



Obiettivo del progetto

La presente analisi intende stimare la potenziale produzione di energia elettrica e termica da fonte solare a partire da un'indagine sulla radiazione solare captata dalle coperture degli edifici.

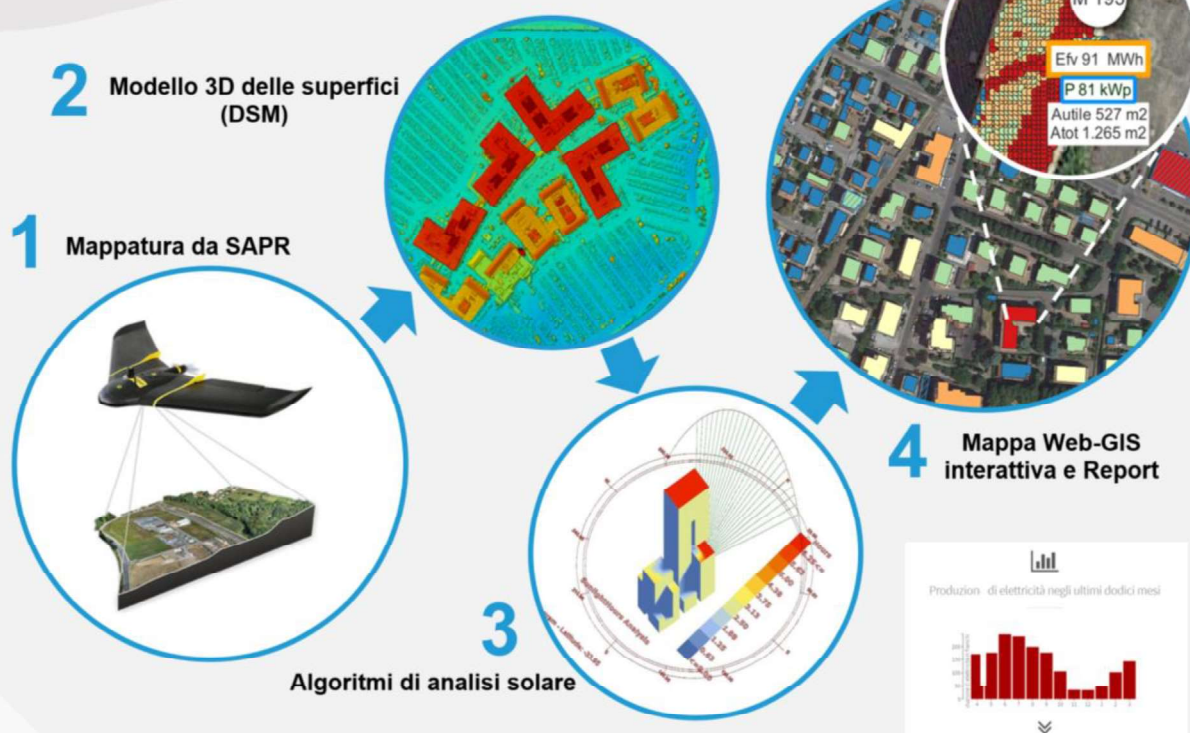
Introduzione

L'esaurimento delle risorse fossili e gli impatti della produzione di energia sull'ambiente richiedono di riconsiderare i sistemi energetici. In questo contesto, l'energia solare è particolarmente interessante perché la risorsa è inesauribile, ben distribuita e il suo sfruttamento ha pochi impatti sulle emissioni di gas serra. In ambiente urbano caratterizzato da un forte uso del suolo, la produzione di energia solare decentralizzata - definita come installazioni di impianti solari sui tetti degli edifici in contrapposizione a impianti solari su larga scala - appare come una delle soluzioni più adeguate, ma i suoi potenziali sono ancora scarsamente definiti alla scala di una città. Oggi i responsabili politici e altri attori coinvolti nello sviluppo di energia solare hanno bisogno di strumenti per quantificare questi potenziali e valutare la concorrenza spaziale tra fotovoltaico ed energia solare termica.

L'identificazione di superfici adeguate nelle aree urbane o rurali svolge un ruolo importante sia per l'investitore privato che per la comunità pubblica locale perché i sistemi fotovoltaici devono essere posizionati e orientati correttamente nell'ambiente per soddisfare le specifiche richieste (tempo di insolazione, orientamento della superficie, tipo di pannello, caratteristiche

del potere di rete, ecc.). Al fine di sfruttare in modo ottimale i vantaggi di tecnologie solari, è fondamentale che i modelli predittivi forniscano risultati affidabili. Questo è comunque un compito complesso, perché richiede dati da diverse fonti, che vanno ad esempio da serie di dati meteorologici a modelli geometrici accurati degli edifici e del terreno circostante. Fattori che influenzano la stima della radiazione solare in arrivo includono le condizioni atmosferiche (ad esempio torbidità dell'aria, nuvolosità, aerosol, vapore acqueo) e topografia (ad esempio ombreggiamento da colline, montagne, quello reciproco con edifici vicini, vegetazione, ecc.). Inoltre, i tassi di conversione dalla radiazione solare in elettricità dipendono dalla tecnologia adottata per i pannelli fotovoltaici (e tutti gli altri dispositivi come l'inverter, il collegamento fili, ecc.). Oggi, le tecnologie comuni dei moduli solari dispongono di efficienze di conversione che arrivano al 20% della radiazione solare in arrivo. Questa variabilità è dovuta al fatto che i pannelli solari generalmente non assorbono mai l'intero spettro di radiazioni in arrivo e quindi le loro caratteristiche devono corrispondere allo spettro della luce disponibile. Data la complessità dell'intera pipe-line sole-elettricità, è necessario un approccio multidisciplinare per trattare correttamente con l'intero processo di dati.

Workflow



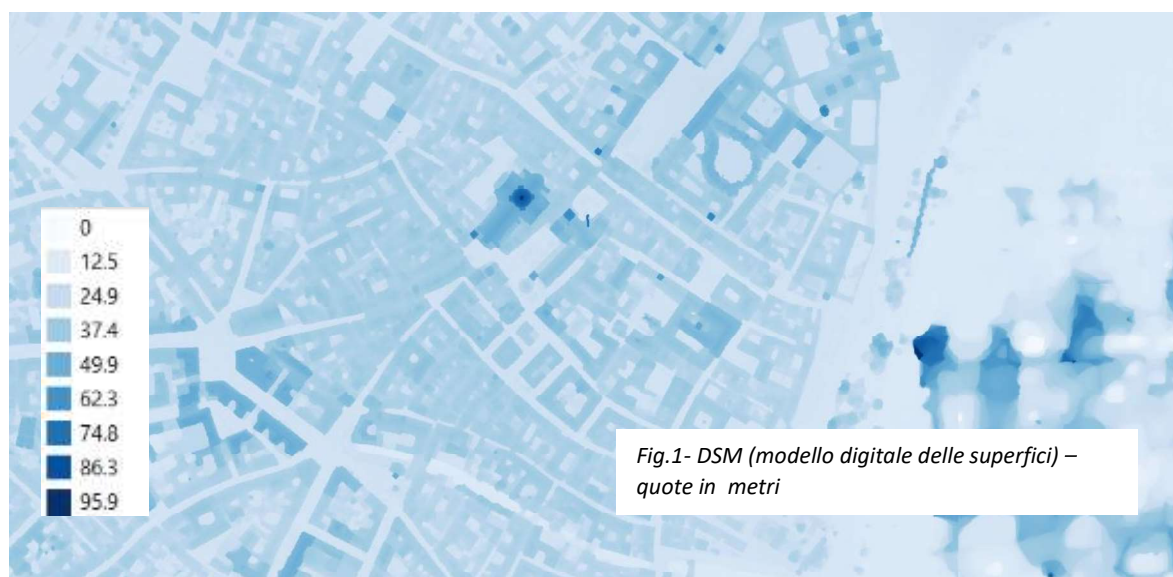
La mappatura è realizzata attraverso le informazioni ottenute utilizzando dati acquisiti da **droni** e **algoritmi** semi-automatici, dai quali si ottengono modelli **3D degli edifici e di tutte le superfici in rilievo** come, ad esempio, gli alberi (DSM), Da queste informazioni è possibile ricavarne altre quali, la **pendenza delle coperture**, l'**esposizione solare**, **ombreggiatura** tra elementi di diversa altezza, etc.

