IL FOTOVOLTAICO DI OGGI È TUTTA UN'ALTRA STORIA

BIPV meets history

REPORT 3.2 Strumenti di mappatura solare e individuazione del potenziale solare fotovoltaico dell'area di cooperazione

Autori
Dr Arch. Cristina S. Polo López, Dr Arch. Erika Saretta - SUPSI, Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana

Coordinamento:
Cristina S. Polo López - SUPSI

Revisioni:
Pierluigi Bonomo - SUPSI

Dettaglio documento:
Titolo: Task 3.2 Confronto e analisi degli strumenti di mappatura solare e di stima del potenziale solare territoriale e individuazione del potenziale solare fotovoltaico del patrimonio immobiliare dell'area di cooperazione
Report No: 3.2
Work Package: WP3
Data di pubblicazione: 12/05/2020
Versione: 01

Dettaglio progetto:
Titolo del progetto: BIPV MEETS HISTORY - CREAZIONE DI UNA CATENA DI VALORE PER IL FOTOVOLTAICO INTEGRATO IN ARCHITETTURA NEL RISANAMENTO ENERGETICO DEL PATRIMONIO COSTRUITO STORICO TRANSFRONTALIERO
Codice progetto: 603882

Durata del progetto: Maggio 2019 - Ottobre 2021 (30 mesi)

Partners:

Operazione co-finanziata dall'Unione europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione elvetica e dai Cantoni nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera

SOMMARIO WP3

A.3.2 Strumenti di mappatura solare e individuazione del potenziale solare fotovoltaico dell'area di cooperazione

Questo documento presenta l'analisi degli strumenti di mappatura solare del territorio nell'area transfrontaliera, i quali ad oggi permettono di sfruttare e identificare il potenziale di sfruttamento per le tecnologie solari BIPV oggetto di studio. Sono identificate le potenzialità di sfruttamento dell'energia solare del parco edilizio esistente, attraverso l'analisi di strumenti "user-friendly" di mappatura solare, catasti solari, mappe interattive e digitali. In questo modo si individueranno le tipologie edilizie più idonee per l'istallazione di sistemi BIPV (WP4, A 4.1). Quest'attività è vincolata all'analisi del patrimonio immobiliare, delle tipologie edilizie esistenti.

Il confronto e l'analisi di questi strumenti di mappatura solare utili alla stima del potenziale solare territoriale permettono di stabilire le differenze e le similitudini tra i paesi e regioni nell'area transfrontaliera di riferimento del progetto.

L'analisi del potenziale solare fotovoltaico del patrimonio immobiliare per le diverse aree di cooperazione del progetto invece, si effettua sulla base dell'utilizzo di questi strumenti di mappatura solare che permettono una prima stima di questo potenziale a scala territoriale per poi essere associato a definire nelle successive fasi del progetto (WP4) il reale sfruttamento di questo potenziale nei casi di studio che verranno analizzati.

Quest'analisi è utile alla definizione dei potenziali di mercato per l'implementazione di prodotti BIPV e per lo sviluppo di nuovi sistemi industriali, come possibili fattori per accrescere la competitività delle aziende in modo mirato alle effettive esigenze territoriali (WP5).

INDICE

SOMMARIO WP3 4

A.3.2 Strumenti di mappatura solare e individuazione del potenziale solare fotovoltaico dell'area di cooperazione 4

INDICE 5

INTRODUZIONE 6

1. STRUMENTI DI MAPPATURA SOLARE 7

1.1. METODI E STRUMENTI DI MAPPATURA SOLARE, RIFERIMENTI IN EUROPA 7

1.2. SIMULAZIONE SOLARE E FOTOVOLTAICO 10

2. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE IN SVIZZERA 12

2.1. CATASTO SOLARE SVIZZERO 12

2.1.1. Potenziali solari: edifici storici e aree protette ISOS 15

2.2. POTENZIALE SOLARE A LIVELLO REGIONALE - CANTON TICINO 17

2.2.1. Applicazione del potenziale solare a livello locale (COMUNE/MUNICIPIO). 19

2.2.2. Ticino - Stima del potenziale solare dei TETTI 21

2.2.3. Ticino - Stima del potenziale solare delle FACCIATE 24

2.3. CONCLUSIONI, VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE IN CANTON TICINO 28

3. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE IN ITALIA 30

3.1. ALCUNI CALCOLATORI SOLARI FRUIBILI IN ITALIA 30

4. CONCLUSIONI 33

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 34

INTRODUZIONE

Come premessa alla valutazione, viene specificato che i dati di potenziale della produzione solare rappresentati negli strumenti di mappatura del territorio esistenti (come il catasto solare) sono generalmente da considerarsi “indicativi” in quanto il loro scopo non è quello di quantificare con esattezza il potenziale solare (che potremmo denominare “potenziale realistico”) quanto piuttosto di predisporre scenari di sfruttamento di parchi immobiliari secondo diversi gradi di idoneità per favorire e promuovere la diffusione delle energie rinnovabili e utilizzare al meglio gli incentivi finanziari messi a disposizione della popolazione e degli enti pubblici e privati. La maggior parte dei catasti solari riferiti al patrimonio edilizio, mostrano ad esempio la mappatura territoriale delle parti di tetto/facciata idonee, dal punto di vista dell'insolazione ricevuta, alla posa di un impianto solare termico e fotovoltaico, tenendo conto in alcuni casi anche dell'inclinazione e di eventuali ombre dovute a costruzioni prossime. Il potenziale di irraggiamento solare considerato varia tipicamente in base all'esposizione, all'altitudine, alle ore di insolazione e al clima locale ed è affetto in genere da un’incertezza superiore al 10% legata ai metodi di calcolo e alle semplificazioni introdotte.

Aspetto essenziale è che questi strumenti, non tenendo in considerazione il grado di compatibilità ed integrabilità effettiva dell’organismo edilizio, consentono di porre le basi per analisi più approfondite legate a ogni singolo progetto specifico, per passare dal “potenziale teorico” alla valutazione della produzione effettiva di energia attraverso analisi tecnico/costruttive e ponderazioni urbane e architettoniche sul singolo edificio. È importante sottolineare che tuttavia l’indicazione emergente dalla mappatura solare funge da stimolo e sensibilizzazione e quindi si pone spesso come il fattore chiave per l’avvio dei processi decisionali che rispondono alla domanda di quanta elettricità o calore è possibile produrre sfruttando l’energia solare utilizzando la superficie della copertura o delle facciate a disposizione. Dunque la definizione di un grado di sfruttamento realistico delle superfici edilizie sarebbe utile, introducendo oltre al potenziale di insolazione anche una ponderazione dei fattori edilizi favorevoli/sfavorevoli all’integrazione di sistemi solari. I calcolatori solari correlati consentono, infatti, anche di stimare approssimativamente la produzione energetica, il costo totale e i tempi di ammortamento di un impianto.

1. STRUMENTI DI MAPPATURA SOLARE

Come premessa bisogna distinguere tra software di simulazione solare e strumenti di mappatura solare. I primi sono relativi alla scala di edificio, e permettono di stimare e calcolare la produzione energetica di fonte solare, mentre con strumenti di "mappatura solare" si intendono gli strumenti disponibili all'utente (utenti pubblici o privati; privato cittadino, municipalità, ecc.) che permettono di conoscere i dati del potenziale solare per un'area, contesto urbano o singolo edificio. Un catasto solare fornisce orientamento, angolo, irradiazione e il potenziale della produzione solare per ciascun tetto o facciata degli edifici di un'area territoriale. Sono strumenti che offrono informazione georeferenziata (GIS) per città, comuni e regioni basati su modelli digitali di terreno ad alta risoluzione e un modello di città e degli edifici 3D, calcolando l'ombra locale (alberi, edifici vicini) e l'orizzonte topografico e persino di tenere conto di strutture del tetto complesse. Grazie questi strumenti, l'energia media disponibile annualmente dalla radiazione solare viene calcolata per ciascuna superficie dell'edificio, in modo approssimativo. I software di simulazione solare permettono un maggior livello di accuratezza nel calcolo dovuto alla possibilità di considerare nel dettaglio aspetti legati all'edificio, la costruzione e la progettazione dell'impianto solare.

1.1. METODI E STRUMENTI DI MAPPATURA SOLARE, RIFERIMENTI IN EUROPA

Le mappe solari supportano la localizzazione delle superfici degli edifici più adatte per la progettazione previa delle installazioni solari e consentono la quantificazione del potenziale del loro utilizzo. La maggior parte delle città e i paesi, in Europa, ha iniziato a implementare mappe solari online georeferenziate (e.g. catasto solare Svizzero, energy-Atlas Bayer in Germania, catasto solare della città di Vienna, in Austria, per citarne alcuni), strumenti elaborati digitalmente come strato compatibile GIS, che forniscono informazioni sul potenziale di energia solare e sulla generazione prodotta sui tetti degli edifici esistenti, ma ci sono anche alcuni esempi che considerano il potenziale solare anche delle facciate, come nel caso del catasto solare svizzero, che sarà approfondito nei capitoli successivi.

In questo capitolo si fa riferimento a degli studi recenti [1, 2] che si focalizzano nella revisione della letteratura sui metodi e strumenti di mappatura solari recentemente sviluppati in Europa (Tabella 1 e Tabella 2). La maggior parte delle mappe solari analizzate in questo studio, si basano sui dati della geometria (ovvero edifici, terreno, vegetazione) ottenuti attraverso il rilevamento aereo laser, vale a dire tramite LiDAR (Light Detection And Ranging), ciò significa che la valutazione può essere eseguita automaticamente su aree urbane su larga scala in alta precisione considerando le topografie delle superfici, le misurazioni dell'irradiamento diretto e diffuso a lungo termine e le influenze dell'ombra. Le informazioni 3D si concentrano sull'analisi dell'irradiazione e sulla generazione di energia da parte di sistemi fotovoltaici (FV), sebbene a volte sia disponibile anche il potenziale di generazione solare termica (ST). Uno dei principali vuoti sottolineati in questa ricerca e associati alle mappe solari

esistenti è che la maggior parte delle mappe solari GIS sono disponibili per la stima del potenziale solare per installazioni su piccola scala, e generalmente, non tengono in considerazione la possibilità di integrare sistemi solare di facciata. Di seguito sono riportati (Tabella 1) alcuni degli studi che sono funzionali alla definizione del potenziale solare a scala urbana [1]. Nella tabella successiva (Tabella 2) sono riportati alcuni dei catasti solari e mappature urbane più significativi nel panorama europeo [2].

