



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

Geolocalizzazione impianti fotovoltaici a terra su suolo agricolo: Software e dati Open Source

Geolocation of ground-mounted photovoltaic systems on agricultural
land: Open-source software and data

TIPO TESI: (Sperimentale)

Studente:
EROS MATTUTINI

Relatore:
PROF./DOTT. MARCHEGGIANI
ERNESTO

Correlatore:
DOTT. MD ABDUL MUEED
CHOUDHURY

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

Dedico questo traguardo alle mie bambine,
per il tempo prezioso che ho sottratto loro, a mia moglie,
per i sacrifici condivisi, il costante sostegno
e la forza che mi ha trasmesso
nel completare questo percorso.
Ringrazio profondamente la mia famiglia per avermi sostenuto,
permettendomi di dedicarmi allo studio con serenità.

INDICE

1 INTRODUZIONE	4
1.1 Obiettivo tesi	6
1.2 Transizione energetica: futuro agrisolare e agrivoltaico	8
2 MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA	12
2.1 Progetto Next Generation UE	12
2.1.1 PNRR: Quadro politico-amministrativo	14
2.1.2 Il PNRR come risposta e contrasto alla crisi climatica	16
2.1.3 Misure incentivanti per il comparto "Parco Agrisolare" e l'Agrivoltaico	18
2.1.4 Obiettivi di decarbonizzazione e installazione di energia rinnovabile	21
2.2 L'importanza della geolocalizzazione e del monitoraggio degli impianti	25
3 MATERIALI E METODI	28
3.1 Missione Copernicus	28
3.1.1 La costellazione satellitare Sentinel-2	33
3.1.2 Copernicus Browser e calcolo delle bande RGB	36
3.2. I Sistemi Informativi Geografici: l'ambiente QGIS	40
3.2.1 I servizi di base cartografica e geoportali (WMS/Basemaps)	42
3.3 GSE fonti ufficiali e fonti volontarie	44
3.4 Caso di studio: la regione Marche	46
3.4.1 Strategia di campionamento e identificazione degli impianti fotovoltaici	49
3.4.2 Censimento automatico preliminare tramite dataset "Solar" (QuickMapServices)	50
3.4.3 Analisi degli indici spettrali e identificazione delle anomalie radiometriche (ombre scure)	57
3.4.4 Integrazione dei dati tramite connessione Sentinel Hub in ambiente QGIS	61
3.4.5 Validazione della Localizzazione attraverso dati aggiornati Google Earth	68
4 RISULTATI	74
4.1 Verifica Dati ottenuti attraverso riscontro visivo "in loco"	74
4.2 Analisi statistica e quantificazione da dati personali QGIS	77
5 DISCUSSIONE E CRITICITA'	88
6 CONCLUSIONE	93
BIBLIOGRAFIA	95

1 INTRODUZIONE

Nel contesto europeo contemporaneo, le politiche energetiche mirano alla progressiva riduzione della dipendenza dalle fonti fossili e al contestuale incremento della produzione da fonti rinnovabili. In questo scenario, l'Italia presenta condizioni particolarmente favorevoli allo sviluppo delle energie rinnovabili grazie alle sue caratteristiche ambientali e climatiche, adatte, ad esempio, alla diffusione del fotovoltaico.

A partire dal 2006, e fino all'introduzione del Decreto Monti sulle liberalizzazioni (art. 65), insieme alla Legge Regionale n. 12 del 4 agosto 2010, si è registrata una significativa espansione del settore fotovoltaico. In tale periodo sono stati realizzati circa 12.000 nuovi impianti, per una potenza complessiva installata pari a 784.670 kW. Tuttavia, questa crescita ha comportato anche un impatto rilevante sul territorio, con circa 600 ettari di suoli agricoli sottratti alle attività produttive e destinati esclusivamente alla produzione energetica [1].

La presente tesi si propone di analizzare il fenomeno della diffusione degli impianti fotovoltaici a terra su suolo agricolo, con particolare attenzione agli strumenti e ai dati open source impiegati per la loro geolocalizzazione. L'obiettivo è ricostruire, attraverso dati tecnici provenienti dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE), l'evoluzione del settore, valutando il ruolo delle politiche nazionali — in particolare quelle previste dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) — nel promuovere una transizione energetica più sostenibile. Tali politiche mirano non solo all'incremento della produzione da fonti rinnovabili, ma anche alla riduzione del consumo di suolo agricolo, favorendo soluzioni innovative come l'agrisolare.

L'analisi si concentrerà sul periodo successivo alla pandemia di COVID-19, a partire dal 2021, per comprendere le dinamiche recenti della transizione energetica e le prospettive future. In particolare, si discuterà della possibilità di integrazione tra i settori agricolo ed energetico, evidenziando come le nuove tecnologie fotovoltaiche possano consentire una coesistenza funzionale tra produzione agricola ed energetica, riducendo il conflitto nell'uso del suolo (Capitolo 1).

Successivamente, verranno esaminate le principali politiche energetiche europee e nazionali, con un approfondimento sul PNRR e, in particolare, sulla Missione 2

“Rivoluzione verde e transizione ecologica”, orientata al raggiungimento della neutralità climatica e alla riduzione delle emissioni (Capitolo 2).

All'interno dello stesso capitolo sarà inoltre presentato il programma europeo Copernicus, descrivendone struttura e finalità, con particolare riferimento all'utilizzo dei dati satellitari Sentinel-2. Le immagini multispettrali e le bande RGB saranno impiegate come strumenti di supporto alla localizzazione degli impianti fotovoltaici nelle Marche.

La parte sperimentale della tesi prevede l'utilizzo del software open source QGIS, integrato con il plugin OpenQuickMapServices, per la geolocalizzazione degli impianti esistenti. A questa analisi sarà affiancata una procedura di interpretazione manuale delle immagini Sentinel-2, basata su tecniche multilayer, al fine di individuare eventuali impianti non censiti e ottenere una rappresentazione aggiornata (2025–2026) della loro distribuzione territoriale, verranno successivamente sottoposti a un processo di verifica e riscontro incrociato, localizzando i medesimi siti attraverso il software Google Earth per confermarne l'accuratezza. (Capitolo 3).

Successivamente si procederà ad analizzare la distribuzione spaziale degli impianti fotovoltaici censiti tramite sistemi GIS, calcolandone area e ubicazione, al fine di rappresentare i risultati ottenuti attraverso Grafici e tabelle Excel per individuarne la pressione percentuale attribuita all'uso del fotovoltaico a terra in riferimento alla SAT (Superficie Agraria Totale) (Capitolo 4).

Infine, nel capitolo conclusivo, verrà discussa l'importanza dell'utilizzo dei software open source nelle tecniche di telerilevamento per il monitoraggio del territorio e per l'analisi dell'evoluzione del settore fotovoltaico, sottolineando il loro ruolo strategico nella pianificazione sostenibile e nella gestione delle risorse (Capitolo 5).

Chiudono il lavoro le conclusioni (Capitolo 6) e la bibliografia.

1.1 Obiettivo tesi

Un argomento caldo e di recente attualità che è tornato a presentarsi negli ultimi anni, riguarda il tema dell'energie "rinnovabili".

Il bisogno di energia e la crescente importanza del clima stanno portando alla conversione dalle fonti energetiche convenzionali in quelle rinnovabili.

L'energia solare fotovoltaica (FV) ha visto un più significativo aumento tra le fonti di energia rinnovabile.

Tuttavia, la maggior parte di questi in campo agricolo sono basati sulla terraferma, in modo significativo stanno cambiando l'uso globale del suolo disponibile [2]

Attualmente con il nuovo piano PNRR si provvederà ad aumentare la crescita di energia rinnovabile in campo agricolo attraverso i finanziamenti a fondo perduto e allo sfruttamento di risorse quali tetti di fabbricati strumentali all'attività agricola, zootecnica e agroindustriale favorendone oltre la vendita della stessa anche l'autoconsumo; in più il PNRR sostiene anche l'agrivoltaico avanzato in grado da fungere come ibrido per la produzione di energia e produzione del suolo agricolo.

Dunque l'obiettivo dell'elaborato in questione prenderà in considerazione l'argomento principale che sarà quello di monitorare e geolocalizzare l'evoluzione di tali impianti che si verificherà nel territorio marchigiano attraverso Software Open Data e confrontando il risultato ottenuto attraverso il Software Google Earth per ottenere un riscontro incrociato aumentando la veridicità dei risultati ottenuti, purtroppo non confrontabili con fonti GSE Ufficiali. (2025-2026)

Per riuscire a praticare la mappatura degli impianti presenti nella regione Marche a titolo sperimentale, dunque non ufficiale si utilizzeranno i dati del satellite Copernicus, in particolare il SENTINEL-2, che capterà le immagini a diverse bande e in tempi diversi, inoltre grazie all'aiuto di QGIS (Geographic Information System) uniremo i plugin SENTINEL HUB E OPENQUICKMAPSERVICES e si provvederà a geolocalizzare in maniera sia automatica sia manuale ogni Comune di ogni Provincia Marchigiana.

In conclusione il progetto mira all'ottenimento e all'aggiornamento dei dati attraverso l'utilizzo di programmi "Open source" per poter verificare se le politiche del PNRR in futuro potranno dare un miglior utilizzo delle energie rinnovabili e quanto queste

incideranno sull'uso del suolo per favorirne non solo l'ottenimento di energia, ma anche l'utilizzo agricolo.

1.2 Transizione energetica: futuro agrisolare e agrivoltaico

In tempi odierni, il tema principale in ambito agricolo-energetico si basa non più sull'innovazione delle tecniche tecnologiche sull'accumulo di una maggiore quantità di energia solare, ma bensì su una rivoluzione che miri ad un vero e proprio rapporto tra l'ottenimento di energia rinnovabile e il sostentamento del suolo agricolo.

La transizione energetica ricerca come obiettivo quello del raggiungimento alla neutralità climatica entro il 2050, cercando una veloce diffusione delle fonti ad energia rinnovabile "FER".

In questo contesto, il fotovoltaico (PV) rappresenta la tecnologia con maggiore potenzialità dal punto di vista di espansione e energia prodotta. Tuttavia, fino ad oggi è stato il principale argomento di discussione circa le numerose risorse che i pannelli fotovoltaici tradizionali hanno sottratto al suolo agricolo, cercando la risoluzione del problema con l'utilizzo di modelli fotovoltaici che dalle ricerche effettuate riusciranno ad unire l'attività energetica e l'attività agricola.

La riforma del PNRR "Rivoluzione energetica e transizione Ecologica" si distacca dal vecchio modello e si evolve in una trasformazione che unirà l'agricoltura e l'energia ottenuta in una sinergia produttiva nel rispetto dell'ambiente.

Come detto in precedenza il fotovoltaico tradizionale a terra (utility-scale) occupa il suolo, non era raro vedere distese di pannelli che prevedevano solo l'utilizzo di campi allo scopo energetico, non prestando attenzione alla fertilità del suolo né al suo utilizzo per la destinazione industriale, alimentare e climatica. Il nuovo modello agrivoltaico prevede l'installazione di moduli fotovoltaici sollevati da terra o disposti in maniera da consentire la continuità delle attività agricole o zootecniche.

I sistemi utilizzati in agrivoltaico possono riguardare diversi schemi:

Sistemi a terra sopraelevati (First Generation): Pannelli fotovoltaici installati su strutture fisse o dinamiche, in grado di orientarsi con la luce solare, montate a un'altezza oltre i 2 metri, tali da consentire anche l'utilizzo per l'agricoltura o coltivazione permettendo il passaggio di macchinari agricoli e anche del bestiame.

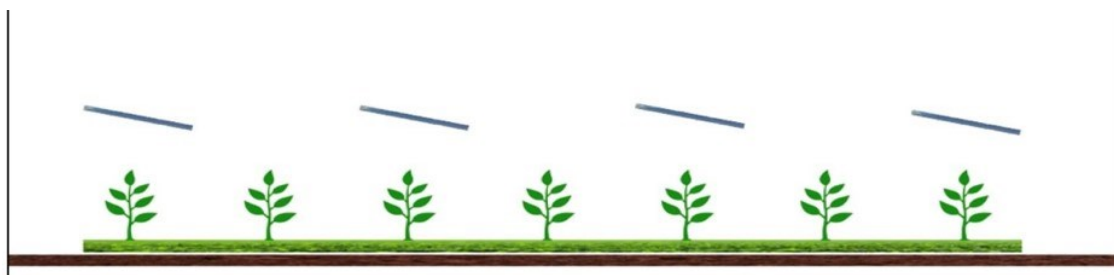


Figura 1 - Sistema agrivoltaico in cui la coltivazione avviene tra le file dei moduli fotovoltaici, e sotto a essi (TIPO 1).

Sistemi verticali: Moduli fotovoltaici che vengono disposti in maniera verticale, sono spesso bifacciali e vengono sistemati per non recare ombra alle colture e ottimizzare lo spazio tra una fila e l'altra, questo modello maggiormente utilizzato per la coltivazione e meno per il bestiame a causa della possibile influenza al passaggio degli stessi.

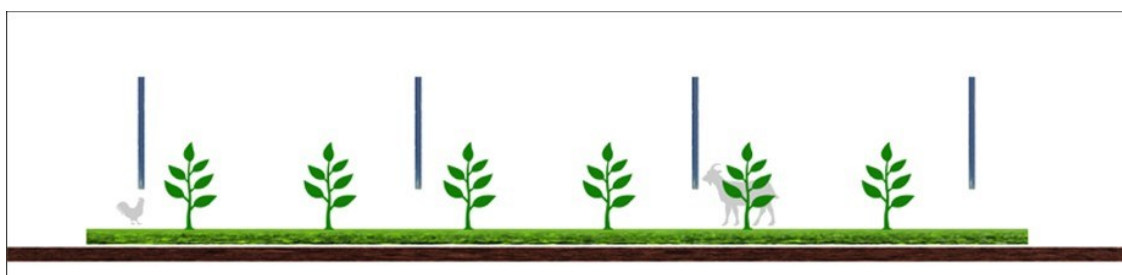


Figura 2 - Sistema agrivoltaico in cui i moduli fotovoltaici sono disposti verticalmente. (TIPO 1)

Agrivoltaico integrato (o serre solari): Moduli fotovoltaici che vengono inseriti nel tetto di serre, tale sistema prevede l'utilizzo delle serre per la coltivazione e produzione di energia, proteggendo le piante anche dal sole forte per il parziale ombreggiamento dei pannelli sul tetto.

Sistemi di tipo 2 (o Agrivoltaico Spaziale): Sono sistemazioni di tipo 2 perché più recenti e condividono il suolo tra la parte energetica e quella destinata all'agricoltura, senza un'integrazione diretta tra i 2 sistemi, ma solo di tipo funzionale e distinto.

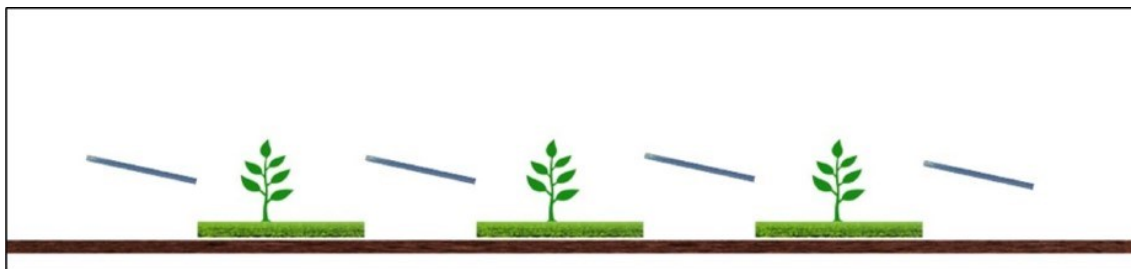


Figura 3 - Sistema agrivoltaico in cui la coltivazione avviene tra le file dei moduli fotovoltaici, e non al di sotto di essi (TIPO 2). [3]

L'integrazione dei pannelli fotovoltaici con i sistemi alimentari, come si è evince da ricerca in merito ne migliora l'efficienza in termini sia idrici che di produttività (ad esempio: lattuga, fragole) sia nel pascolo del bestiame. Nella sua configurazione ottimale, l'agrivoltaico ha il potenziale per essere rigenerativo, migliorando le capacità del suolo e contribuendo alla stabilità climatica per le generazioni future.

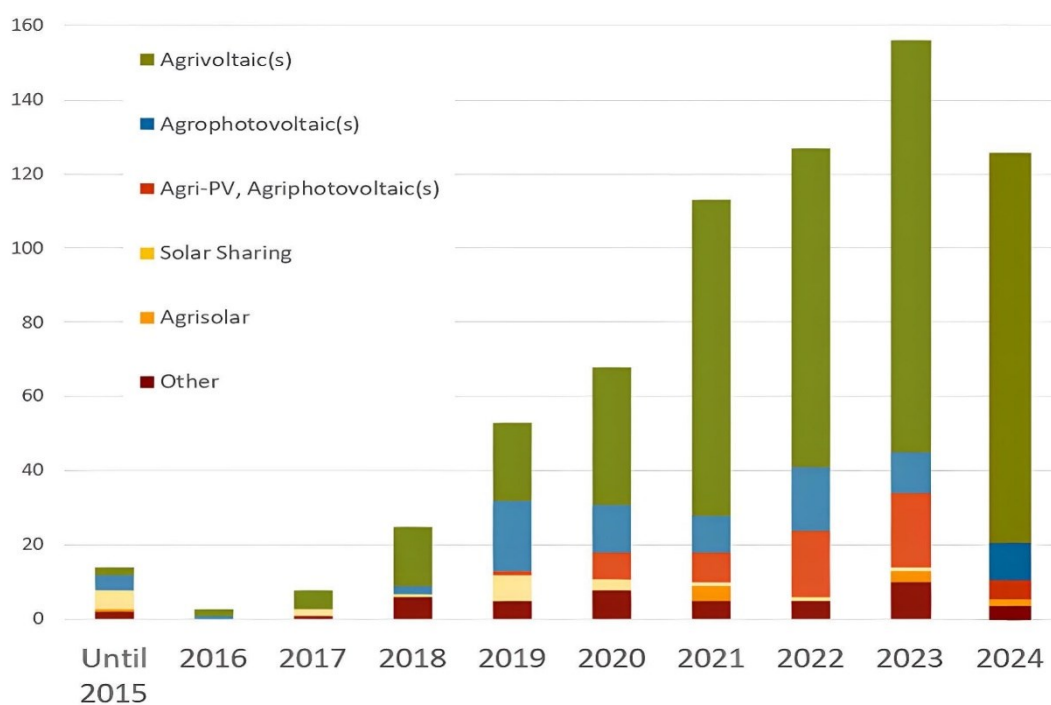


Figura 4 - L'aumento del numero di pubblicazioni sull'agrivoltaico ogni anno dimostra una tendenza emergente a collocare congiuntamente attività agricole ed energetiche. Il termine "agrivoltaico" è dominante ogni anno, come indicato dalle barre ombreggiate in verde. [4]

Questa transizione acquisisce maggiore capacità e consapevolezza. Come definito dal Decreto legislativo 8 novembre 2021, recepimento della direttiva RED II dove si pone l'obiettivo come paese Europeo di accelerare il percorso della crescita sostenibile al

2030 e al 2050, obiettivo perseguito tenendo conto del nuovo Piano Nazionale di ripresa e resilienza (PNRR).

Un' altro modo per aumentare la produzione di energia pulita senza l'utilizzo del suolo è l'evoluzione del parco agrisolare che prevede l'installazione esclusivamente sui tetti e sulle coperture di edifici strumentali già esistenti:

Fabbricati agricoli: stalle, capannoni e magazzini, Strutture zootecniche e agroindustriali
Edifici per l'ospitalità: locali destinati all'attività agrituristica, inoltre il sistema prevede una riqualificazione che mira allo smaltimento dell'amianto già esistente e una sua sostituzione pre-installazione dei pannelli fotovoltaici con l'utilizzo di materiali sicuri e conformi.



Figura 5 - Facility Parco Agrisolare: 789 milioni, regole e scadenze - Foto: allamorozova 123rf.com

2 MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

2.1 Progetto Next Generation UE

A seguito della crisi pandemica da Covid-19, che ha colpito la collettività globale evidenziandone le fragilità strutturali sotto il profilo socio-economico e sanitario, le istituzioni comunitarie hanno risposto attraverso il varo del piano straordinario denominato “Next Generation EU” (NGEU), deliberato formalmente nel luglio del 2020. Questo programma di investimenti e riforme si pone l'obiettivo di stimolare la ripartenza economica degli Stati membri, delineando traiettorie di sviluppo a lungo termine orientate alla resilienza e alla sostenibilità. I pilastri fondamentali su cui poggia l'intera architettura del NGEU convergono verso quattro macro-settori strategici e interconnessi:

- 1- la transizione ecologica
- 2- la trasformazione digitale
- 3- la stabilità macroeconomica
- 4- l'equità sociale e territoriale.

Il fulcro operativo e finanziario del NGEU è rappresentato dal Dispositivo per la Ripresa e la Resilienza (RRF, *Recovery and Resilience Facility*), uno strumento finanziario vincolante istituito per erogare sovvenzioni e prestiti a supporto delle riforme strutturali promosse dai singoli paesi dell'Unione Europea. Per accedere a tali flussi di capitale, gli Stati membri hanno dovuto elaborare e presentare dei piani nazionali dettagliati, volti a illustrare l'allocazione delle risorse e a dimostrare la conformità entro periodi stringenti. L'erogazione dei fondi è infatti subordinata a una valutazione periodica e rigorosa da parte della Commissione Europea, la quale subordina il rilascio delle tranches finanziarie al conseguimento soddisfacente di scadenze amministrative e operative predeterminate [5].

Da qui nasce l'esigenza di ogni stato nazionale di istituire il proprio PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza).

L'Italia figura come il principale beneficiario del dispositivo RRF in termini assoluti, con uno stanziamento complessivo pari a 194,4 miliardi di euro, integrati all'interno del proprio Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Il piano strategico nazionale si articola in 7 Missioni, concepite per modernizzare il Paese e colmare i divari strutturali storici:

- **M1:** Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo
- **M2:** Rivoluzione verde e transizione ecologica
- **M3:** Infrastrutture per una mobilità sostenibile
- **M4:** Istruzione e ricerca
- **M5:** Inclusione e coesione
- **M6:** Salute
- **M7:** REPowerEU (integrazione mirata all'indipendenza energetica)

Nel particolare il Programma La transizione ecologica nazionale è articolata in modo da favorire l'accelerazione alla transizione energetica e l'efficientamento complessivo del Paese, focalizzandosi su 4 componenti (C) fondamentali:

- 1- Agricoltura sostenibile ed Economia circolare (C1)
- 2- Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile (C2)
- 3- Efficienza energetica e riqualificazione degli edifici (C3)
- 4- Tutela del territorio e della risorsa idrica (C4).

MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA



Figura 6 - Riguardante gli obiettivi e soldi stanziati per la MISSIONE 2: RIVOLUZIONE VERDE E TRANSIZIONE ECOLOGICA

2.1.1 PNRR: Quadro politico-amministrativo

L'attuazione della Missione 2 richiede un'organizzazione dello Stato capace di veicolare ingenti flussi finanziari in tempi ridotti, dunque come accennato in precedenza, per evitare i ritardi strutturali della burocrazia nazionale, il quadro politico-amministrativo del PNRR è stato disciplinato dalla nostra nazione "ITALIA" attraverso leggi speciali (in particolare il Decreto-Legge n. 77/2021 [6], il Decreto-Legge n. 13/2023 [7] e il successivo Decreto-Legge n. 19/2024) [8]. Queste norme hanno ridisegnato le competenze e i flussi di lavoro della Pubblica Amministrazione, creando un modello di governance che unisce il controllo centrale con il lavoro pratico sui territori.

In sintesi l'architettura di questa macchina amministrativa si fonda su tre livelli principali:

- **Il coordinamento politico e strategico:** Al vertice opera la Cabina di Regia presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri. È l'organo politico che decide le priorità, monitora l'avanzamento dei piani e dialoga direttamente con la Commissione Europea. Per garantire la continuità dei lavori, la legge assegna alla Cabina di Regia il cosiddetto potere sostitutivo. Se un ente locale o un ministero blocca un progetto ambientale per inefficienze interne, il Governo può intervenire d'autorità nominando un commissario straordinario che subentra nella gestione per salvare i finanziamenti europei.
- **La gestione tecnica e contabile:** Il controllo dei flussi finanziari e la verifica dei risultati quantitativi (Milestone e Target, come i megawatt di energia installati) fanno capo al Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF), nello specifico all' Ispettorato Generale per il PNRR. Questo ufficio gestisce la piattaforma informatica centrale ReGiS, un database centralizzato in cui ogni singola amministrazione ha l'obbligo di registrare ogni spesa e avanzamento dei cantieri per ottenere i rimborsi dall'Unione Europea [9].
- **L'attuazione sul territorio:** I ministeri competenti per materia (come il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica – MASE) pubblicano i bandi, ma i veri esecutori materiali dei progetti (i Soggetti Attuatori) sono gli enti locali, come Regioni e Comuni. Questa frammentazione sul territorio rappresenta la sfida amministrativa più complessa: molti Comuni, specialmente quelli medio-piccoli, si trovano a gestire gare d'appalto per milioni di euro pur avendo uffici tecnici strutturalmente carenti di personale a causa del blocco delle assunzioni degli anni passati [10].

A presidio della regolarità delle procedure, l'intero quadro amministrativo è sottoposto ai protocolli di legalità della Corte dei Conti e dell'ANAC (Autorità Nazionale Anticorruzione), deputate a vigilare affinché la celerità nell'erogazione della spesa non pregiudichi la trasparenza o si presti a infiltrazioni illecite nei subappalti locali come successo negli anni precedenti da parte di ditte energetiche.