Metodologia

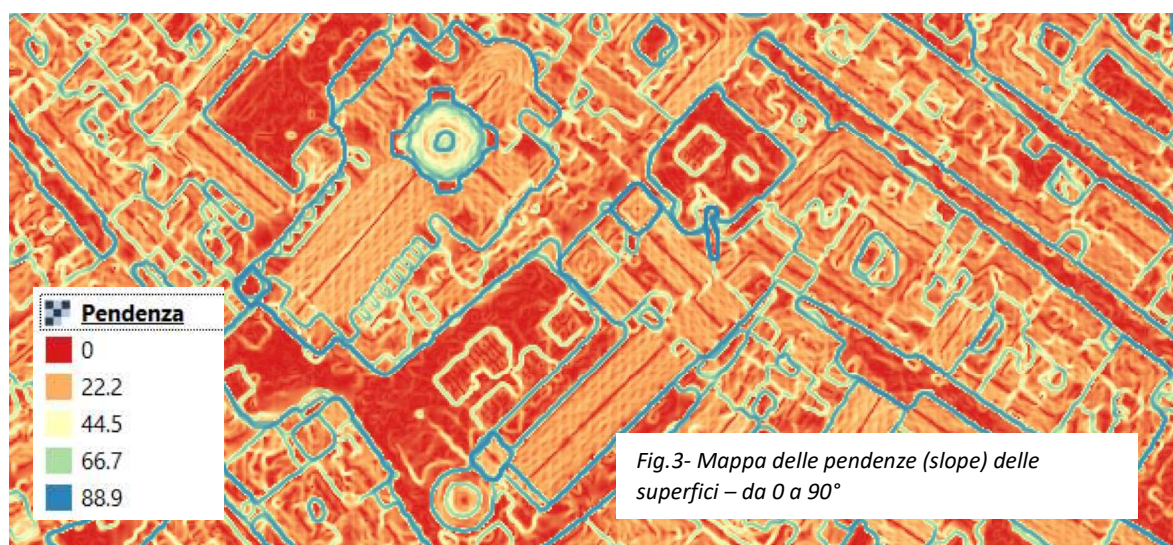
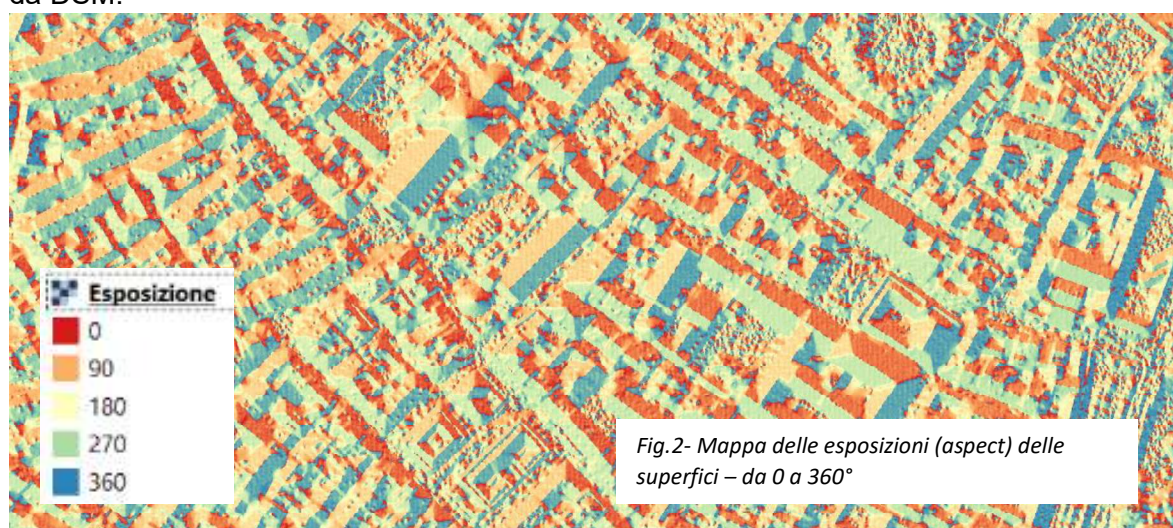
1. SORGENTI DEI DATI

- Raster **DSM** da drone alla risoluzione geometrica di 0,2 m, ri-campionato a 0,6 m (*immagini esemplificative*).





- Mappe raster dell'esposizione delle superfici (**aspect**) e della pendenza (**slope**), ottenute da DSM.



- Coefficienti di **torbidità dell'aria** (Linke data). Il fattore di torbidità di Linke esprime il grado di limpidezza del cielo ed influisce sia sull'intensità della radiazione diretta che su quella diffusa. I dati tabellari suddivisi per categoria di **uso del suolo** (montagna, campagna, città, industria), è stata utilizzata la mappa vettoriale *Corine Land Cover* (aggiornamento 2017) per ottenere 12 mappe raster in base ai relativi coefficienti, per ogni mese dell'anno.