Tabella 1 – Studi di ricerca focalizzati sulla definizione del potenziale solare a scala urbana. Fonte, riferimento: Saretta, E., Caputo, P., & Frontini, F. (2019) [1].

Year	Authors	Scale	Aim	Type of model	Methodology	Envelope properties	Buildings characteristics	Urban parameters	Tools
2012	Caamaño-Martin et al.	Urban (two districts of 376 + 710 hectares)	Geographical potential of facades and roofs	3D model from survey	Detailed GIS database of each facade and roof with info about active solar potential, that is computed by means of the software tool of the Solar Energy Institute (Instituto de Energía Solar – TU Madrid)	Structural characteristics from 3 roof and 3 façade typologies		Shadows due to nearby buildings	Tool of the Solar Energy Institute
2012	Lobaccaro et al.	Urban (n.a.)	Geographical potential of facades	3D model	Development of a tool (SolarPW) to evaluate the mutual overshading between two buildings			Shadow of one nearby building	SolarPW
2013	Redweik et al.	Urban (area of about 160'000 m^2)	Geographical potential of facades and roofs	3D model from elaboration of airborne LiDAR data	From LiDAR data a 3D model is generated. Then, the method (algorithm SOL) combines it with a radiation model and the astronomical model to calculate the solar radiation with a high spatial resolution. Moreover, "the method calculates hourly shadow maps and facade shadow maps for the estimation of the direct radiation as well as a sky view factor map and facade sky view factor for the estimation of the diffuse radiation"	No windows, no balconies	Geometrical features Orientation	Trees and building shadows. No reflections	MATLAB
2014	Amado & Poggi	Urban (n.a.)	Technical potential of facades and roofs	3D urban model	An urban area is subjected to a solar analysis by means of Ecotect and data are extrapolated to GIS	Roof typologies, shading elements (utilization factors)	Geometrical features Orientation	Shadow effects of nearby buildings	Autodesk Ecotect
2014	Catita et al.	Urban (n.a.)	Geographical potential of facades	3D model from DSM and airborne LiDAR data	MATLAB® algorithm, called SOL, that takes DSM, astronomical model and radiation model to obtain global radiation on vertical facades, implemented in GIS environment		Geometrical features Orientation	Shadow effects of nearby buildings	MATLAB
2014	Karteris et al.	Urban (n.a.)	Technical potential of facades	Creation of a 2.5D model from DSM and DTM	Evaluation of the most suitable building's typologies for PV. The selected archetypes have been subjected to dynamic energy simulation to calculate the solar potential, the energy output, the energy payback period and the CO_2 savings. Then, through GIS, the effect of shadows is considered with empirical rule	Morphology of the facade, WWR, row balconies, U values of facades	Geometrical features Orientation	shadow effects of nearby buildings	
2015	Dias et al.	Urban (n.a.)	Technical potential of facades and roofs	No 3D models are used	Methodology to assess the domestic solar water heating, thanks to the collection about roofs number, area, inclination, orientation as well as restriction, the suitable area for solar thermal systems has been calculated through correlation factors with the ground area of buildings, by building typology and city district. Same methodology for BIPV	Shading due to roofs elements are considered by means of reduction factors			
2015	Liang et al.	Urban (n.a.)	Geographical potential of facades and roofs	3D model required	Development of a computation engine - SURFSUN3D - that, thanks to the 3D model and the r.sun model, calculate solar irradiation		Geometrical features Orientation	Shadow effects of nearby buildings	GRASS GIS r.sun
2015	Wieland et al.	Urban (13'000 buildings)	Geographical potential of facades and roofs	CityGML 3D city model of Karlsruhe	Solar radiation is calculated on a 3D urban model on each surface thanks to point grids on building surfaces. Then, the solar irradiation income for each point (reflection not yet) is computed considering the shadows at a particular time step		Geometrical features Orientation	Shadow effects of nearby buildings	Python script

Tabella 2 - Catasti solari e mappature urbane più significativi nel panorama europeo di recente sviluppo. Fonte, riferimento: Lobaccaro G. et al., 2019[2].

Area	Nr	City/Country	Analyzed Building Envelope Elements	Solar System	Module Efficiency/Energy Output	Categories	Solar Irradiation Ranges (kWh/m²/year)	Base for Categories
North Europe	1	Norway	Roofs	PV	PV: 16%/Yes	Unsuitable Suitable Very suitable	N/A	Solar irradiation, roof geometry
	2	Stockholm, Sweden	Roofs	PV/ST	PV: 14%/Yes ST: 50%/Yes	Hesitant Promising Excellent	<950 950–1000 >1000	Solar irradiation, roof geometry
	3	Copenhagen, Denmark	Roofs	N/A	N/A	Not good Reasonable Good Very good	N/A	Solar irradiation
Central Europe	4	Berlin, Germany	Roofs	PV	12%/Yes	Reasonable Good Very good	<920 920–1035 1035–1093	N/A
	5	Bristol, United Kingdom	Roofs	PV	N/A/Yes	Reasonable Good Very good	<950 950–1000 >1000	Solar irradiation
	6	Vienna, Austria	Roofs	PV/ST	PV: 14%/Yes ST: 90%/Yes	Good Very good	900 < 1200 >1200	Solar irradiation
	7	Switzerland	Roofs	PV/ST	PV: 17%/Yes (PV both for façades and roofs) ST: varies based on statistical data	Low Medium High Very high Excellent	<800 800–1000 1000–1200 1200–1400 >1400	Solar irradiation, roof geometry
			Façades			Low Medium High Very high Excellent	<600 600–800 800–1000 1000–1200 >1200	
	8	Genève, Switzerland		PV/ST	N/A	Favorable Very favorable	<1200 >1200	Solar irradiation, roof geometry
	9	Lyon, France	Roofs	PV	PV: 15.5%/Yes	Very good Good Excellent	850–850 850–1100 1100–1250 1250–1344	Solar irradiation, roof geometry
	10	Annecy, France	Roofs	PV	PV: 15.5%/Yes	Bad Fair Way Good Very good Excellent	<1093 1093–1166 1166–1238 1238–1311 1311–1384 >1384	Solar irradiation
	11	Bordeaux, France	Roofs	PV	N/A	Fair Good Excellent	1080–1230 1230–1390 1390–1540	Solar irradiation
South Europe	12	Bolzano	Roofs	PV	Cadmium telluride photovoltaics and poly crystalline silicon/Yes	NA	<800 800–1000 1000–1200 >1200	Solar irradiation, roof geometry
	13	Bologna, Italy	Roofs	PV/ST	N/A	Low Average Very good Good Excellent	<500 500–800 800–1100 1100–1400 >1400	Solar irradiation
	14	Lisbon, Portugal	Roofs	N/A	N/A	Class I Class II Class III Class IV	<1000 1000–1400 1400–1600 >1600	Direct solar irradiation, roof geometry
	15	Vitoria-Gasteiz, Portugal	Roofs	N/A	N/A	Class A Class B Class C Class D Class E Class F Class G	0–5% 5–10% 10–20% 20–30% 30–40% 40–50% >50%	Solar potential

PV: Photovoltaic; ST: Solar thermal; N/A: data not available.

1.2. SIMULAZIONE SOLARE E FOTOVOLTAICO

Come esempio de software di simulazione e calcolo della produzione energetica dei sistemi solari, ce un basto numero di opzioni, e se ne citano solo alcuni in quanto solitamente sono prodotti commerciali, con applicazioni semplificate aperte al pubblico, ma di uso preferenziale per professionisti e esperti del settore e non sono oggetto di questo documento. In genere, offrono informazioni dettagliate sulla resa dell'impianto solare con dettagli approfonditi dei layout di inverter e moduli solari considerando in modo indipendenti dai produttori le possibili alternative di progettazione dell'impianto e con report dettagliati e possibilità di ottimizzazione della soluzione finale. Per esempio, Polysun (Figura 1) è una piattaforma software per la pianificazione basata sulla simulazione, la progettazione e l'ottimizzazione di sistemi energetici completi per edifici e distretti. Offre previsioni affidabili sulla resa del sistema fotovoltaico, per essere utilizzato in modo efficiente dal primo studio preliminare fino alla fase di finanziamento e all'ottimizzazione del sistema; permette la valutazione di diversi scenari di progettazione e di redditività, il calcolo dell'autoconsumo con profili di carico, batteria e mobilità elettrica (e-mobility), considerando concetti energetici intelligenti.

Il software PVSites (Figura 2), sviluppato all'interno di un progetto ricerca Europeo [3] e disponibile gratuitamente nella versione attuale (beta), si basa sulla piattaforma BIMsolar sviluppata da CADCAMation e consente agli utenti professionali e accademici di modellare e valutare facilmente i progetti BIPV in termini di progettazione architettonica, produzione di energia e impatto termico. Un'interfaccia intuitiva permette in modo iterativo l'importazione della costruzione di modelli 3D degli edifici e la loro corretta posizione vincolando i dati meteorologici corrispondenti, la visualizzazione dell'irradiamento su tutte le superfici del modello 3D e l'importazione facoltativa di prodotti BIPV esistenti o auto-progettazione assistita di prodotti nuovi per essere utilizzati in modo flessibile sulle superfici in varie configurazioni (su tetti, facciate, tettoie, ecc.) permettendo la selezioni dei componenti del progetto (e.g. inverter) e la modellazione dello stoccaggio di energia (batterie) e di strategie di gestione dell'energia. Il programma offre una simulazione precisa delle prestazioni del fotovoltaico e comprese le perdite per effetto dell'ombra e altri fattori e un'analisi finanziaria per valutare la fattibilità del progetto in diversi scenari, incluso il net-metering e l'autoconsumo di elettricità.