Per spingere il Paese verso la transizione ecologica, lo Stato non si limita a emanare normative o a finanziare opere pubbliche, ma adotta una serie di incentivi amministrativi volti a convincere il settore privato (cittadini, imprese e agricoltori) a investire nell'energia pulita. Dal punto di vista burocratico e contabile, questi incentivi si dividono in tre grandi categorie:

- **I contributi a fondo perduto:** Finanziamenti diretti che coprono una quota percentuale della spesa sostenuta (fino al 40% o 50% dell'investimento complessivo per la generalità dei bandi) e che non prevedono obbligo di restituzione. Un esempio centrale nella Missione 2 è il bando per il Parco Agrisolare, dove l'intensità del contributo a fondo perduto è stata recentemente innalzata fino all'80% per le aziende agricole che eliminano l'amianto dai tetti delle stalle per sostituirlo con moduli fotovoltaici.
- **I crediti d'imposta (Agevolazioni fiscali):** Meccanismi di compensazione tributaria automatica. Lo strumento amministrativo più importante introdotto dal PNRR "l'impresa è il Piano Transizione 5.0. Questo dispositivo permette alle aziende di recuperare una grossa fetta delle spese effettuate per l'acquisto di nuovi macchinari digitali, a patto che questi riducano i consumi energetici dello stabilimento di almeno il 3% [11].
- **Le tariffe incentivare e i conti energia:** Incentivi commerciali legati alla produzione di energia pulita nel tempo. Attraverso il braccio operativo del Gestore dei Servizi Energetici (GSE), il cittadino o l'impresa che installa pannelli fotovoltaici o costituisce una Comunità Energetiche Rinnovabile (CER) riceve un premio economico per ogni kilowattora di energia pulita prodotta e condivisa localmente [12].

2.1.2 Il PNRR come risposta e contrasto alla crisi climatica

La crisi climatica rappresenta una delle sfide più stringenti e complesse del nostro tempo. L'innalzamento delle temperature globali, la crescente frequenza di fenomeni meteorologici estremi e la progressiva perdita di biodiversità stanno alterando in modo significativo gli ecosistemi globali e minacciando la stabilità dei sistemi economici. Per rispondere a questa emergenza, l'Unione Europea ha varato lo European Green Deal, un piano politico e industriale di portata storica che punta a raggiungere la neutralità climatica azzerando le emissioni nette di gas a effetto serra entro il 2050.

La Missione 2 del PNRR rappresenta lo strumento operativo attraverso cui l'Italia recepisce e applica questa strategia comunitaria. Allocando oltre un terzo delle sue risorse finanziarie complessive a tale finalità, la misura si prefigge di trasformare radicalmente i modelli di produzione energetica, ottimizzare la gestione del ciclo dei rifiuti e potenziare la difesa strutturale del territorio.

Sotto il profilo amministrativo e procedurale, l'Unione Europea non si limita all'erogazione di flussi finanziari, ma impone il vincolo che ciascun progetto finanziato costituisca una risposta concreta al cambiamento economico. A tal fine, l'architettura di controllo del PNRR poggia su due rigidi meccanismi di conformità e verifica digitale [13]:

• Il principio del DNSH (*Do No Significant Harm*):



Questo vincolo stabilisce l'obbligo tassativo di "Non arrecare un danno significativo agli obiettivi ambientali". Si configura come una clausola escludente: nessuna opera o intervento può accedere ai fondi europei qualora rechi pregiudizio agli equilibri ecologici. Un progetto

Figura 7 - (Obiettivi DNSH)

orientato alla produzione di energia rinnovabile che tuttavia comprometta l'integrità di un'area protetta o determini

l'inquinamento delle risorse idriche viene escluso dalle linee di finanziamento. Tale principio impone a imprese ed enti locali l'onere di integrare i criteri di sostenibilità sin dalle primissime fasi della progettazione.

• **Il Climate Tagging (Etichettatura climatica):** Si tratta di un sistema di tracciamento e rendicontazione digitale applicato alla spesa pubblica. Ciascun investimento viene associato a un'aliquota percentuale fissa che quantifica il contributo diretto del progetto agli obiettivi europei di mitigazione e adattamento climatico. Interventi strutturali come la realizzazione di infrastrutture di mobilità dolce o l'installazione di impianti agrivoltaici innovativi registrano un valore climatico pari al 100%. Questa tassonomia contabile ha lo scopo di impedire dinamiche di *greenwashing*, escludendo il rischio di qualificare come ecologici dei progetti privi di un reale beneficio ecologico.

Dunque importante citare che nella Missione 2 del PNRR non ci si limita solo ad un elenco di capitoli di spesa, ma definisce un nuovo piano regolatorio che subordina lo sviluppo economico e l'investimento pubblico alla salvaguardia degli equilibri biologici della Terra. Questa forte attenzione alla tutela del clima e degli ecosistemi si riflette in modo diretto sulle scelte energetiche e sulla protezione delle risorse naturali più fragili, a partire dal suolo e successivamente all'emissioni "0". [14]

2.1.3 Misure incentivanti per il comparto "Parco Agrisolare" e l'Agrivoltaico di ultima generazione

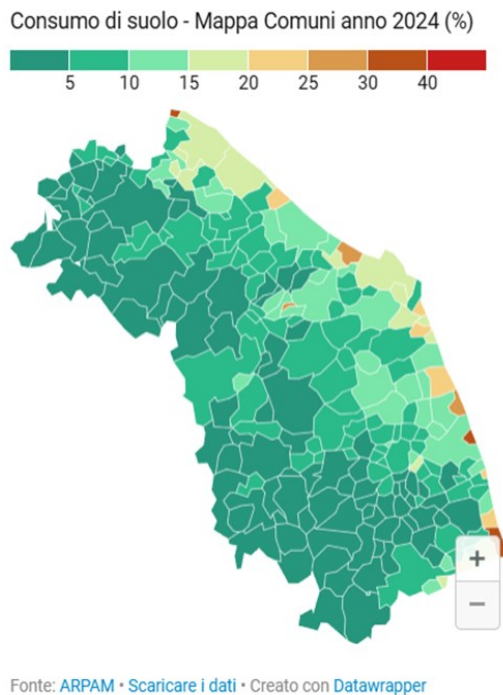
Nell'ambito delle politiche di incentivazione della Missione 2, un ruolo centrale è ricoperto dalle misure per la promozione dell'agro-fotovoltaico sostenibile e dell'autoconsumo. La concessione di questi imponenti flussi di denaro pubblico è controbilanciata dalla necessità di scindere l'incremento delle energie rinnovabili dal consumo di suolo, un tema che registra parametri estremamente critici nella regione delle Marche [15].

Il monitoraggio sistematico della copertura del territorio operato dall'ISPRA evidenzia la necessità di monitorare il degrado degli ecosistemi, distinguendo le trasformazioni in tre macro-categorie:

- **Consumo di suolo permanente:**(copertura tramite asfalto o cemento in modo definitivo)
- **Consumo di suolo reversibile:** (alterazioni temporanee, come i vecchi impianti fotovoltaici a terra)
- **Copertura del suolo senza consumo:** (installazioni a bassa densità o sistemi integrati dove il terreno sotto i moduli mantiene le sue funzioni biologiche) [16].

Al 31 dicembre 2024 la superficie totale cementificata o coperta nel territorio marchigiano ha raggiunto 65.141 ettari complessivi (pari al 7,00% dell'intero territorio regionale), evidenziando una crescita annuale netta di ben 176 ettari. In termini assoluti, i maggiori incrementi nell'ultimo periodo si registrano nei Comuni di Mondolfo (11,81 ettari), Pesaro (8,40 ettari) e Fermo (7,32 ettari); sotto il profilo dell'estensione totale cumulata, i poli urbani maggiormente antropizzati risultano Pesaro (2.493 ettari), Ancona (2.201 ettari) e Fano (2.173 ettari). L'emergenza si concentra in modo particolare lungo la linea di costa, dove la percentuale di suolo occupato rispetto alla superficie comunale raggiunge i picchi massimi a San Benedetto del Tronto (37,62%), Porto San Giorgio (37,01%) e Gabicce Mare (32,82%). Tale progressiva perdita di permeabilità aumenta la fragilità strutturale delle Marche, un territorio storicamente esposto a rischi idrogeologici, frane e fenomeni sismici. [17]. Per arginare la perdita di terreno coltivabile ed evitare le dinamiche speculative della prima ondata fotovoltaica (Conto Energia 2009-2011), in cui

le vecchie tecnologie richiedevano in media 1,8 ettari di terreno per singolo MW installato occupando indiscriminatamente campi coltivati e colline, il legislatore nazionale ha emanato il c.d. "Decreto Agricoltura" (D.L. n. 63/2024, convertito in Legge n. 101/2024) [18].



L'articolo 5 di questa legge introduce un divieto tassativo alla realizzazione di nuovi impianti fotovoltaici standard con moduli collocati direttamente a terra in aree classificate come **Agricole**, tutelando i piccoli agricoltori e canalizzando obbligatoriamente i capitali privati verso l'innovazione reale. Per il comparto primario, il PNRR declina la transizione ecologica attraverso due specifici pilastri verticali che escludono il consumo di suolo:

Figura 8 - (consumo suolo Marche 2024)

1. Parco Agrisolare (Investimento 2.2): Destinato al finanziamento di impianti fotovoltaici esclusivamente sui tetti di fabbricati rurali, stalle e serre, garantendo la totale assenza di consumo di suolo. Questa misura prevede un contributo a fondo perduto fino all'80% delle spese ammissibili, includendo interventi di efficientamento energetico come la rimozione dell'amianto dalle coperture, l'isolamento termico e l'aerazione dei tetti. La misura è titolata dal Ministero dell'Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste (MASAF), con il GSE nel ruolo di organo attuatore. [19]

2. Agrivoltaico Innovativo (Investimento 1.1): Prevede l'installazione di soluzioni ibride sul terreno, con moduli fotovoltaici sollevati o verticali che preservano la continuità delle attività agricole e pastorali. Questa misura eroga un contributo a fondo perduto fino al 40% (cumulabile con tariffe incentivanti sulla quota di energia immessa in rete) e impiega sistemi di monitoraggio digitale per verificare l'impatto microclimatico e la resa delle colture. In questo caso la linea d'intervento fa capo al Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), con il GSE operativo come organo attuatore. [20]

Dal punto di vista burocratico e ambientale, l'avvio dei lavori per tutte le misure descritte deve essere necessariamente successivo alla presentazione della domanda sul portale del GSE, che ne valuterà l'idoneità. Gli impianti devono inoltre rispettare pienamente i criteri del principio europeo DNSH (Do No Significant Harm) e del tagging climatico per dimostrare l'assenza di danni all'ambiente.

Le spese ammissibili a tale finanziamento coprono una vasta serie di costi legati alla realizzazione dell'opera, nei limiti stabiliti dai rispettivi decreti ministeriali: l'acquisto dei componenti fisici dell'impianto (moduli, inverter, strutture di supporto); la fornitura e la posa in opera dei sistemi di accumulo; l'acquisto di macchinari e software per la messa in esercizio dell'impianto e per il monitoraggio agronomico (nel caso dell'agrivoltaico); le opere edili e i costi per la connessione alla rete elettrica nazionale; le spese tecniche esterne (studi di prefattibilità geologica, direzione dei lavori, collaudi), finanziabili complessivamente entro il limite del 10% dell'importo totale ammesso.

2.1.4 Obiettivi di decarbonizzazione e installazione di energia rinnovabile

Come sottolineato precedentemente la Componente 2 della Missione 2 (M2C2), è orientata alla transizione energetica e al potenziamento delle reti di trasmissione, dispone di una dotazione finanziaria complessiva a livello nazionale pari a 23,78 miliardi di euro.

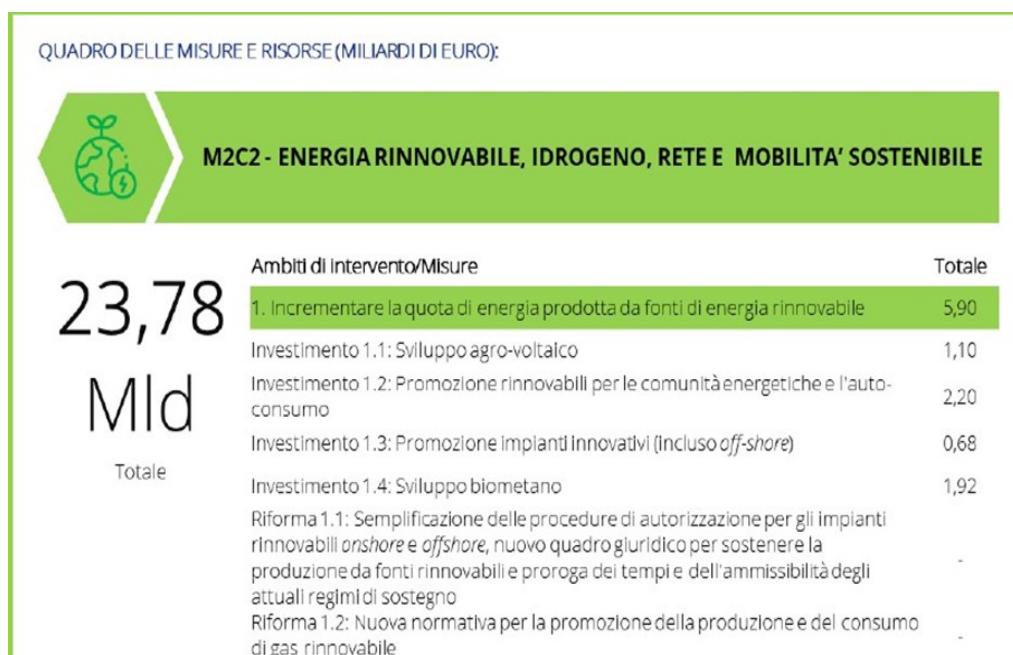


Figura 9 - Quadro delle risorse M2C2

L'orizzonte programmatico risiede nella decarbonizzazione del sistema economico, tesa ad agganciare gli obiettivi europei di neutralità climatica. A livello locale, le direttrici strategiche nazionali trovano diretta attuazione e declinazione operativa all'interno del Piano Regionale Energia e Clima (PREC 2030) della Regione Marche, adottato nel luglio 2025 [21].

Il PREC 2030 delinea un netto cambio di rotta rispetto al periodo 2009-2011. Grazie all'evoluzione tecnologica dei moduli di ultima generazione, lo spazio necessario per produrre 1 MW di potenza solare è sceso a circa 1 ettaro complessivo, registrando una contrazione del fabbisogno spaziale pari al -48%. Sfruttando questa efficienza e recependo i vincoli restrittivi del PNRR, il Piano Regionale fissa i seguenti target quantitativi ed operativi per la decarbonizzazione del territorio marchigiano:

- Potenza complessiva da installare: Raggiungimento e messa in esercizio di 2,3 GW di nova potenza complessiva da fonti energetiche rinnovabili (FER) entro l'orizzonte temporale del 2030.

- Predominanza del vettore solare: Il fotovoltaico si conferma il motore trainante della transizione ecologica marchigiana, con l'obiettivo di coprire il 75% del target complessivo regionale, corrispondente a circa 1,75 GW di nuova potenza solare.

- Mitigazione e pianificazione degli impatti territoriali: Al fine di scongiurare dinamiche speculative, l'installazione dei nuovi 1,75 GW di fotovoltaico avverrà escludendo i campi coltivati tradizionali e spingendo le installazioni sui tetti delle case, nelle zone industriali (Parco Agrisolare) e, per le campagne, usando la tecnologia dell'Agrivoltaico Innovativo [22]. In questo modo, l'infrastruttura solare complessiva impegnerà appena 25 chilometri quadrati, incidendo per un marginale 0,25% sull'intera superficie del territorio regionale, mentre le strutture dell'agrivoltaico sfioreranno appena lo 0,23% del suolo, garantendo la continuità agraria.

Parallelamente ai grandi poli produttivi agricoli e industriali, la strategia di decarbonizzazione del PNRR valorizza i modelli di generazione distribuita attraverso la promozione delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) e dei gruppi di autoconsumo collettivo (Investimento 1.2). Questa misura stanZIA risorse gestite dal GSE, introducendo un contributo a fondo perduto pari al 40% delle spese ammissibili (il c.d. "Bonus CER 40%"), finalizzato a trasformare i consumatori in produttori attivi (*prosumers*). Inoltre fruttando i processi di semplificazione amministrativa e di coordinamento snello tra enti locali previsti dalla L.R. 19/2023 [23] l'erogazione di questo incentivo economico accelera l'iter burocratico per i progetti che rispettano i requisiti del Decreto CACER e le Regole Operative del GSE [24]:

- Requisito demografico territoriale: Gli impianti fotovoltaici e i relativi contratti di fornitura energetica devono essere tassativamente ubicati all'interno di Comuni con una popolazione inferiore ai 5.000 abitanti.

- Soglie di potenza: Il nuovo impianto (o il potenziamento di una struttura esistente) deve registrare una potenza minima di 20 kW e non può superare la potenza massima stabilita di 1 MW.

- **Configurazione e Cabina Primaria:** Per accedere alle tariffe incentivanti ventennali erogate dal GSE sull'energia condivisa, tutti i membri della CER e gli impianti di produzione devono essere connessi alla rete elettrica sottesa alla medesima cabina primaria.

La platea dei beneficiari abilitati a costituire le CER include persone fisiche, piccole e medie imprese, enti locali, pubbliche amministrazioni territoriali, cooperative, enti religiosi e associazioni del terzo settore. Al contrario, la normativa esclude in modo tassativo le amministrazioni centrali dello Stato, le grandi imprese e le società private che operano stabilmente nella produzione e trasmissione commerciale di energia con codici ATECO del gruppo 35.1. Questo modello consente di abbattere le perdite di trasmissione sulla rete elettrica nazionale e di accelerare la decarbonizzazione capillare dei piccoli centri urbani e dei territori interni.

Un Argomento di Attualità pubblicato l'8 giugno 2026 da Bruxelles nel comunicato stampa della Commissione Europea riguarda la decisione di approvare un' imponente regime Italiano di aiuti di Stato da 23 miliardi di euro, configurandosi come una misura di sostegno addizionale e successiva rispetto alle risorse stanziare dal PNRR.

Questo intervento si inserisce all'interno della nuova disciplina europea sugli aiuti di Stato legata al *Patto per l'industria pulita*, e serve proprio a darci una spinta per raggiungere i target sulle emissioni fissati per il 2030. Guardando i numeri a livello nazionale, l'obiettivo è davvero ambizioso: si parla di immettere in rete ben 37,15 GW di nuova capacità da fonti rinnovabili (sfruttando eolico onshore, solare, idroelettrico e gas di scarico), il che significa aumentare di circa il 48% tutta l'energia green che l'Italia produce oggi. Per una realtà locale come la Regione Marche, questo enorme piano di investimenti si trasforma in una risorsa fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi Prec2030.

A differenza del PNRR, che si basa soprattutto su contributi a fondo perduto (cioè finanziamenti diretti per coprire le spese iniziali), questo nuovo aiuto funziona in modo diverso e molto innovativo. Il suo obiettivo principale non è solo regalare fondi all'inizio, ma dare stabilità economica a lungo termine a chi investe, proteggendo le imprese dagli sbalzi dei prezzi dell'energia sul mercato.

- **I Contratti per Differenza (CfD) Bidirezionali:** In parole semplici, lo Stato blocca e garantisce un prezzo fisso dell'energia (chiamato "prezzo di esercizio") per ben 20 anni. Se il prezzo di mercato dell'energia scende sotto questa soglia, lo Stato interviene

e paga la differenza all'azienda. Se invece il prezzo di mercato sale sopra la soglia, è l'azienda che deve restituire il guadagno in più allo Stato. In questo modo, chi investe non corre rischi finanziari legati alle oscillazioni del mercato.

- **Le aste competitive:** Per gli impianti più grandi, cioè quelli che superano 1 MW di potenza (come i grandi parchi solari o eolici), non si riceve l'aiuto in automatico. Bisogna partecipare a delle vere e proprie gare d'appalto pubbliche e trasparenti. Per vincere queste tappe, i progetti devono rispettare i requisiti di sostenibilità e qualità fissati dal Regolamento europeo *Net-Zero Industry* [25]

2.2 L'importanza della geolocalizzazione e del monitoraggio degli impianti

Per garantire il successo della transizione ecologica non basta stanziare fondi o installare migliaia di pannelli solari; è altrettanto necessario sapere con assoluta precisione dove ogni singola struttura viene posizionata e come interagisce con l'ambiente circostante. Nella visione strategica della Missione 2 del PNRR, la tecnologia digitale rappresenta un pilastro fondamentale. Attraverso l'uso della geolocalizzazione satellitare e del monitoraggio continuo, la Pubblica Amministrazione e le imprese possono governare lo sviluppo energetico evitando gli errori del passato. Questo approccio tecnologico avanzato risponde a tre grandi necessità: la trasparenza dello Stato, il corretto funzionamento delle nuove reti sociali dell'energia e la difesa della produttività delle nostre campagne.

1. Trasparenza amministrativa e cartografia digitale (Sistemi GIS)

Dal punto di vista del controllo della spesa pubblica, la geolocalizzazione affronta in modo strutturale le complessità storiche della burocrazia nazionale connesse alla verifica tempestiva dello stato di avanzamento dei cantieri territoriali. Il Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF), attraverso la piattaforma informatica centrale ReGiS, richiede che ogni progetto finanziato sia mappato geometricamente tramite dati geografici precisi, spesso gestiti attraverso i software GIS (*Geographic Information Systems*) [26].

L'adempimento richiede l'inserimento nel database centrale delle coordinate poligonali esatte del perimetro dell'impianto. Questo permette al GSE e agli organi di controllo europei di incrociare istantaneamente i dati dei cantieri con le mappe dei vincoli paesaggistici, idrogeologici e culturali. Attraverso questo controllo digitale incrociato, il sistema è in grado di segnalare automaticamente se un impianto fotovoltaico sconfinava all'interno di un'area naturale protetta, di una zona a rischio frana o di un terreno agricolo sottoposto ai divieti del Decreto Agricoltura. La geolocalizzazione diventa così la prima linea di difesa contro le frodi, le speculazioni e i danni ambientali, assicurando che ogni euro speso per la transizione ecologica rispetti pienamente il principio europeo del DNSH.

2. La sfida geografica delle Cabine Primarie e delle CER

Il secondo motivo che rende la geolocalizzazione indispensabile è legato alla nascita delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) e ai gruppi di autoconsumo collettivo. Il Decreto CACER ha introdotto una vera e propria rivoluzione geografica nel mercato elettrico nazionale: il diritto a ricevere gli incentivi statali non dipende più da un confine politico (come il confine del comune o della provincia), ma da un confine puramente tecnico legato alla rete elettrica [27].

Ogni cittadino, piccola impresa o ente locale che desidera condividere l'energia prodotta da un nuovo impianto fotovoltaico deve trovarsi tassativamente sotto l'area di influenza della medesima "Cabina Primaria", ovvero l'infrastruttura di rete deputata alla trasformazione dell'energia dall'alta alla media tensione. Poiché l'estensione geografica delle porzioni di rete sottese a tali cabine non coincide con le delimitazioni comunali tradizionali, il GSE ha messo a disposizione dei cittadini una mappa digitale interattiva basata sulla geolocalizzazione. Chiunque voglia progettare un impianto deve inserire le proprie coordinate geografiche sul portale per verificare a quale cabina appartiene. Se la geolocalizzazione iniziale è errata anche solo di un'abitazione, l'intera Comunità Energetica rischia l'esclusione dai benefici economici del PNRR. La precisione geografica è quindi il binario tecnico obbligatorio su cui viaggia la democrazia energetica del nostro Paese.

3. Il monitoraggio agronomico e la tecnologia IoT nell'Agrivoltaico

L'ambito in cui il monitoraggio continuo esprime il massimo livello di innovazione è senza dubbio quello dell'agrivoltaico innovativo. In questo caso, posizionare i pannelli sollevati da terra non è un'operazione statica, ma dà vita a un ecosistema ibrido in cui l'energia e l'agricoltura devono convivere in perfetta armonia. Per dimostrare al Ministero dell'Ambiente (MASE) che l'attività agricola continua a esistere e non è un semplice paravento per ottenere i fondi PNRR, gli impianti devono essere dotati di sistemi di monitoraggio intelligenti basati sulla tecnologia IoT (*Internet of Things*) [28].

Queste reti di sensori digitali, installate sia sulle strutture dei moduli solari sia nel profilo del suolo agrario, raccolgono h24 una mole enorme di dati ambientali:

- Il microclima del suolo: Viene misurata l'umidità della terra a diverse profondità e la temperatura dell'aria sotto i pannelli, per verificare se l'ombra generata dalle strutture aiuta a trattenere l'acqua nel terreno, riducendo lo stress idrico delle piante durante le grandi siccità estive.
- La luce e la fotosintesi: Sensori di luminosità calcolano quanta radiazione solare riesce a filtrare tra le file dei moduli fotovoltaici, garantendo che le colture ricevano la luce necessaria per crescere sane.
- La resa agricola: Attraverso algoritmi e monitoraggi satellitari, l'agricoltore e il GSE confrontano la produttività del campo agrivoltaico con quella di un campo tradizionale vicino, dimostrando scientificamente l'assenza di impatti negativi sulla produzione di cibo.

In conclusione, la geolocalizzazione e la digitalizzazione elevano gli impianti fotovoltaici da semplici ammassi di silicio a veri e propri nodi intelligenti della rete territoriale. Questo controllo costante e preciso garantisce che lo sviluppo delle energie rinnovabili in Italia avvenga in modo trasparente per lo Stato, sicuro per le reti di vicinato e protettivo nei confronti del paesaggio e della terra.

Nella successiva sessione prenderemo in esame tramite la consultazione dei dati del Satellite Copernicus ottenuti dal Browser, avvalendoci dell'aiuto del software Qgis nell'obiettivo di trasformare queste necessità amministrative in dati geografici concreti, avvalendoci delle tecnologie di telerilevamento spaziale e dei software di analisi territoriale Opensource come sperimentazione.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Missione Copernicus

Il satellite Copernicus con cui l'Europa osserva il mondo è un programma di monitoraggio della terra, lanciato dalla Comunità Europea, stati membri e alcuni organismi tra cui l'ESA (Agenzia spaziale Europea).

La storia di Copernicus il cui primo nome era Gmes- Global Monitoring for Environment and security, nel 2011, il programma GMES rischiò il blocco a causa della mancanza di fondi e si temette per il congelamento dei lanci dei satelliti Sentinel.

La comunità Europea però nel 2012 rilanciò il progetto e cambio il nome al Satellite in Copernicus per omaggiare lo scienziato Niccolò Copernico.

