabili sul territorio, ma sono ambiti agricoli in cui le greggi vaganti hanno sempre trovato spazio ed equilibrio con le coltivazioni nel periodo della loro permanenza in pianura durante l'arco della stagione invernale.

Il fenomeno attuale della pastorizia vagante rispecchia una contrazione e una limitazione rispetto al passato (percorsi pianura montagna sempre più frammentati e interrotti per vie delle infrastrutture di comunicazione stradale), ma proprio sulla volontà di conservarne il valore complessivo fa leva la regolamentazione regionale.

Anche il territorio della Città Metropolitana di Milano è interessato dal passaggio di greggi e pertanto la conoscenza di dettaglio dovrà essere un elemento di attenzione e di verifica da parte dei proponenti, in attesa che venga istituita la *banca dati in cui sono riportate le informazioni di carattere biologico e territoriale, nonché i dati catastali riferiti ai singoli prati stabili, riportando inoltre le misure di tutela e i vincoli su di essi insistenti*.

Fermo restando il vincolo della proprietà privata e dell'assenso al passaggio delle greggi sui terreni in cui non vi siano in atto coltivazioni (prati nel periodo invernale e seminativi a riposo), la problematica derivante dalle autorizzazioni all'installazione degli impianti agrivoltaici, sta nella potenziale interruzione della continuità di tali passaggi e ambiti idonei con le recinzioni perimetrali di sicurezza.

Ambiti venatori

Nel territorio di CMM sono presenti due Ambiti Territoriali di Caccia (ATC) gestiti da enti privati di interesse pubblico con autonomia organizzativa che, nelle aree a loro assegnate per competenza, gestiscono la fauna e l'ambiente, promuovono miglioramenti ambientali e gestiscono le zone di addestramento cani, operando come intermediari tra cacciatori e istituzioni.

Gli Ambiti Territoriali di Caccia sono disciplinati da Legge Regionale 16 agosto 1993, N. 26 *Norme per la protezione della fauna selvatica e per la tutela dell'equilibrio ambientale e disciplina dell'attività venatoria*.

Le aree che sono afferenti alle due ATC devono anch'esse essere prese in esame nella relazione agronomica, al fine di verificare limiti e distanze dagli impianti, in quanto si può sicuramente prevedere che ci possano essere degli impatti sull'attività venatoria a causa di perdita di territori, di recinzioni e di frammentazione dei terreni. Non ultimo si ritiene utile prevedere e calcolare una fascia di rispetto e di sicurezza adeguata per evitare danni sui pannelli con la caduta accidentale dei pallini.

Dal punto di vista dell'impatto sull'avifauna, i pochi studi indicano che gli impianti agrivoltaici progettati con specifici criteri ambientali ospitavano un numero maggiore di specie di uccelli di prateria rispetto ai campi agricoli tradizionali. Ciò è deducibile, peraltro, dal passaggio dalla monocultura alla presenza di coperture vegetali diversificate, che favoriscono insetti, impollinatori e altre forme di vita che costituiscono la base alimentare per molte specie di uccelli.

Riferimenti web: <https://www.atcpianuramilanese.com/> <https://atc2sancolombano.com/>

Un possibile modello di sviluppo per il territorio

La sintesi della lettura dello scenario agricolo di CMM, può trovare una coerenza con gli obiettivi di pianificazione derivanti dal Piano Territoriale Metropolitano (PTM) e dal Piano strategico triennale del territorio metropolitano (PSTTM), laddove all'agrivoltaico può essere riconosciuto e attribuito un ruolo sostenibile, quando la scala di investimento è progettata per un ciclo energetico tarato sull'azzeramento dei costi energetici all'interno dell'azienda agricola e con la vendita di quella parte eccedente.

Con il costante aumento dei costi energetici, la soluzione di produrre elettricità per il funzionamento autonomo di apparecchiature, dispositivi, impianti e processi aziendali, rappresenta un'opportunità per migliorare il bilancio energetico ed economico, fornendo al contempo un reddito alternativo agli agricoltori.

Il concetto di impianti "**opportunamente dimensionati**" deriva dalle stesse Linee Guida ministeriali, che invitano le aziende agricole ad abbattere i costi operativi (innalzando la redditività agricola e migliorando la competitività) attraverso l'autoconsumo dell'energia prodotta tramite l'impianto agrivoltaico. La centralità dell'operatore agricolo che investe in prima persona, e non come soggetto terzo che vende semplicemente il diritto di superficie, rappresenta già un elemento significativo nelle proposte progettuali che dovranno essere esaminate dalle Amministrazioni locali chiamate ad autorizzare gli impianti.

L'analisi delle procedure autorizzative attualmente in corso vede una dinamica che oscilla e si colloca su una linea di tendenza del mercato a sviluppare impianti fino a 10 megawatt, che si estendono quindi su circa 15 – 16 ettari complessivi, fino a proposte che arrivano anche a 150 – 250 ettari.

Nel primo caso si tratta generalmente di aziende agricole (che magari hanno aderito ai bandi dei contributi pubblici del PNRR e di altre fonti finanziarie) e di impianti con procedura abilitativa semplificata (PAS) che sono stati pensati per sostenere l'efficienza aziendale al fine di rendere più competitivo il settore agricolo, migliorando al contempo le prestazioni climatiche- ambientali. Nel secondo caso la proposta di grandi impianti è soggetta ad **autorizzazione unica** (AU) e vede quasi sempre una joint venture tra imprese del settore energetico e aziende agricole.

Per entrambe le casistiche, le Amministrazioni pubbliche coinvolte nel processo autorizzativo, sono chiamate ad esaminare e/o valutare nel merito se le soluzioni progettuali proposte siano **ambientalmente sostenibili**.

CONTENUTI DELLA RELAZIONE AGRONOMICA

Lo sviluppo della proposta di installazione di un Impianto Agrivoltaico deve porre al centro il **progetto agricolo**, in funzione del quale va descritta e programmata l'evoluzione aziendale futura, sia in termini di produzione vendibile che di mantenimento della coltivazione, prevedendo fin da subito le azioni di ripristino e di riorganizzazione agricola alla fine del ciclo di vita delle attrezzature e dei materiali.

La centralità del progetto agricolo

Il rispetto che l'attività agricola sia prioritaria, **garantendo la continuità colturale o pastorale su almeno il 70% della superficie** e conservando almeno **l'80% della produzione lorda vendibile**, è stabilito a livello normativo. Questo è un parametro fissato dalle Linee Guida ministeriali, a sua volta tarato sul rispetto delle Buone Pratiche Agricole (BPA), affinché la gestione agricola non diventi attività secondaria.

La relazione agronomica è quindi un **elaborato obbligatorio**, che ha la funzione di rappresentare complessivamente e unitariamente le diverse componenti specifiche e restituire un quadro di fattibilità realistico e attuabile.



Figura 6 La progettazione agronomica al centro delle varie componenti.

Un investimento oneroso e complesso come quello di un impianto agrivoltaico non può avere il solo scopo di ottenere le autorizzazioni, ma deve dare ampie garanzie di successo nella fase di avvio e negli anni seguenti, durante i quali sarà necessario monitorare e validare il rispetto dei valori e degli impegni assunti inizialmente.

Prima dell'installazione, i passaggi fondamentali per valutare la redditività e le prestazioni previste da un impianto agrivoltaico (AV), sono la simulazione e l'ottimizzazione della progettazione del sistema. A livello nazionale, le norme UNI/PdR 18:2023 hanno definito l'entità massima di riduzione della resa agricola nell'area interessata dal sistema agrivoltaico, che mediamente può arrivare fino al 30% in meno rispetto alle condizioni normali di coltivazione.

Questo valore di riferimento è stato calcolato sulle rese in pieno campo, in aree con clima mediterraneo (secondo la classificazione climatica di Köppen), e che presentano delle condizioni favorevoli in termini di elementi climatici.

In linea generale, si deve tenere conto che la scelta di investire in questo settore pone di fronte a scenari che sono caratterizzati sia da elementi positivi che da elementi negativi.

Gli effetti positivi possono essere così sintetizzati:

- aumento della quantità di acqua piovana raccolta e riutilizzabile nel ciclo colturale,
- mitigazione dell'erosione del suolo e protezione delle culture durante le piogge estreme o grandinate,
- miglioramento delle condizioni di crescita delle culture a seconda della loro tolleranza e all'ombra del clima circostante. Ad esempio, nei climi caldi e secchi l'ombreggiamento fornito dei sistemi può ridurre lo stress delle alte temperature della scarsità d'acqua, mentre nelle aree esposte ai forti eventi i sistemi possono proteggere le colture dagli effetti negativi,
- modificazione della distribuzione dell'acqua piovana che influenza l'umidità del suolo e la sua distribuzione.

Gli effetti negativi possono essere così sintetizzati:

- riduzione della produzione lorda vendibile,
- riduzione della superficie coltivabile,
- aumento delle tare e delle aree improduttive,
- necessità di adeguamento e/o sostituzioni delle attrezzature e dei macchinari in uso,
- aumento dei tempi di lavorazione/gestione/raccolta delle aree caratterizzate dagli impianti,
- aumento dei costi di assistenza tecnica e di adempimenti contabili e amministrativi.

A valle di queste considerazioni, tra opportunità e criticità, occorre ricordare che siamo in una fase di cambiamento della frequenza dell'intensità dei fenomeni meteorologici estremi, in relazione ai quali il "microclima" generato dai sistemi agrivoltaici potrebbe fornire maggiore sicurezza e stabilità delle produzioni medie negli anni a venire.

Il fondamentale ruolo della ricerca

Ad oggi la letteratura più specifica e completa deriva dagli studi sugli effetti delle reti ombreggianti su un piccolo campione di colture, che non prendono però in considerazione una serie di variabili che di fatto influenzano il microclima che si viene a creare al di sotto dei moduli, che possono andare dal valore dell'albedo alle differenti lavorazioni agricole, che depositano polvere e sporczia riducendo le prestazioni di resa fotovoltaica.

Tuttavia, la modellazione dei sistemi agrivoltaici rappresenta una sfida scientifica tutt'ora in corso di sviluppo e ricerca, in quanto la stima della produzione agricola in condizioni di ombreggiamento è un dato di cui non si hanno ancora dei riferimenti certi.

Dal punto di vista bibliografico, si ritiene utile segnalare che l'Ente italiano di normazione ha pubblicato il documento "Prassi di riferimento Uni/PdR 148:2023" che introduce prescrizioni tecniche sugli impianti agrivoltaici, e che il mondo accademico e le imprese di settore hanno prodotto una serie di modelli colturali che provano a simulare le soluzioni ottimali quale ausilio per i progettisti.

Gli studi sui sistemi agrivoltaici proseguiranno ad un ritmo sempre più crescente, con l'implementazione di nuovi modelli e l'ottimizzazione di quelli esistenti, non solo per studiare la risposta delle piante coltivate, ma anche per affinare la precisione della modellazione della resa fotovoltaica e dell'ottimizzazione delle prestazioni degli impianti per la produzione di energia elettrica.