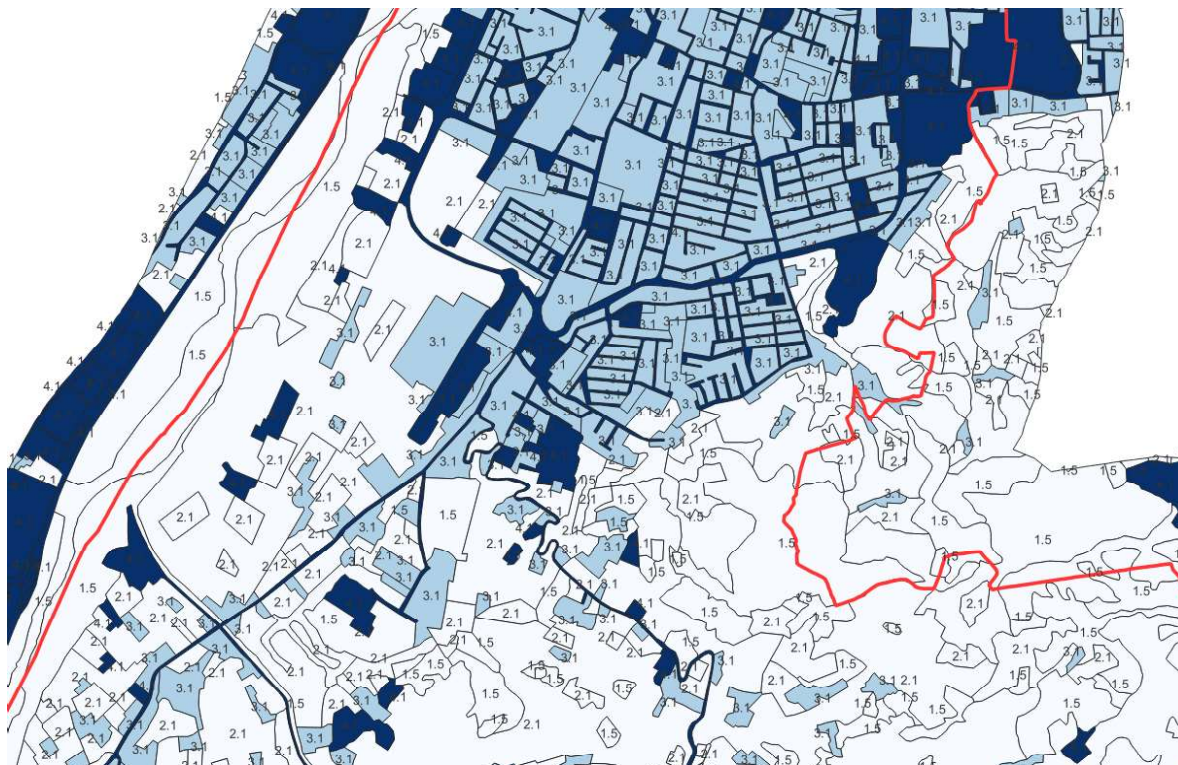
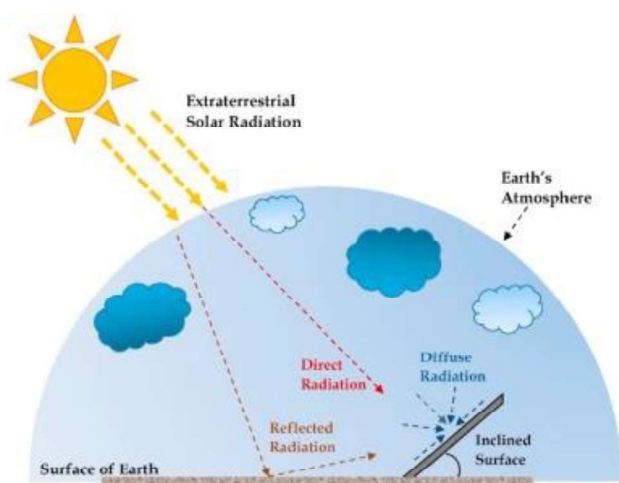


Fig.4- valori di torbidità per ogni mese, zone più torbide più scure

- Mappe della irradiazione diretta e diffusa.
La **radiazione globale** che investe le superfici è la risultante della sommatoria di tre componenti, la radiazione **diretta**, **diffusa** e **riflessa**.



Per il modello di cielo utilizzato sono state prodotte 12 mappe mensili con i coefficienti di radiazione diffusa rispetto a quella globale e 12 mappe per il coefficiente di radiazione diretta / globale. Questi coefficienti (fonte PVGIS) permettono di calcolare un **modello di cielo reale** (real sky) che quindi tiene conto delle attenuazioni di radiazione dovute alle nuvole, rispetto invece ad un semplice modello di cielo sereno (clear sky). Le differenze incidono anche del 40% su base annua.

- Mappa vettoriale catastale o topografica dei fabbricati.

2. STIMA DELLA RADIAZIONE SOLARE

Sono state elaborate 12 mappe tematiche corrispondenti alla **radiazione media giornaliera [Wh/m²/giorno]** per ciascun mese dell'anno. Per ogni mese vengono utilizzati i giorni rappresentativi delle caratteristiche climatiche medie:

Mese:	giorni	giorno medio	n	Gon [W/m ²]	E [min]	δ [°]
gennaio	31	17	17	1345	-9,3	-20,92
febbraio	28	16	47	1335	-14,2	-12,95
marzo	31	16	75	1374	-9,4	-2,42
aprile	30	15	105	1322	-0,2	9,41
maggio	31	15	135	1383	3,9	18,79
giugno	30	11	162	1326	0,8	23,09
luglio	31	17	198	1406	-6,0	21,18
agosto	31	16	228	1378	-4,7	13,45
settembre	30	15	258	1322	4,6	2,22
ottobre	31	15	288	1379	14,4	-9,60
novembre	30	14	318	1406	15,3	-18,91
dicembre	31	10	344	1412	7,1	-23,05

Grazie alle 12 mappe mensili vengono poi generate le mappe del cumulo annuo, mensile e giorno medio annuale per ciascun edificio.