Il tutto cominciò il 19 Maggio 1998 a Baveno sulle sponde del Lago Maggiore, dove si firmò per il progetto di monitoraggio ambientale che prevedeva la collaborazione delle istituzioni spaziali ad impegnarsi a lungo termine per sviluppare e accrescere tecnologie e competenze che potessero essere di aiuto nel rilevare dati utili e consultabili da tutti.

[29]



Figura 10 - Satellite Copernicus Tratta da: <https://www.telespazio.com/it/news-and-stories-detail/-/detail/sentinel-copernicus-telespazio-earth-history>.

Ad oggi Copernicus conta una serie di sei tipologie di satelliti, chiamati Sentinelle, ognuno di essi specializzato per diverse funzioni per cui debba essere utilizzato. Le coppie di satelliti Sentinel 1,2 e 3 sono già attive e utilizzabili. [30]

I Sentinel-1 sono utilizzati per produrre dati radar interferometrici (derivanti principalmente dai satelliti Sentinel-1) rappresentano una tecnologia avanzata di telerilevamento che permette di misurare spostamenti del terreno e delle infrastrutture con precisione millimetrica.

I Sentinel-2, satelliti ottici, sono stati progettati per l'osservazione multi-spettrale, il che significa che sono dotati di strumenti in grado di acquisire immagini non solo nello spettro visibile all'occhio umano (rosso, verde, blu), ma anche in bande spettrali invisibili, in particolare nell'infrarosso vicino (NIR) e nell'infrarosso a onde corte (SWIR) e sono i satelliti che analizzeremo in dettaglio nei successivi paragrafi.

I Sentinel-3 sono stati ideati per effettuare osservazioni oceanografiche e terrestri

I Sentinel-4, servono al monitoraggio delle parti che compongono l'atmosfera atmosferiche;

I Sentinel-5, sono a bassa orbita vanno ad analizzare la componente chimica dell'atmosfera;

I Sentinel-6, infine, il cui lancio è previsto per il 2020, studiano superfici di mari e oceani per fini climatici.

I prodotti finali (mappe tematiche, matrici raster georeferenziate, serie temporali) vengono archiviati in database distribuiti e resi accessibili tramite l'hub dati online di Copernicus. La politica di distribuzione adotta il paradigma dell'*Open Access*: i dati sono completamente gratuiti, privi di restrizioni d'uso e scaricabili tramite interfacce grafiche utente (GUI) o interfacce di programmazione delle applicazioni (API), favorendo la replicabilità scientifica e lo sviluppo di applicativi nei settori dell'agricoltura di precisione, della mitigazione dei cambiamenti climatici e della gestione delle emergenze ambientali. [31]

Inoltre alle 6 sentinelle che sono la parte centrale della Missione Copernicus, il progetto si espande con altri 6 satelliti in orbita che vengono utilizzati per fornire informazioni utili alla ricerca e il monitoraggio delle situazioni che avvengono continuamente nel pianeta terra.

Tra queste troviamo il satellite CHIME, CIMR, CRISTAL, ROSE-L, CO2M, LSTM.



Figura 11 - Copernicus Sentinel Expansion Missions

Le Copernicus Sentinel Expansion Missions rappresentano lo sviluppo strategico della componente spaziale del programma europeo di osservazione della Terra. Frutto della collaborazione tra Commissione Europea, ESA e EUMETSAT, queste sei nuove missioni – con lanci pianificati a partire dal 2026 – sono progettate per colmare i gap osservativi della flotta attuale e rispondere a specifiche priorità ambientali e politiche dell'Unione Europea.

1. CO2M (Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring)

La missione si compone di due satelliti operanti in orbita eliosincrona a 735 km, dotati di uno spettrometro d'immagine (*CO2I*), un imager per nubi (*CLIM*) e un polarimetro multi-angolare (*MAP*). L'obiettivo primario è la quantificazione e il monitoraggio delle emissioni antropiche di anidride carbonica, metano e biossido di azoto. Integrandosi con il sistema a terra *CO2MVS*, fornirà dati cruciali per verificare la conformità dei paesi firmatari rispetto agli obiettivi dell'Accordo sul Clima di Parigi.

2. CIMR (Copernicus Imaging Microwave Radiometer)

Sviluppata principalmente a supporto delle politiche europee per l'Artico, questa missione prevede fino a tre satelliti equipaggiati con radiometri a microonde multifrequenza ad ampio raggio. Garantendo una frequenza di campionamento sub-giornaliera, CIMR monitorerà parametri criosferici e oceanografici fondamentali: la concentrazione e lo spessore del ghiaccio marino (risoluzione spaziale di 5 km), la temperatura superficiale del mare (SST, 15 km) e la salinità oceanica (SSS, 5 km).

3. CHIME (Copernicus Hyperspectral Imaging Mission)

CHIME è una missione di imaging iperspettrale costituita da due satelliti operanti a 632 km di altitudine. Lo strumento principale è uno spettrometro (*HSI*) che opererà in oltre 200 bande spettrali (dal visibile al SWIR) con una risoluzione al suolo di 30 metri. Lavorando in sinergia con i dati multibanda di Sentinel-2, la missione fornirà informazioni dettagliate per lo studio degli ecosistemi agricoli, la mappatura della biodiversità e la gestione sostenibile del suolo.

4. CRISTAL (Copernicus Polar Ice and Snow Topography Altimeter)

Ideata come successore scientifico di CryoSat-2, la missione utilizzerà un altimetro radar interferometrico a doppia frequenza (*IRIS*) accoppiato a un radiometro a microonde (*MWR*). Operando su orbite polari ad alta inclinazione, sarà l'unico sistema in grado di mappare le variazioni topografiche oltre gli 82° di latitudine. Monitorerà con altissima precisione lo spessore del ghiaccio marino e l'accumulo di neve, ottimizzando i modelli predittivi sui cambiamenti climatici globali.

5. LSTM (Land Surface Temperature Monitoring)

Questa costellazione risponde alla necessità di mappare i flussi termici terrestri ad alta risoluzione spaziale (50 metri) e temporale (rivisita di due giorni all'equatore). Attraverso radiometri ottici e termici, LSTM misurerà la temperatura superficiale del suolo (LST), l'emissività e i tassi di evapotraspirazione. I dati saranno impiegati principalmente per ottimizzare l'agricoltura di precisione (gestione dello stress idrico), monitorare la siccità e analizzare il fenomeno delle isole di calore urbane.

6. ROSE-L (Radar Observing System for Europe in L-band)

ROSE-L estenderà le capacità radar di Copernicus integrando un sensore SAR operante in banda L, caratterizzato da una lunghezza d'onda maggiore rispetto alla banda C di Sentinel-1. Questa specificità tecnica consente alle microonde di penetrare la copertura

vegetale e i primi strati del terreno. La missione sarà fondamentale per la stima dell'umidità del suolo, l'inventario delle biomasse forestali, il monitoraggio della criosfera e l'analisi dei geo Risch (come subsidenza e frane). [32]

3.1.1 La costellazione satellitare Sentinel-2

Nel contesto del monitoraggio del territorio e della transizione energetica, la scelta della sorgente dei dati geografici gioca un ruolo cruciale. Per raggiungere l'obiettivo principale di questa tesi si è scelto di adoperare i dati forniti dalla costellazione satellitare **Sentinel-2**. Si tratta di una missione sviluppata dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) all'interno del programma europeo di osservazione della Terra "Copernicus"

La costellazione è composta da due satelliti gemelli che viaggiano sulla stessa orbita ma in posizioni sfalsate: Sentinel-2A (lanciato nel 2015), Sentinel-2B (lanciato nel 2017) e il più recente Sentinel-2C, lanciato per garantire la continuità della missione. [33]

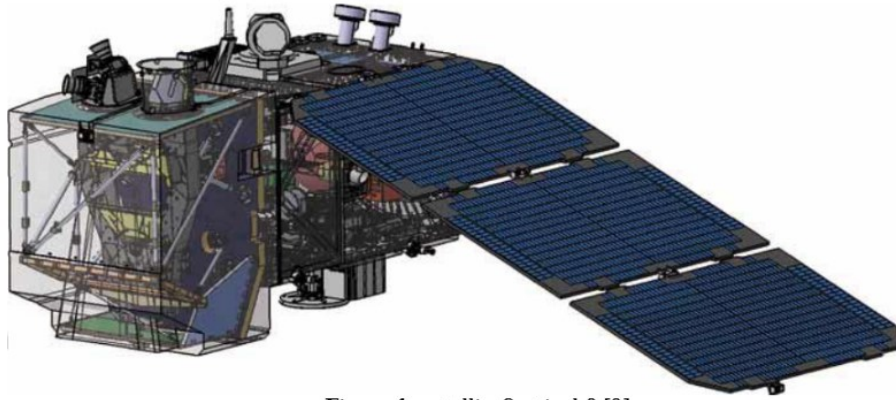


Figura 1 : satellite Sentinel-2 [3]

Figura 12 - Satellite Sentinel-2

Questa configurazione a doppio satellite è un vantaggio fondamentale per il monitoraggio ambientale, poiché garantisce un tempo di ritorno (ovvero il tempo necessario per fotografare nuovamente lo stesso punto della Terra) di soli **5 giorni** a livello globale. Nel caso specifico della geolocalizzazione dei pannelli fotovoltaici, un tempo di ritorno così breve permette di seguire l'evoluzione temporale del territorio, identificando la nascita di nuovi impianti solari o tracciando le fasi della loro costruzione. [34]

Sono costruiti con

Il cuore tecnologico di ciascun satellite è il sensore ottico **MSI (Multispectral Imager)**.

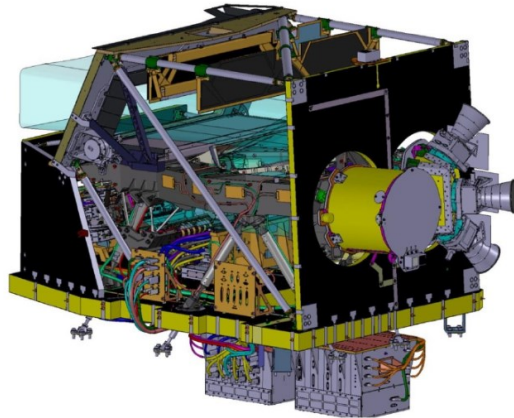


Figura 3 : Lo strumento multispettrale (MSI) [3]

Questo strumento acquisisce la luce riflessa dalla Terra dividendola in **13 bande spettrali**, che spaziano dalla luce visibile all'occhio

Figura 13 - Foto Strumento multispettrale (MSI)

umano fino all'infrarosso. La risoluzione spaziale varia a seconda della banda selezionata:

- **10 metri** per le bande del visibile (Rosso, Verde, Blu) e del Vicino Infrarosso (NIR).
- **20 metri** per le bande del "Red Edge" e dell'Infrarosso a onde corte (SWIR).
- **60 metri** per le bande dedicate alla correzione atmosferica e allo studio delle nuvole.

Una risoluzione di 10 metri significa che ogni singolo pixel della nostra immagine rappresenta una porzione di terreno quadrata di 10 metri per lato. Sebbene questa risoluzione non consenta di distinguere i singoli moduli fotovoltaici montati sul tetto di un'abitazione privata, si rivela **estremamente efficace per la geolocalizzazione dei parchi solari a terra (utility-scale)**. Questi impianti industriali occupano infatti superfici molto estese, spesso superiori a diversi ettari, coprendo un numero di pixel sufficiente a renderli chiaramente visibili nello spazio circostante.

Oltre alla dimensione geometrica, il vero punto di forza di Sentinel-2 risiede nella sua **risoluzione spettrale**.

I pannelli fotovoltaici sono realizzati con materiali specifici, come il silicio e il vetro protettivo antiriflesso. Questi materiali reagiscono alla luce solare in modo completamente diverso rispetto alla vegetazione, all'acqua o al suolo nudo. Quando il

satellite passa sopra un impianto fotovoltaico, la firma spettrale registrata mostra un comportamento tipico: i pannelli assorbono la quasi totalità della luce visibile (per produrre energia), ma presentano picchi di riflessione geometrica unici nelle frequenze del Vicino Infrarosso (NIR) e dello Short-Wave Infrared (SWIR) [35].

"I dati raccolti da Sentinel-2 non vengono distribuiti tutti allo stesso modo, ma sono divisi in diversi livelli di elaborazione in base alle correzioni effettuate. I formati principali che si incontrano sono:

- **Level-1C (L1C):** contiene le immagini grezze così come vengono scattate dal satellite, incluse le distorsioni causate dai gas e dal vapore dell'atmosfera.
- **Level-2A (L2A):** è il formato più usato, in cui l'immagine viene 'pulita' dall'effetto dell'atmosfera per mostrare i colori reali del terreno.
- **Level-2C (L2C):** raccoglie i dati del passato rielaborati con tecnologie recenti, per permettere di confrontare vecchie e nuove immagini senza errori di calcolo [36]

Sfruttando queste caratteristiche ottiche, i dati liberi e gratuiti di Sentinel-2 si dimostrano uno strumento potente, economico e scalabile per mappare e censire la diffusione degli impianti solari sul territorio.

3.1.2 Copernicus Browser e calcolo delle bande RGB

Il Satellite Copernicus dispone nelle sue funzioni Open Data da usufruire attraverso il sito web: www.dataspace.copernicus.eu/ecosystem/services/copernicus-browser alle informazioni e i dati messi a disposizione e consultabili grazie alla semplice interfaccia a coloro che ne vogliano scaricare e ottenere dati semplicemente a Curiosi, Ricercatori e Studenti, Enti e Professionisti.

Una volta effettuato l'accesso al sito si può consultare attraverso le funzioni base che esso offre senza effettuare un'iscrizione, oppure utilizzare le funzioni professionali di cui il programma possiede ed effettuare un login con le credenziali di e-mail e password.

Effettuato l'accesso Si genererà una schermata dove avremmo alla nostra Sinistra un pannello (motore di ricerca) **SEARCH**, dove si potrà scegliere il Satellite: Di solito per le immagini a colori si spunta il **Sentinel-2** nel nostro caso specifico si seleziona il livello **L2A** (significa che l'immagine è già pulita dagli effetti della nebbia e dell'atmosfera, quindi i colori sono reali).

Possibile poi impostare il filtro nuvole (Max Cloud Coverage): che se impostato al 10%, il sito scarta in automatico i giorni in cui c'era brutto tempo. Si evita di perdere tempo ad aprire foto dove si vedono solo nuvole bianche.

Infine si possono impostare le date e i risultati per ricercare dei confronti di immagini precedenti o passate.

Nella parte adiacente troviamo il pannello **VISUALIZZA** che una volta caricata la foto della tua zona, questo pannello serve a decidere *come* vuoi vederla, se attraverso i filtri pronti (preset) si possono decidere di cliccare sulle impostazioni *True Color* e vedi la Terra normalmente; *False Color* e la vegetazione diventa rossa fluo (serve a capire se le piante stanno bene) oppure si esegue la funzione Custom (Un fai da te)

Dove poter trascinare i quadratini delle bande (tipo B04, B08) dentro tre slot colorati (Rosso(R), Verde(G), Blu(B) per crearti la tua combinazione personalizzata le così dette bande (RGB)

C'è anche lo spazio per il *Custom Script*, dove si incolla il codice JavaScript che analizzeremo nel capitolo Sperimentale.

Il pannello **Analysis** offre la possibilità con la registrazione di ottenere le informazioni Pro per poter accedere alle **Time Series (Grafici storici)**, **Compare Tool (Il prima/dopo)** e **Spectral Explorer (La firma del pixel)**.

Il pannello alla nostra **destra** è la barra degli strumenti veloci, quello di destra serve a **muoversi sulla mappa, disegnare e scaricare il lavoro** composto da una parte riservata alla **Navigazione e Orientamento con i tasti di Zoom (+ / -)**: I classici tastini per avvicinarsi o allontanarsi, di **Bussola / Orienta a Nord**: Se ruoti la mappa per sbaglio, clicchi qui e torna dritta con il Nord in alto e la **Visualizzazione 3D**: Un bottone fantastico che inclina la mappa. Se sei in una zona di montagna, ti permette di vedere il rilievo del terreno in tre dimensioni, proiettandoci sopra l'immagine del satellite.

Possiede **Strumenti di Disegno (AOI - Area of Interest)**.

Questi bottoni servono a "dire" al sito su quale pezzo di terra vorresti analizzare, **Segnaposto (Pin)**: Clicchi sulla mappa per piantare uno spillo e salvare le coordinate di un punto preciso **Disegnare una linea** Serve a misurare le distanze (es. quanto è lunga una strada o un fiume) **Disegnare un Poligono**: dove si tracciano i confini di un'area (un campo, un comune, una foresta). Una volta chiuso il poligono, il sito ti dice quanti ettari o chilometri quadrati misura e sblocca i grafici del pannello di sinistra.

La funzione inoltre di **Cattura e Download dove si effettua il Download Immagine (Icona della macchina fotografica / freccia in giù)**, Ti fa scaricare quello che vedi sullo schermo scegliendo tra *Basic*: Un semplice screenshot in JPG o PNG (perfetto da incollare su Word).

Analytical: Scarichi i dati scientifici veri e propri (i file **GeoTIFF**), divisi banda per banda, da importare su software come QGIS o ArcGIS inoltre può **Creare Animazione (Timelapse)**: Un altro strumento pazzesco. Selezioni un'area, imposti un arco di tempo (es. dal 2020 al 2026) e il browser monta in automatico un video o una GIF che mostra come è cambiata la zona nel tempo.

Infine si possono pure Gestire i Layer con il caricamento di File. Geojsonson (meno pesanti) anche per il riconoscimento delle province o comuni dove si sta lavorando al progetto in atto. [37]

La funzione delle bande RGB nel campionamento e visualizzazione dell'immagini satellitari nella piattaforma [Copernicus Browser](#) si fondano sulla scomposizione dello spettro elettromagnetico operata dai sensori orbitali. Nel caso specifico della costellazione **Sentinel-2**, il carico utile è costituito dal *Multispectral Imager* (MSI), un sensore ottico in grado di registrare la riflettanza terrestre in **13 bande spettrali** distinte, distribuite tra le regioni del visibile (VNIR) e dell'infrarosso a onde corte (SWIR).

Per rendere intellegibili tali informazioni numeriche su un monitor, l'interfaccia adotta un sistema di **sintesi additiva RGB**, associando tre canali spettrali specifici ai canali fisici del Rosso (*Red*), Verde (*Green*) e Blu (*Blue*) dello schermo.

Risoluzione Spaziale e Geometrica delle Bande

Come specificato dalle linee guida dell'Agenzia Spaziale Europea, le bande di Sentinel-2 non possiedono la medesima risoluzione a terra, un fattore cruciale da considerare in fase di calcolo e campionamento in quanto la:

- **Risoluzione a 10 metri:** Bande **B02** (Blu), **B03** (Verde), **B04** (Rosso) e **B08** (Infrarosso Vicino - NIR). Rappresentano i dati a maggior dettaglio geometrico.
- **Risoluzione a 20 metri:** Bande Red Edge (**B05, B06, B07, B8A**) e bande SWIR (**B11, B12**), impiegate per lo stress idrico e la geologia.
- **Risoluzione a 60 metri:** Bande atmosferiche (**B01, B09, B10**), dedicate esclusivamente alle correzioni della colonna d'aria e al filtraggio dei cirri.

Come detto in precedenza la manipolazione delle bande all'interno del pannello di visualizzazione permette di generare diverse tipologie di prodotti iconografici a seconda dell'obiettivo di ricerca:

1. True Color (Colori Reali)

Questa combinazione riproduce fedelmente la percezione visiva dell'occhio umano. Associa le frequenze del visibile ai rispettivi canali di output:

CANALE R=04 G=03 B=02

Viene utilizzata come base cartografica standard per il riconoscimento morfologico immediato del territorio, la mappatura delle aree urbane e la stima macroscopica della copertura nuvolosa.

2. False Color (Infrarosso Vicino - NIR)

Progettata per l'analisi agro-forestale, questa configurazione sostituisce il canale del rosso visibile con la banda dello spettro invisibile NIR:

CANALE R=08 G=04 B=03

Sfruttando l'elevata riflettanza della clorofilla sana nella regione dell'infrarosso vicino, la vegetazione vigorosa risalta in tonalità di rosso brillante. Variazioni verso il marrone o il grigio indicano anomalie fogliari, senescenza o stress idrico.

3. Short-Wave Infrared (SWIR)

Questa combinazione è ottimizzata per l'osservazione di fenomeni termici ad alta energia e per la differenziazione geologica:

CANALE R=12 G=08 B=04

Grazie alle proprietà fisiche delle lunghezze d'onda SWIR, il composito è in grado di penetrare parzialmente le coltri fumogene, permettendo l'individuazione dei fronti attivi di un incendio (che appaiono in emissione arancione/rossa) e la perimetrazione delle aree bruciate (*burn scars*), che assumono colorazioni scure riflettendo la perdita di biomassa. [38]

La Logica del "Calcolo delle Bande"

Oltre alla pura visualizzazione dei prodotti preconfigurati, la piattaforma introduce il concetto di **calcolo spettrale algebricizzabile**. Attraverso algebra matriciale applicata ai singoli pixel, l'utente può elaborare indici radiometrici matematici. L'esempio più significativo è il calcolo dell'indice normalizzato di vegetazione (NDVI), strutturato secondo la formula:

$$NDVI = \frac{B08 - B04}{B08 + B04}$$

Tale operazione estrae un dato quantitativo (compreso tra -1 e +1) isolando la risposta fisiologica delle piante. Questo approccio matematico costituisce la base logica per la scrittura degli script personalizzati (*Evalscripts* in ambiente JavaScript), i quali permettono di programmare funzioni condizionali complesse direttamente sul server di erogazione dati del sistema Copernicus. [39]

Nel capitolo del metodo di visualizzazione sarà creato un Evalscripts in Javascript.

3.2. I Sistemi Informativi Geografici: l'ambiente QGIS

I Sistemi Informativi Geografici (GIS) costituiscono l'architettura digitale portante per l'elaborazione, l'integrazione e la restituzione cartografica di qualunque informazione legata a una coordinata geografica. Nell'ampio panorama dei software geospaziali, **QGIS (Quantum GIS)** si è imposto come uno standard di riferimento globale, tutelato dalla *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). La scelta di adottare questa piattaforma risiede nella sua natura *open-source* e multiplatforma, che garantisce non solo la totale gratuità del software, ma anche un continuo aggiornamento guidato da una vasta comunità scientifica internazionale [40]

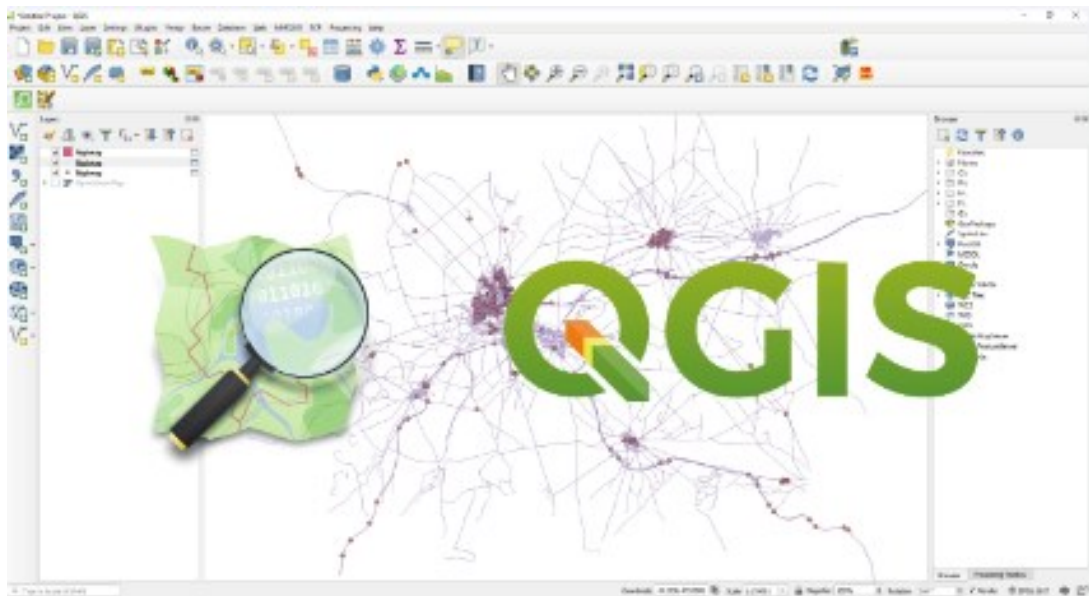


Figura 14 - Foto illustrativa Software QGIS

Nel flusso di lavoro che caratterizza i progetti di telerilevamento satellitare, l'ambiente desktop GIS agisce come un vero e proprio hub di calcolo. Se le interfacce web e i geoportali assolvono principalmente una funzione di consultazione visiva e scrematura preliminare dei dati, [QGIS](#) estende queste potenzialità consentendo manipolazioni geometriche e matematiche complesse. Il software gestisce nativamente i due modelli di dati fondamentali della cartografia digitale [41]:

- **Il modello vettoriale:** ideale per rappresentare entità discrete attraverso primitive geometriche di punti, linee e poligoni (essenziale per la perimetrazione dei confini amministrativi o delle singole strutture degli impianti).

- **Il modello Raster:** strutturato come una matrice bidimensionale di pixel, in cui ogni cella racchiude il valore numerico della riflettanza registrata dai sensori satellitari (il formato tipico delle immagini telerilevate).

Una delle caratteristiche più rilevanti di QGIS per questa trattazione è la sua struttura modulare, espandibile tramite l'installazione di **plugin** specifici. Questa architettura permette al software di superare i flussi di lavoro tradizionali – che richiedevano il download locale di pesanti scene satellitari grezze – per passare a una logica di cloud-computing orientata ai servizi web. Attraverso l'integrazione di API dedicate, QGIS è in grado di interfacciarsi direttamente con cataloghi cloud avanzati, come l'infrastruttura **Sentinel Hub**. Questo ecosistema permette di interrogare e richiamare i prodotti della costellazione Sentinel-2 applicando filtri spaziali e temporali direttamente sulla porzione d'interesse. Di conseguenza, l'operatore può lavorare su layer dinamici e pre-elaborati in remoto, ottimizzando la memoria della macchina locale e impostando la base analitica necessaria per le successive estrazioni algoritmiche. [42]

3.2.1 I servizi di base cartografica e geoportali (WMS/Basemaps)

L'efficacia e l'accuratezza di un'analisi geospaziale all'interno di un software GIS dipendono in larga misura dalla possibilità di sovrapporre e confrontare strati cartografici di diversa origine. Se da un lato i dati satellitari permettono di effettuare analisi ambientali e radiometriche distribuite nel tempo, dall'altro lato sorge la necessità di inserire queste informazioni all'interno di un contesto geografico reale e comprensibile. A questa esigenza rispondono i servizi di base cartografica (comunemente chiamati *basemaps*) e i geoportali istituzionali.