Gli elementi descrittivi della relazione agronomica

Come indicato nella premessa del capitolo, il documento della relazione agronomica risulta determinante nella descrizione complessiva dell'investimento proposto. Quanto più questo elaborato è dettagliato ed esaustivo, tanto meno saranno le necessità di integrazioni e approfondimenti successivi.

La prima parte di una relazione agronomica deve necessariamente descrivere l'azienda agricola nel territorio e nel contesto di riferimento. Il connubio con i luoghi, con il paesaggio, con le peculiarità dell'area circostante sono elementi che devono trovare correlazione alle proposte più tecniche di natura agronomica o impiantistica, così come alle soluzioni di mitigazione e inserimento ambientale che devono essere coerenti per ecologia e paesaggio.

Il contenuto tecnico deve quindi dimostrare che l'impianto agrivoltaico è in grado di preservare la continuità dell'attività di coltivazione agricola, di rispettare gli elementi di "naturalità" presenti nel sito di installazione e, parallelamente, di

garantire una determinata quantità di energia elettrica da fonte rinnovabile (secondo le % minime fissate a libello nazionale in riferimento ai moduli fotovoltaici standard, come descritto più avanti).

Ogni progetto è diverso da un altro, tuttavia si ritiene utile proporre una scaletta di argomenti che dovrebbero essere affrontati e sviluppati da parte dei progettisti.

- Bozza struttura della Relazione agronomica

- Premessa
- Introduzione
- Ubicazione
 - analisi del contesto e del paesaggio;
- Inquadramento territoriale
 - suolo,
 - geomorfologia,
 - orografia,
 - capacità d'uso, Zvn etc;
- Inquadramento climatico
 - precipitazioni,
 - temperature,
 - dati e rilievi di stazioni locali etc.. ;
- Descrizione delle attività e dell'organizzazione aziendale
 - assetto aziendale,
 - produzioni in corso,
 - capitale fondiario,
 - manodopera,
 - fabbisogni energetici,
 - regime fiscale,
 - redditività etc...;
- Descrizione della proposta progettuale
 - potenza e tipo impianto,
 - strutture previste,
 - interazione con vincoli ambientali- paesaggistici,
 - verifica produzioni di pregio,
 - verifica tutela prati,
 - verifica fasce libere,
 - rispetto della buona pratica agricola;
- Definizione del Piano colturale aziendale e degli usi dei terreni
 - coltivazioni e rotazioni,
 - eventuali allevamenti previsti e connessi;
 - lavorazioni previste,
 - macchinari e attrezzature necessarie,
 - stime di resa e di produzione per le fasi di monitoraggio;
- Progetto agrivoltaico
 - rispetto linee guida Mase,
 - verifica rispetto requisiti A, B, C, D, E
 - scenario colturale ex ante,
 - scenario colturale ex post,

- modalità di monitoraggio fase ex post;
- Valutazione degli impatti e mitigazione
 - fattori climatici,
 - faunistici e ambientali,
 - vegetazione,
 - misure di mitigazione e compensazione,
 - scelta delle specie e della loro disposizione, etc
- Sostenibilità ambientale
 - approfondimento sul ripristino dei terreni e sulla prosecuzione delle coltivazioni, laddove non specificato nel Piano di Dismissione e Ripristino;
- Cronoprogramma delle varie fasi descritte
- Rappresentazioni fotografiche
- Cartografia

In allegato alla relazione agronomica possono/devono essere aggiunti vari documenti che sono ulteriormente esplicativi ed esemplificativi della conduzione agricola che dovrà essere mantenuta nel tempo.

Gli allegati alla relazione

Tra gli allegati necessari e obbligatori, come presupposto oggettivo e soggettivo fondamentale, è doveroso verificare la presenza di un atto che definisca la tipologia di contratto prescelto per la coltivazione del terreno, che deve riportare chiaramente se:

1. la richiesta per l'autorizzazione all'impianto è redatta dal titolare (nel caso di moduli su terreni di proprietà) o dall'affittuario (nel caso di moduli su terreni in conduzione d'affitto o con altre forme valide);
2. la richiesta per l'autorizzazione all'impianto è redatta da terzi, titolari del diritto di superficie. In questo caso va allegato un contratto di coltivazione del terreno da cui emerga la presenza del contratto di affitto del terreno a favore del proprietario, con l'obbligo di rispettare le prescrizioni dell'autorizzazione da parte dell'impresa agricola nei confronti del gestore dell'impianto.

Tra gli altri allegati utili si possono di seguito elencare i seguenti documenti:

- sistemi per raccolta dell'acqua dalla superficie dei moduli fotovoltaici, allo scopo di pulire i moduli dalla polvere e fornire una riserva irrigua specialmente nei mesi siccitosi,
- sistemi di rilevamento dati (sensori temperatura, umidità, vento,) o di protezione (reti antigrandine integrate..),
- descrizione degli elementi di protezione specifici per non danneggiare i supporti dei sistemi e i mezzi agricoli,
- cronoprogrammi indicanti le stagioni o fasi in cui i moduli fotovoltaici non sono completamente accessibile per lavori di manutenzione e riparazione (per la presenza delle colture, per le condizioni del suolo o per altri fattori sito specifici),
- sensori o attrezzature specifiche e innovative per il monitoraggio degli impianti,
- sistemi per il recupero e l'efficienza della risorsa idrica.

La proposta di collocazione e installazione di impianti agrivoltaici all'interno di territori che sono interessati dai perimetri del Sistema delle Aree protette di Regione Lombardia (ovvero Parchi regionali, Parchi naturali, Plis e tutti i vari altri territori tutelati), può necessitare di approfondimenti tecnici di maggiore dettaglio, richiedibili dagli enti ai fini della verifica dei potenziali impatti sull'ambiente a livello sito-specifico.

Fattori operativi e gestionali per il mantenimento dell'attività agricola

Il mantenimento della lavorabilità e della produzione è a sua volta legata ad una serie di scelte progettuali iniziali, che determineranno poi dei fattori fisici ed oggettivi a cui gli imprenditori agricoli dovranno adeguare le scelte dei nuovi piani colturali, dei macchinari e delle operazioni gestionali.

Innanzitutto, la scelta del tipo di impianto fotovoltaico (le cui diverse tipologie sono riportate in un capitolo successivo), diventa vincolante per quanto concerne la distanza fra i singoli tracker e l'altezza dei pannelli. Da questi parametri non solo dipenderanno le coltivazioni o gli allevamenti possibili, ma soprattutto la scelta delle macchine operative e degli organi lavoranti. Nel calcolo delle distanze degli spazi va tenuto conto anche delle capezzagne e dell'area necessaria per le manovre nelle diverse fasi (semina, trattamenti, raccolta).

In funzione dell'altezza dei moduli potranno essere scelte solo quelle colture/allevamenti che si possono ottenere senza che il punto inferiore rappresenti un ostacolo (anche solo nelle fasi di raccolta o trattamento).

Un altro elemento da valutare in fase iniziale è legato alla tipologia di agrotecnica che si prevede di adottare per la preparazione e la gestione del suolo (per es. minimum tillage, zero tillage, strip-tillage, ecc.), da calibrare ovviamente in base al tipo di coltura prevista ed al tipo di suolo esistente.

Pur non essendo una casistica ampiamente diffusa nell'area metropolitana, in caso di coltivazioni interessate da alberi da frutta si potrebbero presentare due distinti scenari:

- 1 nel caso di frutteti già esistenti, la struttura fotovoltaica dovrà necessariamente adattarsi al sesto di impianto, alle altezze già impostate, agli eventuali altri manufatti presenti e alla viabilità interna per le lavorazioni e la raccolta;
- 2 nel caso di previsione di messa a dimora di nuovi fruttiferi, anche la forma di allevamento degli alberi dovrebbe essere stabilita a priori, in funzione della distanza tra le file e sulle file, potendo anche optare tra forma libera o a spalliera.

Siccome l'uso del suolo della Città Metropolitana è comunque alquanto variegato, non sono da escludere tutte quelle eventuali soluzioni tecnologiche che possono essere utilizzate al fine di poter migliorare l'integrazione del sistema agrivoltaico con l'attività agricola e che vanno tutte quante valutate (per quanto possibile) nella fase progettuale iniziale, riportandole nel testo della relazione agronomica.

ADATTABILITA' DELLE COLTIVAZIONI DEL TERRITORIO

Nella stesura della relazione agronomica, i progettisti e i professionisti incaricati, come già detto, dovranno considerare le peculiarità legate agli ambienti del territorio di Città Metropolitana, nelle sue diverse connotazioni geografiche e di vocazione produttiva consolidata. La scelta di inserire in azienda un impianto agrivoltaico per la produzione di energia elettrica, determina un cambio nell'assetto organizzativo, **produttivo** e culturale.

Il tema di quali colture adottare sotto i pannelli non è, tuttavia, il solo elemento decisionale.

La figura seguente illustra molto bene alcune delle interazioni che si vengono a creare all'interno di un impianto agrivoltaico, dal cui equilibrio dipende il successo della produzione agricola sull'intero ciclo di vita delle strutture e dei sistemi progettati. Lo sviluppo delle piante è strettamente connesso alla temperatura delle colture, risultante dal bilancio energetico al suolo e alla pianta stessa.