Il software è in ora fase di ulteriore sviluppo all'interno del progetto BIPVBOOST (www.bipvboost.eu) [4]

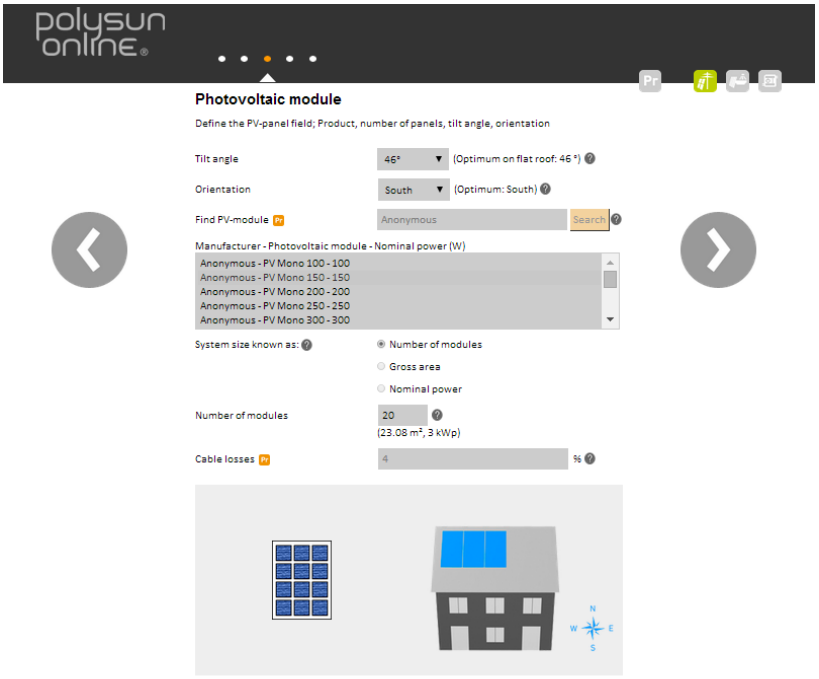


Figura 1 – Versione on-line della piattaforma Polysun.
(Fonte: https://www.velasolaris.com/polysun/polysun-pv/?lang=en)

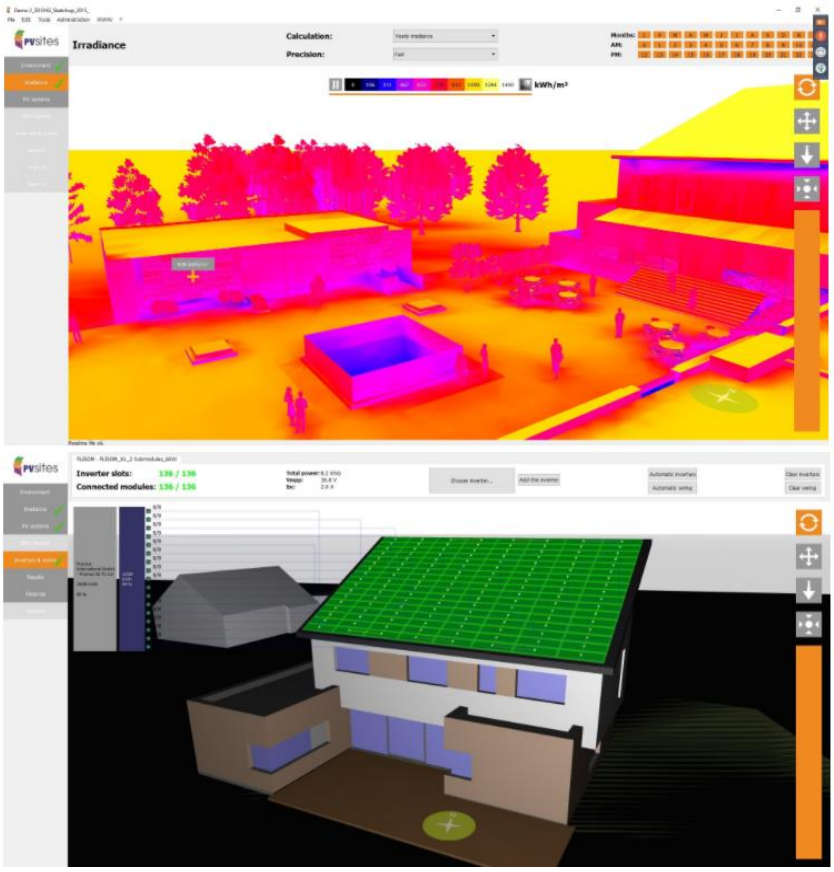


Figura 2 – PVSITES software (Fonte: https://www.pvsites.eu/software/)

2. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE IN SVIZZERA

Il potenziale solare a scala territoriale è usualmente valutato attraverso lo strumento del catasto solare, sia a livello federale che cantonale.

2.1. CATASTO SOLARE SVIZZERO

L'Ufficio federale dell'energia (UFE), in collaborazione con l'Ufficio federale di topografia (swisstopo) e l'Ufficio federale di meteorologia e climatologia (Meteo Svizzera), ha fornito una mappa solare nazionale interattiva che copre il paese per stimare il potenziale teorico delle applicazioni di energia solare (nello specifico, solare fotovoltaico e solare termico). Il progetto federale tettosolare.ch / facciatasolare.ch [5] calcola i potenziali solari in base al modello di edifici svizzeri in 3D che utilizza i dati geografici di "swissBUILDINGS3D 2.0" (Figura 3), un modello di set di dati basato su vettori di edifici per un alto livello di dettaglio.

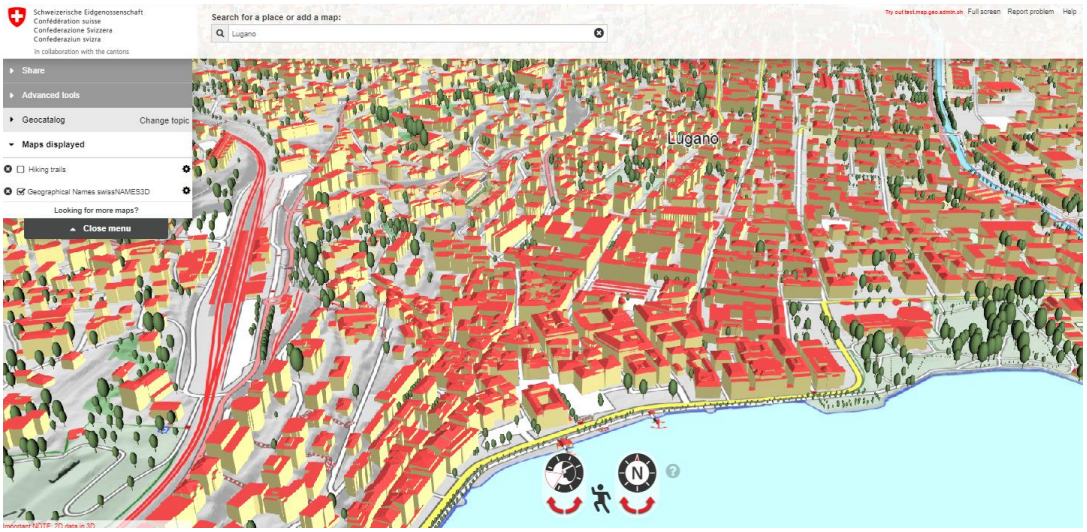


Figura 3 - swissBUILDINGS3D 2.0 descrive gli edifici come modelli 3D, considerando facciate, sporgenze del tetto e forme realistiche del tetto senza trame e abbaini o annessi Fonte: pagina web dell'Ufficio federale di topografia (swisstopo).

Lo scopo di queste piattaforme è di conoscere in via preliminare quanta elettricità o calore è possibile produrre sulla facciata (o copertura) di un edificio grazie all'installazione di sistemi solari. È tuttavia necessario ricordare che l'analisi del potenziale solare proposta da queste piattaforme non si sostituisce a una consulenza specialistica e che (Figura 4) non sono disponibili informazioni sull'obbligo e sull'idoneità al rilascio dell'autorizzazione edilizia. In particolare in queste piattaforme, i calcoli dei rendimenti massimi fotovoltaici o solari termici si basano sullo sfruttamento dell'intera o parziale superficie dell'involucro dell'edificio.

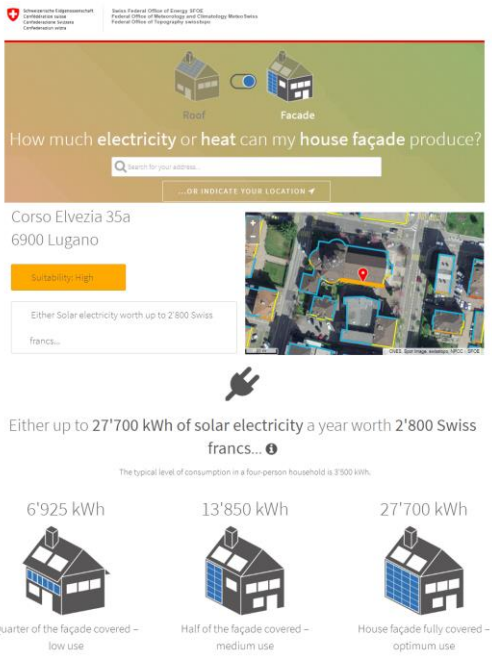


Figura 4: Screenshot dal sito facciatasolare.ch / sonnenfassade.ch. Il tool consente di fare una stima del rendimento energetico. Elementi tipologici come finestre, porte, balconi o gronde non sono presi in considerazione. È possibile considerare una porzione di utilizzo della facciata/tetto in via semplificata.