Irradiazione Cumulata Annua - kWh/m2/anno

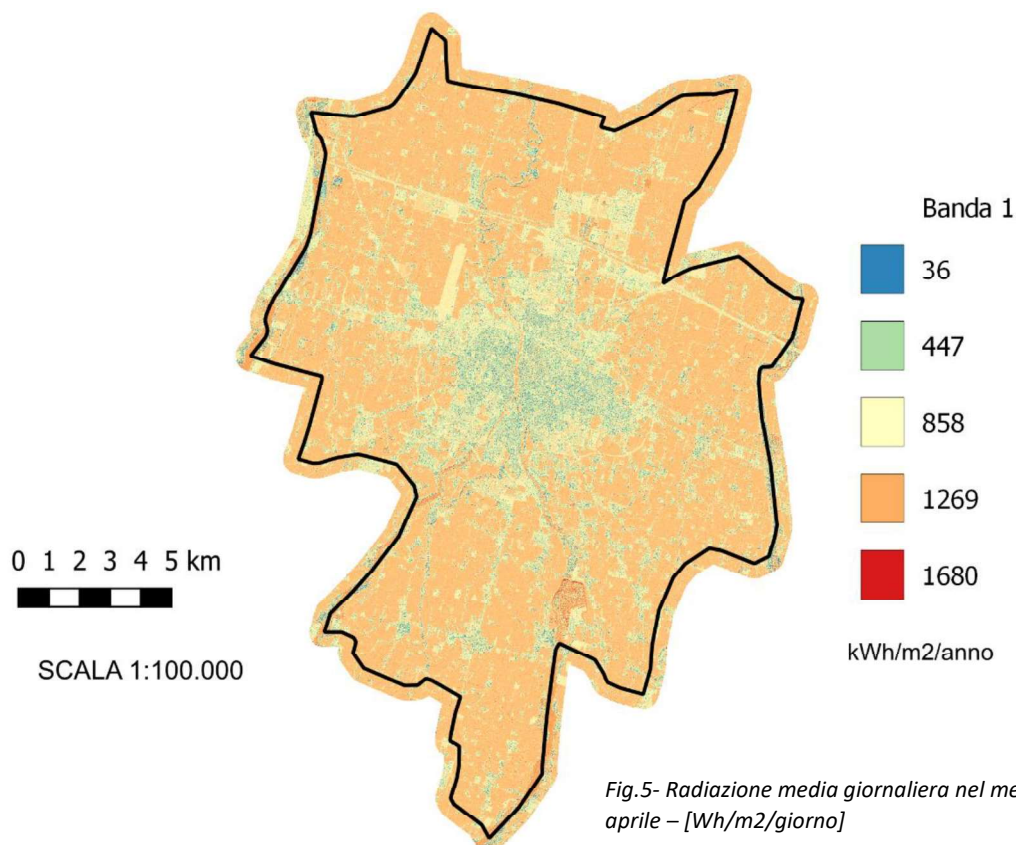
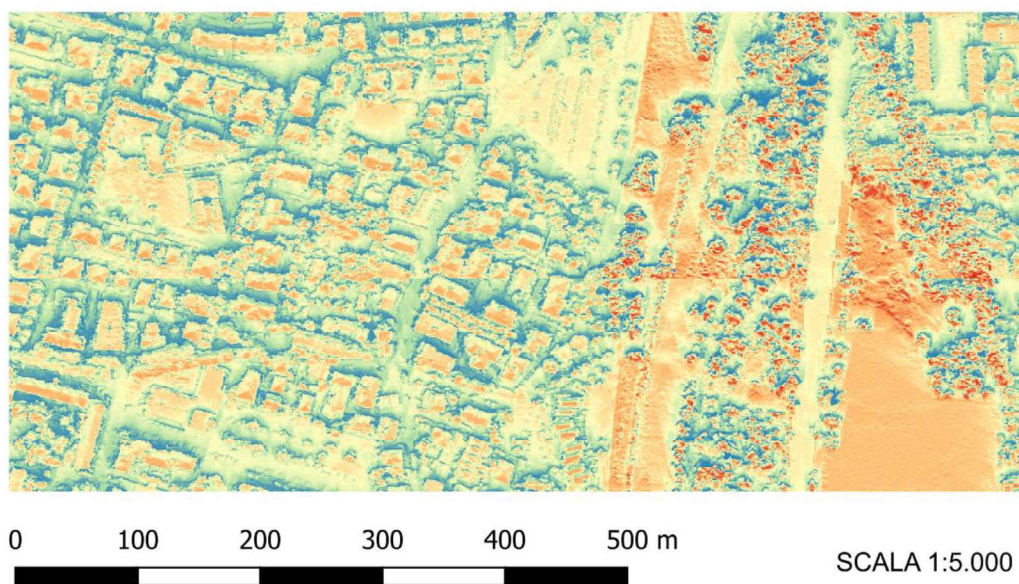
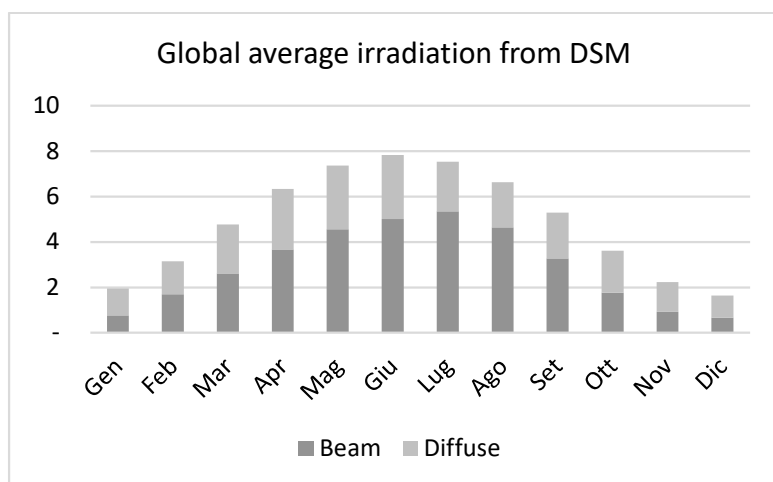


Fig.5- Radiazione media giornaliera nel mese di aprile – [Wh/m2/giorno]





kWh/m²/day

Fig.6 – Esempio di andamento dell'irraggiamento solare globale nei vari mesi dell'anno e rapporto tra la componente diretta (beam) e diffusa

3. IDENTIFICAZIONE DELLE AREE UTILI NELLE COPERTURE E (Suitable Roof Areas)

Per determinare le aree utili per la produzione di energia in ogni edificio, la mappa di energia solare captata viene intersecata con il database topografico vettoriale dei fabbricati. Si ottengono così due strati informativi, il primo:

- **Mappatura dell'irraggiamento solare di dettaglio:**

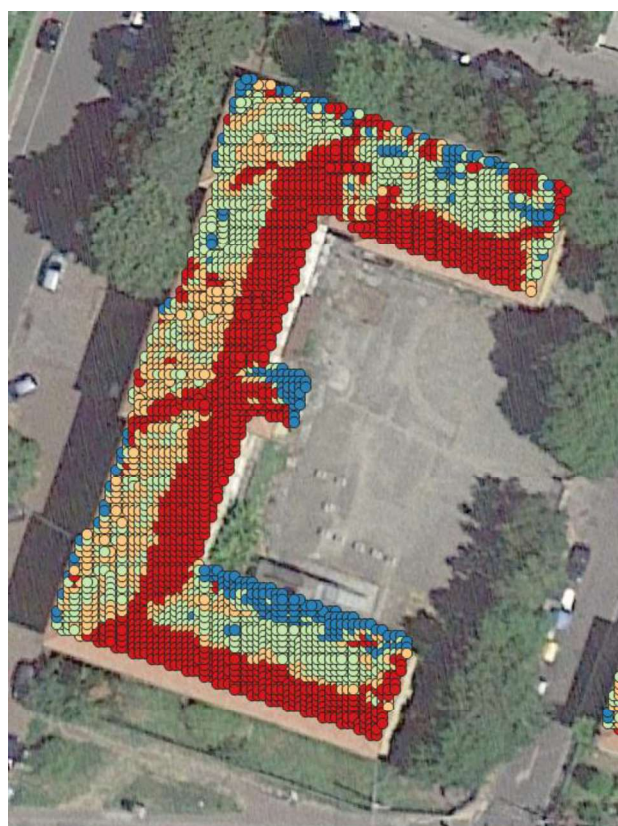


Fig.7 - Mappatura dell'irraggiamento solare di dettaglio

Questa mappa a punti vettoriali che rappresentano il livello di irraggiamento nel

dettaglio, diventa uno strato informativo fondamentale per una successiva fase di progettazione degli impianti, in quanto fornisce un'approfondita e realistica simulazione delle **effettive aree utilizzabili** (in rosso > 1.000 kWh/m² annuo) e anche delle **zone d'ombra** non utili (in blu), grazie alla sorgente 3D delle informazioni.