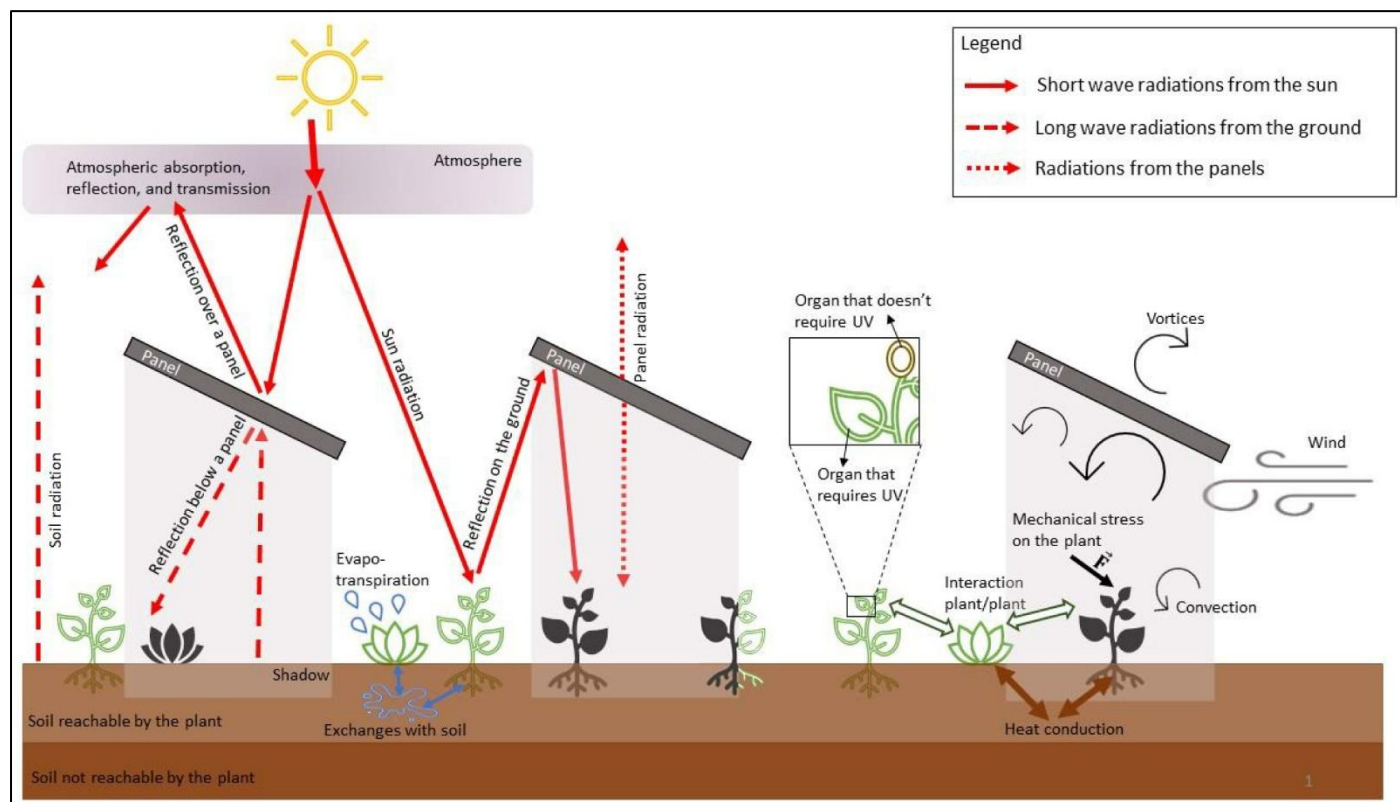


Figura 7 Le linee in colore rosso mostrano l'irradianza, al contrario di quelle blu che indicano l'evapotraspirazione e di quelle nere che illustrano gli spostamenti e i moti convettivi dell'aria. Anche il suolo, con linee di colore marrone, è interessato da fenomeni di conduzione del calore nello strato arabile. (Report IEA-PVPS Task 13. Dual Land Use for Agriculture and Solar Power Production: Overview and Performance of Agrivoltaic Systems, 2025)

Considerata la tendenza del mercato verso i moduli fotovoltaici bifacciali, la stima della distribuzione dell'irradianza solare a livello del suolo diventa fondamentale per valutare l'irradianza incidente sul lato posteriore dei moduli fotovoltaici e, quindi, la produzione complessiva di energia elettrica fotovoltaica. In questo contesto, la scelta delle colture diventa importante perché l'irradianza posteriore dipende dall'albedo, che a sua volta dipende dal tipo di coltura e dalle fasi fenologiche.

La crescita di una coltura è un fenomeno molto complesso, influenzato dall'interazione di numerosi fattori. I modelli colturali sono equazioni matematiche, che rappresentano i processi che avvengono all'interno della pianta simulando le interazioni tra la pianta e il suo ambiente. I modelli colturali possono fornire informazioni quantitative sui principali processi coinvolti nella crescita e nello sviluppo della pianta e sono essenziali per stimare lo stato finale della biomassa totale o della resa raccogliabile.

L'importanza dell'applicazione della modellazione colturale alla ricerca agrovoltica è chiaramente dimostrata dal fatto che, tra le prime pubblicazioni scientifiche riguardanti la produzione agricola in sistemi agrovoltici, la maggior parte si basava interamente, o almeno in parte, sui risultati derivanti da un approccio empirico su ombreggiamento e fotosintesi, partendo dall'analisi degli effetti sulla struttura fogliare e soprattutto sull'area fogliare specifica.

Negli esempi riportati qui sotto, sono riportati alcuni dei modelli studiati e applicati in vari contesti, quale eventuale spunto di approfondimento e confronto.

BOX dedicato ai vari modelli

Un modello colturale con un elevato livello di relazioni meccanicistiche è **GECCROS**, che mette a confronto un set di dati climatici su mais coltivato in asciutta nel nord Italia, simulando le rese con diversi sistemi agrovoltici e con differenti strategie di gestione dell'acqua. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918304197>

Il modello colturale **SIMPLE** si è posto l'obiettivo di sviluppare una simulazione semplificata per 14 colture annuali, combinando 13 parametri per specificare il tipo di coltura, di cui quattro relativi alle caratteristiche varietali.

Pur con le limitazioni di base, gli autori sostengono che questo modello può essere facilmente adattato e valutato per qualsiasi nuova coltura, sulla base di dati di letteratura ed esperimenti sul campo, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030118304234>

Il modello **EPIC** (Environmental Policy Integrated Climate) ha preso in esame avena e patate come colture di riferimento per esaminare le interazioni tra radiazione solare e ombreggiamenti, focalizzando le analisi sulle diverse distanze tra le file delle strutture dei moduli fotovoltaici bifacciali,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621032807>

I modelli colturali **CERES-riso**, **CERES-orzo**, **CROPGRO**-soia (applicati su riso, orzo e soia nella Corea del Sud), sono stati applicati per simulare le variazioni regionali della resa delle colture in base a scenari di riduzione della radiazione solare, confermando i dati delle rese simulate delle colture con le corrispondenti rese misurate, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/24/8463>

Il modello **STICS** è stato sviluppato per prevedere la crescita e la resa del frumento tenero (*Triticum aestivum* L.) in tre diverse condizioni di luce, utilizzando osservazioni sul campo provenienti da un esperimento biennale di ombreggiatura artificiale.

La simulazione della resa finale in granella in ombreggiamento non è ancora risultata soddisfacente, presumibilmente a causa di una sovrastima della riallocazione della biomassa tra germogli e chicchi. Grazie alla sua piattaforma open-source, può simulare un'ampia gamma di specie annuali e perenni, in associazione o in rotazione, e può essere utilizzato per prevedere gli effetti a lungo termine di una vasta gamma di sistemi colturali, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429017301892>

Categorizzazione delle colture e degli allevamenti

Prima di elencare le coltivazioni adatte o meno adatte in caso di abbinamento con impianti agrivoltaici, può essere utile richiamare quanto già definito dalla prassi UNI/PDR 148:2023, che suddivide tutte le possibili casistiche di produzione vegetale e animale in macro categorie.

Tabella 3 Classificazione secondo norme UNI/PDR 148:2023

COLTURE AGRICOLE NON PERMANENTI	COLTURE AGRICOLE PERMANENTI	ALLEVAMENTO DI ANIMALI
- 01.11 Coltivazione di cereali (escluso il riso), legumi da granella e semi oleosi - 01.12 Coltivazione di riso - 01.13 Coltivazione di ortaggi e meloni, radici e tuberi - 01.14 Coltivazione di canna da zucchero - 01.15 Coltivazione di tabacco - 01.16 Coltivazione di piante tessili - 01.19 Floricoltura e coltivazione di altre colture non permanenti (foraggiere, prati, erbai...)	- 01.21 Coltivazione di uva - 01.22 Coltivazione di frutta di origine tropicale e subtropicale - 01.23 Coltivazione di agrumi - 01.24 Coltivazioni di pomacee e frutta a nocciolo - 01.25 Coltivazione di altri alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio - 01.26 Coltivazione di frutti oleosi - 01.27 Coltivazione di piante per la produzione di bevande - 01.28 Coltivazione di spezie, piante aromatiche e farmaceutiche - 01.29 Coltivazione di altre colture permanenti (inclusi alberi di Natale)	- 01.41 Allevamento di bovini da latte - 01.42 Allevamento di altri bovini e di bufalini - 01.43 Allevamento di cavalli e altri equini - 01.44 Allevamento di cammelli e camelidi - 01.45 Allevamento di ovini e caprini - 01.46 Allevamento di suini - 01.47 Allevamento di pollame - 01.49 Allevamento di altri animali

Per ciascuna macrocategoria è possibile definire delle sottocategorie, in funzione dell'attività agricola svolta sul sito di riferimento:

- sottocategoria A: **colture permanenti** (frutteti, vigneti);
- sottocategoria B: **colture annuali e pluriennali** (cerealicole, orticole, foraggiere, prato);
- sottocategoria C: **zootecnia** (pascolo di bovini, ovini, avicoli).

Come già illustrato, la ricerca e le simulazioni che sono in corso negli impianti sperimentali, potranno far emergere indicazioni e scelte di carattere agronomico-culturale tali da indurre una nuova modalità di sviluppo e organizzazione delle attività agricole, in una dinamica climatica – economica – produttiva che terrà conto anche dei futuri effetti e risvolti climatici a livello di area metropolitana.

Il territorio in esame, per assenza di specifiche vocazionalità (salvo piccoli e limitati areali come la collina di San Colombano al Lambro) non presenta, al momento, numeri e dati significativi relativi a frutteti, vigneti, oliveti e altre colture di tipo “permanente” (sottocategoria **A**).

L'introduzione e la diffusione di impianti agrovoltai (AV) potrà influire, in modo più o meno marcato ed evidente, su una diversa ripartizione delle superfici delle “colture agricole non permanenti” (sottocategoria **B**) o, addirittura, segnando un aumento della macrocategoria “allevamento di animali” (sottocategoria **C**).

Punto di saturazione della luce e resa colturale

Le colture hanno bisogno di luce per il processo di fotosintesi e, per il parallelo processo di traspirazione, di acqua.

La risposta delle varie colture alla capacità di utilizzare la luce incidente cambia a seconda della coltivazione prescelta; pertanto, appare evidente che la minore disponibilità e omogeneità dell'irraggiamento a terra influenza lo sviluppo e la loro crescita. Questa differenza emerge più significativamente nelle piante con caratteristiche morfologiche e fisiologiche espressamente collegate all'efficienza fotosintetica, come potrebbe essere nel caso del mais.

Un criterio importante per determinare l'idoneità delle colture per l'agrivoltaico è rappresentato quindi dal punto di saturazione della luce, come si può evincere dalla figura sotto riportata.

Dal grafico si può osservare che, dopo un determinato valore, il processo fotosintetico si blocca e le colture non hanno incrementi di crescita. Minore è il punto in cui la coltura raggiunge la saturazione della luce, maggiore è l'adattamento alle condizioni di ombreggiamento che si vengono a creare sotto ad un impianto agrivoltaico e, viceversa, il contrario.