L'applicazione interattiva www.sonnendach.ch fornisce informazioni sull'idoneità dei tetti delle case all'utilizzo dell'energia solare. In modo semplice viene comunicato quanta elettricità solare o calore solare potrebbe essere prodotta con un tetto di una casa. Per i comuni, l'Ufficio federale dell'energia UFE calcola, in base al potenziale solare dei singoli tetti, quanto sia grande il potenziale dell'energia solare e del calore solare per l'intera area municipale. Vengono calcolati due scenari: nel primo scenario, tutti i tetti vengono utilizzati solo per l'energia solare. Nel secondo scenario, il tetto migliore viene utilizzato per il riscaldamento solare e il resto per l'elettricità solare.

Il catasto solare si basa su tre gruppi di dati di base: dati climatici (radiazione e temperatura), geodati (geometria degli edifici e dati del terreno) e dati statistici (registro degli edifici e delle abitazioni). I dati di output per il potenziale fotovoltaico (PV) sono l'insolazione media nel punto medio delle superfici del tetto / della facciata in kWh / m^2 / anno, l'insolazione totale delle superfici del tetto / della facciata in kWh / anno che, moltiplicata per fattori di prestazione definiti, fornisce la resa elettrica in kWh / anno e sono classificati da “bassi” a “eccellenti”; consente di confrontare diverse località in Svizzera e un collegamento diretto con le prestazioni del sistema fotovoltaico. Per la stima del potenziale solare termico (ST), le superfici dell'edificio non vengono prese in considerazione se la richiesta di calore (acqua calda e riscaldamento) dell'edificio è pari a 0 [kWh / anno], l'area del tetto parziale è inferiore a 10 m^2 o la classificazione annuale l'irradiazione è "bassa" (classe 1) o "media" (classe 2).

Per quanto riguarda il calcolo del potenziale solare, la piattaforma attuale, offre la possibilità di ottenere, per singole sub-sezioni geometriche in cui viene discretizzata la facciata/tetto in base al rilievo geometrico, e attraverso questo fornire il potenziale solare, espresso come irraggiamento ricevuto nel corso di un anno (kWh/anno):

$$\textbf{Potenziale Solare}\ [\text{kWh/a}] = \mathbf{S_L}\ [\text{m}^2] \cdot \mathbf{IRR_{MEDIO}}\ [\text{kWh/m}^2\text{a}] \quad [6]$$

dove:

$\mathbf{S_L}$: valore lordo della superficie di facciata ottenuta da swissBUILDINGS3D 2.0

$\mathbf{IRR_{MEDIO}}$: valore dell'irraggiamento solare medio annuale sulla facciata

Sebbene tale metodo rappresenti uno dei più efficaci ed avanzati a livello nazionale rispetto ai metodi e modelli esistenti, esso si basa sull'approssimazione della superficie idonea di facciata con la superficie geometrica lorda, senza tenere in considerazione altri fattori (ad es. elementi architettonici, fattori tipologici, ecc.) che possono influenzare il valore reale del potenziale solare di facciata. Come premesso, tuttavia, la valutazione di tutti gli elementi influenti sulla valutazione del reale potenziale solare di facciata è possibile solamente con una valutazione di un progettista sul singolo caso e non è oggetto del presente lavoro.

Elementi come finestre, porte, balconi o gronde che potenzialmente interferiscono alla posa di pannelli o moduli solari, non sono presi in considerazione e perciò i rendimenti effettivi potrebbero differire dai valori calcolati automaticamente. La superficie realmente utilizzabile può quindi risultare notevolmente inferiore.

Riportando nel dettaglio la parte relativa al catasto solare (Figura 5), si vogliono sottolineare gli aspetti importanti:

- Il catasto solare offre uno strumento di analisi e di indagine utile e accessibile a tutti gli utenti, e non solo a tecnici, che vogliano avere delle informazioni in merito alla capacità di sfruttamento delle superfici irradiate, dotandoli di sistemi solari;
- I dati forniti, si basano su un livello di rendimento energetico di moduli standard, ossia del 17%, e con una performance Ratio dell'80%;
- Le superfici considerate non includono elementi di costruzione quali abbaini, lucernari, camini e balconi. La superficie del tetto realmente utilizzabile può quindi risultare notevolmente inferiore;
- Calcola i dati di irraggiamento relativi alla superficie analizzata;
- Calcola i dati relativi al potenziale del comune di localizzazione e il quantitativo monetario di elettricità prodotta.

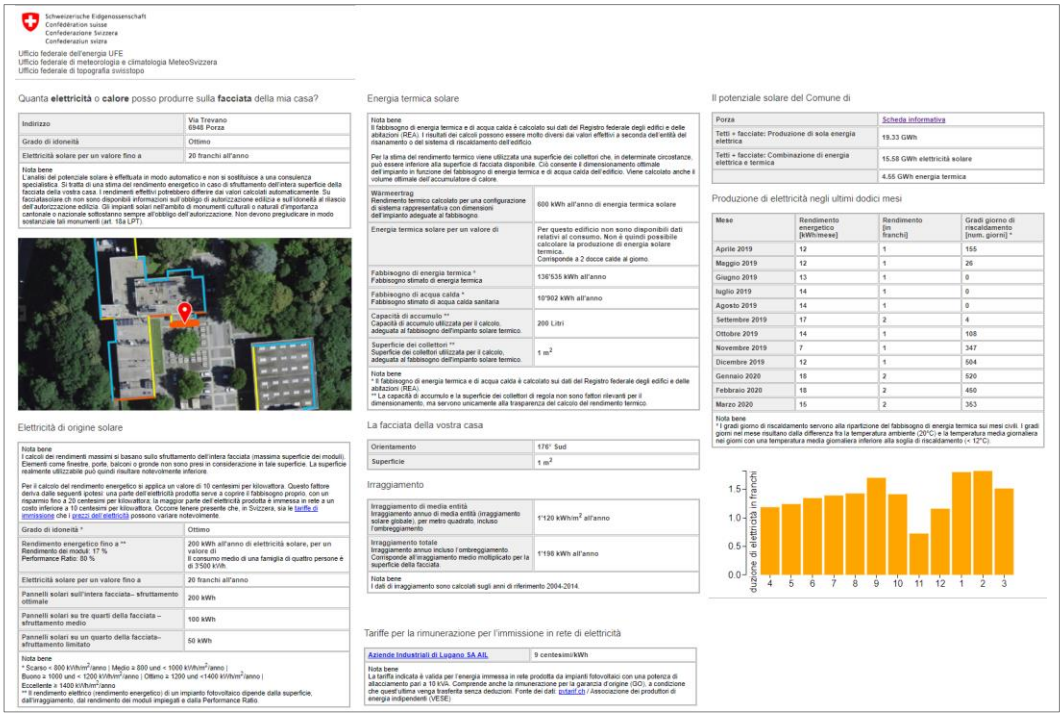


Figura 5: Esempio di rapporto tecnico dettagliato sul potenziale solare di una facciata ottenuto dal catasto solare svizzero (sonnenfassade.ch), con dati relativi alla superficie di riferimento e i valori dell'irraggiamento dell'area e indicano il grado di idoneità della superficie scelta, ipotizzando l'utilizzo di pannelli standard.

In particolare in queste piattaforme, i calcoli dei rendimenti massimi fotovoltaici o solari termici si basano sullo sfruttamento dell'intera superficie di facciata (massima superficie dei moduli). Elementi come finestre, porte, balconi o gronde che potenzialmente interferiscono alla posa di pannelli o moduli solari, non sono presi in considerazione e perciò i rendimenti effettivi potrebbero differire dai valori calcolati automaticamente. La superficie realmente utilizzabile può quindi risultare notevolmente inferiore.

A fronte del grande vantaggio offerto da questi *tool*s che consentono a chiunque di accedere e valutare in maniera veloce il potenziale energetico ed economico legato alla produzione da fonte rinnovabile del proprio immobile.

2.1.1. Potenziali solari: edifici storici e aree protette ISOS

La metodologia utilizzata dallo strumento svizzero di mappatura solare per stimare i potenziali solari tiene conto dei tipi di oggetti (edifici storici, torri, ecc.) e delle aree protette (ISOS), come mostrato nella Figura 6. Per testare la metodologia di calcolo dei geodati disponibili è stato utilizzato l'inventario federale degli insediamenti svizzeri da proteggere d'importanza nazionale ISOS (opendata.swiss).

L'inventario federale ISOS, degli insediamenti svizzeri da proteggere di importanza nazionale [7] fissa obiettivi di conservazione in varie fasi. Nei centri cittadini protetti

da ISOS un uso solare delle facciate non è attualmente realistico. Pertanto, nel metodo di calcolo, per nell'aggregazione dei dati per stimare il potenziale solare a livello nazionale, regionale o locale, le superfici delle facciate la cui distanza da un insediamento svizzero di importanza nazionale è inferiore a un valore minimo (criterio ISOS) non vengono prese in considerazione. I dati ISOS sono oggi georeferenziati solo come punti, il che implica che tutte le facciate nelle seguenti orbite dei punti ISOS sono escluse dall'aggregazione ma ogni categoria ISOS ha perimetri diversi:

1) frazione e villaggio: 100 m;
2) Città / villaggio e villaggio urbanizzato: 150 m;
3) Città: 200 m;
4) caso speciale (principalmente oggetti singoli): nessun criterio di esclusione.