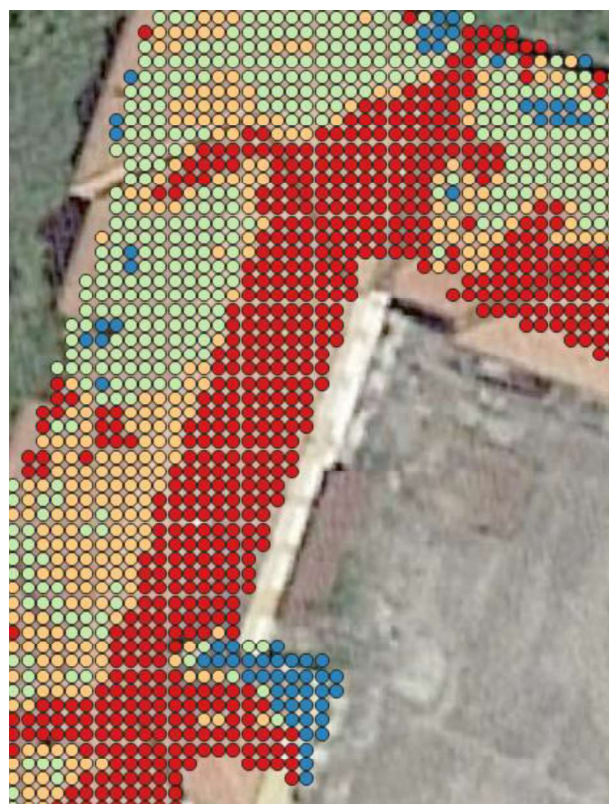


Fig.8 - Aree utili (>1.000 kWh/m²/anno) in rosso e zone in ombra in blu

Il secondo strato informativo è illustrato nel seguente paragrafo.

4. CLASSIFICAZIONE DELLE COPERTURE E POTENZIALE ENERGETICO UTILE

L'energia solare potenzialmente utilizzabile è quindi la quota di energia captata che insiste sulla parte di superficie utile della copertura, considerando anche un ulteriore **fattore di riduzione** (differenziato per tipologia di copertura, piana o inclinata), che rappresenta gli spazi residui, specialmente in falde triangolari. La trasformazione dell'energia solare in energia utilizzabile (elettricità o calore) è stimata successivamente per i seguenti scenari.

Scenario 1: 100% FV - fotovoltaico

In questo scenario, si assume che la produzione di energia FV sia inviata alla rete e non sia limitata dalla domanda, quindi tutta l'area di copertura utile definita sopra possa in linea di principio essere utilizzata a questo scopo.

L'energia producibile da FV, E_{FV} viene stimata per ogni area utile disponibile e per ciascuno dei dodici giorni tipici, per una costante di efficienza del sistema (system efficiency) η_{FV} fissata al **20%** (efficienza media delle celle solari).

$$E_{FV} = \eta_{FV} \cdot G$$

I potenziali mensili e annuali vengono estrapolati prendendo in considerazione il numero dei giorni di ogni mese.

Le coperture vengono classificate, in base alla pendenza, in due categorie: **coperture piane o inclinate**, con stime di potenziale differenziato, in quanto si ipotizza di utilizzare pannelli complanari alle falde sulle coperture inclinate e moduli fotovoltaici su struttura inclinata sulle coperture piane, quindi, dato che i moduli complanari possono essere adiacenti l'uno con l'altro mentre quelli inclinate vengono disposti in file distanziate tra loro producendo una fascia d'ombra, ai due approcci vengono assegnati parametri di ingombro e rendimento differenziati.

Segue, quindi, il secondo strato informativo:

- **Mappatura del potenziale per ogni edificio:**



Fig.9 - Classificazione del potenziale FV su database catastale / DBTR

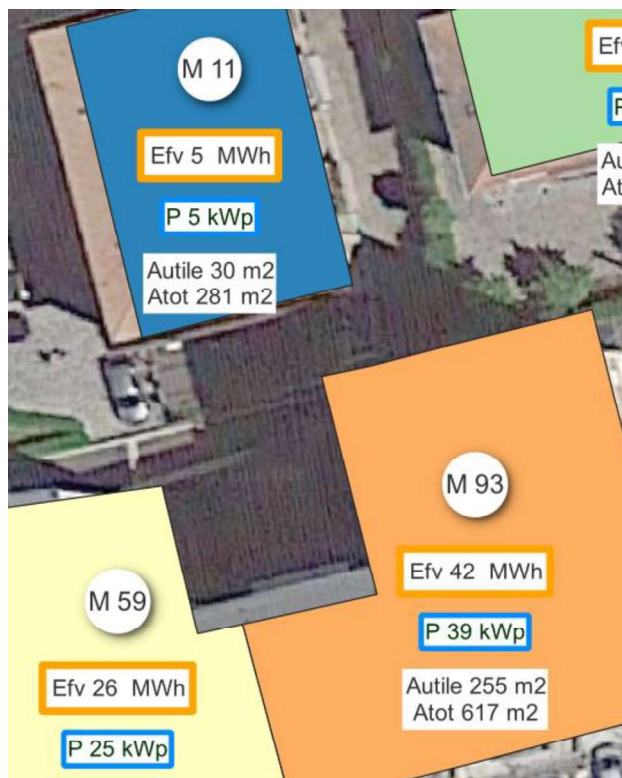


Fig.10 - Etichette dinamiche che mostrano i dati salienti

Avvicinandosi agli edifici sulla mappa GIS, compaiono le **etichette riepilogative** dei dati salienti (per una veloce consultazione) che includono:

- **M:** Numero di **moduli** fotovoltaici installabili nell'area utile
- **Efv:** **Energia** elettrica producibile
- **P:** **Potenza** installabile
- **Area utile** per l'installazione dei moduli fotovoltaici e **area totale** della copertura (Atot).

Come criterio utilizzato, per le coperture piane le stime si basano sull'utilizzo di **tutta l'area delle coperture**, mentre per quelle inclinate, le sintesi si riferiscono all'utilizzo delle **sole aree in rosso > 1.000 kWh/m2 annuo**