L'integrazione di questi strati di supporto in QGIS avviene sfruttando protocolli di comunicazione standardizzati a livello internazionale, tra cui spiccano il **WebMap Service (WMS)** e le connessioni **XYZ Tiles**. [43] Il grande vantaggio di queste tecnologie risiede nella loro sostenibilità informatica: il software desktop non deve scaricare e archiviare pesanti file geometrici o raster sul computer locale, ma interroga in tempo reale i server remoti delle pubbliche amministrazioni (come i geoportali regionali o nazionali) o di fornitori privati, visualizzando a schermo solo la porzione di mappa necessaria all'utente in quel preciso momento.

Nel contesto specifico del censimento degli impianti fotovoltaici, l'utilizzo combinato di diverse sorgenti cartografiche risponde a un problema cruciale del telerilevamento: il limite della **risoluzione spaziale**. Le immagini fornite dalla costellazione Sentinel-2 rappresentano una risorsa fondamentale per lo studio del territorio, ma presentano un dettaglio geometrico massimo di 10 metri per pixel nelle bande del visibile. Questo significa che ogni singolo quadratino (pixel) dell'immagine racchiude al suo interno un'area di 100 metri quadrati a terra. Di conseguenza, se un impianto fotovoltaico è di piccole dimensioni (come i pannelli posizionati sui tetti delle abitazioni o dei piccoli capannoni industriali), la sua forma si mescolerà inevitabilmente con gli elementi circostanti, rendendo difficile o impossibile il suo riconoscimento visivo sicuro. [44]

Per superare questa barriera tecnologica, l'ambiente QGIS consente di affiancare ai dati Copernicus i flussi di immagini commerciali ad altissima risoluzione spaziale, come lo strato **Google Satellite** inserito tramite XYZ Tiles. Questo genere di mappa di fondo offre una definizione sub-metrica (spesso inferiore ai 50 centimetri per pixel), permettendo di

distinguere chiaramente le singole strutture antropiche, i contorni degli edifici e la presenza dei moduli fotovoltaici. Nella strategia metodologica, questa operazione prende il nome di **validazione visiva o ground truth (verità a terra)**. Nel mio caso in questo modo si può svolgere un controllo incrociato, l'anomalia radiometrica o la variazione spettrale individuata su larga scala grazie al sensore Sentinel-2 viene confermata o smentita dall'ispezione visiva ad alta definizione. [45]

Questo passaggio è indispensabile per procedere alla successiva fase di digitalizzazione manuale, riducendo al minimo i falsi positivi ed evitando l'esclusione di quegli impianti che, per via delle loro dimensioni ridotte, risulterebbero invisibili a una risoluzione stradale o satellitare standard.

In sintesi per effettuare la geolocalizzazione mi sono servito del Software Google Earth come BaseMaps e delle informazioni .Geojson dei limiti amministrativi delle province Marchigiane.

3.3 GSE fonti ufficiali e fonti volontarie

Per studiare come si distribuiscono i pannelli fotovoltaici nelle Marche, l'ideale sarebbe avere una mappa ufficiale con la posizione precisa di ogni impianto.

Tuttavia, provando a richiedere questi file cartografici (come gli Shapefile o i GeoJSON) ad enti come il GSE o Terna, si scopre che non sono accessibili al pubblico. Questo blocco non dipende da un problema tecnico dei loro sistemi, ma da tre motivi precisi regolati dalla legge.

1. La questione della privacy e il segreto statistico

Il primo motivo riguarda la riservatezza dei cittadini. Un impianto fotovoltaico domestico (quello installato sul tetto di una normale abitazione) è strettamente legato a dati sensibili: il codice fiscale del proprietario, il suo indirizzo di casa e le sue abitudini di consumo elettrico.

Se il GSE pubblicasse una mappa con le coordinate esatte (X,Y) di ogni pannello, starebbe di fatto svelando la posizione e i dati patrimoniali di migliaia di privati. Questo andrebbe contro il Regolamento Europeo sulla Privacy (GDPR 2016/679) [46].

- Inoltre, il GSE deve rispettare le regole del Sistema Statistico Nazionale (SISTAN), che impone il segreto statistico (Art. 9, D.Lgs. 322/1989) [47]

Per questo motivo, gli enti pubblici possono rilasciare dati solo aggregati (ad esempio, dicendo quanti Kilowatt totali ci sono in un intero Comune), ma non possono darci la posizione del singolo tetto.

2. La sicurezza nazionale e la protezione delle reti elettriche

- Il secondo motivo è legato alla sicurezza del Paese. La rete elettrica e le centrali che producono energia sono considerate "infrastrutture critiche", cioè beni strategici che vanno protetti secondo le direttive europee (Direttiva UE 2022/2557) [48]

Mettere online un database pubblico con la geolocalizzazione esatta e la potenza di ogni singolo punto di immissione della corrente (i dati che Terna raccoglie nella piattaforma GAUDÌ) potrebbe essere rischioso. Malintenzionati o hacker potrebbero sfruttare queste mappe per pianificare attacchi mirati alla rete di distribuzione elettrica. Di conseguenza, queste informazioni georeferenziate restano chiuse e accessibili solo agli addetti ai lavori.

3. La burocrazia e la mancanza di un catasto unico dell'energia

L'ultimo ostacolo è di tipo amministrativo. In Italia c'è una storica divisione dei compiti tra i vari uffici pubblici. Il GSE (FONTE UFFICIALE) si occupa principalmente della parte economica, ovvero di registrare chi ha diritto agli incentivi o ai contratti di energia.

I Comuni e le Regioni, invece, si occupano della parte urbanistica e dei permessi edilizi per installare i pannelli, inserendo i dati nei loro database cartografici.

Al momento non esiste un software unico o un catasto nazionale che colleghi in automatico i dati economici del GSE con le mappe reali del territorio.

Il portale “*Atlaimpianti*” del GSE prova a unire queste informazioni, ma si limita a mostrare mappe generali o grafici di densità, senza dare la possibilità di scaricare i file con le posizioni precise per lavorarci su QGIS.

FONTI NON UFFICIALI DEFINITE VOLONTARIE (Volunteered Geographic Information) [49]

Questo scenario crea un problema per la ricerca, i dati ufficiali sono precisi nei numeri (ci dicono quanti Megawatt reali ci sono) ma non hanno la mappa di dettaglio, mentre a noi serve sapere dove sono posizionati i pannelli sul territorio, così si è cercato di superare questo limite senza violare la legge, in questa ricerca sperimentale si è scelto di usare una strategia alternativa che parte dal basso.

Unendo l'uso della cartografia collaborativa, scaricando i limiti di ogni Provincia delle Marche da siti ufficiali e una prima ricostruzione della posizione dei pannelli fotovoltaici che sono mappati da fonti volontarie su OpenStreetMap, interrogando il plugin QuickOSM al controllo visivo risultavano geolocalizzati alcuni dei tanti parchi fotovoltaici a terra, ma non tutti, quindi tramite le immagini satellitari del programma europeo Copernicus Sentinel-2 si è deciso di aggiornare con dati più recenti questo Database. Questo metodo permette di creare una mappa aggiornata e georeferenziata in modo autonomo, dimostrando come gli strumenti Opensource e i GIS possano colmare la mancanza di dati pubblici.

3.4 Caso di studio: la regione Marche

Il caso in esame preso per monitorare l'evoluzione dei Pannelli Fotovoltaici ad oggi, riguarda la Regione Marche.



Figura 15 - Ricavata da Google earth Pro

Come sappiamo Le Marche sono un piccolo paradiso del Centro Italia, da sempre la Porta D'oriente del nostro Paese e l'unica ad essere preceduta da un articolo plurale.

Composta da 5 province: Ancona (capoluogo), Pesaro-Urbino, Macerata, Fermo, Ascoli Piceno vanta una superficie di 9.344 km² con all'attivo 1.482.746 Abitanti in diminuzione rispetto ai dati del 2010 (1.560.785) causato dal progressivo invecchiamento e dal forte calo delle nascite.

La regione si affaccia sul Mar Adriatico e gode della bellezza della costa (versante Est), delle Montagne (Ovest), le dolci Colline (parte centrale) e Laghi e fiumi (Nell'entroterra) senza tralasciare l'innumerabile quantità di monumenti, storia medievale e l'eccellenza in campo sia dell'olivicoltura, viticoltura e bestiame per la produzione di carne e formaggi.

Come si sa, Le Marche erano strutturate fino agli anni 60-70 in un sistema di tipo Mezzadrile, dove il



Figura 16 - Superficie media attuale aziende marche 2024

proprietario (concedente) e il contadino (mezzadro) si spartivano costi di gestione e gli utili del fondo. [50]

Ad oggi la tendenza è cambiata e si è passati a un sistema di tipo industrializzato dove si evince una forte diminuzione di Aziende Agricole nelle Marche tra il 2022 e il 2024 con un calo del 16.1% a discapito della forte riduzione delle piccole “Aziende familiari”, che sono poi state assorbite da altre aziende più strutturate nel mercato crescendo aumentandone così la media della superficie a così la superficie a 13.5 ettari.

Le cause sono molteplici, elencandone alcune troviamo l’aumento dei costi di produzione, il ricambio generazionale che manca, la concorrenza internazionale sul mercato e la difficoltà di adattarsi per mancanza di disponibilità ai cambiamenti imposti dalle innovazioni. [51]



Confagricoltura Marche, sostiene il progetto Parco Agrisolare e Agrivoltaico avanzato, al fine di ridurre i Costi di Gestione e offrire una differenziazione del reddito derivante dalle 2

Figura 17 - Illustrazione Parco Agrivoltaico

attività, si spera di invertire così la tendenza alla Diminuzione delle Imprese Agricole nel territorio marchigiano e a una ripresa delle Attività Agricole come mezzo redditizio per il futuro. [52]

3.4.1 Strategia di campionamento e identificazione degli impianti fotovoltaici

Il lavoro svolto in campo di telerilevazione degli impianti nella regione Marche si basa sull'utilizzo di software gratuiti ed accessibili (Opensource) a tutti per poter individuare l'esatta posizione del campo fotovoltaico oggetto di studio.

Per eseguire l'operazione si è usato prima di tutto il Software QGIS (Quantum GIS) che come detto nei capitoli precedenti è un software che ci permette di sovrapporre e analizzare dati provenienti da fonti diverse per creare mappe interattive, studiare il territorio e risolvere problemi spaziali.

Tramite l'utilizzo del software QGIS si sono installati i Plugin che hanno permesso di confrontare i dati ottenuti in sede di visualizzazione.

Sentinel Hub ha permesso il collegamento delle informazioni ottenute tramite il Copernicus Browser per poter impostare i layer che ci permetteranno di visualizzare i Pannelli Fotovoltaici in maniera marcata rispetto al suolo per il loro grado di diversità a livello di assorbanza delle bande grazie alla loro composizione a livello materiale.

QUICKOSM un plugin che permette tramite una interrogazione da parte del software QGIS di attingere alle informazioni presenti nel database OPENSTREETMAPS riguardanti i pannelli Fotovoltaici di nostro interesse.

Attraverso questo metodo e creando dei poligoni che prendessero in considerazione l'area interessata alle costruzioni fotovoltaiche si ottiene la possibilità di stabilirne la posizione nello spazio e il grado di occupazione al suolo.

Dunque analizzeremo tutti i passaggi della Metodologia effettuata, partendo per non appesantire il Software di una mole di dati eccessiva, da una Provincia Marchigiana, per poi applicare lo stesso metodo anche alle restanti 4 province, in modo tale e a lavoro eseguito di unire i dati ottenuti.

3.4.2 Censimento automatico preliminare tramite dataset "Solar" (QuickMapServices)

Come primo passo per effettuare la nostra analisi andremo ad aprire il software QGIS:

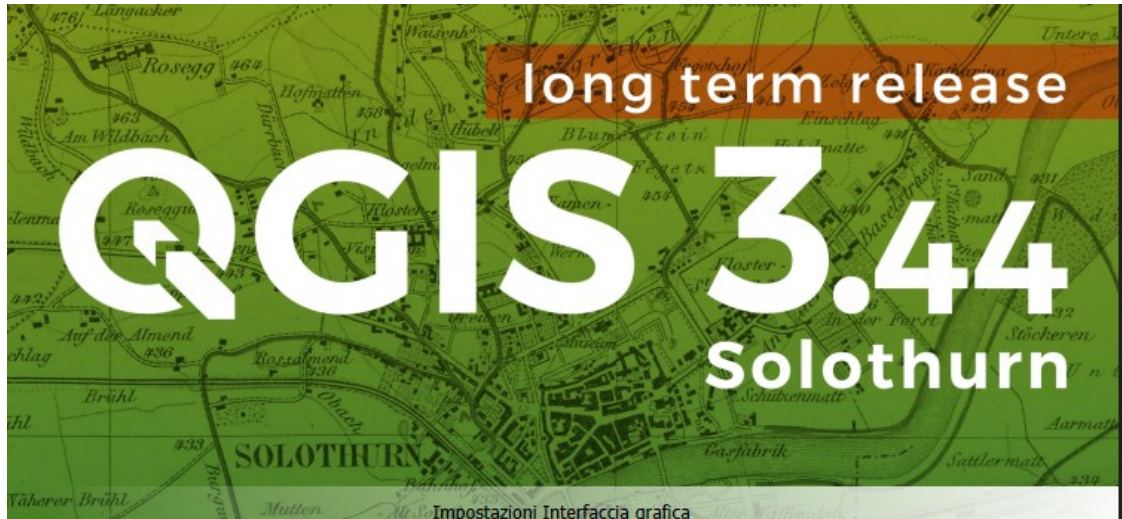


Figura 18 - Schermata di caricamento apertura Software

Come “BASEMAPS” iniziale per dare uno Sfondo che ci permette di identificare i nostri pannelli fotovoltaici utilizzeremo GOOGLE SATELLITE, il sistema di coordinate utilizzato sarà: EPSG 32633 WGS 84/ UTM 33N

Questo sistema è Basato su:

- Unità: metri
- Dinamico (si basa su un datum che non è fissato sulla placca tettonica)
- Corpo celeste: Earth
- Basato su *World Geodetic System 1984 ensemble* (EPSG:6326) che ha una accuratezza limitata di **2 metri al massimo**.
- Metodo: Universal Transverse Mercator (UTM)

che ci servirà per i capitoli successivi ad ottenere in maniera precisa e millimetrica la visualizzazione attraverso il sistema di riferimento del Satellite Copernicus.



Figura 19 - Estratto da GIS con utilizzo del Basemaps “Google Satellite”

Successivamente si procederà con la ricerca dei confini delle province Marchigiane divise in comuni, che sono state scaricate dai Siti di Geolocalizzazione in formato supportato .Geojson, precisamente al riferimento: <https://github.com/openpolis/geojson-italy> che daranno una precisa Localizzazione dello spazio dove si andrà ad operare potendo definire l’esatta ubicazione del Pannello Fotovoltaico.

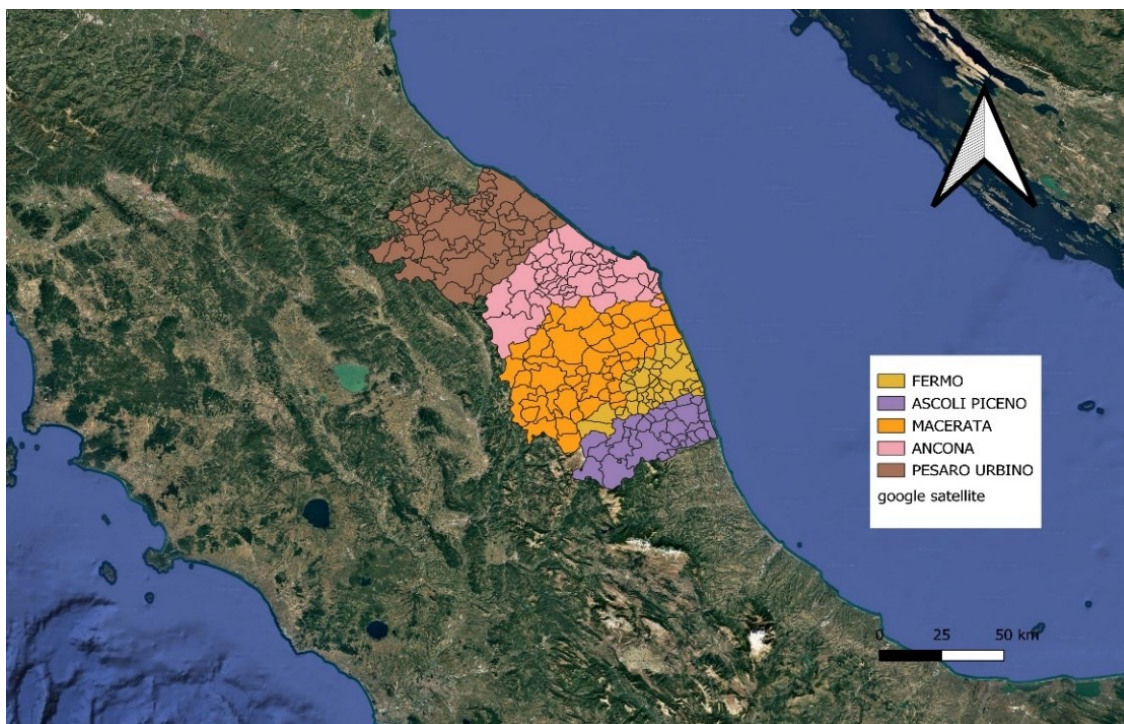


Figura 20 - Estratto Province della regione Marche “Software GIS”

Tramite le proprietà dei layer si opererà per ottenere le province trasparenti mantenendo i confini visibili come si evince da (Figura 21), in modo da impostarle come sfondo e non perderci nella ricerca manuale, evitando di ripetere o saltare in comuni dove attraverso il Sentinel-2 si aveva visivamente già esplorato.

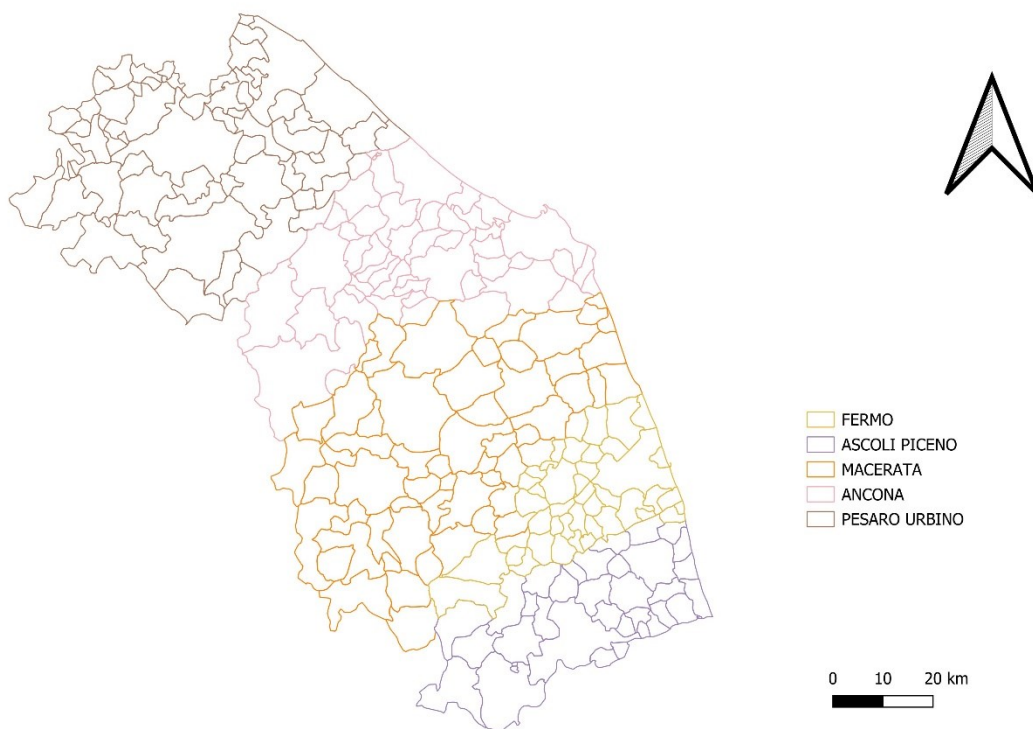


Figura 21- Estratto GIS “Visualizzazione trasparente Province Marche”

Ora che abbiamo impostato le parti che costituiranno lo scheletro dell’operazione, passeremo all’utilizzazione del Plugin QUICKOSM.

Interrogheremo il Software inserendo negli Spazi pre-impostati questo comando:

CHIAVE-GENERATOR: SOURCE

VALORE: SOLAR

IN: PESARO-URBINO

Imposteremo infine la richiesta barrando la casella” Meta Dati” questo ci consentirà di mostrare il periodo di acquisizione delle Geolocalizzazioni.

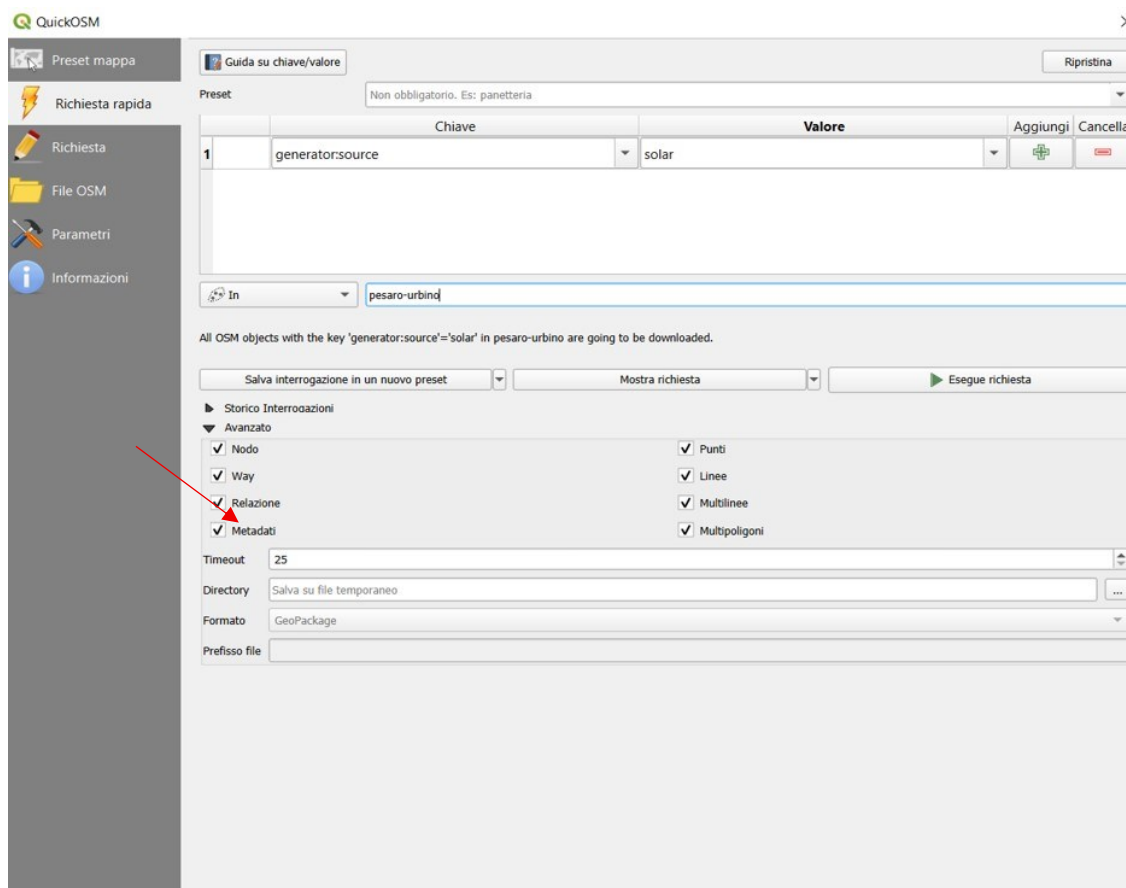


Figura 22 - Estratto foto GIS “Finestra di richiesta rapida QuickOSM”

Si esegue la richiesta e si ottiene il risultato finale di Geolocalizzazione degli Impianti Fotovoltaici nella Provincia Pesaro-Urbino come si evince da foto (Figura 23):

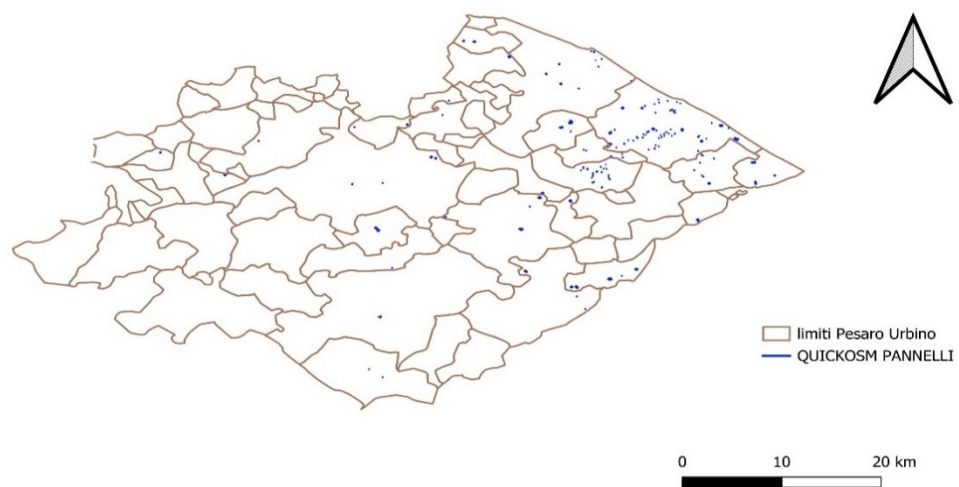


Figura 23 - Estratto foto GIS “Risultato Layer QuickOSM”

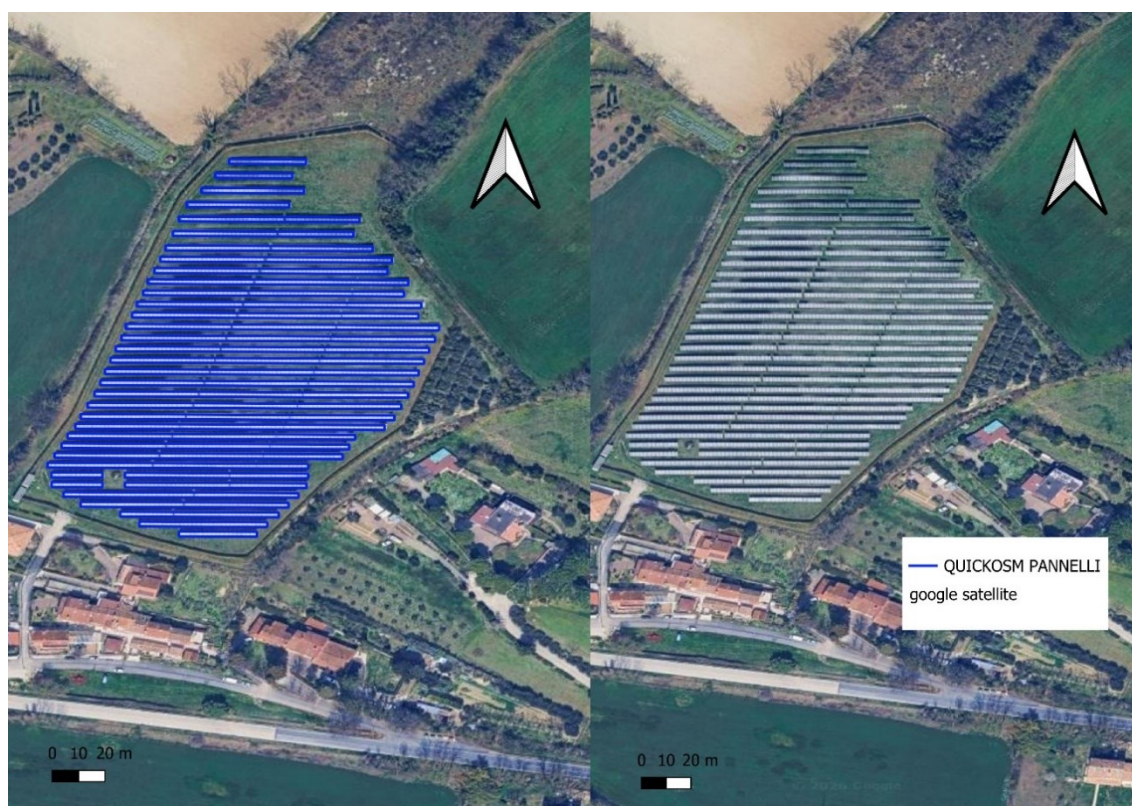


Figura 24 - Confronto visivo estratto da GIS “Geolocalizzazione Pannello da Layer QuickOSM”

Dopodichè eseguiremo la stessa interrogazione fatta per la provincia di Pesaro-Urbino, applicando la stessa regola alle province restanti. Si utilizzeranno le stesse istruzioni precedentemente impostate, variando solo al comando IN: (Provincia che si interroga) ottenendo a lavoro ultimato un quadro completo di quelli che sono gli impianti Fotovoltaici nella regione Marche, provvisti di data, al fine di rendere attendibile e aggiornato il risultato ottenuto.