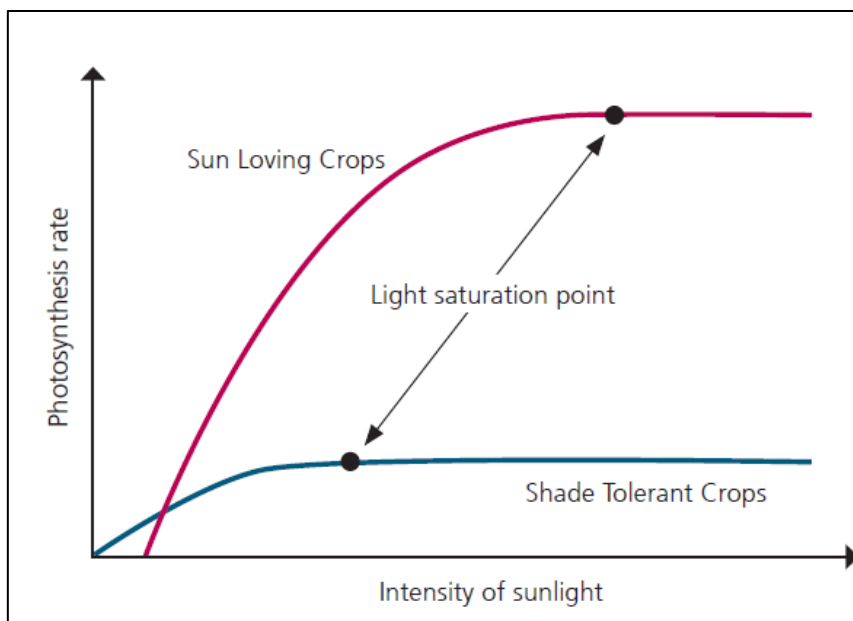


Figura 8 Grafico riferito al tasso di fotosintesi rispetto all'intensità di luce solare per colture che amano il sole e tollerano l'ombra. (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, 2024)

Sulla base di questo fattore si può riportare una suddivisione delle colture a seconda delle loro **“tolleranza all'ombreggiamento”**, ponendo al primo posto colture tolleranti all'ombra completa che racchiudono, ad esempio, l'ampio gruppo delle colture foraggere ed erbacee e diversi ortaggi a foglia (lattughe, spinaci, cavoli, patate, prezzemolo etc.), nonché diverse piante perenni tra cui vite, mele, pere, noccioli etc.

All'estremo opposto abbiamo coltivazioni classificabili come **“intolleranti all'ombra”**, che comprendono cereali come il mais, il sorgo e il miglio che, alle latitudini temperate, non sono adatti per le loro caratteristiche come colture **C4** (ovvero che necessitano di maggiore richiesta di calore e luce).

Tra le colture **“moderatamente tolleranti all'ombra”** si possono invece collocare cereali come frumento, orzo, avena, segale e riso (colture C3), altri ortaggi da pieno campo come pomodori, cipolle, finocchi, piante leguminose,

Secondo una recente ricerca scientifica pubblicata nel dicembre 2025, che ha messo a confronto 12 tipologie principali di colture e parametri chiave come l'uso dell'acqua, l'adattabilità all'ombreggiamento, la resa/il potenziale economico delle colture e i requisiti di spazio, derivati da 117 articoli di ricerca e casi di studio provenienti da 25 paesi, viene ribadito il concetto che tutte i vari tentativi di classificazione dell'adattabilità delle colture all'ombreggiamento dei pannelli, sono molto semplificati e non tengono conto di parametri importanti che influenzano la crescita delle colture (tra cui la tolleranza all'ombra delle colture, il fabbisogno idrico, la redditività economica, il fabbisogno di spazio).

A titolo informativo si riporta la figura elaborata dal Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, che classifica le colture idonee secondo questa rappresentazione.

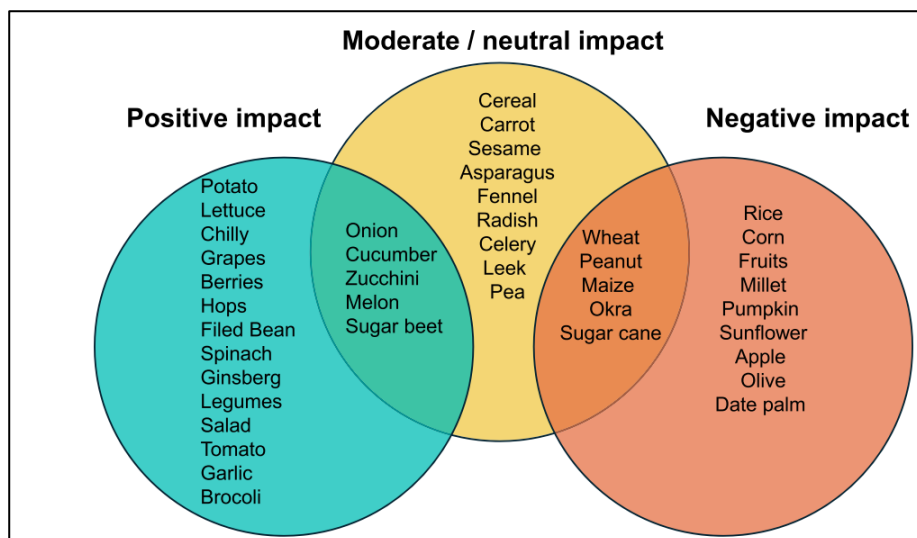


Figura 9. Adattabilità delle colture ai sistemi agrivoltaici (*Crop selection in Agri-PV: international review based strategic decision-making model Kedar Mehta, Wilfried Zorne –2025*)

Indicazioni per la scelta del piano colturale

Riprendendo i dati dell'uso del suolo di CMM esposti nei capitoli precedenti, si può quindi formulare una tabella orientativa e indicativa, che riepiloga le colture attualmente più diffuse presenti nei **fascicoli aziendali**, secondo l'appartenenza alla categoria delle norme UNI e in funzione della loro **"tollerabilità all'ombreggiamento"**.

La tabella è ordinata in base al parametro dell'estensione decrescente, partendo quindi dal Mais (coltura principale e dominante in termini di estensione coltivata), fino ai terreni vitati, che interessano una superficie di alcune centinaia di ettari.

Tabella 4. Elenco delle coltivazioni presenti e loro adattabilità all'ombreggiamento.

Coltura	Categoria	Sottocategoria	Tollente	Moderatamente Tollerante	Non tollerante
Mais	Annuali e pluriennali	B			x
Riso	Annuali e pluriennali	B		x	
Prati permanenti	Annuali e pluriennali	B	x		
Orticole	Annuali e pluriennali	B	x	x	
Frutteti	Permanenti	A	x		
Florovivaistiche	Permanenti	A	x	x	
Vigneti	Permanenti	A	x		

Le informazioni attribuite alle diverse colture della tabella vanno utilizzate con la dovuta cognizione di causa, correlandole al singolo e specifico contesto progettuale, tenendo conto che una variazione delle condizioni climatiche potrebbe, localmente e ipoteticamente, influenzare le rese in caso di siccità o in condizioni di precipitazioni sopra la media.

Nel primo caso alcune colture potrebbero chiaramente trarre vantaggio dall'ombra dei sistemi agrivoltaici, diversamente, con piogge e umidità elevate determinate altre coltivazioni potrebbero avere perdite oltre la soglia del 20-30% fissata dai parametri delle Linee guida nazionali.

Un altro elemento che va precisato, rispetto alla scelta delle colture “non tolleranti” è legato al progetto impiantistico e di gestione della luce che filtra i moduli previsti. La decisione di applicare una minore densità di pannelli fotovoltaici (insieme ad una regolazione del loro orientamento), oppure il ricorso a impianti agrivoltaici “mobili”, potrebbe ridurre le perdite nelle rese dei raccolti, in quanto la luce disponibile verrebbe aumentata nelle fasi più critiche della crescita.

Tra i diversi sistemi di montaggio e disposizione dei pannelli, ci sono soluzioni tecniche che permettono di continuare a coltivare la terra su almeno il 90% dell'area anche in presenza delle strutture di sostegno, come nel caso dell'agrivoltaico verticale. L'ombreggiamento qui cambia sostanzialmente, con valori anche relativamente molto bassi.

L'attenzione, in questo caso, deve spostarsi sul parametro di producibilità elettrica minima, in quanto si potrebbe verificare un calo al di sotto della soglia di legge (ovvero produttività elettrica di almeno il 60% rispetto a impianti fotovoltaici standard), fermo restando il rispetto di una buona od ottimale produzione agricola.

LE RISAIE

Ci sono fattori limitanti allo sviluppo degli impianti agrivoltaici che possono derivare più da elementi oggettivi e strutturali legati alle maglie fondiarie e ai sistemi irrigui, come nel caso delle risaie, rispetto ai parametri di tolleranza all'ombreggiamento.

Nelle zone poste a ovest e sud ovest di Milano sono concentrate il 90 % delle risaie di Città Metropolitana, molte delle quali all'interno delle aree a Parco. La produzione avviene in campi appositamente coltivabili grazie a sistemi di irrigazione e bonifica che risalgono ai secoli scorsi. Questi ambienti ospitano anche una ricca varietà di specie animali e vegetali, alcune delle quali raggiungono in quest'area densità rilevanti a scala nazionale grazie al ruolo ecologico di sosta durante la migrazione o di svernamento nel periodo invernale.

I livelli di tecnologia attuali rendono possibile installare impianti solari anche in zone soggette a sommersione, purché tutte le apparecchiature elettriche vengano installate al di sopra del livello di allagamento previsto. L'innalzamento delle apparecchiature determina inevitabilmente un considerevole aumento dei costi di installazione (già più elevati nell'agrivoltaico rispetto al fotovoltaico a terra), incidendo quindi negativamente sulla redditività del progetto. Tuttavia è da tenere presente che la coltivazione del riso dovendo rispettare debite distanze dagli agglomerati abitati, dai cimiteri, dai pozzi di captazione delle acque potabili, dagli impianti sportivi e da altri elementi territoriali, si presta meno alla libera distribuzione delle “tessere” dell'impianto agrivoltaico rispetto ad altri sistemi colturali.

L'eventuale proposta di cambio colturale, dal riso verso differenti coltivazioni, deve trovare motivazione e coerenza rispetto al principio enunciato già a partire dal REQUISITO B che indica: *Va rispettato il mantenimento dell'indirizzo produttivo o, eventualmente, il passaggio ad un nuovo indirizzo produttivo di valore economico più elevato.*

Diverso può essere il caso del **riso coltivato in asciutta** (ovvero con irrigazione turnata per aspersione, scorrimento o infiltrazione), al di fuori degli areali con i classici sistemi a sommersione continuata, dove le strutture e gli impianti potrebbero trovare una facilità di installazione al pari di altre coltivazioni. La pratica del riso in asciutta ha però dei risvolti sulla ricarica della falda, con la conseguente ridotta riattivazione dei fontanili a valle. Nella valutazione ambientale del passaggio a questo sistema di semina a file interrate, gli enti locali dovrebbero verificare i diversi risvolti, negativi e positivi che potrebbero rappresentare un'alterazione al delicato equilibrio dell'assetto idraulico di questi ambienti.

L'allevamento del bestiame

La duplice attitudine, per il mantenimento dell'uso agricolo ad indirizzo zootecnico e la produzione di energia da fonti rinnovabili mediante impianti agrivoltaici, è una pratica comune in diversi contesti europei (Francia, Germania, Austria etc) e recentemente anche in Italia, grazie alla loro più semplice configurazione impiantistica.