Se i dati ISOS saranno disponibili come superfici in futuro, sarebbe logico utilizzare queste superfici ISOS come aree di esclusione. Inoltre, lo strumento solare svizzero non considera le caratteristiche di un particolare comune, come ad esempio un numero di edifici protetti al di sopra della media.

Nella Figura 4, si può vedere l'analisi del complesso Castel Grande è il primo centro insediamento di Bellinzona a partire dal 5500 a. C. circa; Patrimonio mondiale dell'UNESCO. Vicino all'edificio principale si trova anche una costruzione attuale risalente a ca. al sec. XIII, su preesistenti edifici del medioevo; restauri 1981–1991 (architetto A. Galfetti). Oggetto ISOS A, Importanza nazionale svizzera [8].

Figura 6 – Dati ottenuti dal catasto solare svizzero tettosolare.ch / facciatasolare.ch che mostrano il potenziale solare di Castel Grande, Bellinzona (TI).

2.2. POTENZIALE SOLARE A LIVELLO REGIONALE - CANTON TICINO

Verso la fine del 2011, la Sezione per la protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo (SPAAS) ha affidato un mandato a una società esterna, per sviluppare un dettaglio cartografico del potenziale (Catasto solare) per lo sfruttamento dell'energia solare in tutto il cantone Ticino. L'Osservatorio Ambientale Italiano Svizzero (OASI) ha sviluppato una mappatura solare per la regione attualmente non più utilizzata, perché nel 2018 è stata proposta una nuova mappatura solare a livello nazionale con una metodologia aggiornata (tettosolare.ch / facciatasolare.ch).

La mappa del potenziale solare in Ticino è disponibile sul portale dei dati ambientali Osservatorio ambientale in Svizzera OASI (http://www.oasi.ti.ch/web/) e si riferisce al catasto solare di tutta la Svizzera presentato precedentemente.

Nella prima fase è stato utilizzato un modello climatologico basato su una griglia di radiazione 20m x 20m che copre l'intero territorio del Cantone. Il modello tiene conto sia dell'orizzonte (topografia) sia dei relativi diagrammi solari (posizione del sole in un determinato punto per tutte le ore del giorno e tutti i giorni dell'anno). Il valore medio dell'incertezza dell'irraggiamento medio, calcolato su diversi anni, è considerato al 10% su terreni aperti e pianeggianti (va notato che a causa della variabilità meteorologica, l'irradiazione annuale può variare fino al 10-20% da un anno all'altro).

Il secondo passo consisteva nel riconoscimento della geometria degli edifici in 3D, con orientamento e inclinazione delle diverse parti del tetto (inclinato). In questo modello 3D, il modello climatologico e astronomico è stato applicato in modo da calcolare la media delle ore annuali di sole sulle diverse superfici tenendo conto dell'orizzonte e in questo caso anche delle ombre di edifici o alberi più alti. La ricostruzione 3D di oggetti (case, edifici, alberi) e il riconoscimento automatico dei tetti degli edifici sono stati sviluppati a partire dai perimetri degli edifici e dai modelli digitali del paesaggio e del terreno (Figura 7). Nelle aree in cui non esiste una misurazione ufficiale, gli edifici vengono rilevati attraverso foto aeree. Non tutti gli edifici sono stati rilevati correttamente. Inoltre, la bassa risoluzione del database offre strani bordi o superfici frastagliate.

Per i tetti è stata anche stimata una serie di indicazioni supplementari, ad esempio: la produzione di energia fotovoltaica, i costi di investimento e la redditività dell'impianto (considerando anche la tariffa di immissione).

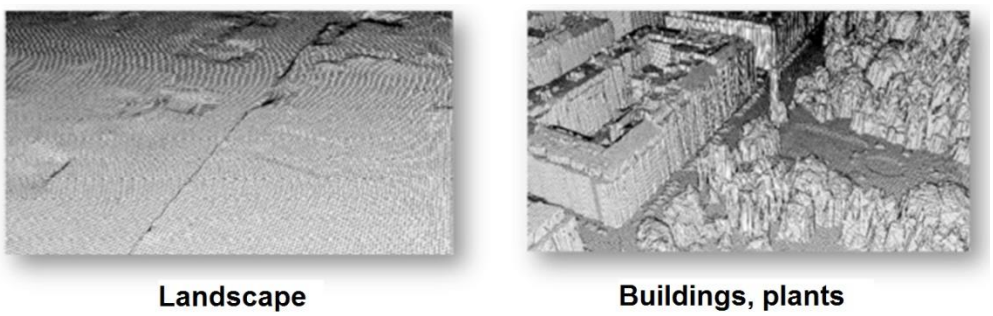


Figura 7 - Modello digitale 3D di paesaggi, edifici e dintorni.

Questi dati consentono di realizzare studi specifici sul potenziale sfruttamento del fotovoltaico su dighe, pendii di alta montagna e grandi superfici. È anche possibile "ingrandire" la scala degli edifici e lo strumento spiega quali parti del tetto/facciate sono appropriate, dal punto di vista dell'insolazione, per installare sistemi solari (solari termici o fotovoltaici). In questo caso il software tiene conto anche dei fattori che riducono la disponibilità del potenziale solare, come l'inclinazione e le ombre dovute a edifici o alberi. Selezionando un singolo articolo compaiono alcune informazioni essenziali, in particolare per il fotovoltaico sono indicate la possibile produzione di elettricità, i costi di investimento e le entrate annuali (Figura 8).

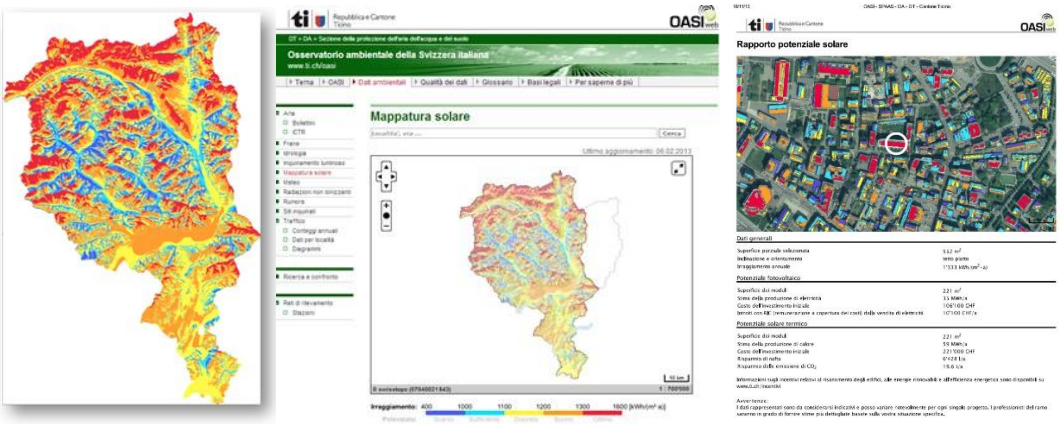


Figura 8 - Immagine della pagina Web OASI della mappa solare e di un esempio specifico per il singolo edificio. La maggior parte delle aree del Ticino gode di una radiazione discreta (gialla), buona (arancione) o eccellente (rossa). Piccole aree con sufficiente o scarsa irradiazione sono stampate rispettivamente in azzurro, blu.

Questi valori sono indicativi. Tuttavia, rappresentano un buon punto di partenza per i proprietari di immobili per avere rapidamente un'idea del potenziale solare e decidere se ulteriori analisi per l'installazione di sistemi solari nei loro edifici sarebbero interessanti. Successivamente, un passo necessario è quello di consultare i professionisti che terranno conto anche di altri fattori come la struttura del tetto e la conservazione dell'edificio. Oltre alla consultazione individuale, la mappa solare può offrire consulenza ai comuni in grado di estrarre dati specifici del loro territorio, al fine di valutare la disponibilità potenziale solare.

La mappatura solare del Cantone Ticino risulta uno strumento determinante per il raggiungimento degli obiettivi del Piano energetico cantonale (PEC) [9]. A livello di territorio la carta mostra il potenziale di irraggiamento solare annuo per metro quadrato. Sull'edificio invece lo strumento si concentra finora sull'identificazione delle parti di tetto/facciata idonee alla posa di un impianto solare.

Le strategie energetiche sono attuate a livello regionale nel settore dell'edilizia attraverso il PEC. Le esigenze di approvvigionamento energetico, libero mercato e sviluppo economico e sociale sono integrate, coordinate e ponderate nella PEC. Dal punto di vista energetico, gli impianti devono soddisfare i requisiti definiti dal regolamento sull'uso dell'energia (RUEn) [10], entrato in vigore il 16 settembre 2008.

Il RUEn regola l'applicazione del capitolo IV "Misure sugli edifici e installazioni "del Consiglio cantonale dell'energia del 8 febbraio 1994, conformemente al nuovo modello di prescrizione energetica dei Cantoni (MuKEn / MoPEC, 2014) [11], adottato dalla Conferenza dei direttori cantonali dell'energia (EnDK) l'8 aprile 2008.

A livello cantonale, il potenziale atteso per i prossimi anni (Figura 9), come previsto dal Piano cantonale per l'energia (PEC), è di raggiungere una produzione di energia elettrica di 280 GWh all'anno attraverso il fotovoltaico, che rappresenta il 7% della produzione di elettricità prevista (Cereghetti e Pampuri, 2013) [12]. Anche se l'obiettivo di raggiungere 99 MW entro il 2035 è già raggiunto al 45% (Impianti fotovoltaici in Ticino, 2017) [13]. Per quanto riguarda la produzione di energia solare termica, gli obiettivi PEC sono raggiungere 140 GWh all'anno [14].