Attraverso la funzione “Attributi Tabella” troviamo informazioni su: l’Autore di tale Geolocalizzazione e la data di esistenza della geolocalizzazione al fine di rendere attendibile la rilevazione.

generatorsource_solar_pesaro-urbino — Elementi Totali: 990, Filtrati: 990, Selezionati: 0

full_id	osm_id	osm_type	osm_version	osm_timestamp	osm_uid	osm_user	osm_changeset	generatorsource	roofcolour	location	layer	power	generator_type	generatoroutput
1	w197134457	way	3	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
2	w303489105	way	1	2014-09-15T15:...	40518	kurtluks	25458613	solar	NULL	NULL	NULL	generator	NULL	NULL
3	w627459023	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
4	w627459024	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
5	w627459025	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
6	w627459026	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
7	w672551336	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
8	w672551337	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
9	w672551338	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
10	w672551339	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
11	w672551340	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
12	w672551341	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
13	w672551342	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
14	w673228874	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
15	w673228875	way	2	2025-08-22T09:46:26.000Z		catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
16	w673228876	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
17	w673228877	way	2	2025-08-22T09:...	21657267	catgirlseid	170821042	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
18	w709887621	way	2	2020-05-13T15:...	4624362	marchemap	85152900	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
19	w709887622	way	2	2020-05-13T15:...	4624362	marchemap	85152900	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
20	w728900528	way	2	2021-09-04T17:...	3240268	Max Ciaone	110725236	solar	NULL	NULL	1	generator	solar_photovoltaic...	yes
21	w753586959	way	2	2026-04-28T07:...	23832721	li_lucarini	181924689	solar	red	roof	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
22	w763489979	way	2	2020-05-13T15:...	4624362	marchemap	85152900	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
23	w763489980	way	2	2020-05-13T15:...	4624362	marchemap	85152900	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes
24	w763489981	way	3	2020-05-13T15:...	4624362	marchemap	85152900	solar	NULL	NULL	NULL	generator	solar_photovoltaic...	yes

Mostra Tutti gli Elementi

Figura 25 - Estratto foto da GIS “Tabella Attributi layer QuickOSM”

Arrivati a questo e analizzato parzialmente i dati dei pannelli nella Regione Marche per ottenere un dato più aggiornato e più preciso della situazione, si è optato per la ricerca manuale attraverso l'utilizzo del Satellite Copernicus.

3.4.3 Analisi degli indici spettrali e identificazione delle anomalie radiometriche (ombre scure)

Per ottenere i dati che serviranno come aggiunta al lavoro Automatico Svolta dal Plugin QUICKOSM ci recheremo sul sito: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>

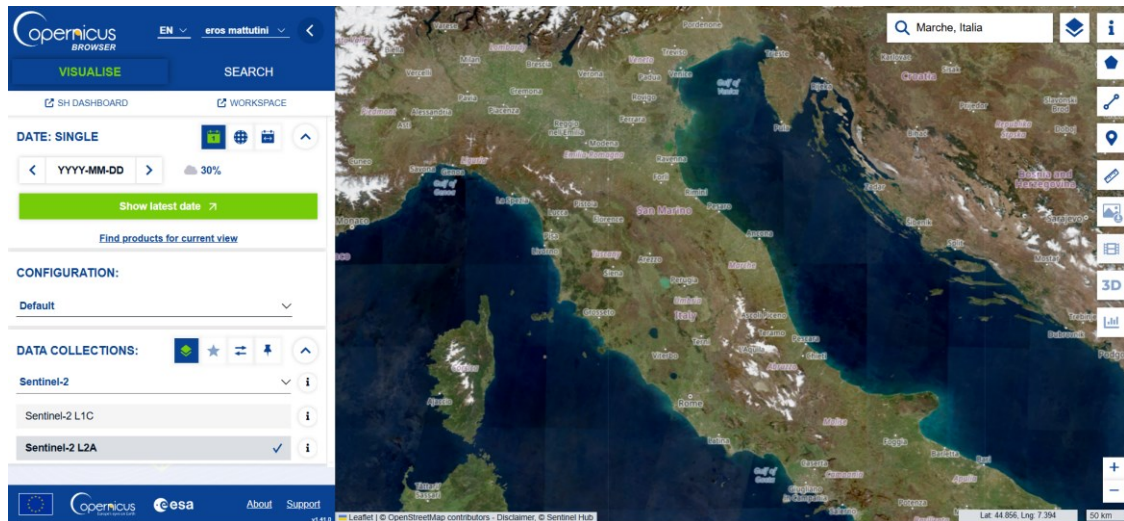


Figura 26 - Estratto immagine presentazione “Schermata iniziale Copernicus Browser”

In seguito alla registrazione sulla piattaforma, all'interno della sezione **SH Dashboard**, è stata creata una cartella di configurazione denominata '**MAPPA BASE**'. Al suo interno si è proceduto alla generazione di un layer personalizzato tramite uno script in linguaggio **JavaScript**. Tale script definisce le istruzioni per l'elaborazione dei dati della costellazione **Sentinel-2**, configurando i canali RGB per ottenere una visualizzazione ad alto contrasto rispetto all'ambiente circostante. Questa specifica composizione spettrale consente di distinguere accuratamente gli impianti fotovoltaici a terra dalle altre coperture del suolo, quali la vegetazione, le aree antropizzate, i corsi d'acqua e i bacini lacustri.

Questo script è inserito nel layer del browser di Copernicus, il limite di risoluzione dei dati non supera i 10 metri per pixel dunque non permette la visualizzazione dei piccoli impianti sui tetti delle case e la visualizzazione di piccoli Pannelli installati a terra per scopi familiari.

Il codice sfrutta le bande del satellite **Sentinel-2** per calcolare un indice personalizzato e restituire un'immagine a falsi colori ad alto contrasto.

Il calcolo dell'indice dei pannelli:

La formula principale utilizza due bande spettrali specifiche:
$$\text{index} = \frac{B12 - B02}{B12 + B02}$$

- **B12 (Short-Wave Infrared - SWIR):** Questa banda cattura la forte riflessione dei materiali artificiali come il vetro e il silicio dei pannelli solari.
- **B02 (Blue):** I pannelli fotovoltaici sono progettati per assorbire la massima luce visibile possibile, quindi registrano una riflessione molto bassa nella banda del blu.
- **Risultato:** Il contrasto tra l'alta riflessione in B12 e il forte assorbimento in B02 genera un valore di index estremamente elevato e positivo per i pannelli, mentre il suolo naturale e la vegetazione mantengono valori molto più bassi.

Composizione dei canali colore (RGB)

Il comando Return [rosso, verde, blu] mappa tre valori nei rispettivi canali dello schermo:

- **Canale Rosso (index * 2):** L'indice dei pannelli viene raddoppiato per saturare il canale. Di conseguenza, i pannelli solari appariranno con una forte componente **rossa o magenta**.
- **Canale Verde (B03 * 1.5):** Utilizza la banda del verde B03 leggermente amplificata. Serve a dare contesto visivo al suolo e alla vegetazione circostante.
- **Canale Blu (B02 * 2):** Utilizza la banda del blu B02 amplificata, utile per delineare corpi idrici o superfici cementate standard.

Come interpretare i colori visivi

- **Pannelli Solari:** Appaiono come poligoni geometrici di colore **rosso scuro, o magenta**, isolandosi nettamente dal contesto.
- **Suolo nudo e rocce:** Appaiono in tonalità grigie, marroni
- **Vegetazione:** Appare in tonalità rosso chiaro, poiché assorbe sia il blu che il SWIR rispetto all'infrarosso vicino.

Risultati ottenuti dall'esecuzione del layer di Sentinel-2 attraverso il plugin Sentinel Hub:



Figura 27 - Estratto GIS “Visualizzazione Pannelli Fotovoltaici Filtri RGB” Sentinel-2”

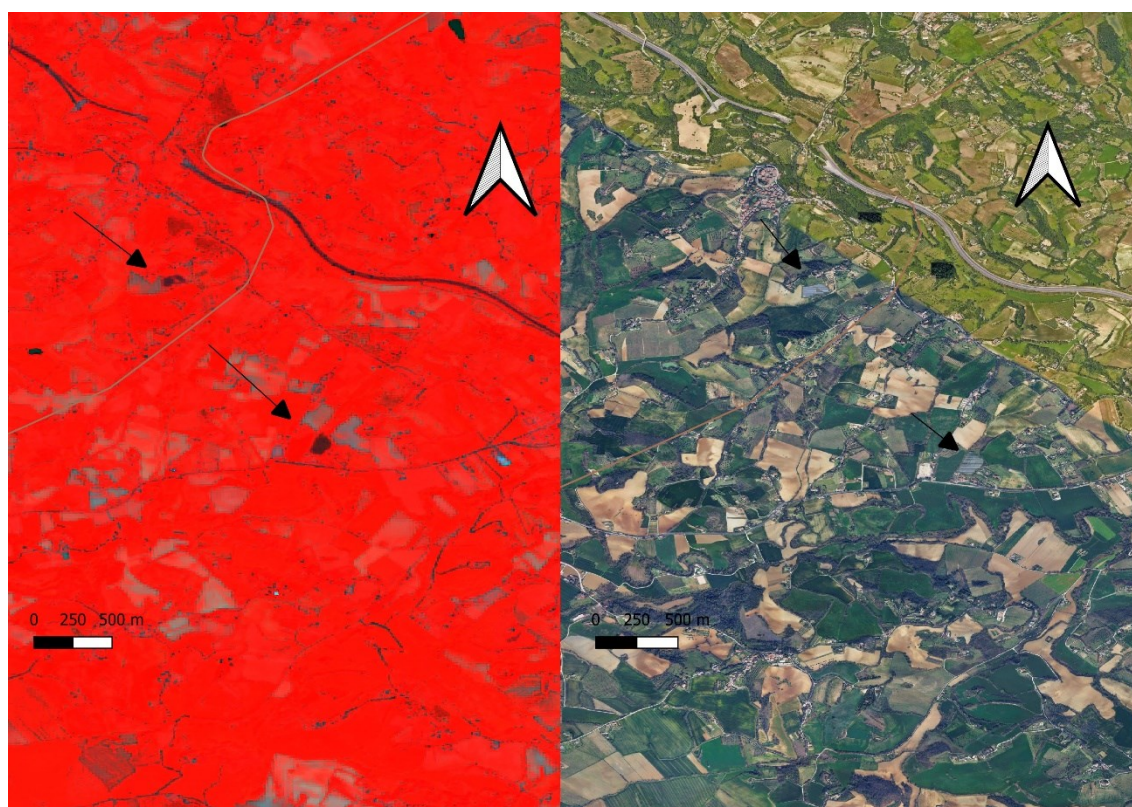


Figura 28 - Riscontro visivo Filtro RGB Sentinel-2, Immagine Google Satellite

Codice impostato: Visualizzazione ad alto contrasto pannelli/suolo

Let index = (B12 - B02) / (B12 + B02);

Return [index * 2, B03 * 1.5, B02 * 2];

Per avere una visualizzazione più precisa possibile si scaricheranno le informazioni dati del sistema in giorni differenti con il filtro nuvolosità che non superi il 10%.

Di seguito l'immagine dell'inserimento del codice Javascript all'interno del Data Processing in Copernicus Browser:

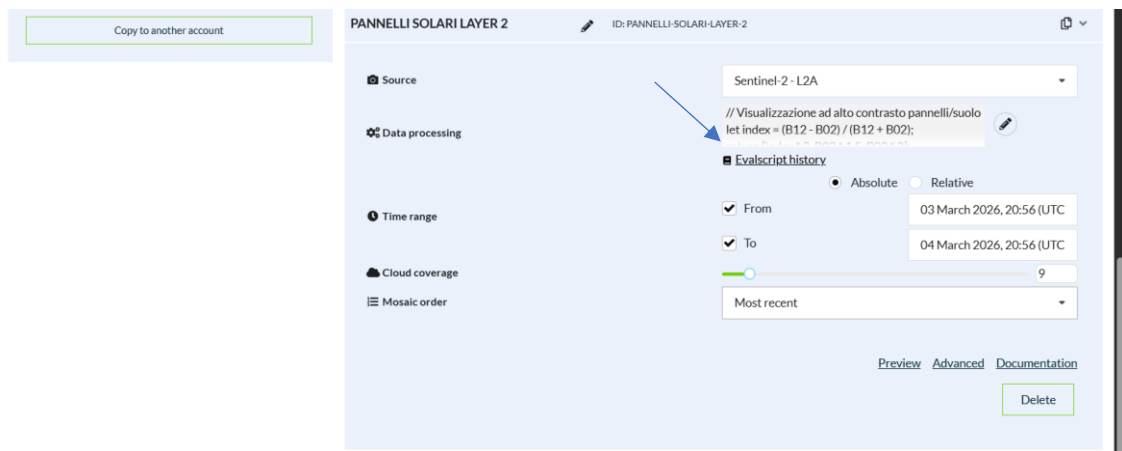


Figura 29 - Interfaccia grafica inserimento Data Processing per Sentinel-2

3.4.4 Integrazione dei dati tramite connessione Sentinel Hub in ambiente QGIS

Per importare il Layer che ci aiuterà nella distinzione dei Fotovoltaici a terra useremo in GIS il Plugin SENTINEL HUB.

Sentinel Hub farà comunicare il software GIS con il satellite Copernicus Tramite la generazione di un codice personale che solo l'utente finalizzato all'analisi conosce, nel caso in questione me medesimo:

Verrà dunque generato dal sistema del Copernicus Browser un:

-CLIENT ID: sh-e0870673-65fa-4b70-9117-1371963848fd

-CLIENT SECRET "PERSONALE"

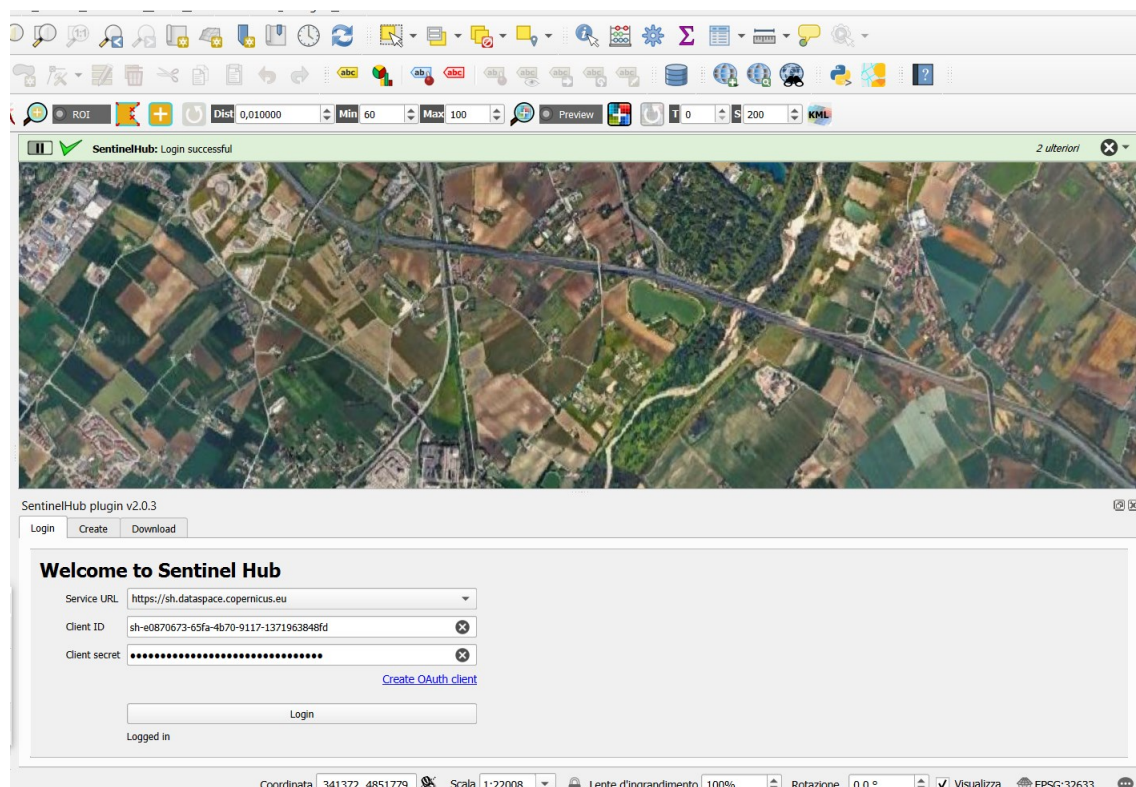


Figura 30 - Estratto da GIS "Immagine interfaccia grafica plugin Sentinel Hub"

Una volta immessi nel Plugin si procederà al collegamento per effettuare la comunicazione tra i 2 Software in maniera precisa.

Successivamente ci si sposterà sulla Cartella “CREATE” dove potremmo selezionare le impostazioni che riguardano il nostro layer precedentemente analizzato e Creato.

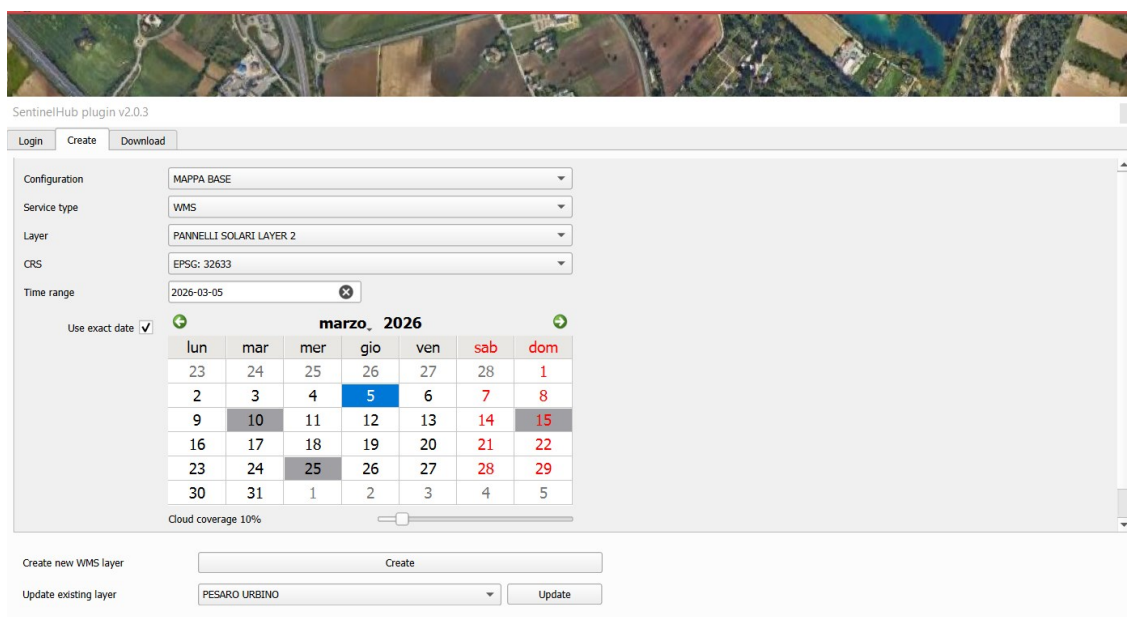


Figura 31 - Immagine estratta da Sentinel Hub “sezione caricamento Layer”

Dunque si seleziona la cartella “MAPPA BASE”; il Service Type WMS; il Layer precedentemente impostato “PANNELLI SOLARI LAYER 2”; il sistema di riferimento EPSG: 32633 e per ultimo si seleziona il giorno del mese che viene indicato dal satellite come idoneo nel caso in cui si selezioni una copertura nuvolosa non superiore al 10%, questo per evitare che le nuvole possano interferire con l’assorbimento e riflettanza dei pannelli Solari.

Infine si cliccherà la casella Create e il nostro Layer di collegamento verrà creato in ambiente GIS.

Lo andremo ad utilizzare, come si vede da foto, i pannelli vengono rilevati in maniera più scura in base al grado di Saturazione del Canale.

Possono comunque capitare dei pannelli fotovoltaici che in quel momento preciso non appaiono di colore scuro ma si confondono con la vegetazione, da qui nasce l’importanza di eseguire il filtro del Sentinel-2 in diversi giorni per poter identificare quelli “nascosti”, inoltre è possibile distinguere i detti “falsi” che alle volte si manifestano come aree molto più scure (Nere) e identificano i Corsi d’acqua (freccia gialla) e di colore azzurro per le aree cementate (freccia blu)

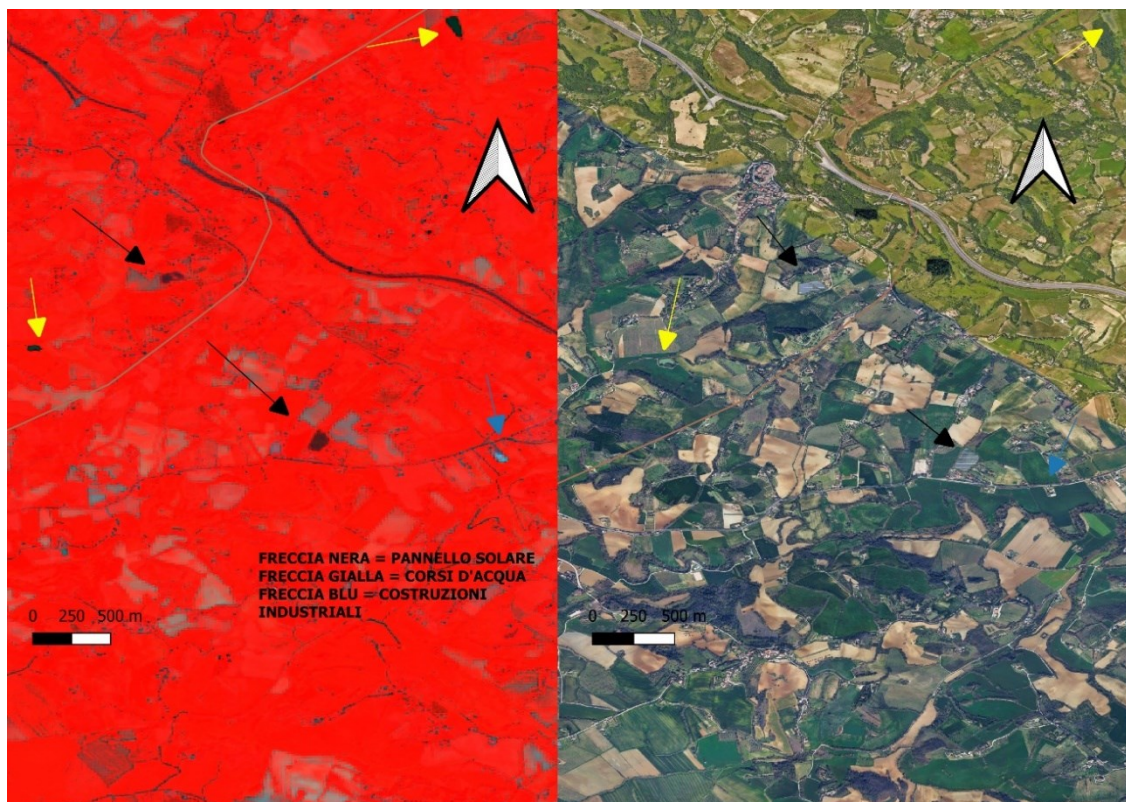


Figura 32 - Confronto visualizzazione d'immagine tra filtri Sentinel-2 e Google Satellite

Ecco perché si è optato di utilizzare una Mappa di Base come Google Satellite che dotata di maggior risoluzione (arrivando a un dettaglio di **30-50 cm per pixel**) ha immagini satellitari aggiornate per poter verificare la reale presenza dell'impianto e nel caso la possibilità di geolocalizzarlo attraverso la selezione del perimetro tramite Poligono.