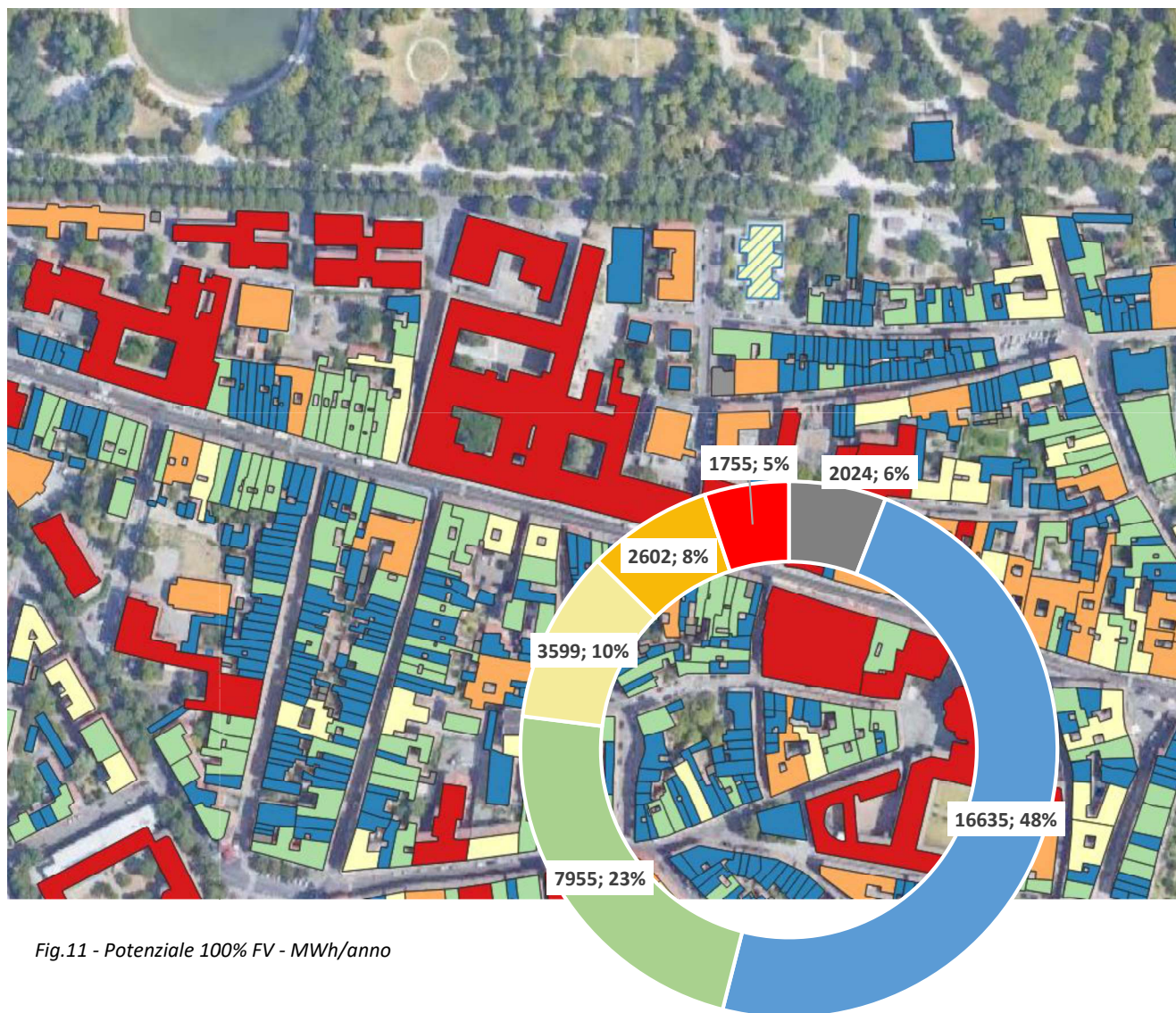


Fig.11 - Potenziale 100% FV - MWh/anno



Numero di edifici **non idoneo** alla produzione di energia

Numero di edifici **ideale** per la produzione di energia.

Produzione di oltre 50 MWh

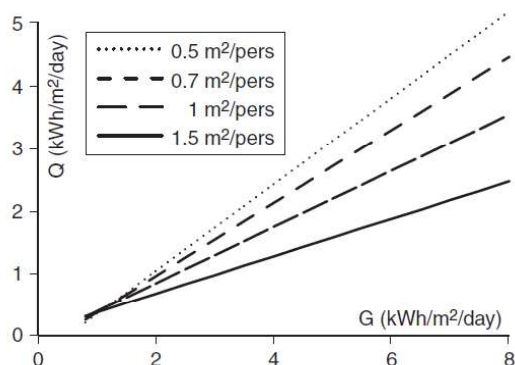
Scenario 2: 100% ST – Solare Termico per la produzione di ACS

A differenza del fotovoltaico, il solare termico per la produzione di ACS (Aqua calda sanitaria) è influenzato dal dimensionamento legato alla domanda di ACS dell'edificio e quindi al **numero di abitanti**.

Number of inhabitants	Specific collector area (m ² /pers)
0 or 1	0
2	1.5
20	1
100 or more	0.7

Per ciascun edificio, la domanda di ACS viene stimata grazie al numero di abitanti con un tipico consumo giornaliero di 50 litri a persona a 55 °C (2.45 kWh/pers/giorno).

La dimensione dei collettori può variare da 0.7 m²/pers per grandi edifici pluri-famigliari, fino a 1.5 m²/pers nel caso di pochi utenti. Quindi, in generale, più sono le persone, più piccoli sono i collettori da utilizzare e più alta è la loro efficienza.



5. OSSERVAZIONI FINALI

In questo lavoro, la risorsa solare è considerata come combinazione della radiazione solare e della superficie utile a poterla captare. In generale, specialmente per le coperture inclinate, l'**area utile** delle coperture all'installazione di pannelli solari, corrisponde generalmente a circa il **25%** di quella totale (il 50% è irradiata dal sole, affaccio principale verso sud e consideriamo il **30% di ingombri**; le percentuali relative all'area utile nella scheda riassuntiva finale sono più basse, in quanto, nel totale, sono comprese tutte le coperture con bassa o nulla irradiazione, che abbassano quindi le proporzioni). Nella scheda di sintesi finale, alla scala comunale, i dati mostrati sono ulteriormente cautelativi rispetto a quelli presenti nel database (che sono mirati a

Per ogni edificio, l'area specifica dei collettori solari viene determinata in base a questo schema di dimensionamento, che viene poi comparata con l'area utile di copertura.

Successivamente, la produzione di energia termica viene stimata per ogni edificio e per ciascuno dei 12 giorni tipici, tramite un diagramma di input/output che mette in relazione la produzione mensile media del giorno tipico **Q_{ACS}** con la radiazione solare media mensile sui collettori **G**, prendendo in considerazione l'area specifica dei collettori.

La correlazione tra la radiazione solare e la produzione è **lineare**.

$$Q_{ACS} = \eta_{ACS} * G - Q_{0_ACS}$$

L'efficienza lineare effettiva η_{ACS} e la perdita di calore effettiva Q_{0_ACS} (prendendo in considerazione gli effetti capacitivi), che dipende dall'area specifica dei collettori, può essere approssimata dalle seguenti espressioni (valide per $0.5 < S < 2 \text{ m}^2/\text{pers}$).

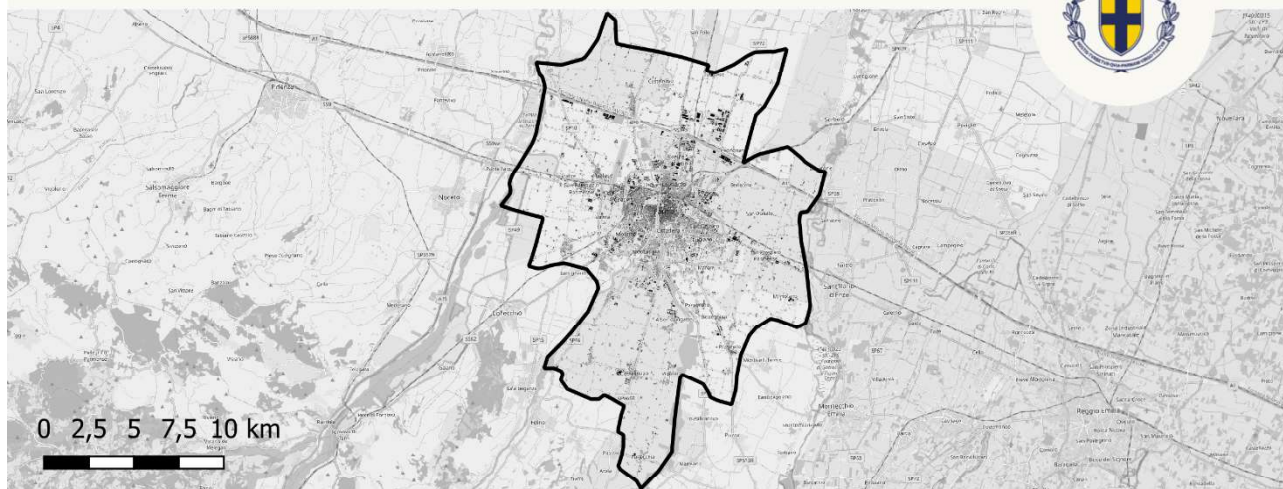
$$\eta_{ACS} = 1.035 - 0.764 * S + 0.184 * S^2$$