Sector objectives of the PEC for the production of thermal and electric energy from renewable sources

Production of thermal energy		2008 [GWh_{th}]	Potential [GWh_{th}]	PEC Objectives [GWh_{th}]
Sun	Solar thermal	4	1'368	140

Electricity production	2008 [GWh_{el}]	Potential [GWh_{el}]	PEC Objectives [GWh_{el}]
Photovoltaics	1	816	280

Figura 9 - Obiettivi del PEC per il solare termico e l'elettricità da fonti solari rinnovabili [GWh / anno] [14].

2.2.1. Applicazione del potenziale solare a livello locale (COMUNE/MUNICIPIO)

Sulla base dei potenziali solari dei singoli tetti e facciate a livello nazionale, l'UFE calcola il potenziale totale di energia solare e calore solare per i comuni.

La metodologia per stimare il potenziale solare per comunità considera tre diverse possibilità o assunzioni:

1) Potenziale calore solare: calcolo del rendimento atteso di calore solare, se la migliore superficie del tetto o la migliore superficie della facciata di una casa viene utilizzata solo per il calore solare.
2) Potenziale di energia solare 1: calcolo del rendimento atteso di energia solare se, oltre al calore solare, le superfici del tetto e le facciate rimanenti vengono utilizzate per i sistemi fotovoltaici.
3) Potenziale energia solare 2: calcolo della produzione prevista di energia solare, se tutte le superfici del tetto e delle facciate sono utilizzate solo per sistemi fotovoltaici.

Su scala comunale la stima del potenziale si basa sull'area utilizzabile, secondo le seguenti valutazioni:

- Stima delle superfici utilizzabili (le superfici del tetto inferiori a 10 m^2 e le superfici della facciata inferiori a 20 m^2 non sono incluse nel calcolo);

- potenziale di produzione stimato per m^2 di superfici adatte;
- Riduzione basata su limitazioni fisiche e legali e considerando restrizioni costruttive e / o tecniche (ovvero le superfici del tetto utilizzabili sono sfruttate nella misura del 70% e le superfici della facciata utilizzabili sono sfruttate nella misura del 45-60% a seconda del tipo di edificio).

L'applicazione tettosolare.ch facciatasolare.ch può essere integrata nei siti web dei Comuni al fine di offrire facilmente questo servizio ai suoi cittadini e di attirare l'attenzione sul potenziale energetico che è rimasto finora inutilizzato (Figura 10).

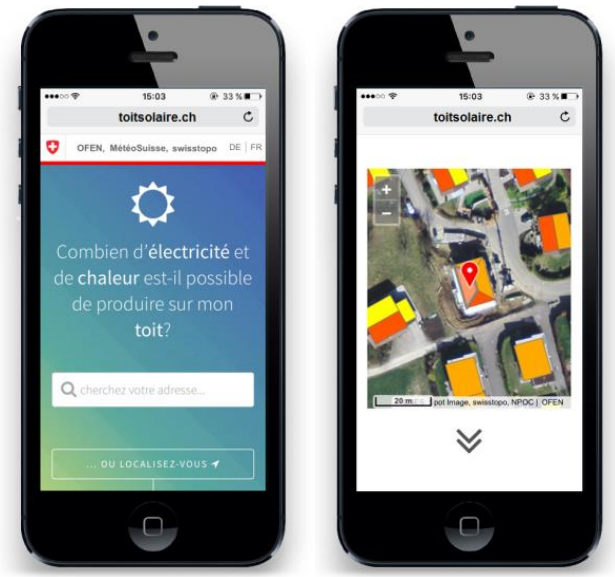
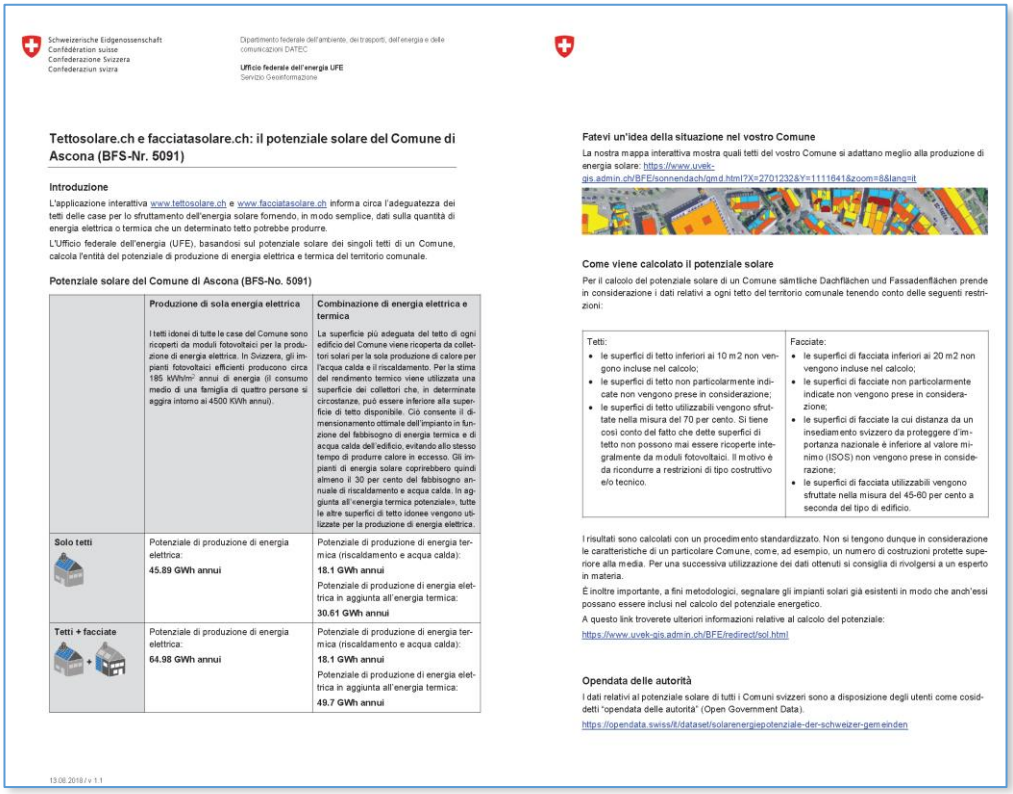


Figura 10 - Applicazione interattiva di www.tettosolare.ch

I risultati per ogni comune della Svizzera sono disponibili sul sito web di SvizzeraEnergia, EnergieSchweiz (Figura 11) mostra l'esempio dei risultati per il comune di Ascona) [15].

Per stimare un potenziale di installazione solare termico che abbia senso, è anche necessario considerare la necessità di calore e il tipo di vettore energetico per il riscaldamento di ciascun edificio.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Ufficio federale dell'energia UFE
Servizio Geoinformazione

Tettosolare.ch e facciatasolare.ch: il potenziale solare del Comune di Ascona (BFS-Nr. 5091)

Introduzione

L'applicazione interattiva www.tettosolare.ch e www.facciatasolare.ch informa circa l'adeguatezza dei tetti delle case per lo sfruttamento dell'energia solare fornendo, in modo semplice, dati sulla quantità di energia elettrica o termica che un determinato tetto potrebbe produrre.

L'Ufficio federale dell'energia (UFE), basandosi sul potenziale solare dei singoli tetti di un Comune, calcola l'entità del potenziale di produzione di energia elettrica e termica del territorio comunale.

Potenziale solare del Comune di Ascona (BFS-No. 5091)

	Produzione di sola energia elettrica	Combinazione di energia elettrica e termica
	I tetti idonei di tutte le case del Comune sono ricoperti da moduli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica. In Svizzera, gli impianti fotovoltaici efficienti producono circa 185 kWh/m² annui di energia (il consumo medio di una famiglia di quattro persone si aggira intorno ai 4500 KWh annui).	La superficie più adeguata del tetto di ogni edificio del Comune viene ricoperta da collettori solari per la sola produzione di calore per l'acqua calda e il riscaldamento. Per la stima del rendimento termico viene utilizzata una superficie dei collettori che, in determinate circostanze, può essere inferiore alla superficie di tetto disponibile. Ciò consente il dimensionamento ottimale dell'impianto in funzione del fabbisogno di energia termica e di acqua calda dell'edificio, evitando allo stesso tempo di produrre calore in eccesso. Gli impianti di energia solare coprirebbero quindi almeno il 30 per cento del fabbisogno annuale di riscaldamento e acqua calda. In aggiunta all'«energia termica potenziale», tutte le altre superfici di tetto idonee vengono utilizzate per la produzione di energia elettrica.
Solo tetti	Potenziale di produzione di energia elettrica: **45.89 GWh annui**	Potenziale di produzione di energia termica (riscaldamento e acqua calda): **18.1 GWh annui** Potenziale di produzione di energia elettrica in aggiunta all'energia termica: **30.61 GWh annui**
Tetti + facciate	Potenziale di produzione di energia elettrica: **64.98 GWh annui**	Potenziale di produzione di energia termica (riscaldamento e acqua calda): **18.1 GWh annui** Potenziale di produzione di energia elettrica in aggiunta all'energia termica: **49.7 GWh annui**

13.08.2018 / v 1.1

Fatevi un'idea della situazione nel vostro Comune

La nostra mappa interattiva mostra quali tetti del vostro Comune si adattano meglio alla produzione di energia solare: https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/qmd.html?X=2701232&Y=1111641&zoom=8&lang=it

Come viene calcolato il potenziale solare

Per il calcolo del potenziale solare di un Comune sämtliche Dachflächen und Fassadenflächen prende in considerazione i dati relativi a ogni tetto del territorio comunale tenendo conto delle seguenti restrizioni:

Tetti:
- le superfici di tetto inferiori ai 10 m2 non vengono incluse nel calcolo;
- le superfici di tetto non particolarmente indicate non vengono prese in considerazione;
- le superfici di tetto utilizzabili vengono sfruttate nella misura del 70 per cento. Si tiene così conto del fatto che dette superfici di tetto non possono mai essere ricoperte integralmente da moduli fotovoltaici. Il motivo è da ricondurre a restrizioni di tipo costruttivo e/o tecnico.