Unendo il procedimento che abbiamo fatto per la Provincia di Pesaro e Urbino si procederà ad applicare lo stesso metodo anche per le altre 4 province (Ancona, Macerata, Ascoli Piceno, Fermo) si analizzeranno poi tramite, sia l'utilizzo del Satellite Copernicus, sia tramite utilizzo di Google Satellite per verificarne la relativa presenza.

In alcuni casi si potrebbe determinare l'origine di creazione dell'Impianto Fotovoltaico, dopo riscontro visivo tramite Sentinel-2 e attraverso la conferma tramite Google satellite si è utilizzato un ulteriore controllo dal Software Google earth Pro e Streetview per verificarne il periodo indicativo di creazione.

Un esempio pratico:

Segnalato dal satellite Sentinel-2, vogliamo visualizzare da riscontro immediato la reale esistenza del Fotovoltaico inserendo le Coordinate del GIS in Google Earth.

Dunque una volta segnalata la presenza da parte del Layer del Sentinel 2:



Figura 33 - Visualizzazione in GIS Filtro Layer Sentinel-2

Immettiamo le nostre coordinate in Google Earth:



Figura 34 - Visuale Pannello fotovoltaico da Google Earth Pro anno 21-02-2024



Figura 35 - Visuale Pannello Fotovoltaico da Google Street View

Dove ci mostra che è un pannello fotovoltaico esistente nell'anno 2024, dunque potremmo pure utilizzare se presente la funzione di Google Street View che nel Database ha periodi di aggiornamenti diversi in base alle zone.

Come da visualizzazione (Figura 35) è datata nel periodo Agosto 2022 il che ci fa analizzare che il pannello è esistente da almeno da 4 anni con prova visiva.

Inoltre il Software Google Earth Pro è dotato della “Funzione tempo” per stabilirne la Reale e presunta realizzazione:



Figura 36 - Foto Google Earth Agosto 2011: Pannello non ancora in funzione

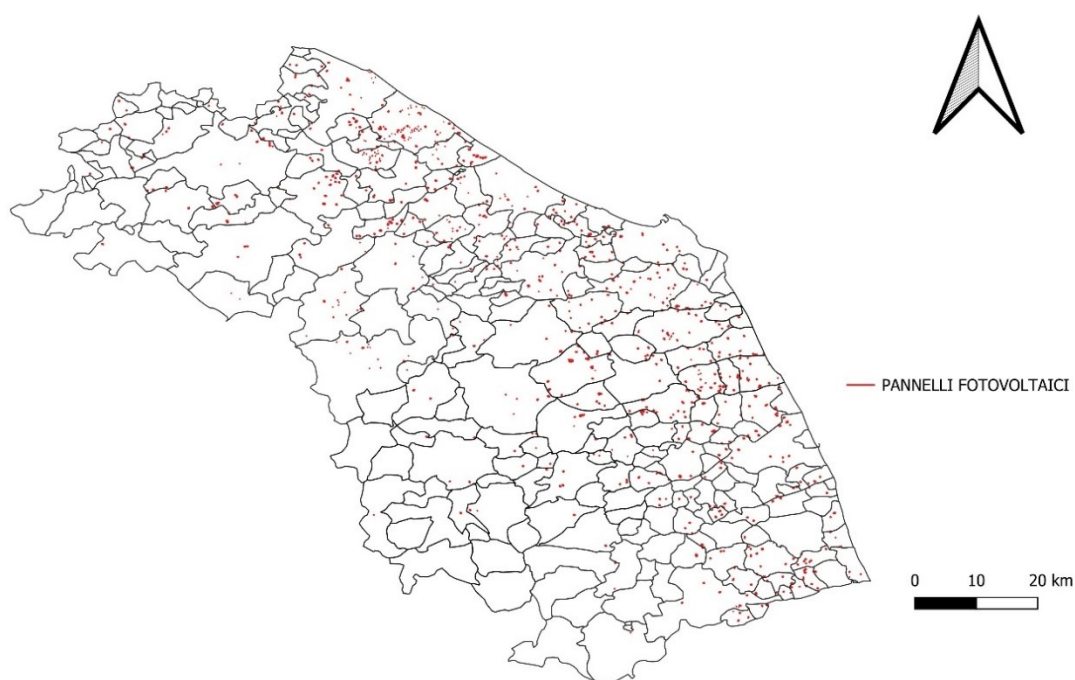


Figura 37 - Foto Google Earth Agosto 2016 (data consultabile): Pannello in funzione

Confrontando i due periodi disponibili (Figura 35-36) la data stimata dell’Impianto fotovoltaico si concentra in un periodo compreso tra 11-14 anni di attività.

Il lavoro di Geolocalizzazione è stato eseguito e controllato per tutti i comuni delle Province Marchigiane delineando un quadro di mappatura e Geolocalizzazione che si presentava così:

Figura 38 - Geolocalizzazione estratta da GIS “Pannello Fotovoltaico a terra nelle marche”



3.4.5 Validazione della Localizzazione attraverso dati aggiornati Google Earth

Inoltre, per evitare di ottenere dei falsi Positivi nella rilevazione degli impianti fotovoltaici per la bassa risoluzione che il Satellite Sentinel-2 mette a disposizione si effettuano alcuni estratti dalle coordinate di riferimento del GIS e successivamente importate nel Google Earth Pro per il confronto Incrociato volto a migliorare la veridicità dell'analisi effettuate.

Di seguito le immagini delle effettive Localizzazioni:

PROVINCIA ASCOLI PICENO



Figura 39 - Foto aggiornata 9-27-2023 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine

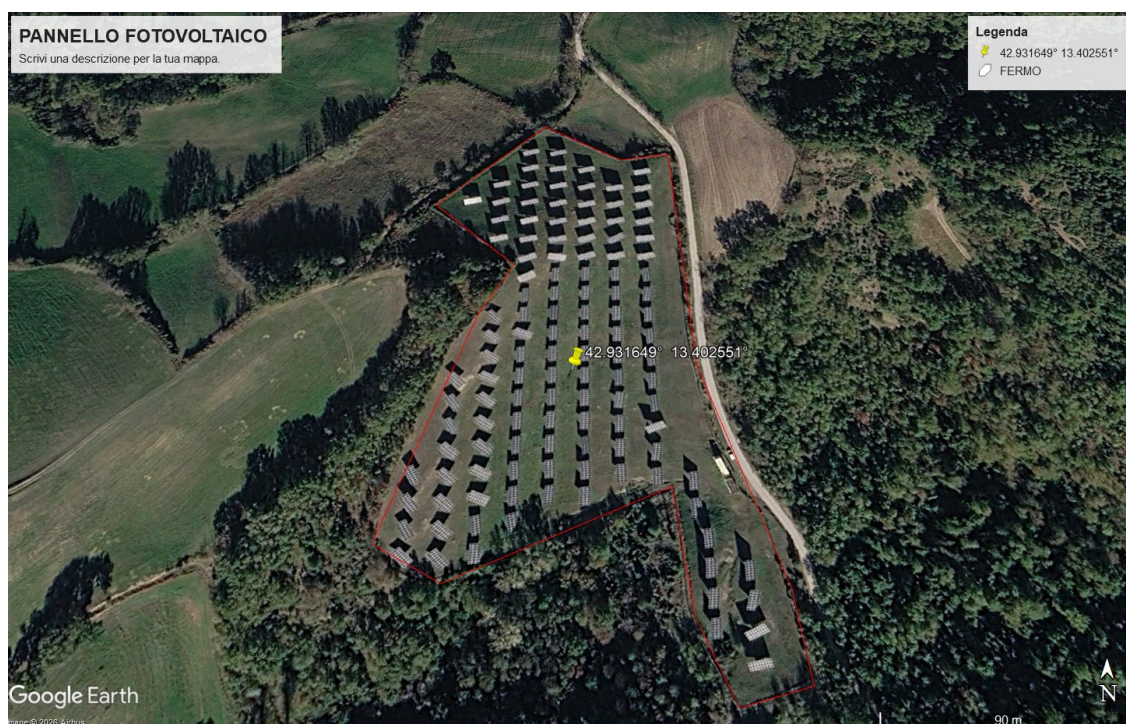


Figura 40 - Foto aggiornata 6-02-2025 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine

PROVINCIA FERMO



Figura 41 - Foto aggiornata 4-12-2025 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine



*Figura 42 - Foto aggiornata 11-4-2023(MESE-GIORNO-ANNO) data immagine
“PANNELLI ORIENTABILI”*

PROVINCIA PESARO-URBINO (mese-giorno-anno)



Figura 43 - Foto aggiornata 4-19-2026 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine



Figura 44 - Foto aggiornata 9-11-2024 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine

PROVINCIA MACERATA



Figura 45 - Foto aggiornata 6-3-2025 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine

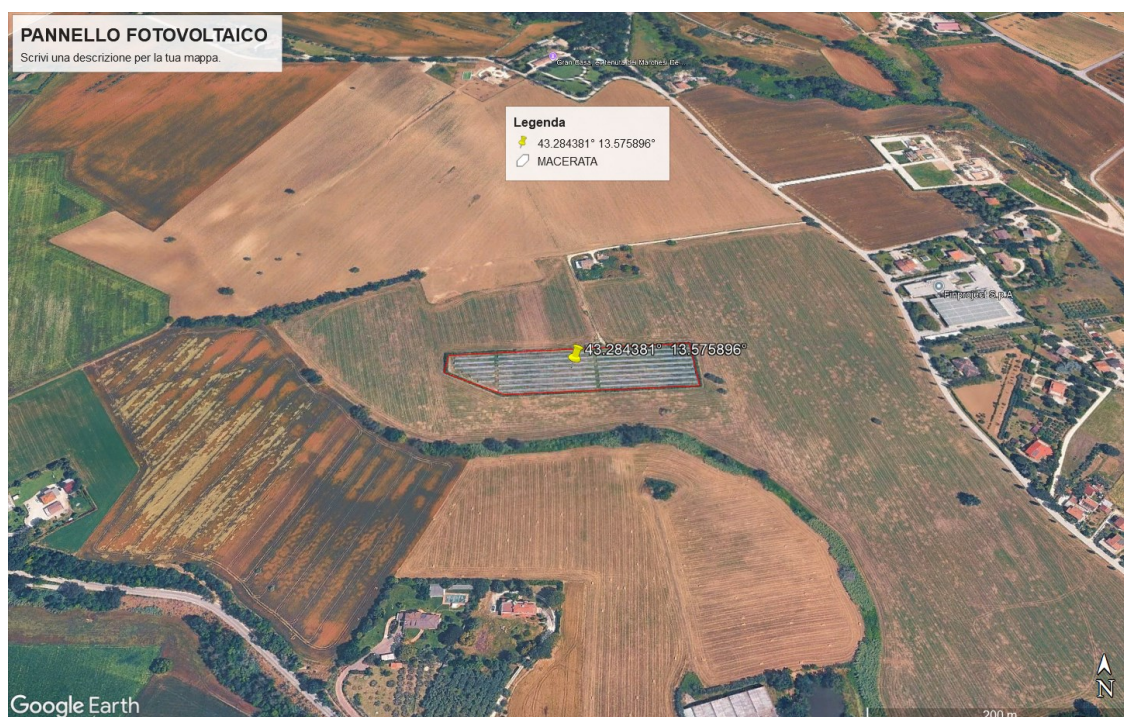


Figura 46 - Foto aggiornata 6-3-2025 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine

PROVINCIA ANCONA



Figura 46 - Foto aggiornata 6-3-2025 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine



Figura 47 - Foto aggiornata 5-31-2025 (MESE-GIORNO-ANNO) data immagine

4 RISULTATI

4.1 Verifica Dati ottenuti attraverso riscontro visivo “in loco”

I dati ottenuti precedentemente tramite localizzazione con Software GIS e successivamente Google Earth, trovano riscontro sulla validazione visiva ottenuta in “loco”.

L'impianto come da immagine visiva si mantiene in un buon stato di manutenzione, con accortezze per quanto riguarda la gestione del manto spontaneo erboso per la miglior efficienza energetica.



Figura 48 - Fotografia impianto fotovoltaico zona Fenile di Fano in “loco”

L'impianto è circondato da una rete Perimetrale che vieta il passaggio ad estranei al di fuori del personale addetto alle manutenzioni, inoltre è stata ricoperta con una siepe di

alloro (Laurus Nobilis) per mantenere il decoro della struttura e del paesaggio agricolo circostante.



Figura 49 - Fotografia ingresso impianto fotovoltaico

All'ingresso dell'impianto è presente una targhetta che identifica la posizione: Indirizzo del lotto e Coordinate, oltre la Potenza installata e chi ha eseguito i lavori.



Figura 50 - Foto sui dati dell'impianto fotovoltaico

4.2 Analisi statistica e quantificazione da dati personali QGIS

Il calcolo delle superfici è stato eseguito in ambiente GIS attraverso due fasi principali. Inizialmente, la geolocalizzazione degli impianti fotovoltaici ha permesso di mappare e creare i relativi poligoni perimetrali. In secondo luogo, l'applicazione della funzione di calcolo delle aree ha consentito di ricavare la superficie totale in metri quadri dei pannelli, ripartita per ogni provincia."

Dai dati Emersi e importati su GIS si sono intrapresi 2 metodi di analisi:

1- Il calcolo delle aree dei poligoni presenti in ogni comune della provincia con lo scopo di creare poi un grafico che riassume l'estensione del fotovoltaico in ogni comune.

2- Il calcolo della pressione % del fotovoltaico a terra in relazione alla SAT di ogni comune per definire in base alla sua superficie il consumo di suolo.

Si sono poi raggruppati in una tabella i 3-4 comuni con le caratteristiche aventi una % compresa tra lo 0,8% e 1,5%, per vedere quali di questi avessero subito di più l'impatto del fotovoltaico a terra.

È stato eseguito lo stesso metodo sopra citato per tutte le province della regione Marche. In seguito si è creata una tabella finale generica che riassume la somma della totalità dell'estensione del fotovoltaico a terra di tutte le province e la reale SAT, dividendo l'estensione totale per la SAT. Consecutivamente il risultato ottenuto andrà moltiplicato per cento ottenendo così la percentuale di pressione che i Pannelli fotovoltaici hanno nella regione.

SUPERFICIE OCCUPATA DA PANNELLI A TERRA NEI 50 COMUNI IN PROVINCIA DI PESARO-URBINO IN % ALLA SAT DISPONIBILE [53]

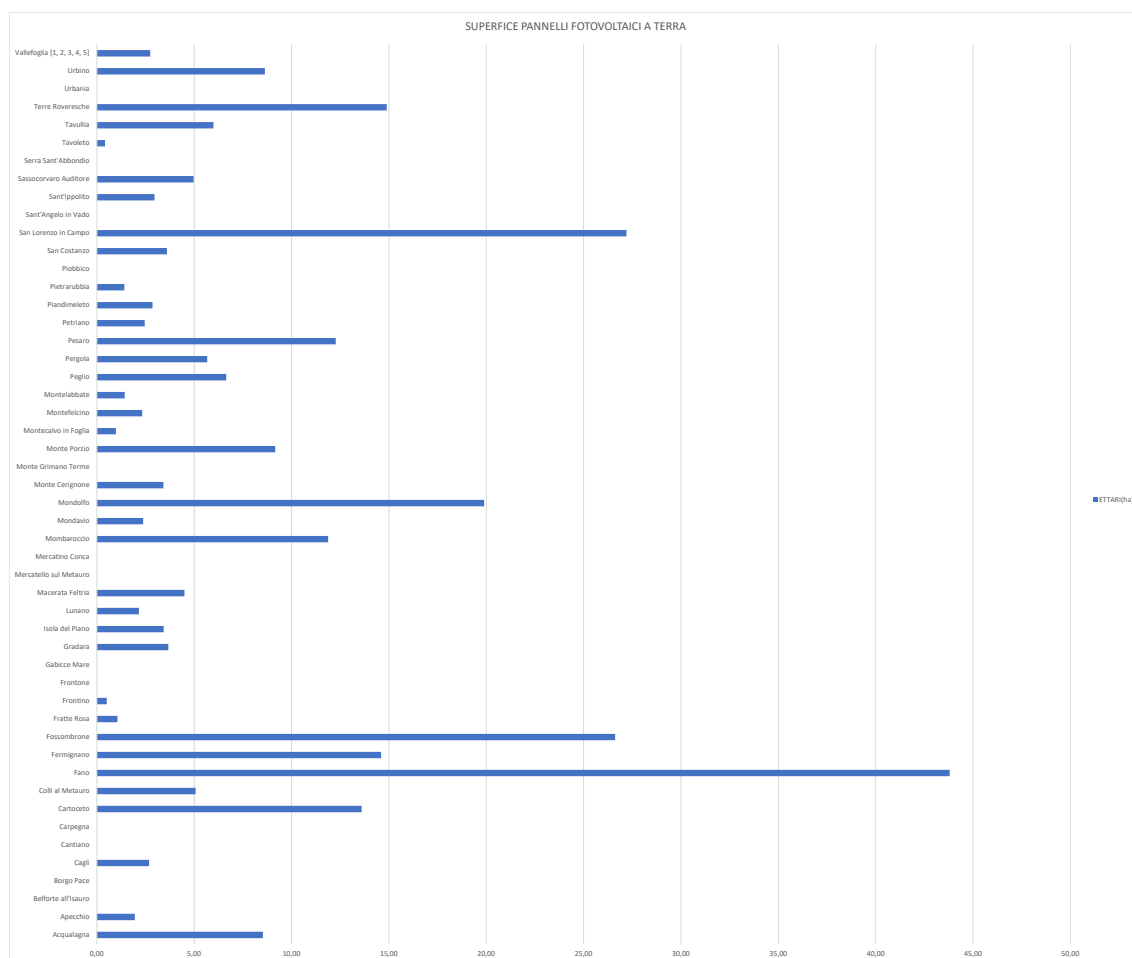


Figura 51 - Illustrazione grafica dell'estensione di Pannelli fotovoltaici a terra nei comuni della provincia di Pesaro e Urbino

SUPERFICIE OCCUPATA DA PANNELLI A TERRA NEI 55 COMUNI IN PROVINCIA DI MACERATA IN % ALLA SAT DISPONIBILE IN % ALLA SAT DISPONIBILE

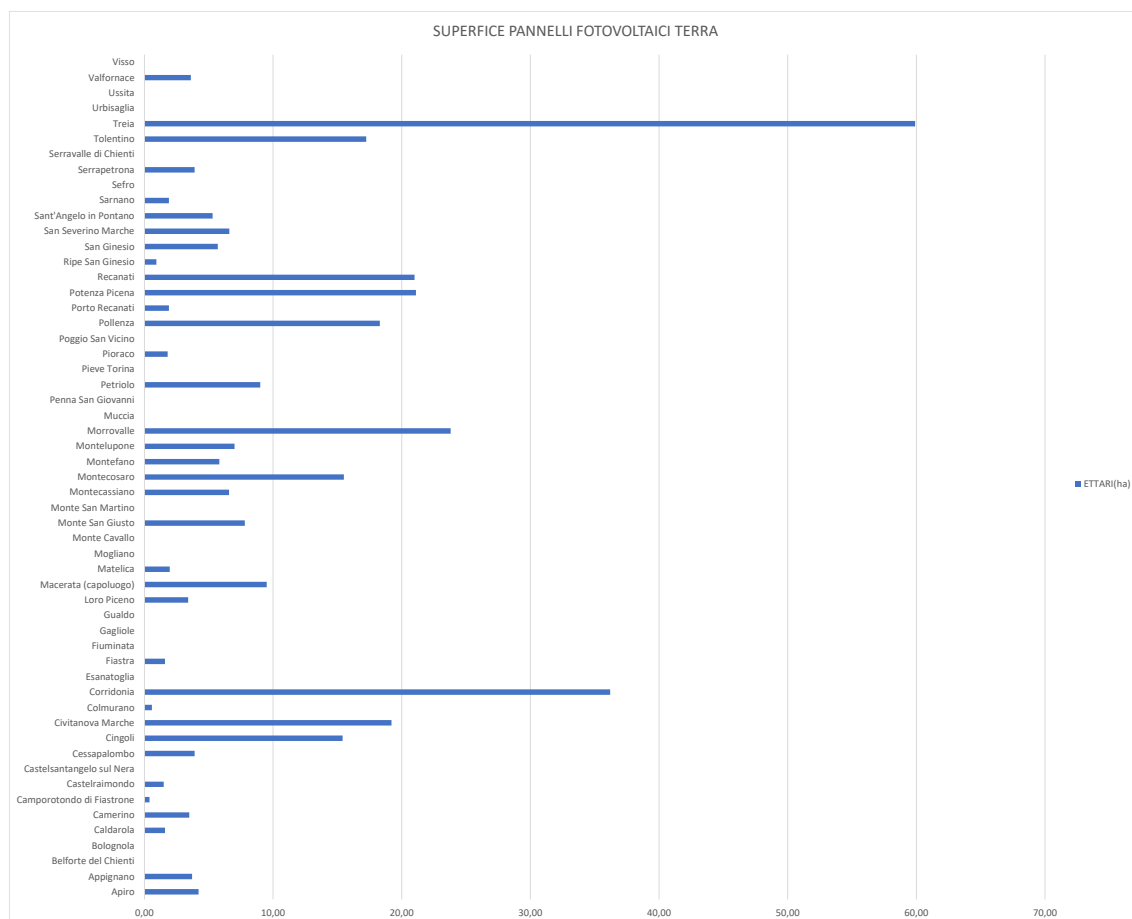


Figura 53 - Illustrazione grafica dell'estensione di Pannelli fotovoltaici a terra nei comuni della provincia di Macerata

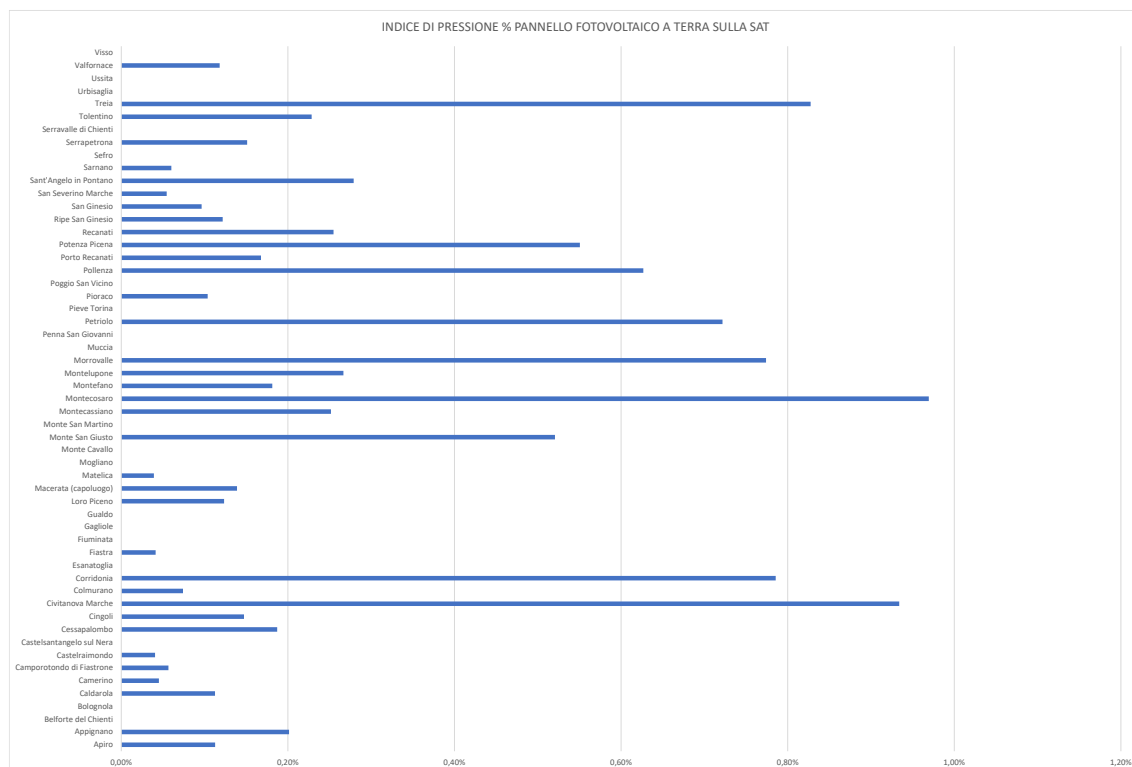


Figura 54 - Pressione % del fotovoltaico sulla SAT nei Comuni della Provincia Macerata

I comuni di CIVITANOVA MARCHE, MONTECORSARO, TREIA, MORROVALLE, CORRIDONIA SEGNALANO UNA PRESENZA % DI FOTOVOLTAICO MAGGIORE RISPETTO ALTRI COMUNI.