$$Q_{0_ACS} = 0.786 - 1.03 * S + 0.305 * S^2$$

Se consideriamo che con $S=1.5 \text{ m}^2/\text{pers}$ una Q_{ACS} pari a circa il 45% di G , con $S=1 \text{ m}^2/\text{pers}$ otteniamo una Q_{ACS} pari a circa il 30% di G e con $S=0.7 \text{ m}^2/\text{pers}$ una Q_{ACS} pari a circa il 59% di G , possiamo considerare che, per l'intero territorio comunale, la **Q_{ACS}** sia circa il **50% di G**. Per restituire, invece, dei dati più specifici sul dimensionamento dei collettori e dell'energia termica da essi producibile alla scala del singolo edificio, sono necessari i dati sul numero dei relativi residenti e dei consumi.

mostrare un potenziale indicativo alla successiva fase di progettazione esecutiva), in quanto considerano, come accennato in precedenza, un ulteriore -30% dovuto agli ingombri di velux, antenne, comignoli, ecc. Infine, mentre il potenziale fotovoltaico FV è direttamente correlato alle dimensioni degli edifici, quello solare termico ST, non lo è. Questo è dovuto alla forte correlazione tra risorsa e domanda dell'applicazione solare termica. Se, ad esempio, prendiamo un grande edificio sportivo con un alto potenziale fotovoltaico dovuto alle dimensioni della copertura, il suo potenziale solare termico potrebbe, al contrario, essere considerato pari a zero, in quanto al suo interno non vi risiedono persone.

COMUNE DI PARMA



10.004.225,5

MWh

Energia totale captata
dalle coperture



4.217.295,2

MWh

Energia potenzialmente
utilizzabile - "G" (*1)

42,2

%

Energia potenzialmente
utilizzabile (% sul totale)

844.929,9

MWh

Energia elettrica producibile
"EfV" - 100% FV (*2)



2.108.648

MWh

Energia termica producibile
"Qacs"- 100% ST (*4)



702

MW

Potenza installabile
"Pfv" - 100% FV (*3)

Di cui
21
su fabbricati
comunali

4.385.600,6

m2

Superficie disponibile
(-30% ingombri)

Indicatori morfologici

Superficie Comunale **260,8 Km2**
Numero di Edifici **34.570**
Popolazione **196.330**
Area reale Copert. **12.203.856 m2**

Indicatori risorsa solare

Area utile per FV/ST **6.265.144 m2**
>1.000 kWh/m2/anno **(51,3 %)**
Area utile per FV/ST **4.385.601 m2**
>1.000 kWh/m2/anno **(35,9 %)**
- 30% ingombri
Area utile procapite **22,34 m2/pers**

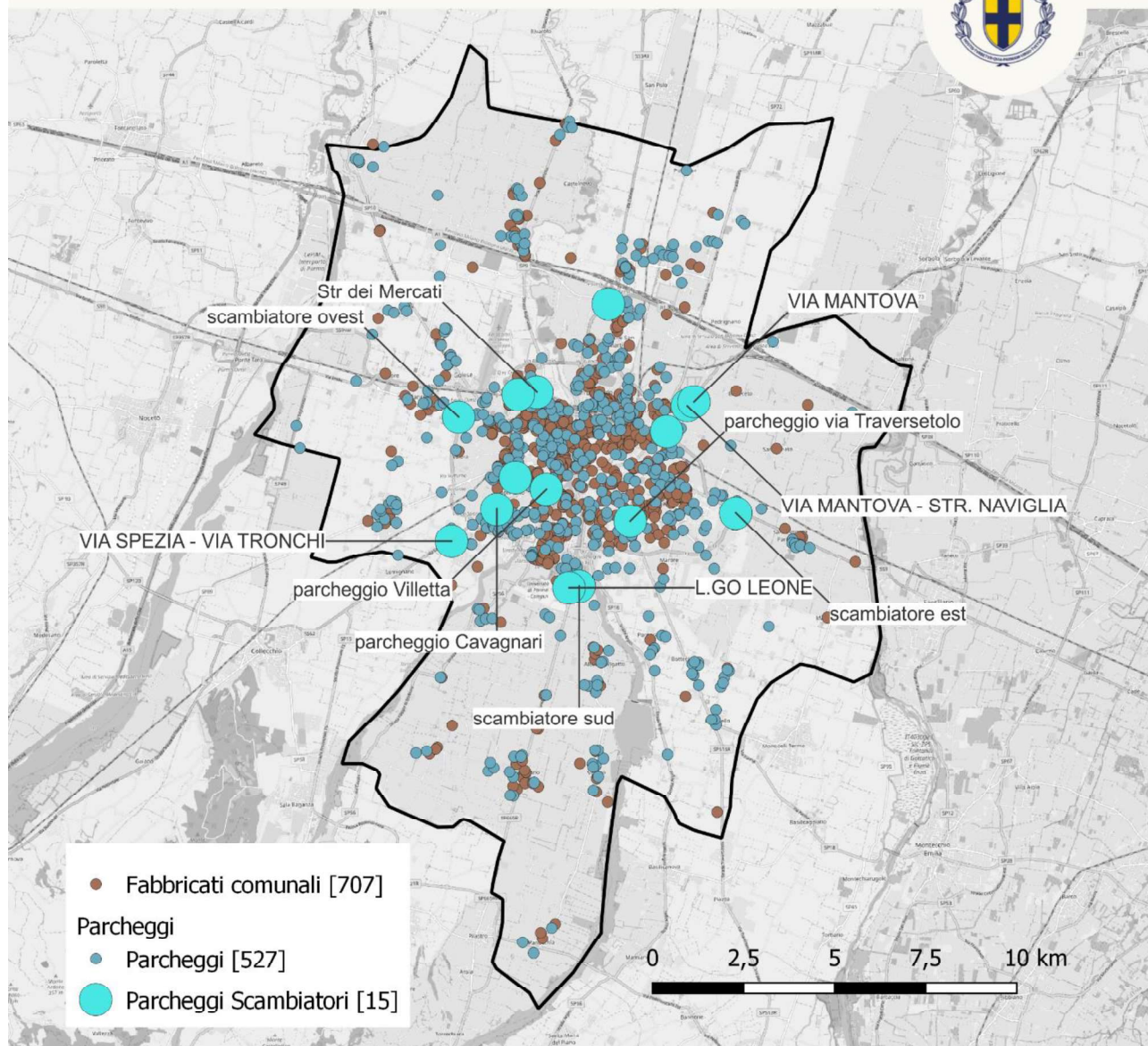
PAESC CCC
310.089,3 | 226.441,2
tCO2
Tonnellate di CO2 evitate (*5)
31.008.929 | 22.644.122
Alberi equivalenti in un anno
1.550.446 | 1.132.206
Alberi equivalenti nel ciclo
di vita di 20 anni