Facciate:
- le superfici di facciata inferiori ai 20 m2 non vengono incluse nel calcolo;
- le superfici di facciate non particolarmente indicate non vengono prese in considerazione;
- le superfici di facciate la cui distanza da un insediamento svizzero da proteggere d'importanza nazionale è inferiore al valore minimo (ISOS) non vengono prese in considerazione;
- le superfici di facciata utilizzabili vengono sfruttate nella misura del 45-60 per cento a seconda del tipo di edificio.

I risultati sono calcolati con un procedimento standardizzato. Non si tengono dunque in considerazione le caratteristiche di un particolare Comune, come, ad esempio, un numero di costruzioni protette superiore alla media. Per una successiva utilizzazione dei dati ottenuti si consiglia di rivolgersi a un esperto in materia.

È inoltre importante, a fini metodologici, segnalare gli impianti solari già esistenti in modo che anch'essi possano essere inclusi nel calcolo del potenziale energetico.

A questo link troverete ulteriori informazioni relative al calcolo del potenziale:
https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/redirect/sol.html

Opendata delle autorità

I dati relativi al potenziale solare di tutti i Comuni svizzeri sono a disposizione degli utenti come cosiddetti "opendata delle autorità" (Open Government Data).
https://opendata.swiss/it/dataset/solarenergiepotenziale-der-schweizer-gemeinden

Figura 11 - Esempio di potenziale solare per il comune di Ascona. Fonte: BFE N.5091. [15], Fonte: https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/solarpotenzial-von-schweizer-gemeinden

2.2.2. Ticino - Stima del potenziale solare dei TETTI

La stima del potenziale solare del patrimonio immobiliare in Ticino, per quanto riguarda il potenziale sfruttamento dei tetti è stata recentemente valutata da SUPSI-ISAAC su commissione della Repubblica e Cantone Ticino, Ufficio Energia / Aria, Sezione Protezione del suolo e dell'acqua (Soma, D'Ottavio & Cereghetti, 2017) [16]. Come prima fase la metodologia di calcolo per il Ticino ha considerato di analizzare i potenziali calcolati sulla base di tettosolare.ch e di confrontarli con i dati sugli impianti fotovoltaici già installati.

Al fine di confrontare i valori di produzione effettivi e potenziali, è stato stimato il rendimento energetico degli impianti fotovoltaici esistenti, di cui è nota la potenza, moltiplicando le potenze (kW) per 1'100 kWh / kW, al fine di stimare la produzione di energia per singolo impianto fotovoltaico. Dal database tettosolare.ch, due sottogruppi del tetto sono estrapolati per evitare di mantenere tutte le superfici non particolarmente favorevoli per l'installazione di energia solare e basate su fattori di isolamento (Figura 12) e in base al tipo di tetto-piano o sono stati considerati fattori correttivi inclinati (Figura 13). Infine, tutte le geometrie collegate allo stesso codice EGID (identificatore federale dell'edificio, EGID) sono state unite per confrontare le

installazioni presenti su un determinato edificio (associato a un EGID), con tutte le superfici presenti in tettosolare.ch, riferibili a tale EGID (Figura 14).

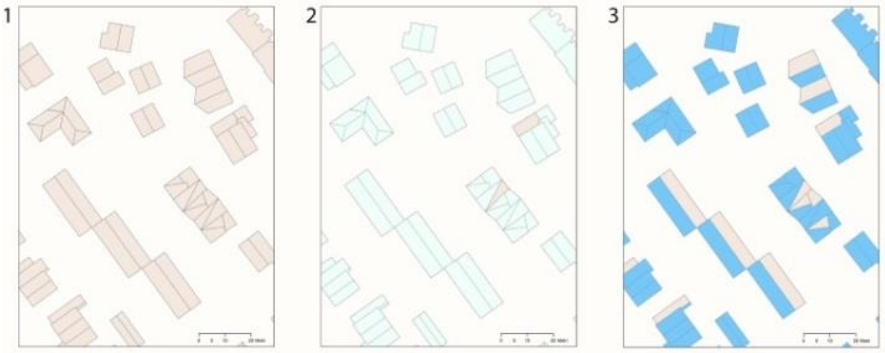


Figura 12 - Selezione dei dati basata sull'insolazione: (1) edifici analizzati dal database del tetto solare (poligoni grigi); (2) edifici con insolazione maggiore di 800 kWh / m2 anno (azzurro) e (3) edifici con insolazione maggiore di 1'000 kWh / m2 / anno (blu).

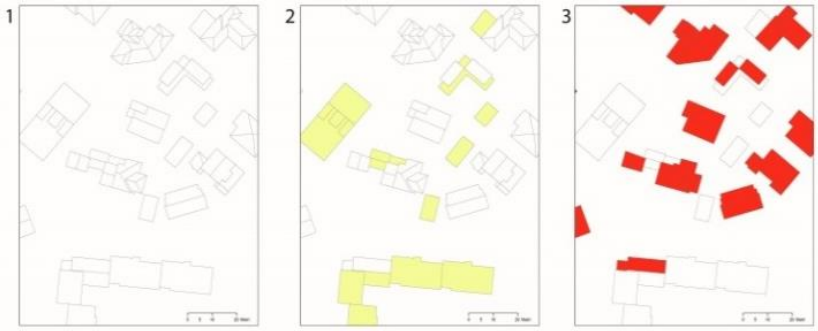


Figura 13 - Classificazione dei dati basata sull'inclinazione del tetto: tutti i tetti del tetto solare (1), i tetti inclinati con un angolo compreso tra 0 ° e 5 ° (2) e un angolo maggiore di 5 ° (3).

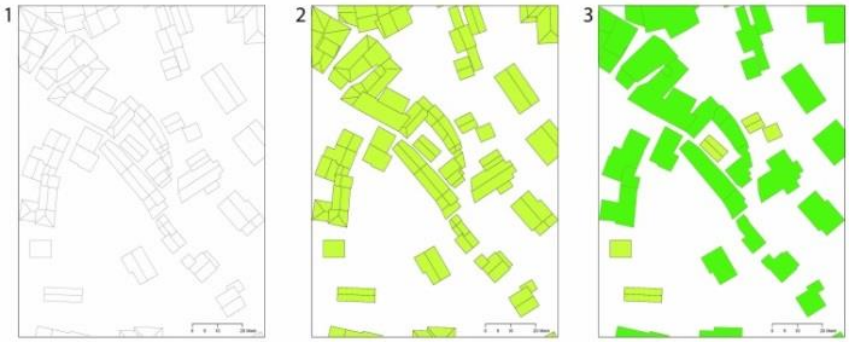


Figura 14 - Fusione di poligoni con il codice EGID (Federal Building Identifier): tetti visibili in tettosolare.ch (1), tetti selezionati con insolazione maggiore di 800 kWh / m^2 / anno (2, verde chiaro) e tetti fusi da correzioni del passo con uguale EGID (3, verde scuro). Quando gli EGID erano uguali a 0, i tetti non venivano fusi e i dati venivano considerati separatamente.

Risultato – Stima del potenziale solare fotovoltaico dei tetti in Ticino

Il potenziale totale indicato da tettosolare.ch per il Ticino è di 4'844 GWh, come valore massimo, stimato senza tener conto di alcun fattore correttivo.

Nello studio condotto da SUPSI-ISAAC nel 2017 [16], il potenziale ancora sfruttabile fornito, come somma di tutti i potenziali a livello comunale considerando tutti i fattori correttivi, corrisponde a 2'612 GWh (copertura attraverso il fotovoltaico senza considerare sugli impianti già installati). Questo, ridotto della porzione relativa ai 76 GWh di produzione provenienti da impianti già installati (Figura 15), porterebbe questo valore a 2'536 GWh (Figura 16). Considerando, inoltre, i risultati dell'analisi presentata dall'ISAAC, tenendo sempre conto dei fattori correttivi ed escludendo le porzioni meno interessanti del tetto e le porzioni del tetto già sfruttate, si può stimare un potenziale massimo di 2'472 (maggiori porzioni di tetto di 800 kWh / m^2 / anno) e 2'172 GWh (porzioni di tetto superiori a 1'000 kWh / m^2 / anno).

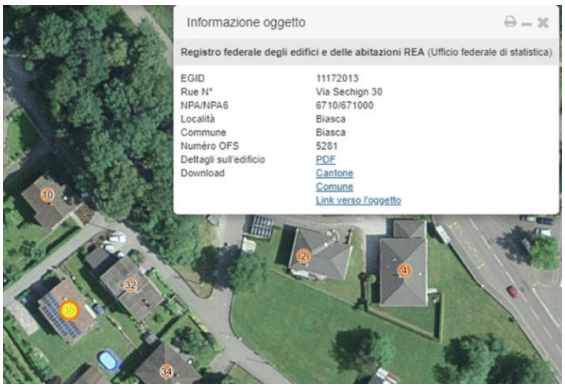


Figura 15 - Esempio di sistemi fotovoltaici visibili da ortofoto con informazioni di riferimento. Fonte: Confederazione Svizzera, «map.geo.admin,» 2018. [Online]. Disponibile: https://map.geo.admin.ch/

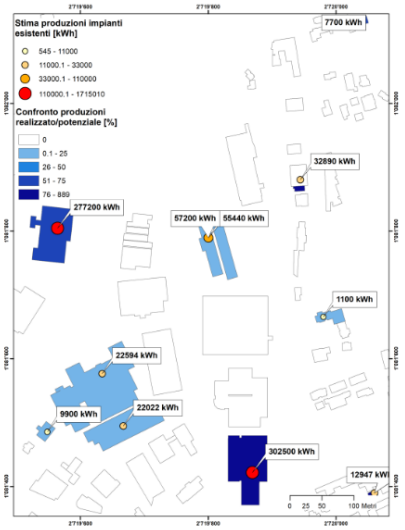


Figura 16 - Esempio dal confronto tra i sistemi fotovoltaici installati (produzione stimata) e i potenziali solari di tettosolare.ch. Il colore dei poligoni rappresenta le differenze percentuali tra la produzione stimata degli impianti fotovoltaici esistenti e il potenziale teorico dai dati tettosolare.ch. Fonte: Linda S. et al., 2017 [16]

2.2.3. Ticino - Stima del potenziale solare delle FACCIATE

Il progetto di ricerca bFAST, Facciate Attive Solari Ticino [17, 18], cofinanziato dal Fondo cantonale per le energie rinnovabili (FER), ha sviluppato un nuovo approccio per valutare il potenziale solare per l'integrazione fotovoltaica nelle facciate degli edifici esistenti, e del patrimonio immobiliare in Ticino, in modo più dettagliato e realistico rispetto a la valutazione effettuata dal catasto solare svizzero, perché integra nella metodologia di analisi, sia l'energia che le caratteristiche dell'edificio, considerando la sua tipologia e vincoli costruttivi (es. balconi, finestre, volumi, ecc.) che potrebbero ridurre il potenziale solare.