Con il requisito minimo di altezza pari a 130 cm, gli impianti agrivoltaici di tipo A e B sono in genere ottimizzati per massimizzare la resa energetica e attuando una gestione agricola più semplificata. Considerando che anche le pratiche connesse alla gestione degli allevamenti presentano la necessità di saltuarie lavorazioni, l'altezza minima del modulo fotovoltaico collocato parallelo al terreno (tilt 0°) dovrebbe essere almeno di 2 metri nel caso di attività zootecnica, tenendo conto che potrebbero rendersi necessari dei passaggi con macchinari per trinciare e/o tritare aree non utilizzate o pascolate dal bestiame.

Nel territorio di Città Metropolitana di Milano sono presenti circa **1.545** allevamenti, con una consistenza di bestiame così articolata (Tabella 5).

Tabella 5. Elenco degli allevamenti presenti e loro adattabilità

Tipo di allevamento	Categoria	Sottocategoria	N° allevamenti in CMM	N° di capi in CMM	Grado di adattabilità
Bovini da latte	Allevamento di animali	C	211	73.214	-
Bovini da carne	Allevamento di animali	C	333	59.273	+
Cavalli e altri equini	Allevamento di animali	C	329	1.775	-
Ovini e caprini	Allevamento di animali	C	219	8.293	++
Suini	Allevamento di animali	C	126	571.296	-
Avicoli misti	Allevamento di animali	C	124	254.956	-
Api	Allevamento di animali	C	158	10.771*	++
Altri allevamenti	Allevamento di animali	C	545	459	+
TOTALI			1545	969.266	

(Legenda – non adatto, + potenzialmente adattabile, ++ ben adattabile). * n° di arnie

Nel caso di indirizzo zootecnico, la relazione agronomica dovrà specificare la specie di animali utilizzati, la dotazione in ricoveri/stalle e il tipo di produzione. La tendenza degli ultimi decenni è stata quella di privilegiare l'allevamento in stalla rispetto alla stabulazione libera e al pascolo. L' allevamento legato all'azienda a è quello in cui gli animali sono tenuti in un ricovero fisso e sono alimentati direttamente e prevalentemente con i foraggi prodotti dall'azienda stessa.

L'allevamento pastorale è, invece, un tipo di allevamento dove gli animali sono tenuti in libertà a pascolare, presente nelle zone montane soprattutto per gli ovini e praticamente nullo nel territorio di indagine (salvo il fenomeno della pastorizia vagante invernale).

Tutte le soluzioni progettuali che prevedono animali al pascolo devono essere accompagnate da un Piano di Pascolo, in cui sia valutato il carico corretto, i tempi di pascolo e di riposo, la tipologia di animali utilizzati, gli standard di vegetazione, le condizioni del suolo e altri dettagli relativi alla gestione del bestiame.

Attraverso il monitoraggio intermedio, gli allevatori dovranno verificare la correttezza delle previsioni iniziali, adeguando o confermando le pratiche di turnazione, per ridurre o azzerare il rischio di erosione e sovraccarico o, viceversa, di sottoutilizzo e abbandono colturale.

Nel caso di allevamenti apistici, gli alveari devono essere iscritti nella “Banda Dati Apistica Regionale”, e delle specie nettariifere e pollinifere utilizzati, si deve fare riferimento all’Allegato IX “Elenco delle specie di interesse apistico” di cui all’articolo 21, comma 1 del Decreto MASAF 23 dicembre 2023” Disposizioni nazionali di applicazione del regolamento (UE) 2021/2115 del Parlamento europeo e del Consiglio del 2 dicembre 2021.

Le linee guida ministeriali definiscono il sistema agrivoltaico come un *“pattern spaziale tridimensionale”*, composto dall'impianto agrivoltaico, e segnatamente, dai moduli fotovoltaici e dallo spazio libero tra e sotto i moduli fotovoltaici, montati in assetti e strutture che assecondino la funzione agricola, o eventuale altre funzioni aggiuntive, spazio definito *“volume agrivoltaico”* o *“spazio poro”*.

Le strutture di sostegno dei pannelli, nella loro dislocazione e disposizione progettuale, compongono una o più **“tessere”**, ovvero l'insieme degli elementi che vengono così denominati per definire l'unità base o il modulo funzionale minimo di un impianto.

Per quanto riguarda le strutture e i sistemi costruttivi adottati, si possono identificare due tipologie:

- orizzontali (montati su sostegni, con o senza inseguitori);
- verticali.

Nei paragrafi seguenti sono riportate le descrizioni dei vari sistemi ad oggi proposti dalle aziende specializzate nella produzione di strutture e apparecchiature per l'agrivoltaico, tenendo presente che le soluzioni con pannelli *“verticali”*, sono applicazioni diffuse all'estero in quelle zone particolarmente ventose come nella vicinanza alle coste o laddove i moduli fotovoltaici fungono da barriere antivento per prevenire l'erosione eolica.

Sistemi agrivoltaici orizzontali

Le combinazioni e le configurazioni di impianti agrivoltaici con pannelli posizionati *“orizzontalmente”* al piano di campagna (inclinabili poi nelle diverse angolature possibili), rappresentano la categoria più diffusa e diversificata per una produzione combinata negli ambienti agricoli in pieno campo.

Una delle prime applicazioni agrivoltaiche sviluppate in Europa, è caratterizzata da file di **moduli a inclinazione fissa**, sorretti da pali portanti opportunamente distanziati tra loro. La distanza tra le file costituisce infatti un parametro progettuale fondamentale, in quanto determina il rapporto tra superfici ombreggiate e illuminate e deve essere definita in funzione della specie coltivata. Questa soluzione viene indicata dai produttori per colture estensive che occupano l'intera superficie agricola, come i cereali o le colture foraggere. A prima vista sembra identica alle strutture di supporto impiegate negli impianti fotovoltaici convenzionali a terra, con la differenza che l'altezza da terra permette il passaggio di mezzi o lo stazionamento di animali. Quest'ultima applicazione si è dimostrata particolarmente interessante per l'allevamento, grazie alla possibilità di offrire riparo temporaneo agli animali durante condizioni meteorologiche sfavorevoli.

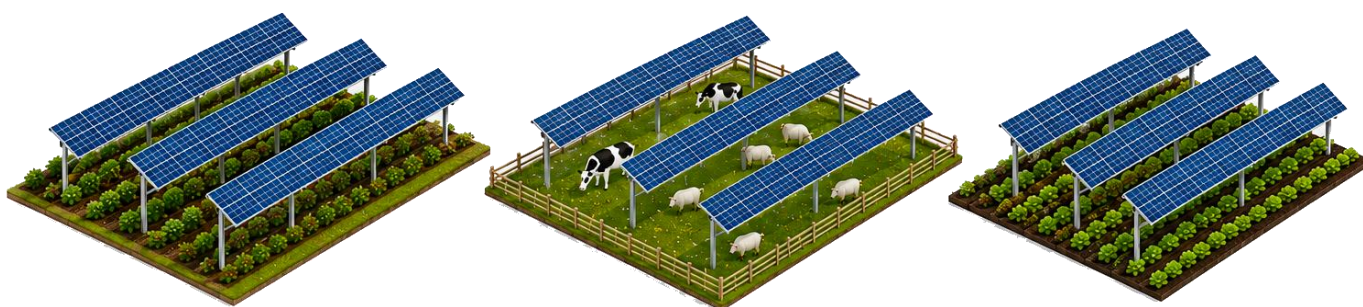


Figura 10. Esempificazione dei sistemi a inclinazione fissa. Elaborazione propria

Secondo la prassi UNI/PdR 148:2023, l'altezza libera di 1.3 m per attività zootecnica non è ritenuta sufficiente anche nel caso di attività zootecniche, in quanto la gestione del suolo necessita comunque di mezzi agricoli convenzionali, simili a quelli utilizzati per le altre colture agricole.

Sistemi agrivoltaici monoassiali

L'evoluzione di questa configurazione prevede una struttura sopraelevata equipaggiata con **sistemi di inseguimento solare monoassiale** che, rispetto alla soluzione precedente, vede ogni fila dotata di moduli abbinati ad un tracker che consente una regolazione dinamica dell'orientamento. Tale tecnologia offre maggiore flessibilità nella gestione della radiazione incidente sulle colture.

Questa tipologia, che è stata sviluppata principalmente per applicazioni vitivinicole nel sud della Francia, è attualmente oggetto di sperimentazione anche su colture estensive, come nel caso dei cereali (fumento e mais) o delle orticole a pieno campo.



Foto 1. Sistema agrivoltaico con inseguimento solare monoassiale. Fonte <https://www.remtec.energy/it>

Nella scelta di questa tipologia di impianto occorre tenere presente che il modello di software gestionale non è finalizzato esclusivamente alla massimizzazione della produzione energetica, ma modula l'orientamento dei moduli in funzione delle condizioni meteorologiche e delle esigenze agronomiche, ottimizzando la trasmissione luminosa e contribuendo alla protezione delle colture in presenza di fenomeni climatici estremi, quali grandinate o ondate di calore. Al cambiare della coltura praticata sotto i pannelli, occorre inserire nuovi parametri per aggiornare l'algoritmo di controllo, che deve processare le caratteristiche fisiologiche, il contesto climatico e geografico e tutte le altre variabili del modello di calcolo.

Nel sud della Francia, l'impiego di moduli fotovoltaici semitrasparenti con inseguimento solare è una soluzione applicata specificamente nel settore della frutticoltura, dove il rischio climatico espone i produttori sempre più frequentemente a ondata di calore, episodi di grandine e gelate primaverili. Le sperimentazioni in atto, con i pannelli collocati direttamente al di sopra delle colture arboree, stanno valutando i vari gradi di trasparenza, da calibrare in funzione delle esigenze fotosintetiche della specie coltivata. Sebbene questa tecnologia sia ancora in fase di sviluppo, questi impianti sperimentali rappresentano una delle possibili soluzioni per l'integrazione tra produzione agricola e generazione fotovoltaica nei frutteti.



Foto 2. Sistema agrivoltaico con inseguimento monoassiale in frutteto <https://sunagri.fr>

Sistemi agrivoltaici biassiali

L'evoluzione delle tecnologie e delle soluzioni di mercato sviluppate dei produttori, ha portato alla sempre maggiore diffusione di **inseguitori solari biassiali** disposti su due assi di rotazione (secondo l'asse Est-Ovest e Nord-Sud) perpendicolari tra loro, permettendo così un grado di movimento perfetto. Questi sistemi sono montati su reticoli e tensostrutture che riducono l'impatto dei materiali e del suolo occupato creando una copertura discontinua per una luce più uniforme.

Un inseguitore biassiale può portare a un incremento dell'energia raccolta anche fino al 35-40% in più di un pannello solare statico e di un 5-10% in più rispetto a un inseguitore solare monoassiale. L'inseguimento su due assi consente infatti di massimizzare la captazione della radiazione solare e quindi la produzione energetica.