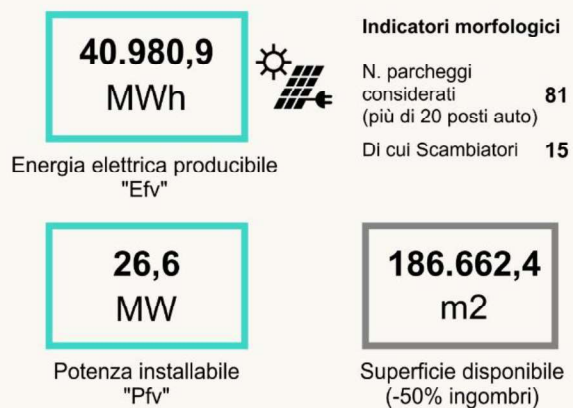
(*1) Considera solo le superfici che captano più di 1.000 kWh/m2/anno per le coperture inclinate e tutta la copertura per quelle piane, il risultato è stato moltiplicato per 0,7 (-30% di ingombri della copertura), senza considerare il tasso di occupazione degli edifici.
(*2) Per i moduli FV abbiamo assunto un'efficienza delle celle del 20%. L'Energia Elettrica Producibile è data da quella potenzialmente utilizzabile, moltiplicata per l'efficienza. EfV = nfv * G
(*3) La Potenza Installabile è data dal numero di moduli installabili per 420 Wp (potenza del singolo modulo da 2 m2), moltiplicato 0,8 (System Performance Ratio 80%). "Pfv" = n° moduli * 420 Wp * 0,8. Invece, per gli impianti esistenti abbiamo considerato 300Wp.
(*4) L'energia termica producibile è stimata nel 50% di G.
(*5) Per produrre un kilowatt/ora elettrico, vengono bruciati combustibili fossili e di conseguenza vengono emessi nell'aria l'equivalente di anidride carbonica nella misura di: 0,367 tCO2/MWh, fattore di emissione relativo al PAESC, o per quanto riguarda il Climate City Contract (Missione 100 Città Climate Neutral, in riferimento al "National and European Emission Factors for Electricity Consumption (NEEFEE)", modalità EU_IPCC_GHG al 2019), 0,268 tCO2/MWh.
Un albero può assorbire ogni anno in media circa 10kg di CO2 (Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici - UNFCCC).



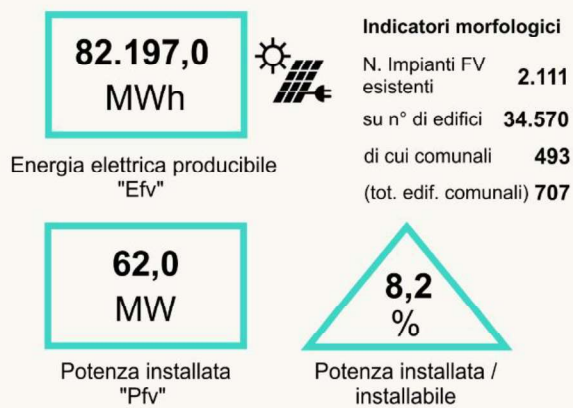
COMUNE DI PARMA



PARCHEGGI

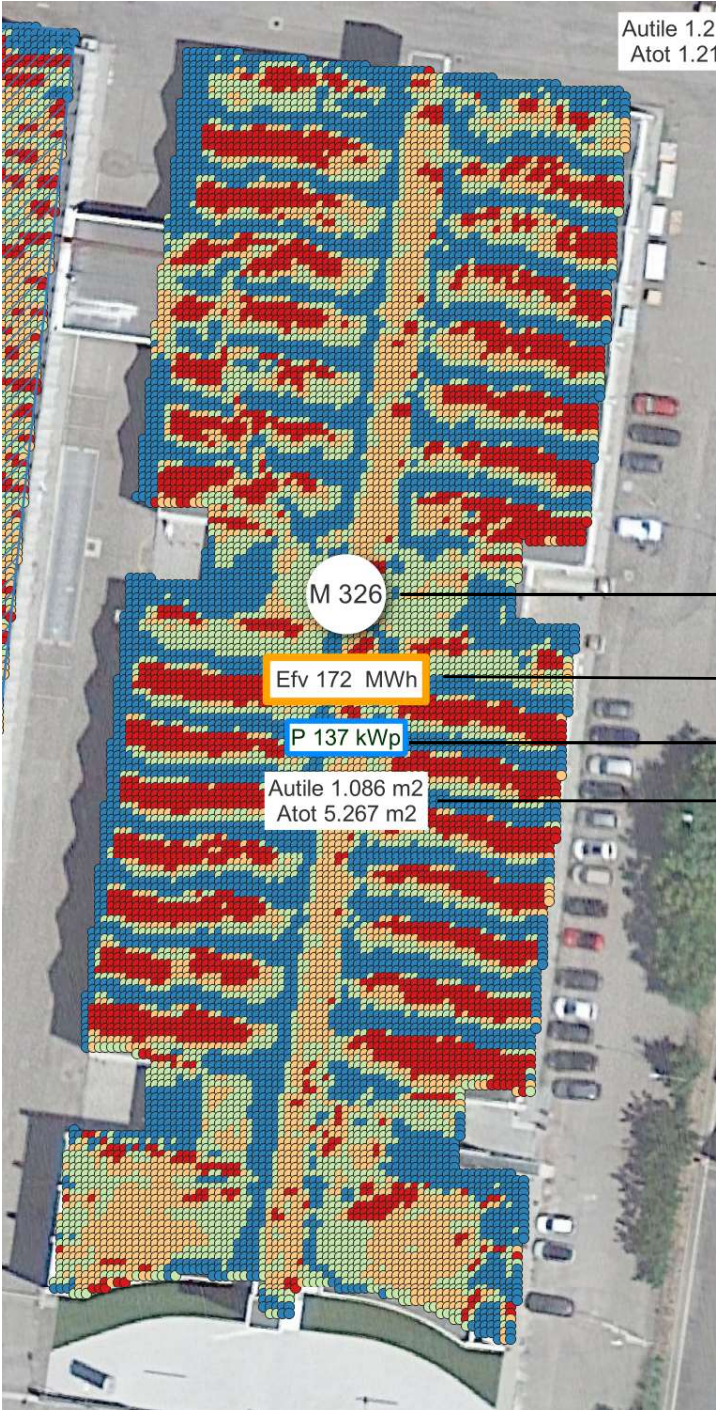


MODULI FV ESISTENTI





LEGENDA DATI



M N° moduli fotovoltaici

Efv Energia elettrica producibile

P Potenza istallabile

Autile Area (in rosso) con irraggiamento solare >1.000 kWh/m2/anno

Atot Area totale copertura

✓	g_points
✓	0 - 700
✓	700 - 900
✓	900 - 1000
✓	1000 - 1619