COMUNE	METRI QUADRATI	(ha) PANNELLO FOTOVOLTAICO	(ha) SAT DISPONIBILE	% SUOLO OCCUPATO DA PANNELLO
Civitanova Marche	192.809,69	19,20	2.056,00	0,93%
Montecosaro	155.652,29	15,50	1.599,00	0,97%
Treia	599.669,00	59,90	7.238,00	0,83%
Morrovalle	238.262,10	23,80	3.075,00	0,77%
Corridonia	362.376,00	36,20	4.608,00	0,79%

Tabella Fig.54 - Riassuntiva dei comuni con maggior % di pressione da Fotovoltaico

SUPERFICIE OCCUPATA DA PANNELLI A TERRA NEI 40 COMUNI IN PROVINCIA DI FERMO IN % ALLA SAT DISPONIBILE

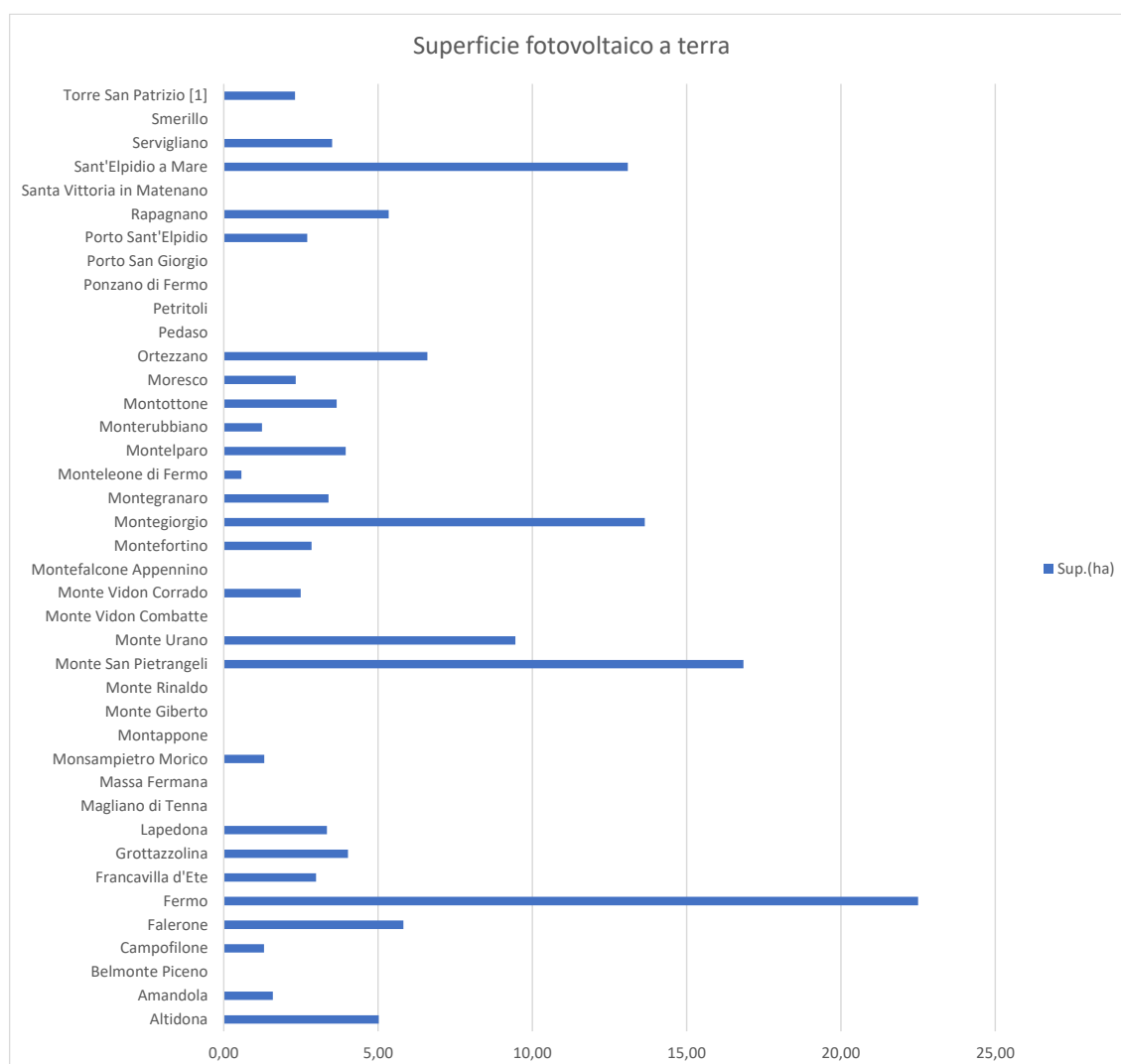


Figura 55 - Illustrazione grafica dell'estensione di Pannelli fotovoltaici a terra nei comuni della provincia di Fermo

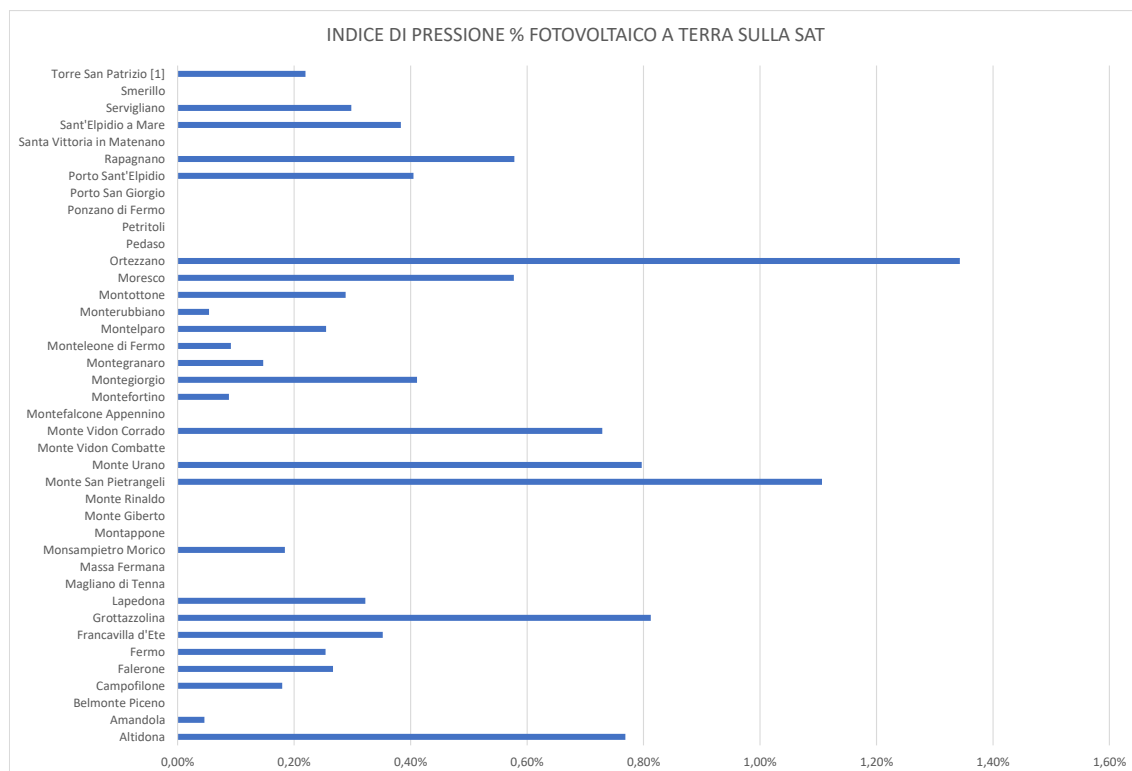


Figura 56 - Pressione % del fotovoltaico sulla SAT nei Comuni della Provincia Fermo

I comuni di ORTEZZANO, MONTE URANO, MONTE SAN PIETRANGELI, GROTTAZZOLINA SEGNALANO UNA PRESENZA % DI FOTOVOLTAICO MAGGIORE RISPETTO ALTRI COMUNI.

COMUNE DI Fermo	METRI QUADRATI	ETTARI FOTOVOLTAICI	ETTARI DI SAT DISPONIBILE	% SUOLO OCCUPATO DA PANNELLO
Ortezzano	66.005,00	6,60	491,40	1,34%
Grottazzolina	40.276,00	4,02	494,90	0,81%
Monte San Pietrangeli	168.445,00	16,84	1.522,00	1,11%
Monte Urano	94.536,80	9,45	1.186,00	0,80%

Tabella Fig.56 Riassuntiva dei comuni con maggior % di pressione da Fotovoltaico

SUPERFICIE OCCUPATA DA PANNELLI A TERRA NEI 32 COMUNI IN PROVINCIA DI ASCOLI PICENO IN % ALLA SAT DISPONIBILE

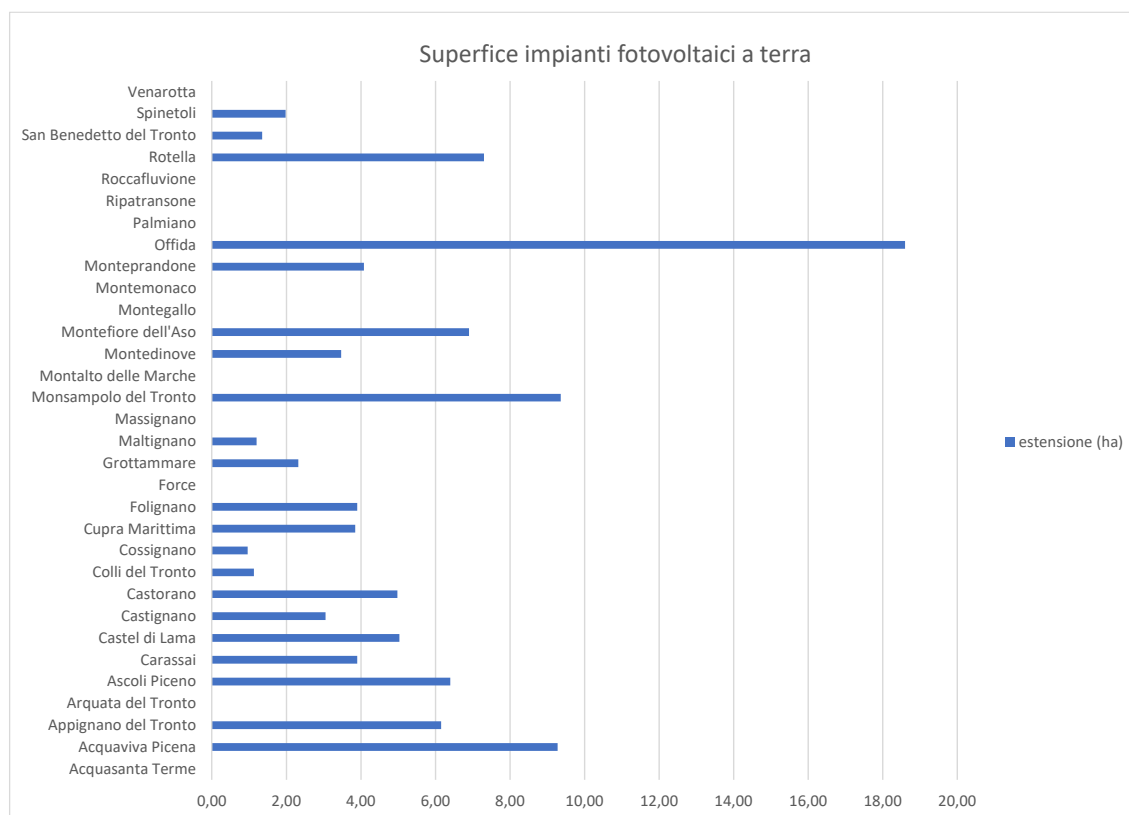


Figura 57 - Illustrazione grafica dell'estensione di Pannelli fotovoltaici a terra nei comuni della provincia di Ascoli Piceno

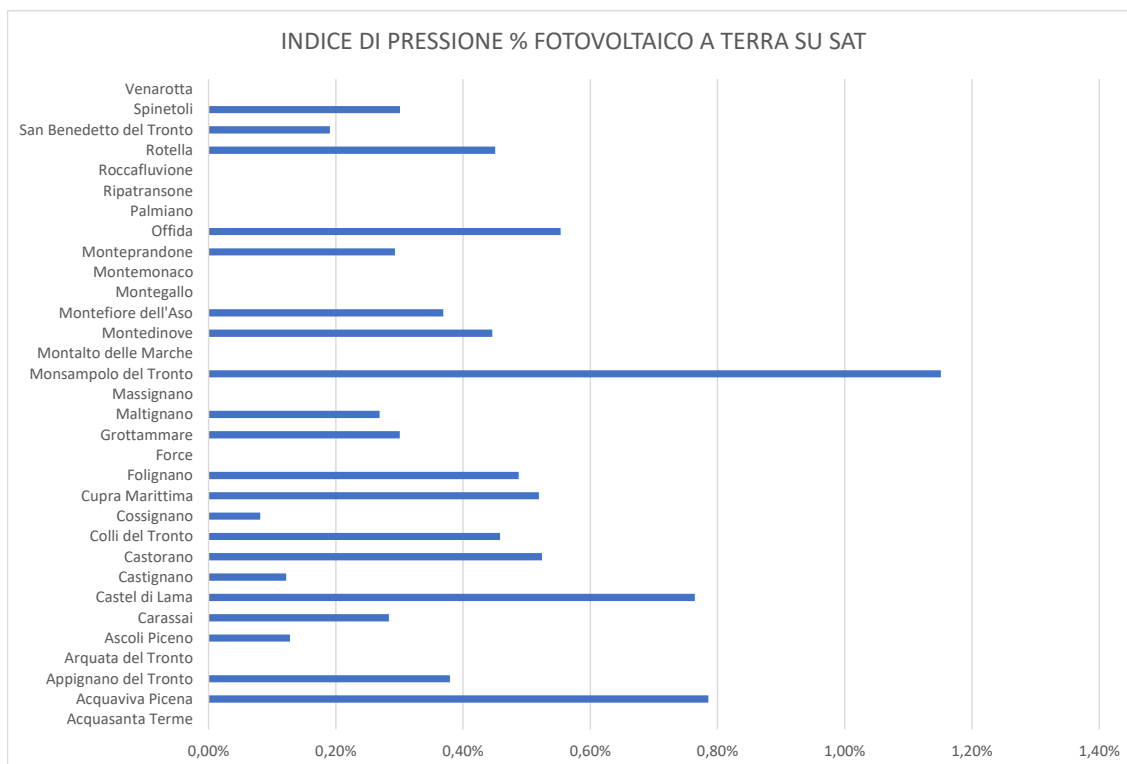


Figura 58 - Pressione % del fotovoltaico sulla SAT nei Comuni della Provincia Ascoli Piceno

I comuni di MONSAMPOLO DEL TRONTO, CASTEL DI LAMA, ACQUAVIVA PICENA, OFFIDA SEGNALANO UNA PRESENZA % DI FOTOVOLTAICO MAGGIORE RISPETTO ALTRI COMUNI.

COMUNE	METRI	ETTARI PANNELLO	ETTARI SAT	% SUOLO OCCUPATO
ASCOLI PICENO	QUADRATI	FOTOVOLTAICO	DISPONIBILE	DA PANNELLO
Monsampolo del Tronto	93.697,30	9,36	813,00	1,15%
Castel di Lama	50.346,90	5,03	658,10	0,76%
Acquaviva Picena	92.812,90	9,28	1.181,00	0,79%
Offida	186.516,00	18,60	3.361,00	0,55%

Tabella Fig.58 - Riassuntiva dei comuni con maggior % di pressione da Fotovoltaico

SUPERFICIE OCCUPATA DA PANNELLI A TERRA NEI 47 COMUNI IN PROVINCIA DI ANCONA

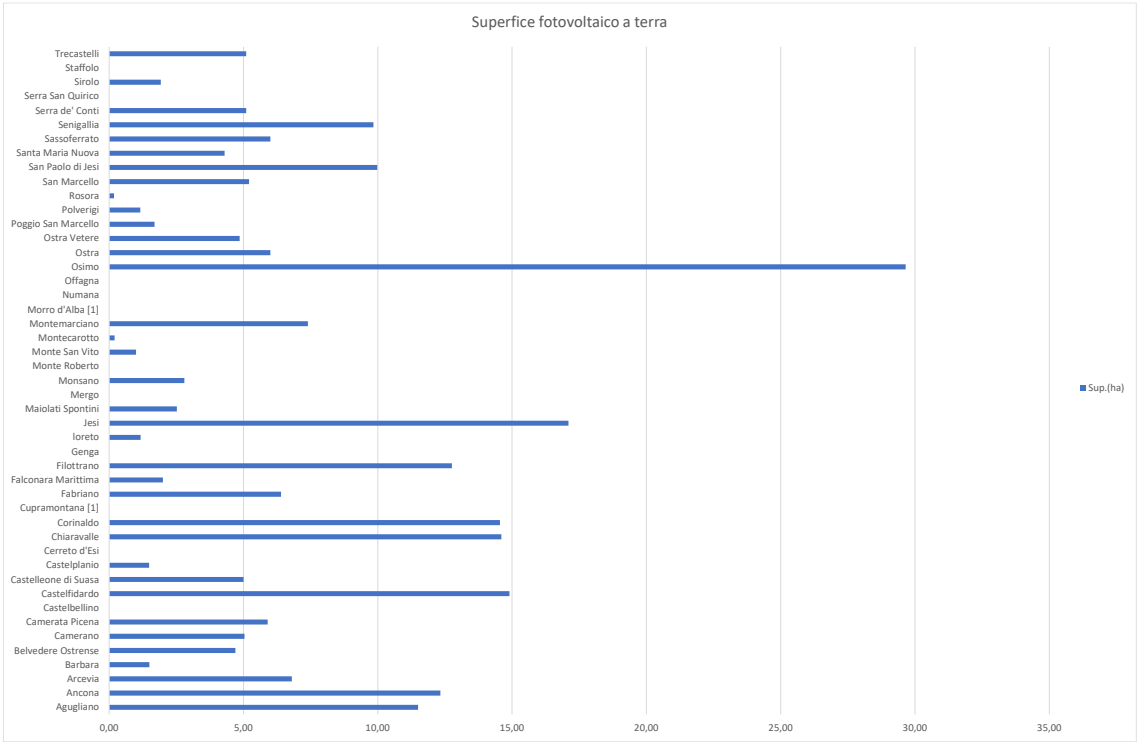


Figura 59 - Illustrazione grafica dell'estensione di Pannelli fotovoltaici a terra nei comuni della provincia di Ancona

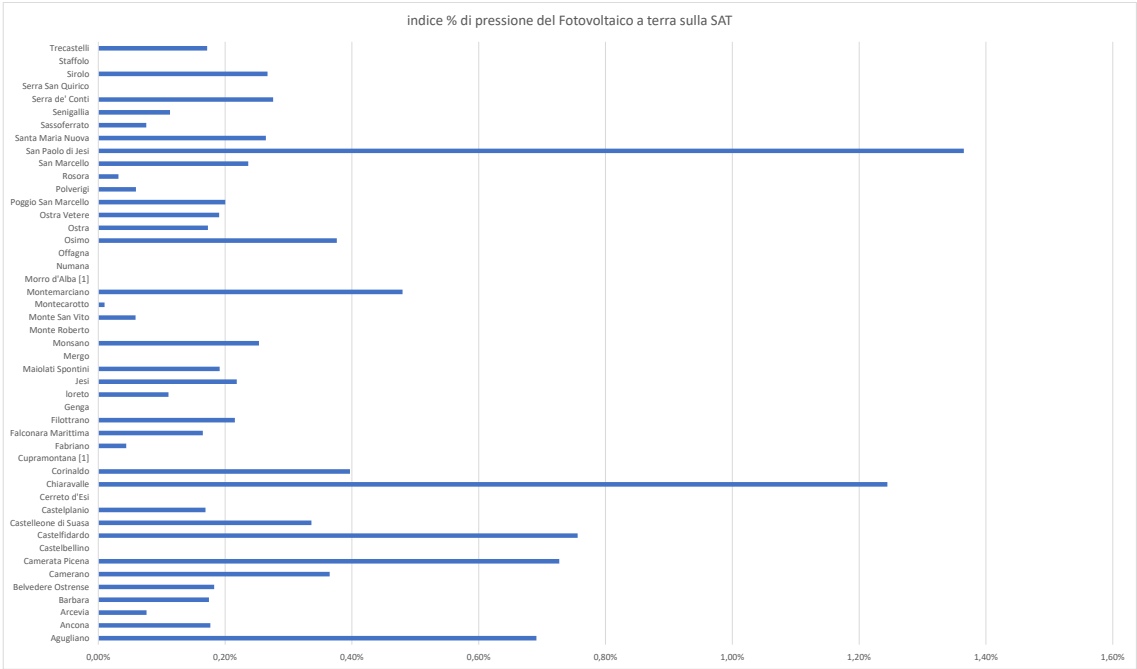


Figura 60 - Pressione % del fotovoltaico sulla SAT nei Comuni della Provincia Ancona

I comuni di SAN PAOLO DI JESI, CHIARAVALLE, CASTELFIDARDO, CAMERATA PICENA registrano una maggiore pressione % di fotovoltaico a terra.

COMUNE PROV.ANCONA	METRI QUADRATI	ETTARI TERRENO	SAT IN ETTARI	% DI SUOLO OCCUPATO DA PANNELLO
Camerata Picena	59.321,30	5,90	811,60	0,73%
Chiaravalle	145.578,00	14,60	1.173,00	1,24%
San Paolo di Jesi	99.873,40	9,98	731,10	1,37%
Castelfidardo	149.051,00	14,90	1.971,00	0,76%

Tabella Fig.60 Riassuntiva dei comuni con maggior % di pressione da Fotovoltaico

TABELLA FINALE SULL'ESTENSIONE IN SUPERFICIE TOTALE DEL TERRITORIO IN PERCENTUALE ALLA SUPERFICIE OCCUPATA DA PANNELLO FOTOVOLTAICO A TERRA [54]

PROVINCIA	AREA PANNELLI FOTOVOLTAICI (ha)	SAT TOTALE PROVINCIA	% DI PANNELLI SU SUOLO
ANCONA	242,65	129.362,80	0,19%
ASCOLI PICENO	105,19	55.267,50	0,19%
FERMO	141,84	55.848,30	0,25%
MACERATA	351,31	184.340,60	0,19%
PESARO- URBINO	286,36	160.596,93	0,18%
TOTALE	<u>1.127,35</u>	<u>585.416,13</u>	<u>0,19%</u>

DATI RIFERITI SU MODELLO QGIS DA GEOREFERENZIAZIONE NON UFFICIALE

La differenza tra la somma della “SAT” dei singoli comuni e il totale complessivo della provincia dipende da come l'Istat gestisce le aziende multilocali, cioè quelle che possiedono terreni distribuiti su più territori comunali. Nei dati disaggregati per comune, l'intera estensione di un'azienda viene assegnata esclusivamente al municipio in cui si trova il centro aziendale o la sede legale. Questo fa sì che la somma dei dati comunali non rifletta la reale estensione geografica, poiché il totale ufficiale della provincia viene calcolato dall'Istat in base alla posizione fisica dei campi, superando così le distorsioni causate dalle sole sedi amministrative. [55]

5 DISCUSSIONE E CRITICITA'

L'obiettivo di questa tesi era capire come usare dati e software gratuiti (Open Source) per mappare e localizzare geograficamente i pannelli fotovoltaici a terra. Studiando i dati dei comuni nelle cinque province delle Marche, sono riuscito a calcolare l'indice di pressione, cioè la percentuale di suolo agricolo (SAU/SAT) effettivamente occupata da questi impianti ad oggi.

Ho così effettuato una ricerca personale incrociando i software GIS, le immagini del satellite Sentinel-2 e i dati di QuickOSM.

Mettendo insieme le dimensioni reali dei pannelli che ho trovato e la superficie totale di ogni comune (SAT), sono emersi dati molto interessanti sull'uso del suolo:

- Nella **Provincia di Ancona** i comuni con la percentuale più alta di fotovoltaico a terra sono San Paolo di Jesi (1,36%), Chiaravalle (1,24%), Castelfidardo (0,76%) e Camerata Picena (0,73%).
- Nella **Provincia di Macerata** spiccano Montecosaro (0,97%), Civitanova Marche (0,93%), Treia (0,83%), Corridonia (0,79%) e Morrovalle (0,77%).
- Nella **Provincia di Ascoli Piceno** troviamo Monsampolo del Tronto (1,15%), Acquaviva Picena (0,79%), Castel di Lama (0,76%) e Offida (0,55%).
- Nella **Provincia di Fermo** l'impatto maggiore è nei comuni di Ortezzano (1,34%), Monte San Pietrangeli (1,11%), Grottazzolina (0,81%) e Monte Urano (0,80%).
- Nella **Provincia di Pesaro-Urbino**, infine, le percentuali più alte sono a Mondolfo (1,35%), San Lorenzo in Campo (1,28%) e Cartoceto (0,82%).

Questi elementi non si trovano nei report ufficiali del GSE, analizzando i loro rapporti statistici (come nelle Figure 61 e 62), il GSE ragiona solo in termini di potenza (quanti MW producono gli impianti) unendo i valori ottenuti (sia i pannelli a terra, sia quelli sui tetti delle case o delle fabbriche); dunque lo scopo principale del mio lavoro è stato proprio quello di isolare il fenomeno, andando a trovare la posizione esatta, i metri quadri occupati esclusivamente dai pannelli e localizzarli sui terreni.