Foto 3. Sistema agrivoltaico con inseguimento solare biassiale. Fonte <https://www.remtec.energy/it>

Tuttavia, l'ampia distanza tra le file di moduli, tipicamente compresa tra 8 e 12 metri, determina un basso grado di copertura, limitando quindi la capacità della struttura di fornire una protezione continuativa alle colture contro gli

eventi atmosferici avversi. Attualmente questa tipologia risulta quella in via di maggior diffusione in Italia, dove viene impiegata per coltivazioni in pieno campo.

Dal punto di vista economico e dell'investimento iniziale, va precisato che la complessità strutturale di questo sistema comporta costi di realizzazione significativamente superiori rispetto alle configurazioni più semplici.

Sistemi agrivoltaici verticali

La configurazione costituita da file di moduli fotovoltaici bifacciali, posizionati in verticale, e orientati lungo l'asse est-ovest ha la caratteristica di una impronta e copertura al suolo estremamente ridotta. Nonostante la limitata diffusione sul territorio nazionale (per via della difficoltà di produrre un livello minimo di energia elettrica in relazione alla superficie coltivata), queste applicazioni risultano ampiamente adottate in contesti internazionali caratterizzati da elevata ventosità, in particolare nelle aree costiere, dove le strutture fotovoltaiche verticali possono svolgere anche la funzione di barriera frangivento, contribuendo alla mitigazione dei fenomeni di erosione eolica.

Le sperimentazioni dovranno permettere di individuare configurazioni ottimali della spaziatura tra le file (che può variare da 8 a 15 metri), sfruttando il fatto di una distribuzione più uniforme della produzione elettrica durante l'arco della giornata rispetto ai sistemi convenzionali con moduli inclinati, con possibili benefici economici derivanti dalla riduzione delle esigenze di accumulo energetico.

Da un punto di vista prettamente agricolo, il **sistema verticale bifacciale** si integra facilmente nei seminativi, garantendo ampi spazi per il passaggio delle macchine agricole. La protezione solare moderata favorisce la crescita di cereali, prati ed erbai, riducendo l'evaporazione e il calore eccessivo senza compromettere la produttività. Inoltre, la disposizione verticale dei pannelli non ostacola le precipitazioni, che raggiungono il suolo in modo naturale.



Foto 4. Sistema agrivoltaico con pannelli verticali bifacciali. Fonte <https://next2sun.com/>

L'esistenza di configurazioni diverse evidenzia come non esista una soluzione unica per l'agrivoltaico ma, al contrario, esistono modelli "su misura", costruiti sulla base delle diverse caratteristiche ed esigenze di aziende e territori. Ogni modello porta con sé vantaggi e compromessi. Il modello verticale riduce l'ombra sul terreno e l'impatto visivo perché assimilabile ad altre strutture simili presenti nei contesti rurali, come filari e recinzioni, mentre i sistemi orizzontali possono contribuire alla protezione delle colture in determinati contesti e periodi dell'anno.

Ancoraggi e fondazioni

Un impianto agrivoltaico, a prescindere dal sistema di disposizione dei pannelli, della distanza sulle file e delle altezze da terra, necessita di una modalità di ancoraggio che deve garantire la stabilità dell'intera intelaiatura. Il concetto e la prassi di utilizzare fondazioni in calcestruzzo o di pesanti zavorre, come nei vecchi impianti a terra, è da escludere al fine di non consumare e precludere l'uso del suolo agricolo sia nel breve che nel lungo periodo. I vari produttori hanno ideato tecnologie alternative, basate su fondazioni a vite o con fittoni incrociati e inclinati che simulano la ramificazione delle radici degli alberi. I vari brevetti esistenti sfruttano la resistenza generata dalla contrapposizione di più inserti che, conficcandosi obliquamente nel terreno, lo ancorano saldamente al suolo.

Il vantaggio di questa soluzione sta anche nelle operazioni di montaggio e smontaggio, dove non si deve ricorrere all'impiego di macchine operatrici pesanti (ruspe, betoniere, muletti etc), ma adoperando utensili elettrici o a motore (alimentati anche da generatori in caso di luoghi distanti dai centri aziendali).

Resta inalterata la necessità di fornire, da parte degli installatori al momento della costruzione dell'impianto, la certificazione del rispetto dei requisiti di sicurezza relativa all'ancoraggio e alla tenuta del sistema.

Parametri di producibilità elettrica

La densità di potenza installata negli impianti agrivoltaici risulta generalmente inferiore rispetto a quella degli impianti fotovoltaici tradizionali a terra, a causa della necessità di garantire spazi adeguati alle attività agricole. I valori tipici oscillano tra **0,2 e 0,9 MWp** per ettaro, mentre negli impianti fotovoltaici convenzionali possono raggiungere circa 1,5 MWp per ettaro.

Nonostante la minore densità di moduli, la producibilità specifica per chilowatt di potenza installata può risultare superiore grazie a condizioni operative più favorevoli. La maggiore ventilazione, la riduzione dell'effetto isola di calore e l'azione raffrescante associata all'evapotraspirazione delle colture contribuiscono infatti a diminuire la temperatura delle celle fotovoltaiche, incrementandone l'efficienza di conversione energetica. In alcune condizioni operative si possono osservare riduzioni termiche fino a circa 10 °C rispetto a configurazioni convenzionali.

L'impiego di sistemi di inseguimento monoassiale e biassiale può incrementare la produzione energetica rispettivamente del 12–25% e del 30–45% rispetto ai sistemi a inclinazione fissa.

Tuttavia, tali benefici devono essere bilanciati con l'esigenza di garantire adeguate condizioni luminose per le colture.

A tal fine, come già riportato in precedenza, esistono dei software e dei modelli di calcolo che modulano l'orientamento dei pannelli durante le fasi più sensibili dello sviluppo vegetativo, riducendo parzialmente la producibilità elettrica ma migliorando le condizioni agronomiche complessive.

Il **Requisito B** delle Linee guida ministeriali stabilisce che la produzione elettrica specifica di un impianto agrivoltaico (in GWh/ha/anno), paragonata alla producibilità elettrica specifica di riferimento di un impianto fotovoltaico standard (in GWh/ha/anno), **non deve essere inferiore al 60 % di quest'ultima**.

VERIFICHE IN FASE DI ESERCIZIO MEDIANTE IL MONITORAGGIO

Il monitoraggio costituisce uno strumento fondamentale per verificare il mantenimento delle prestazioni agricole ed energetiche previste in fase progettuale. La normativa attuale prevede che la continuità dell'attività agricola sia valutata mediante il confronto tra il valore della produzione agricola ottenuta nell'area interessata dall'impianto e quello registrato negli anni precedenti a parità di indirizzo produttivo.

L'eventuale modifica dell'orientamento colturale è ammessa purché conduca a produzioni caratterizzate da un valore economico equivalente o superiore. Dopo cinque anni dall'entrata in esercizio dell'impianto, qualora venga accertata una riduzione della produttività agricola al di sotto delle soglie stabilite, il soggetto gestore è tenuto a predisporre un piano pluriennale finalizzato al recupero delle condizioni produttive originarie.

Sulla base di queste indicazioni formali tracciate dalla normativa, vengono di seguito prese in esame le diverse componenti che concorrono all'impostazione di una procedura di monitoraggio che possa fungere da riferimento.

Come già più volte riportato nel testo, le conoscenze e le esperienze di coltivazione sotto l'ombreggiamento dei pannelli fotovoltaici non sono ad oggi disponibili. Le ricerche e le indagini nelle regioni italiane sono attualmente in corso e i vari dati già pubblicati sono riferiti a paesi esteri, le cui condizioni specifiche non sono sempre equiparabili a priori.

Questo fatto si ripercuote, ancor più significativamente, sul monitoraggio che dovrà essere svolto nell'intera vita produttiva degli impianti agrivoltaici, tale da rendere necessario un costante adeguamento e aggiornamento normativo sui requisiti e sulle procedure di verifica tecnica. Nell'area di riferimento si segnala l'impianto sperimentale del Parco Agrivoltaico AGRIPV LAB dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, esteso su circa 8mila metri quadrati all'interno dei quali si sta monitorando l'interazione tra l'alterazione del microclima e la riduzione della fotosintesi a causa dell'ombreggiamento su diversi tipi di colture tra cui: patata, frumento, orzo, triticale, loiessa, erba medica, mais, sorgo, soia, pomodoro e basilico.

I vari parametri oggetto di monitoraggio

Fra i parametri da tenere sotto controllo ci sono quelli ambientali come temperatura dell'ambiente, radiazione solare, umidità relativa al di fuori dei pannelli e parametri del suolo oltre a parametri irrigui e agronomici come il vigore vegetativo, la temperatura fogliare e la produzione agricola, anche in termini qualitativi.

Dopo la progettazione e l'implementazione di un sistema agrovoltaico, è fondamentale monitorare i diversi parametri che possono influenzarne le prestazioni complessive.

L'importanza di effettuare misurazioni sul campo all'interno dei sistemi agrovoltaici è giustificata dall'attuale necessità di migliorare la comprensione delle sinergie e dei compromessi tra agricoltura e produzione di energia fotovoltaica. Inoltre, un sistema di monitoraggio appropriato può fornire informazioni preziose per convalidare i diversi modelli di simulazione che vengono sviluppati specificamente per valutare le prestazioni di questi sistemi.

Monitoraggio del risparmio idrico (requisito D.1)

Al fine di valutare gli effetti del sistema agrovoltaico sull'utilizzo della risorsa idrica, deve essere prevista l'installazione di stazioni agrometeorologiche dedicate alla rilevazione dei principali parametri climatici e microclimatici. Le stazioni vanno posizionate in aree campione rappresentative, sia all'interno delle superfici interessate dalla presenza dei moduli fotovoltaici sia in aree esterne utilizzate come riferimento.

Nel caso delle colture condotte in regime asciutto, l'analisi deve concentrarsi principalmente sull'efficienza di utilizzo delle precipitazioni naturali. In tali situazioni, l'effetto di ombreggiamento generato dai moduli fotovoltaici può contribuire alla riduzione dell'evapotraspirazione e al miglioramento della conservazione dell'umidità del suolo, determinando un incremento dell'efficienza d'uso dell'acqua piovana.

I dati acquisiti durante le varie annate agrarie consentiranno la determinazione dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0), espressa in mm/giorno, e la valutazione delle eventuali differenze tra le condizioni microclimatiche presenti sotto i moduli e quelle riscontrabili nelle aree non interessate dall'impianto. L'analisi comparativa dei valori di ET_0 permetterà quindi di quantificare il potenziale risparmio idrico associato al sistema agrivoltaico, espresso in termini di volume d'acqua risparmiato (m^3 /anno) sulla superficie interessata rispetto ad analoghe superfici coltivate in condizioni ordinarie. Queste evidenze dovranno essere ben esemplificate e riportate nella relazione agronomica periodica, accostando tabelle in cui i valori siano di immediata e lineare correlazione.

Il conseguimento di un risparmio idrico dovrà inoltre essere via via adattato negli anni, adeguando (se del caso) le scelte agronomiche previste nell'ambito dell'avvicendamento colturale adottato, privilegiando specie e ordinamenti culturali gestibili prevalentemente in regime asciutto.

Per le colture che richiedono apporti irrigui, dovrà essere attivato uno specifico sistema di monitoraggio dei consumi idrici basato sulla registrazione sistematica e automatica degli interventi di irrigazione, mediante gestionale aziendale informatizzato. La quantificazione dei volumi distribuiti sarà effettuata sulla base delle caratteristiche idrauliche delle apparecchiature utilizzate, considerando la portata nominale delle pompe e i relativi tempi di funzionamento. Tale metodologia dovrà consentire di determinare con adeguato livello di accuratezza il volume d'acqua impiegato per ciascun intervento irriguo e di elaborare indicatori periodici relativi all'efficienza d'uso della risorsa idrica

Solamente nel caso di aziende agricole che adottano colture non irrigue, ovvero nelle quali non siano presenti apporti idrici artificiali, il monitoraggio dei consumi irrigui può essere considerato non applicabile. Visto l'investimento tecnologico in atto si ritiene comunque opportuno prescrivere che venga impostata, in questi casi, un'analisi dell'efficienza d'uso dell'acqua piovana, il cui indice dovrebbe evidenziare un miglioramento conseguente la diminuzione dell'evapotraspirazione dovuta all'ombreggiamento causato dai sistemi agrivoltaici.

Monitoraggio della continuità dell'attività agricola (requisito D.2)

Le Linee Guida ministeriali riportano testualmente che è necessario accertare la continuità dell'attività agricola e che *“tale condizione si verifica laddove l'area oggetto di intervento è adibita, per tutta la vita tecnica dell'impianto agrivoltaico, alle coltivazioni agricole, alla floricoltura o al pascolo di bestiame, in una percentuale che la renda significativa rispetto al concetto di “continuità” dell'attività se confrontata con quella precedente all'installazione”*. In assenza di attività agricola, al momento dell'installazione degli impianti, la verifica si basa sulla comparazione locale prendendo in esame *“terreni non precedentemente utilizzati facendo riferimento a parametri medi della zona geografica di appartenenza”*.

Come stabilito dalle predette Linee guida, i controlli di verifica della continuità dell'attività agricola e pastorale sui terreni oggetto dell'intervento si attuano mediante la predisposizione di una **relazione agronomica asseverata**, redatta da un professionista in possesso dei requisiti professionali e iscritto a un ordine professionale del settore agrario ovvero ad altri albi professionali aventi competenze in materia agronomica o da un centro di assistenza agricola (CAA).

La relazione dovrà contenere, come elemento minimale, la verifica del rispetto di due parametri fondamentali:

1. l'esistenza e la resa della coltivazione;
2. il mantenimento dell'indirizzo produttivo.

In sintesi, il tecnico asseveratore deve dimostrare la continuità valutata tramite il valore della produzione agricola prevista sull'area destinata al sistema agrivoltaico espressa in €/ha o €/UBA (Unità di Bestiame Adulto), confrontandolo con il valore medio della produzione agricola registrata sull'area destinata al sistema agrivoltaico negli anni solari antecedenti, a parità di indirizzo produttivo. Il principio che permette di autorizzare un impianto agrivoltaico sta nell'obbligo di “conservare almeno l'80% della produzione lorda vendibile”, come recentemente ratificato anche dalla Lr 21 maggio 2026 n° 10 “Determinazione delle aree idonee alla realizzazione di impianti da fonti rinnovabili ai sensi del d.lgs 190/2024. Modifiche alla l.r. 26/2003. I controlli che dovranno essere fatti dopo i primi tre anni dall'installazione (e successivamente con cadenza triennale) si baseranno sulla lettura dei dati annuali rilevati in campo e registrati dall'azienda aggiornando quaderni di campagna e Fascicolo aziendale. Appare quindi evidente la necessità

che le aziende agricole rafforzino e implementino software e sistemi di gestione tecnico contabile che siano integrabili e validabili durante le procedure di controllo.

Le Linee guida ministeriali suggeriscono di valutare i risultati tecnici ed economici delle rese della coltivazione e del mantenimento dell'indirizzo produttivo da parte dell'azienda agricola che realizza sistemi agrivoltaici, attraverso una rilevazione, preferibilmente con metodologia **RICA**.

BOX. Monitoraggio con l'indagine RICA

La RICA (Rete di Informazione Contabile Agricola) è una indagine campionaria annuale (su base volontaria) istituita dalla Commissione Economica Europea nel 1965, con il Regolamento CEE 79/56, aggiornata con il Reg. CE 1217/2009 e s.m.i. con il fine di costituire una base informativa di fondamentale importanza per il mondo della ricerca e per le istituzioni coinvolte nelle analisi riguardanti il settore agricolo.

I dati dell'ultimo rapporto disponibile (anno 2023 su dati del 2021) indicano che, a livello italiano, le aziende rappresentate dal campione RICA sono pari a 566.338, (circa il **49% delle aziende agricole italiane**). Per quanto concerne la SAU, la RICA copre più dell'89%, per un totale di 11.239.908 ha. Dal punto di vista della performance economica, le aziende del campione RICA 2020 e 2021 rappresentano quindi il **96,3% dello Standard Output o Produzione Standard totale nazionale**, pari a circa 49 milioni di euro.

Gli agricoltori che partecipano all'indagine RICA possono consultare i risultati della propria azienda attraverso il Cruscotto aziendale, **confrontando i dati di un anno con quelli degli anni precedenti**, oppure con quelli di aziende simili. Gli indicatori tecnici ed economici derivanti dal bilancio possono essere utilizzati per la costruzione di strumenti di benchmark, ovvero dei parametri di confronto che permettono ad un'azienda di valutare le proprie performance rispetto a dei riferimenti esterni. Concretamente, si tratta di confrontare i propri indicatori con quelli di un panel di aziende simili: stesso settore, dimensioni equivalenti, operanti in un'area geografica comparabile, o soggette alle stesse esigenze normative

Tra le informazioni fondamentali raccolte dalla RICA figurano infatti i ricavi e i costi aziendali, che danno conto dei corrispettivi ottenuti dalla vendita della produzione e degli oneri sostenuti per l'acquisto dei fattori produttivi utili allo svolgimento dell'attività agricola.

Il campione RICA 2021 per la Lombardia è formato da 680 aziende e si caratterizza per una notevole numerosità di imprese con classe di DE medio-alta. Nei quattro anni presi in esame le aziende con PS superiore a 50.000 euro rappresentano, in media, dal 61 al 65 % del totale del campione rilevato.

Esaminando la composizione dei ricavi aziendali per le aziende del campione RICA regionale, si evince che in Lombardia nel 2021, rispetto al triennio precedente, è aumentato del 45,5% il valore medio dei Ricavi Totali, così come in crescita sono stati la Produzione Lorda Vendibile (PLV), il Valore Aggiunto (VA) e il Reddito Netto (RN)

Esaminando l'incidenza percentuale del RN sul RT, il settore più performante tra gli allevamenti si conferma quello dei bovini da latte (46%) mentre i granivori si attestano al 44%. (CREA Le aziende agricole in Italia: risultati economici e produttivi, caratteristiche strutturali, aspetti sociali ed ambientali, Rapporto RICA 2023)

Negli elaborati da predisporre per la fase autorizzativa, dovrà essere allegato (oppure essere inserito nella Relazione agronomica) un **piano colturale aziendale** che descriva in dettaglio come verrà utilizzato il terreno nei tre anni successivi alla costruzione dell'impianto agrivoltaico. I dati utili al riscontro delle stime produttive devono essere raccolti annualmente, affinché siano comparabili e commentabili al terzo anno di entrata a regime dell'impianto, allorquando verrà fatta la prima valutazione dell'impatto della riduzione fotovoltaica sulle colture e sulla produttività.

Monitoraggio del recupero della fertilità del suolo (requisito E.1)

Attraverso l'impegno al recupero della fertilità del suolo, l'Azienda dovrebbe impegnarsi sul fronte del recupero di terreni e di superfici precedentemente abbandonate o non utilizzate...andando così ad incrementare la redditività aziendale derivante dall'integrazione tra produzione agricola e produzione energetica. Nel territorio della Città Metropolitana questo scenario è di fatto riscontrabile solo in quelle situazioni di terreni marginali o frammentati a seguito dell'urbanizzazione, diversamente da altri contesti nazionali dove l'abbandono è più marcato in contesti di marginalità o ridotta accessibilità per cause morfologiche (terreni collinari, scarsamente serviti da viabilità di accesso etc..)

Le Linee guida, in questo caso, parlano proprio dell'importanza del monitoraggio nei casi in cui venga ripresa l'attività agricola su terreni che non risultavano coltivati negli ultimi cinque anni, al fine di valutare l'effettiva capacità dell'agrivoltaico di contribuire al recupero produttivo del territorio rurale.

L'applicazione più coerente, nel territorio in esame, appare quella prevista dalla Prassi UNI/PdR 148:2023, ovvero il ricorso a sistemi che consentano la verifica dello stato di fertilità del suolo in relazione alla tipologia colturale adottata, all'indirizzo produttivo aziendale e alle caratteristiche dell'impianto installato.

La valutazione della fertilità del suolo rappresenta un parametro fondamentale per comprendere gli effetti dell'ambiente agrivoltaico sulle dinamiche fisiche, chimiche e biologiche del terreno. A tal fine, la norma evidenzia l'opportunità di disporre di un'area di riferimento coltivata in pieno campo, gestita secondo le medesime pratiche agronomiche applicate nell'area agrivoltaica. Tale approccio consente di effettuare confronti oggettivi tra le condizioni operative tradizionali e quelle influenzate dalla presenza dei moduli fotovoltaici, permettendo di determinare in modo accurato eventuali variazioni della fertilità del suolo attribuibili al sistema agrivoltaico.

L'area di riferimento assume inoltre un ruolo strategico per il monitoraggio dell'intero ciclo colturale, consentendo la raccolta di dati comparabili relativi allo sviluppo vegetativo delle colture, alle condizioni pedologiche e alle rese produttive ottenute. Il confronto tra i risultati rilevati nell'area agrivoltaica e quelli osservati in pieno campo permette di valutare l'efficacia dell'integrazione tra attività agricola e produzione energetica, verificando il mantenimento o il miglioramento della capacità produttiva del terreno e contribuendo alla definizione di modelli gestionali sostenibili nel lungo periodo.

A livello pratico possono essere prescritte le analisi dei terreni che vadano ad accertare i parametri necessari al fine di poter comprendere la dinamica di evoluzione del suolo, indagando ad esempio la quantità e la tipologia di sostanza organica e calcolando l'Indice di fertilità biologica (IBF)

Nel ciclo di vita dell'impianto agrivoltaico è bene che vengano previste almeno tre analisi da effettuarsi in epoche differenti.