Distribuzione regionale della potenza a fine 2010

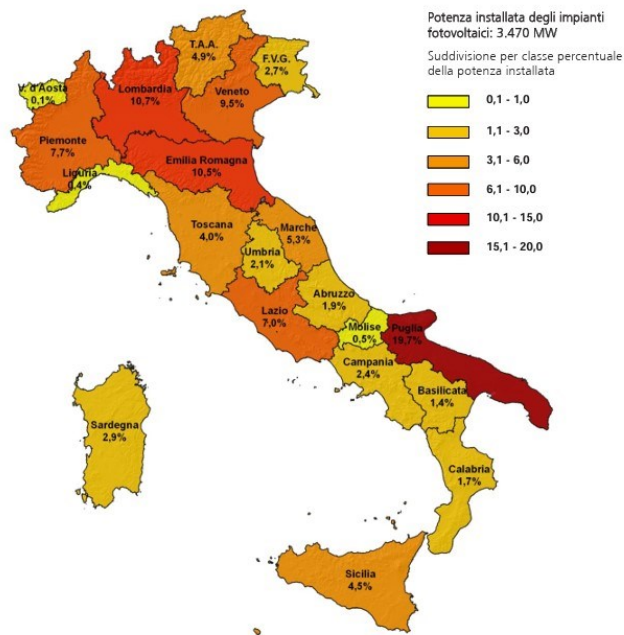


Figura 61 - tratta dal report Solare Fotovoltaico - Rapporto Statistico 2024

Distribuzione regionale del numero degli impianti a fine 2010

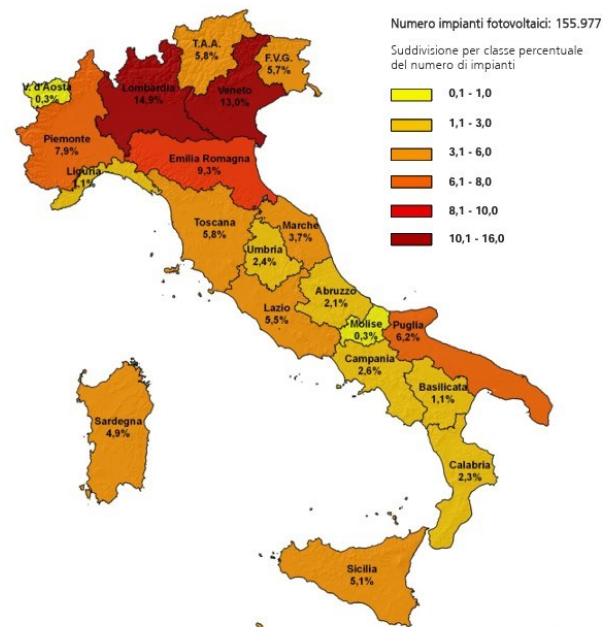


Figura 62 - tratta dal report Solare Fotovoltaico - Rapporto Statistico 2024

Grazie a questa mappatura si è potuto scattare una fotografia precisa di come stanno le cose oggi nelle Marche. Se vi state chiedendo come mai gli enti pubblici non pubblicino una mappa con la posizione esatta di ogni singolo pannello, il motivo è legato alla privacy e soprattutto alla sicurezza. I parchi solari sono pieni di materiali costosi, come i cavi di rame rendere pubbliche le coordinate precise a tutti potrebbe facilitare i furti.

Oggi però l'Europa e l'Italia mirano alla produzione di energia pulita senza distruggere la natura, rispettando regole come il principio del **DNSH** (ovvero "non arrecare danni significativi all'ambiente") e gli obiettivi europei del **2030**. Proprio per questo il Ministero dell'Ambiente ha emanato un decreto (il **D.M. 17 settembre 2024 n. 320**) che ha fatto nascere la **Piattaforma Aree Idonee del GSE**.

Come si osserva dalla mappa (Figura 63), questa piattaforma non serve a bloccare il fotovoltaico, ma rappresenta piuttosto una guida per le Regioni, permettendo la localizzazione di aree idonee all'installazione di fotovoltaico a terra, per evitare così gli errori commessi nei periodi "2007-2011"

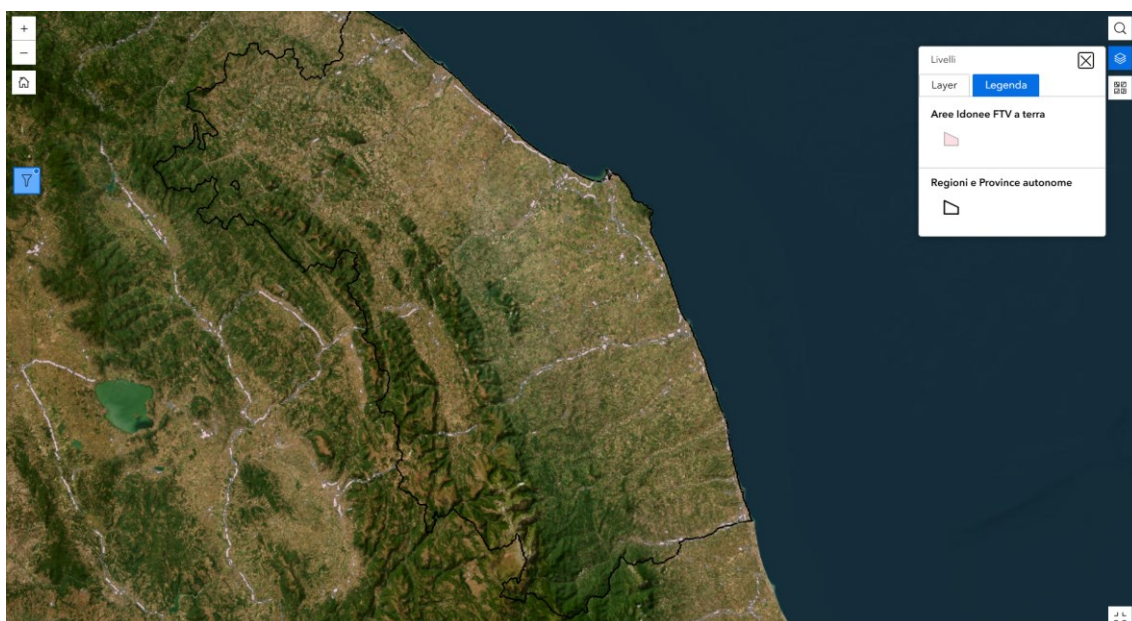


Figura 63 - Tratta dal sito del GSE 30 aprile 2025 ai soggetti contributori indicati dal Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica del 17 settembre 2024 n.320. <https://areeidonee.gse.it/>

Tale periodo (2007 e il 2011), vede infatti l'Italia partecipe alla "corsa all'oro" del fotovoltaico. Lo Stato aveva introdotto forti incentivi economici tramite i decreti del **"Conto Energia"** (consultabili nello storico sul Sito del GSE). All'epoca le regole erano molto elastiche: installare distese di pannelli sui campi agricoli era un affare economico incredibile per le aziende. Questo ha portato a una crescita rapidissima e un po' selvaggia degli impianti a terra, trasformando radicalmente il paesaggio collinare marchigiano. [56]

Finito quel periodo d'oro la crescita ha subito una brusca frenata. Oggi, però, la necessità di produrre energia pulita è tornata a essere una priorità assoluta per l'Italia, ma con una consapevolezza del tutto nuova. Non siamo più guidati da incentivi incontrollati, ma da una precisa strategia di indipendenza energetica e decarbonizzazione. A dimostrazione di questa urgenza, oltre ai fondi già stanziati con il PNRR, la Commissione Europea ha approvato un'ulteriore e imponente piano da 23 miliardi di euro legato al nuovo decreto FER X.

Perché l'Europa ha finanziato questa cifra enorme in più? Il motivo è spiegato chiaramente nel comunicato ufficiale della [Commissione Europea - Rappresentanza in Italia](#). Da un lato, c'è la necessità geopolitica di azzerare la dipendenza dalle importazioni di gas e combustibili fossili dall'estero, creando una dipendenza a livello Nazionale e Europeo, dall'altro, l'Europa ha alzato l'asticella per la transizione verde: questo super finanziamento serve all'Italia per installare oltre 37 GW di nuova potenza pulita da Fonti di Energia Rinnovabile entro il 2030, e il fotovoltaico giocherà un ruolo da protagonista assoluto. (Paragrafo 2.1.4)

CRITICITA' RISCONTRATE:

Nella ricerca svolta si sono riscontrate parecchie difficoltà nel riuscire in maniera più precisa possibile a geolocalizzare gli impianti presenti nella regione Marche:

- La prima difficoltà è stata quella avuta interrogando il Plugin QuickOSM, i dati ricevuti dalla richiesta fatta contenevano degli aggiornamenti non completi e in alcune province erano datati in anni precedenti e non recenti. Direi Dunque che il lavoro fatto successivamente contribuirà all'aggiornamento dei dati "Open Source".

- La seconda riguarda le difficoltà riscontrate alla visualizzazione attraverso i filtri a bande RGB del Sentinel-2, (creato attraverso l'intelligenza artificiale, dopo prove di

altri JavaScript e la scelta finale di adottare la soluzione migliore) per ottenere un' ottimo contrasto rispetto all'ambiente circostante.

- La terza difficoltà emersa riguarda la risoluzione di 10 mt pixel che comporta la difficoltà nella verifica di ciò che viene visualizzato, in quanto la risoluzione di un pixel in ambiente Reale è di 10 metri per 10 metri, dunque impossibile notare le differenze per i piccoli impianti civili su tetti o ad uso familiare.

- La quarta ed ultima riscontrata riguarda il passaggio del Satellite Sentinel-2 sulle stesse coordinate ogni 5 gg, con l'impossibilità di avere una visuale molte volte nitida anche con una copertura nuvolosa utilizzando il filtro sotto il 10 %.

In linea con l'obiettivo che si era prefissato, si è riuscito comunque ad osservare in maniera dettagliata e scrupolosa tutto il territorio Marchigiano al fine di delineare la situazione attuale con l'ausilio di Software e dati Open Source.

6 CONCLUSIONE

«Per riassumere il lavoro fatto a sostegno della Tesi oggetto di argomento, si è partito dall'alto: analizzando il piano europeo Next Generation EU, come l'Italia lo sta usando attraverso il **PNRR**, concentrando il tema principale sulla transizione ecologica. Per vedere cosa succede concretamente sul territorio, si è fatto uno studio pratico: usato i software **GIS** per geolocalizzare dei pannelli fotovoltaici a terra nelle Marche.

A tal fine, è stato impiegato il plugin **Sentinel Hub** per integrare in ambiente GIS i dati del programma europeo **Copernicus**. Nello specifico, l'analisi ha previsto l'utilizzo di immagini **Sentinel-2**, sfruttando diverse combinazioni di bande spettrali. Tale strumento, accessibile in modalità open-source, ha permesso la localizzazione dei siti attraverso la configurazione personalizzata dei canali RGB. Le informazioni spettrali così ottenute sono state successivamente integrate con i dati geografici derivanti dalle mappature collaborative dei volontari, estratti mediante il plugin QuickOSM.

A questo punto, i poligoni creati attraverso le funzioni del software GIS sono stati fondamentali per la ricerca che ci ha permesso di unire tutti i dati dei programmi utilizzati, in diversi layer (livelli) sovrapponibili. In questo modo, oltre alla semplice geolocalizzazione, si è riusciti a fare un passo in avanti: calcolare l'area esatta occupata da ogni singolo impianto fotovoltaico sul territorio, per poi arrivare al calcolo della SAT di ogni comune e alla conclusione stimata di pressione % da fotovoltaico a terra.

L'analisi della diffusione del fotovoltaico nel territorio Marchigiano, supportata dall'applicazione della **geomatich** in ambito agricolo, evidenzia un quadro in forte evoluzione. In questo contesto, i finanziamenti del **PNRR** e i sussidi europei per le energie rinnovabili rappresentano strumenti chiave per ottimizzare la pianificazione futura e la localizzazione degli impianti, in piena coerenza con gli obiettivi di sostenibilità prefissati

Qui entra in gioco il futuro, ed è giusto soffermarci su un concetto di attualità finanziato proprio dal **PNRR italiano con ben 1,1 miliardi di euro**, cioè il **progetto IRIDE**. La cosa interessante è che IRIDE non è un programma a sé, ma è inerente al progetto Copernicus in quanto è gestito dall'**ESA** (l'Agenzia Spaziale Europea). In pratica, lo Stato sta usando i soldi dell'Europa per costruire una flotta di tantissimi piccoli satelliti italiani.

[57]

Questa nuova rete come detto nel capitolo precedente mirerà a superare i limiti riscontrati nella mia tesi: [58]

- **Risoluzione pazzesca:** I nuovi sensori arrivano a una definizione di meno di 3 metri (le prime foto di prova sono a 2.66 metri). Significa vedere i pannelli solari in modo nitido, senza più l'effetto pixellato di Sentinel-2.

- **Passaggi continui e radar:** Essendoci tanti satelliti, passeranno sulla stessa zona ogni giorno, non ogni 5. In più, usano la tecnologia **SAR (Radar)**, che riesce a vedere attraverso le nuvole e persino di notte. Il problema del meteo che copre i pannelli nelle Marche è praticamente risolto.» [59]

Inoltre la vera svolta di IRIDE sta nell'**Intelligenza Artificiale**. Oggi l'IA fa già parte della nostra vita quotidiana: la usiamo quando lo smartphone riconosce la nostra faccia, quando i social e le piattaforme digitali ci consigliano un film o nei sistemi di guida assistita delle auto. L'IA se usata nella giusta maniera serve a una cosa fondamentale: analizzare miliardi di dati in pochi secondi, una cosa che un essere umano non potrebbe mai fare.

Nel progetto IRIDE, l'IA diventa il cervello del sistema: [60]

- **Mappatura automatica:** Invece di mettermi al computer a cercare di disegnare a mano i poligoni dei pannelli fotovoltaici nelle Marche, l'IA di IRIDE applicherà la "visione artificiale" alle immagini. Riconoscerà da sola, in automatico, la nascita di un nuovo impianto solare e lo segnalerà subito alla Regione.

- **Il Gemello Digitale (Cyber Italy):** Tutti questi dati raccolti dall'IA andranno a creare una copia digitale in 3D dell'Italia. Grazie a questo modello virtuale, potremo fare simulazioni per capire se i pannelli stanno rubando troppo spazio ai campi agricoli e quanta energia produrranno davvero le Marche in futuro.» [61]

In conclusione, la mia tesi mostra la transizione ecologica "oggi", con gli strumenti che abbiamo adesso. Ma unire i fondi del PNRR, la precisione dei futuri satelliti IRIDE e l'Intelligenza Artificiale ci fa capire dove stiamo andando. Il futuro della gestione del territorio non sarà più fare mappe a mano, ma avere un controllo automatico, continuo e intelligente, capace di aiutarci a proteggere l'ambiente in tempo reale.

BIBLIOGRAFIA

1. «Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Agraria, Corso di laurea triennale in SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE, Impianti fotovoltaici a terra su suolo agricolo nella regione Marche, Tesi di Giacomo Santicchia, Dott. Ernesto Marcheggiani, Prof. Andrea Galli 2011-2012;
2. «Jeffrey Vervloesem et al., «Effects of Photovoltaic Solar Farms on Microclimate and Vegetation Diversity», *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 7493 14, n. 12 (giugno 2022): 7493, <https://doi.org/10.3390/SU14127493>.
3. « *Linee Guida*, s.d.; https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/linee_guida_impianti_agrivoltaici-pdf, «Linee GUIDA in materia di Impianti Agrivoltaici», consultato 10 giugno 2026, https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/linee_guida_impianti_agrivoltaici-pdf.
4. «Uzair Jamil et al., «Creating just agrivoltaic transitions for large-scale solar: a comparative multi criteria analysis», *Solar Energy* 305 (febbraio 2026): 114195, <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2025.114195>.
5. «Dispositivo per la ripresa e la resilienza dell'Unione europea | EUR-Lex», consultato 10 giugno 2026, <https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/european-union-recovery-and-resilience-facility.html>.
6. «Gazzetta Ufficiale», consultato 10 giugno 2026, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/05/31/21G00087/SG>.
7. «Gazzetta Ufficiale», consultato 10 giugno 2026, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/04/21/23A02439/sg>.
8. «DECRETO-LEGGE 2 marzo 2024, n. 19 - Normattiva», consultato 10

giugno

2026,

<https://www.normattiva.it/atto/caricaDettaglioAtto?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2024-03-02&atto.codiceRedazionale=24G00035&atto.articolo.numero=8&atto.articolo.sottoArticolo=1&atto.articolo.sottoArticolo1=0&tabID=0.7586705087415672&title=lbl.dettagli.oAtto>.

9. «Ragioneria Generale dello Stato - Ministero dell'Economia e delle Finanze - Circolare del 21 giugno 2022, n. 27», consultato 10 giugno 2026, https://www.rgs.mef.gov.it/VERSIONE-I/circolari/2022/circolare_n_27_2022.

10. «Pubblicata la Relazione semestrale della Corte dei Conti sul PNRR (primo e secondo semestre 2024)», consultato 10 giugno 2026, <https://www.pnrr.affariregionali.it/it/notizie-sul-pnrr/relazione-semestrale-della-corte-dei-conti/>.

11. «Piano Transizione 5.0», consultato 10 giugno 2026, <https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/piano-transizione-5-0>.

12. «COMUNITÀ ENERGETICHE RINNOVABILI E GRUPPI DI AUTOCONSUMATORI», consultato 10 giugno 2026, <https://www.gse.it/servizi-per-te/attuazione-misure-pnrr/comunit%C3%A0-energetiche-5000abitanti>.

13. «Pier Luigi Petrillo e Alessandro Zagarella, «La transizione ecologica nel PNRR tra climate tagging e do not harm», *Diritto Pubblico Europeo - Rassegna online* 18, n. 2 (novembre 2022), <https://doi.org/10.6093/2421-0528/9527>.

14. «Missione UE “Climate-Neutral and Smart Cities”: il MASE dà il via al nuovo programma di finanziamento per le città italiane a impatto climatico zero - Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza energetica», consultato 10 giugno 2026, <https://www.mase.gov.it/portale/-/missione-ue-climate-neutral-and-smart-cities-il-mase-da-il-via-al-nuovo-programma-di-finanziamento-per-le-citta-italiane-a-impatto-climatico-zero>.

15. «Il consumo di suolo — Italiano», consultato 10 giugno 2026, <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/suolo/il-consumo-di-suolo>.

16. « “Monitoraggio Del Consumo Di Suolo in Italia 2022,” accessed June 10, 2026, <https://storymaps.arcgis.com/stories/95aa5b18a2e84d51afd24fd0119d92da>

17. « (2025) INDICATORE AMBIENTALE: CONSUMO DI SUOLO,” accessed June 10, 2026, <https://www.arpa.marche.it/joomla-pages-iii/categories-list/63-temi-ambientali-1686578663/1645-indicatore-ambientale-consumo-suolo-2025>.

18. «Gazzetta Ufficiale», consultato 10 giugno 2026, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/05/15/24G00081/SG>.

19. «Masaf - PNRR, Lollobrigida: 800 milioni di euro in più per il bando Agrisolare», consultato 10 giugno 2026, https://www.masaf.gov.it/PNRR_bando_agrisolare.

20. «Energia: il MASE pubblica il decreto di incentivo all’agrivoltaico innovativo - Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza energetica», consultato 10 giugno 2026, <https://www.mase.gov.it/portale/-/energia-il-mase-pubblica-il-decreto-di-incentivo-all-agrivoltaico-innovativo>.

21. «Piano Energetico Ambientale Regionale (Prec2030)», consultato 10 giugno 2026, <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Energia/Piano-Energetico-Ambientale-Regionale>.
22. «Marche, nel nuovo Piano energetico previsti 1,75 GW di fotovoltaico al 2030 - pv magazine Italia», consultato 10 giugno 2026, <https://www.pv-magazine.it/2025/07/24/marche-nel-nuovo-piano-energetico-previsti-175-gw-di-fotovoltaico-al-2030/>.
23. «Leggi e regolamenti regionali - Consiglio regionale delle Marche», consultato 10 giugno 2026, https://www.consiglio.marche.it/banche_dati_e_documentazione/leggi/dettaglio.php?idl=2298.
24. «Comunità energetiche rinnovabili», consultato 10 giugno 2026, <https://www.gse.it/servizi-per-te/autoconsumo/gruppi-di-autoconsumatori-e-comunita-di-energia-rinnovabile/comunit%C3%A0-energetiche-rinnovabili>.
25. “La Commissione Approva Un Regime Italiano Di Aiuti Di Stato Da 23 Miliardi Di € a Sostegno Della Produzione Di Energia Elettrica Rinnovabile,” accessed June 14, 2026, https://italy.representation.ec.europa.eu/notizie-ed-eventi/notizie/la-commissione-approva-un-regime-italiano-di-aiuti-di-stato-da-23-miliardi-di-eu-sostenere-la-2026-06-08_it
26. «Ragioneria Generale dello Stato - Ministero dell Economia e delle Finanze - Circolare dell’11 agosto 2022, n. 30», consultato 10 giugno 2026, https://www.rgs.mef.gov.it/VERSIONE-I/circolari/2022/circolare_n_30_2022/.

27. «Mappa interattiva delle cabine primarie», consultato 10 giugno 2026, <https://www.gse.it/servizi-per-te/autoconsumo/mappa-interattiva-delle-cabine-primarie>.
28. «L'Internet of Things in agricoltura: il futuro della gestione agricola è adesso», consultato 11 giugno 2026, <https://it.linkedin.com/pulse/internet-things-agricoltura-il-futuro-della-gestione-agricola-nqnsf>.
29. «Copernicus: l'occhio dell'Europa sulla Terra | Anter Italia», consultato 12 giugno 2026, <https://anteritalia.org/magazine/copernicus-occhio-delleuropa-sulla-terra>.
30. «Copernicus: Programma per l'Osservazione della Terra | ASI», consultato 12 giugno 2026, <https://www.asi.it/scienze-della-terra/copernicus/>.
31. «Copernicus Sentinel-1D Earth observation satellite successfully launched | Thales Alenia Space», consultato 12 giugno 2026, <https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/copernicus-sentinel-1d-earth-observation-satellite-successfully-launched>
32. «OSSERVATORE: Avanzare nell'osservazione della Terra con le missioni di espansione del Copernicus Sentinel | Politica Spaziale dell'UE», consultato 12 giugno 2026, <https://eu-space.europa.eu/news/observer-advancing-earth-observation-copernicus-sentinel-expansion-missions>
33. «M. Drusch, U. Del Bello, S. Carlier, O. Colin, V. Fernandez, F. Gascon, B. Hoersch, C. Isola, P. Laberinti, P. Martimort, A. Meygret, F. Spoto, O. Sy, F. Marchese, P. Bargellini, Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES, consultato 12 giugno 2026» <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000636>

34. «(PDF) Sentinel-2: Multispectral Instrument (MSI) design and system performance», consultato 12 giugno 2026, https://www.researchgate.net/publication/334432047_Sentinel-2_Multispectral_Instrument_MSI_design_and_system_performance.
35. Chaonan Ji et al., “Solar Photovoltaic Module Detection Using Laboratory and Airborne Imaging Spectroscopy Data,” Remote Sensing of Environment 266 (December 2021): 112692, <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112692>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425721004120>
36. “Sentinel-2 | Ecosistema Spazio Dati Copernicus,” accessed June 12, 2026, <https://dataspace.copernicus.eu/data-collections/copernicus-sentinel-missions/sentinel-2>.
37. «Copernicus Browser», consultato 12 giugno 2026, <https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE>.
38. «Sentinel-2 | Script personalizzati di Sentinel Hub», consultato 12 giugno 2026, <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel/sentinel-2/#popular-rgb-composites>.
39. Dávid D Kovács et al., «Copernicus Data Space Ecosystem establishes public cloud processing for earth observation data», Scientific data 13, n. 1 (dicembre 2026), <https://doi.org/10.1038/S41597-026-06765-8>.
40. «Introduzione — Documentazione QGIS Documentation», consultato 12 giugno 2026, https://docs.qgis.org/3.44/it/docs/gentle_gis_introduction/preamble.html.

41. «QGIS Desktop - OSGeo», consultato 12 giugno 2026, <https://www.osgeo.org/projects/qgis/>.

42. «Integra le immagini satellitari con i tuoi dati GIS utilizzando il plugin Sentinel Hub QGIS | Ecosistema Spazio Dati Copernicus», consultato 12 giugno 2026, <https://dataspace.copernicus.eu/news/2023-9-29-integrate-satellite-imagery-your-gis-data-using-sentinel-hub-qgis-plugin>.

43. «Web Map Service - Open Geospatial Consortium», consultato 12 giugno 2026, <https://www.ogc.org/standards/wms/>.

44. Emilio Chuvieco, «Fundamentals of Satellite Remote Sensing : An Environmental Approach, Second Edition», Fundamentals of Satellite Remote Sensing, advance online publication, 24 febbraio 2016, <https://doi.org/10.1201/B19478>.

45. D.S. Boyd, G.M. Foody, An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics, Ecological Informatics, Volume 6, Issue 1,2011, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954110000828>

46. «Regolamento generale sulla protezione dei dati - Wikipedia», consultato 11 giugno 2026, https://it.wikipedia.org/wiki/Regolamento_generale_sulla_protezione_dei_dati.

47. «Gazzetta Ufficiale», consultato 11 giugno 2026 Decreto Legislativo 6 settembre 1989, n. 322, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1989/09/22/089G0398/sg>.

48. «Gazzetta Ufficiale», consultato 11 giugno 2026, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2024/09/23/24G00150/sg>.

49. *POLITECNICO DI TORINO IL CONTRIBUTO DEGLI OPEN DATA NEI GIS*, 2017.

[tesi.pdf](https://webthesis.biblio.polito.it/8582/1/tesi.pdf) <https://webthesis.biblio.polito.it/8582/1/tesi.pdf>

50. “Marche Turismo,” accessed June 12, 2026, <https://www.regione.marche.it/turismo>.

51. “Di Anno in Anno, Sempre Meno Imprese Agricole Nelle Marche – Marcheagricole,” accessed June 12, 2026, <https://www.marcheagricole.it/di-anno-in-anno-sempre-meno-imprese-agricole-nelle-marche/>.

52. “Parco Agrisolare, Ai Nastri Di Partenza Il Bando Da 789 Milioni – Marcheagricole,” accessed June 12, 2026, <https://www.marcheagricole.it/parco-agrisolare-ai-nastri-di-partenza-il-bando-da-789-milioni/>.

53. «Dashboard_Agricoltura_2024 | Tableau Public», consultato 13 giugno 2026, https://public.tableau.com/app/profile/istat.istituto.nazionale.di.statistica/viz/Dashboard_Agricoltura_2024/CensimentoAgricoltura.

54. «7 Censimento generale – Istat», consultato 13 giugno 2026, <https://www.istat.it/statistiche-per-temi/censimenti/agricoltura/7-censimento-generale/>.

55. «agricoltura», consultato 14 giugno 2026, <https://statistica.regione.marche.it/Marche-in-Numeri/Agricoltura>.

56. «PDF integrale IEEE Xplore», consultato 17 giugno 2026, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10531253>.

57. «ASI|Agenzia Spaziale Italiana», consultato 17 giugno 2026, <https://www.asi.it/scienze-della-terra/iride/>.

58. «ESA - IRIDE: presentata presso il Centro ESA–ESRIN la prima immagine», consultato 17 giugno 2026, https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/IRIDE_presentata_presso_il_Centro_ESA_ESRIN_la_prima_immagine.

59. «Copertura e stima del tempo di rivisitazione della missione IRIDE», consultato 17 giugno 2026, <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/219099>

60. «Home», consultato 17 giugno 2026, <https://www.e-geos.it/>.

61. «Costellazione IRIDE | Planetek Italia», consultato 17 giugno 2026, https://www.planetek.it/progetti/costellazione_iride.