1. Con la prima analisi, prima della messa in opera dell'impianto, devono essere analizzate separatamente le porzioni suolo (2-25) e sotto-suolo (25- 50). Essa comprende l'analisi degli elementi di riserva e facilmente disponibili, completa dei parametri fisici, deve essere effettuata prima della lavorazione del terreno.
2. Alla metà del ciclo di vita dell'impianto (ovvero alla terza presentazione della Relazione triennale di monitoraggio), dall'entrata in produzione dell'impianto è opportuno effettuare la cosiddetta "analisi di controllo periodico" che riguarda i parametri più soggetti a variare nel tempo a seguito della gestione agronomica, vale a dire: pH, sostanza organica e dotazione di macro elementi P-K-Mg (elementi di riserva).
3. Alla fine del ciclo di vita dell'impianto, dopo lo smontaggio e la rimozione delle strutture di sostegno, è opportuno ripetere l'analisi completa iniziale, così da poter comparare le variazioni intercorse.

In particolare tra le verifiche finali dovrà essere aggiunta la prova analitica dell'eventuale compattamento del suolo, che potrebbe essere stata causata da carichi eccessivi, macchinari o pratiche agricole scorrette. Un terreno si considera compatto quando la sua porosità è inferiore al 10 e in laboratorio il campione di terreno viene studiato per capirne la densità e la riduzione dei pori nel terreno.

Monitoraggio del microclima” (requisito E.2)

Come riportato nel capitolo “Adattabilità delle coltivazioni del territorio” l’installazione di strutture agrivoltaiche va a modificare il bilancio energetico e idrico locale, influenzando i parametri ambientali che regolano la crescita delle piante. L’intercettazione della radiazione solare e delle precipitazioni atmosferiche da parte dei moduli fotovoltaici, nonché la modifica dei regimi di ventilazione e della circolazione dell’aria a livello del suolo e della chioma vegetale, si manifestano con variazioni del microclima locale, che possono avere possibili ripercussioni sui processi fisiologici delle colture.

Analogamente al monitoraggio di altri parametri è opportuno implementare un sistema di monitoraggio ambientale finalizzato alla caratterizzazione delle condizioni microclimatiche sia all’interno dell’area agrivoltaica sia in una zona di riferimento esterna non influenzata dalla presenza dei moduli fotovoltaici.

Il monitoraggio può essere effettuato mediante una rete di sensori dedicati alla misura dei principali parametri ambientali, tra cui temperatura dell’aria, umidità relativa, velocità del vento e radiazione solare. Questi valori dovrebbero essere poi inseriti nel modello informativo prescelto, al fine di fare previsioni e simulazioni per le fasi fenologiche successive.

Le Linee guida ministeriale, per questo sistema di monitoraggio, prevedono la rilevazione dei seguenti parametri:

- temperatura dell’aria ambiente, acquisita con frequenza di un minuto e registrata ogni 15 minuti mediante sensori ad elevata precisione, preferibilmente di tipo PT100, con incertezza di misura inferiore a $\pm 0,5$ °C;
- temperatura del retro-modulo fotovoltaico, acquisita con la medesima frequenza temporale e mediante sensori con analoghe caratteristiche metrologiche;
- umidità relativa dell’aria nelle aree sottostanti i moduli e nelle aree di riferimento esterne, rilevata tramite igrometri o psicrometri con acquisizione ogni minuto e registrazione ogni 15 minuti;
- velocità dell’aria nelle medesime postazioni di monitoraggio, misurata mediante anemometri opportunamente calibrati.

Vista la necessità di implementare studi, ricerche, dati e modelli, si ritiene utile rilevare anche il valore della radiazione solare incidente, installando sensori radiometrici sia nell’area agrivoltaica sia nell’area di controllo.

I dati raccolti consentono di valutare gli effetti dell’impianto sulle condizioni microclimatiche locali e di verificare la compatibilità tra la produzione energetica e l’attività agricola. I risultati delle attività di monitoraggio devono essere sintetizzati, analizzati e riportati nella relazione tecnica periodica con cadenza triennale.

Monitoraggio della resilienza ai cambiamenti climatici” (requisito E.3)

L’ultimo requisito da monitorare è relativo alla “resilienza ai cambiamenti climatici”, che va letto nel duplice risvolto, sia negli effetti che le strutture possono arrecare al territorio, sia rispetto alle modifiche climatiche che possono avere effetto sulle specifiche coltivazioni aziendali.

Le principali dinamiche di cambiamento climatico che possono interessare i siti di intervento sono riconducibili all’aumento delle temperature medie annuali, alla modifica dei regimi pluviometrici e all’incremento della frequenza e dell’intensità degli eventi meteorologici estremi. Tali fenomeni esercitano un’influenza diretta sui processi produttivi agricoli, incidendo sulle performance agronomiche e sulla stabilità delle rese colturali.

Da un punto di vista “impiantistico”, l’attività di monitoraggio può essere finalizzata alla verifica post-operam dell’efficacia delle misure di adattamento climatico implementate nell’ambito del progetto. Tale verifica sarà effettuata mediante acquisizione e analisi di documentazione tecnica e fotografica relativa sia alle fasi realizzative sia alla configurazione finale dell’intervento, consentendo il confronto con le condizioni ante-operam e la valutazione delle variazioni indotte dall’opera.

Dal punto di vista “agronomico”, il monitoraggio climatico potrebbe permettere di quantificare i benefici o gli impatti derivanti dalla presenza delle strutture agrivoltaiche, evidenziando se le proposte di mitigazione degli effetti degli stress

idrici e termici sulle colture inserite negli elaborati iniziali di progetto siano state opportunamente calibrate e ponderate.

In linea teorica l'ombreggiamento parziale generato dai moduli fotovoltaici dovrebbe contribuire alla riduzione dei flussi evapotraspirativi e delle temperature superficiali del suolo, determinando una diminuzione del fabbisogno irriguo delle colture e un miglioramento della capacità di adattamento dei sistemi agricoli agli effetti dei cambiamenti climatici.

Altri fattori che vengono posti in evidenza nelle documentazioni di progetto riguardano i potenziali benefici associati all'implementazione di opere di regimazione idraulica, quali sistemi di drenaggio e bacini di accumulo delle acque meteoriche. Il compito del tecnico valutatore sarà quello di accertare se gli interventi realizzati per incrementare la capacità di gestione delle portate di ruscellamento superficiale e ridurre la vulnerabilità del sito rispetto a fenomeni di allagamento e dissesto idraulico conseguenti a eventi pluviometrici eccezionali sono stati correttamente progettati e se hanno determinato una ricaduta positiva in termini di resilienza del territorio ai cambiamenti climatici.

Ulteriori elementi utili da sottoporre a monitoraggio

Nei sistemi agrivoltaici, le attività agricole svolte durante l'intero ciclo colturale possono favorire l'accumulo di particolato e contaminanti sulla superficie dei moduli fotovoltaici, determinando fenomeni di imbrattamento (soiling), che incidono negativamente sulle prestazioni energetiche dell'impianto. Le principali fonti di deposito sono riconducibili alle lavorazioni del terreno, alle operazioni di semina, concimazione, trattamenti fitosanitari, raccolta e alle specifiche fasi fenologiche delle colture, quali la fioritura, durante la quale può verificarsi un significativo rilascio di polline nell'atmosfera.

Ulteriori fattori di contaminazione possono derivare dalla presenza della fauna locale, in particolare attraverso depositi organici prodotti da avifauna e insetti, nonché dalla dispersione di prodotti utilizzati nella gestione agronomica delle colture. L'entità del fenomeno può variare significativamente da un impianto all'altro e può essere influenzato dalle caratteristiche ambientali del sito, dalle condizioni microclimatiche, dalla tipologia colturale, dalle modalità di gestione agricola e dalla configurazione dell'impianto fotovoltaico.

Occorre quindi monitorare annualmente questi fattori, in quanto l'accumulo di polveri e contaminanti determina una riduzione della trasmittanza ottica dei moduli e, conseguentemente, una diminuzione della produzione energetica. Gli studi ad oggi disponibili, indicano che le perdite di rendimento possono raggiungere valori dell'ordine del 10% in condizioni ordinarie e superare il 30% nei casi di imbrattamento localizzato particolarmente severo, con potenziali ripercussioni sulla redditività economica dell'impianto. Per mitigare tali effetti è opportuno adottare strategie gestionali integrate che comprendano l'ottimizzazione delle operazioni agricole, la riduzione del numero di passaggi meccanici, la pianificazione coordinata degli interventi colturali e l'adeguata inclinazione dei moduli fotovoltaici, al fine di favorire la rimozione naturale dei depositi per effetto della gravità e degli eventi meteorici.

La programmazione delle operazioni di pulizia dovrebbe inoltre essere correlata alle fasi fenologiche delle colture e ai periodi di maggiore accumulo di polveri o polline, così da massimizzare l'efficacia degli interventi e ridurre la frequenza.

Tempi del monitoraggio

Dopo aver esaminato i contenuti specifici dei vari Requisiti da rispettare e attuare per poter mantenere in produzione un impianto agrivoltaico, si ritiene utile riepilogare i documenti e gli adempimenti obbligatori.

L'aggiornamento del fascicolo aziendale e della documentazione agronomica (compresi i rilievi e i dati dei sensori), deve essere effettuato con **cadenza annuale**, garantendo la disponibilità di informazioni costantemente aggiornate relative alla gestione aziendale, agli ordinamenti colturali e alle caratteristiche produttive dell'azienda agricola.

Un'analisi di maggiore dettaglio viene effettuata al **terzo anno** successivo alla piena operatività dell'impianto, mediante una valutazione specifica degli effetti dell'intervento sulle colture e sulle performance produttive aziendali. Tale verifica è finalizzata a quantificare l'impatto dell'integrazione agrivoltaica sui risultati agronomici ed economici dell'azienda, attraverso il confronto tra i dati rilevati in sito e opportuni valori di riferimento.

Tabella 6. Prospetto riassuntivo delle fasi dei monitoraggi.

Attività / Adempimento	Tempistiche				
	Ogni anno	Ogni tre anni	Avvio impianto	Metà esercizio	Dismissione impianto
Aggiornamento Fascicolo aziendale	X				
Verifica continuità agricola	X				
Verifica producibilità elettrica	X				
Raccolta dati risparmio idrico	X				
Verifica del recupero della fertilità del suolo			X	X	X
Verifica a livello di microclima		X			
Verifica della resilienza ai cambiamenti climatici			X	X	X
Verifica mantenimento indirizzo produttivo e PLV		X			

Per impostare un corretto monitoraggio, è necessario che i dati vengano acquisiti annualmente, anche laddove la normativa non specifichi dei parametri precisi.

Avere a disposizione, sull'intero ciclo di produzione (agricola ed elettrica), dati fisici ed economici, consentirà di valutare sia gli aspetti produttivi sia quelli economico-finanziari, fornendo un quadro complessivo delle dinamiche aziendali nel corso dell'investimento.

Le nuove tecnologie e sistemi di controllo potrebbero inoltre essere sviluppati specificamente per i progetti agrivoltaici, automatizzando la raccolta e il salvataggio delle informazioni che dovranno essere analizzati e valutati dal personale tecnico nella predisposizione delle relazioni di asseverazione triennale, limitando così il costo per la gestione e il monitoraggio di campo.