La carta solare svizzera (facciatasolare.ch), quale strumento decisionale a supporto della stima preliminare del potenziale solare, non ha lo scopo di quantificare il potenziale solare "reale", ma piuttosto di fornire uno scenario indicativo basato sull'irradiazione disponibile delle superfici dell'edificio. Una stima più accurata e realistica è possibile considerando gli aspetti tipologici e morfologici basati sulla costruzione di archetipi.

Il progetto bFAST, si è basato sulla definizione e all'analisi dei modelli tipologici di facciata di edifici plurifamiliari ricorrenti in Ticino e dei relativi parametri condizionanti l'integrabilità dei sistemi solari, al fine di esprimere dei fattori ponderali per una stima più realistica del potenziale solare che possano essere applicabili sin dalle fasi iniziali di valutazione per includere i principali aspetti archetipici dell'edificio che condizionano l'integrazione dei sistemi solari fotovoltaici.

La metodologia (Figura 17) sviluppata, considera un'analisi accurato del patrimonio edilizio ticinese (ad esempio le categorie più rilevanti in base agli usi dell'edificio, anno di costruzione, fabbisogno energetico e di ristrutturazione, ecc.), per definire gli archetipi di facciata più frequenti. Di conseguenza, sono stati adottati "indicatori" quantitativi e qualitativi tipologici (Figura 18), considerati aspetti positivi o negativi che incidono sull'integrazione del fotovoltaico, per calcolare il valore finale più vicino al potenziale solare reale attraverso l'equazione del potenziale solare, convalidato attraverso casi di studio reali.

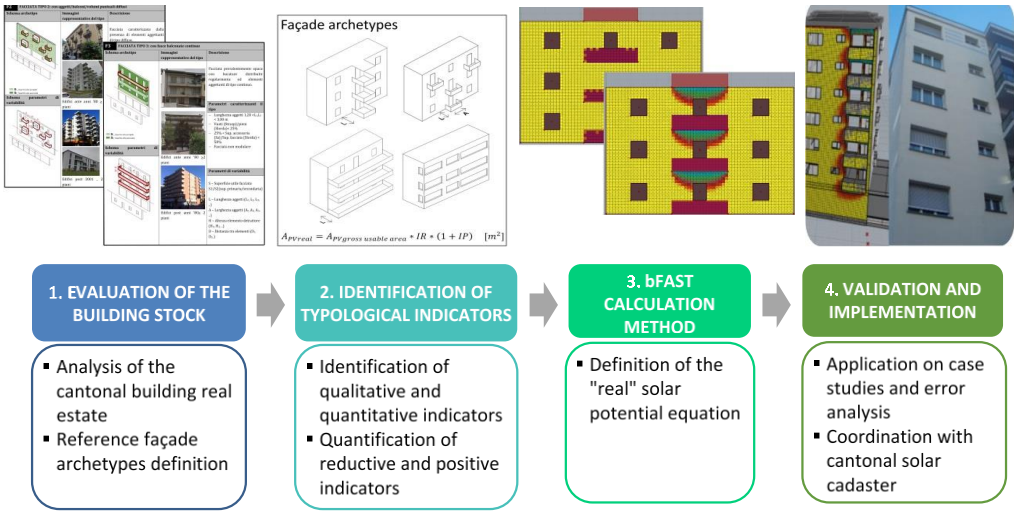


Figura 17. Processo metodologico del progetto di ricerca bFAST [17].

Il metodo adottato, quindi, come conseguenza di un'analisi sistematica del patrimonio immobiliare del Canton Ticino, si basa sulla definizione di un abaco tipologico delle facciate che caratterizzano il tipo di edificio analizzato. Sono stati identificati e quindi analizzati dieci diversi tipi di facciate (Figura 18)., con particolare riferimento alla categoria residenziale plurifamiliare, identificati come aree di intervento strategico.

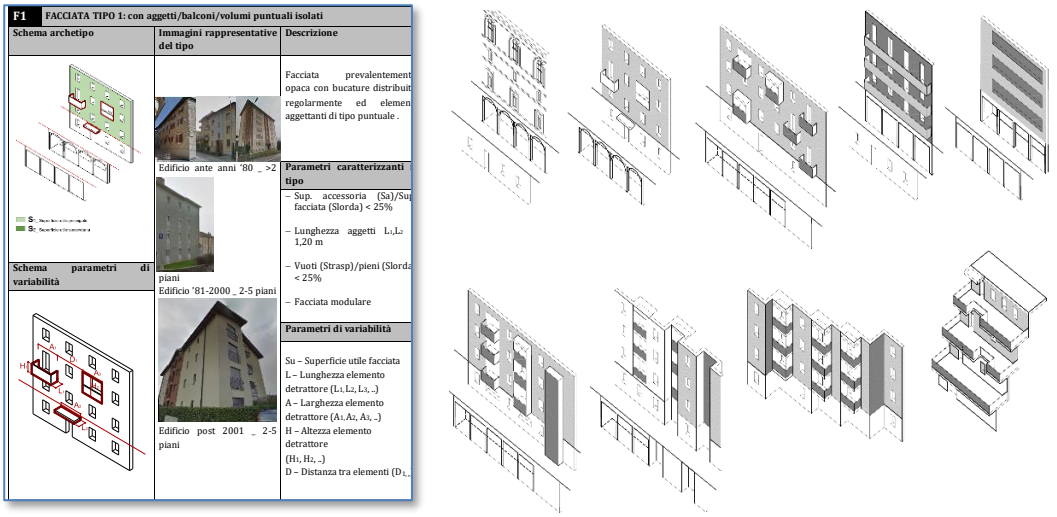


Figura 18. Archetipi di facciata riscontrati nel territorio ticinese. (Fonte: bFAST, [18]).

Nel presente studio per le facciate, ci sono riscontrati alcuni limiti fisiologici (dovuti al metodo di calcolo) di tale strumento sono [18]:

- *Valutazione parziale* limitata ai sistemi solari attivi (fotovoltaico/solare termico) e focalizzata prevalentemente al ROI (ritorno dell'investimento) del singolo sotto-sistema senza tener conto del concetto energetico e progettuale complessivo dell'edificio, che risulta penalizzante soprattutto nel caso delle facciate solari, se slegate da un concetto energetico/progettuale e da una valutazione tecnico-economica d'insieme dell'intero organismo edilizio (per esempio strategie sinergiche di risparmio e produzione energetica, combinazione copertura/facciata, combinazione di orientamenti diversi per autoconsumo e lo sfruttamento dei picchi di consumo, vantaggi tecnico-economici dati dalla combinazione di interventi di risanamento e implementazione FER nel caso di edifici esistenti, ecc.);
- *Generalizzazione, nel "calcolatore solare", nei costi che considera l'intero sistema di involucro*, nella valutazione economica della facciata FV, pari al costo di installazione (nell'ordine di 600-900 CHF /m^2) che dunque include tutte le opere edilizie normalmente computate come costo/valore dell'intero sistema edilizio di facciata (es. in una facciata ventilata, costo delle sottostrutture, installazione, etc.). Nel caso di nuova costruzione o risanamento di conseguenza, il costo considera quello dell'intero sistema tecnologico di involucro per cui la parte FV costituirebbe essenzialmente un extra-costo rispetto ad un sistema

convenzionale equivalente, ad es. rivestita con un altro materiale, nell'ordine medio di 150-300 CHF/m^2;

- Assenza di *indicatori edilizio-tipologici* dell'edificio che esprimano la reale attitudine all'integrazione sull' edificio considerato. L'integrabilità reale varia, infatti, in modo sostanziale tra archetipi edilizi diversi (residenziale o industriale, ecc.) piuttosto che in base alla tipologia costruttiva di facciata o all'età di costruzione, e dunque dovrebbe essere considerata attraverso i giusti indicatori.

Risultato – Stima del potenziale solare fotovoltaico delle facciate in Ticino

Il potenziale solare delle facciate è molto promettente in Ticino per i prossimi anni, valutando le caratteristiche e la natura del patrimonio edilizio esistente e la sua elevata attrattiva per la riabilitazione e la riqualificazione. Un approccio multidisciplinare come quello del progetto bFAST è essenziale per comprendere le caratteristiche e i fattori di costruzione che sono essenziali per stimare il potenziale per una reale integrazione dei sistemi solari nell'ambiente costruito.

Lo studio ha rivelato che la percentuale di edifici residenziali in Ticino è significativamente più alta rispetto ad altri tipi di edifici (industria e commercio / servizi) e negli edifici plurifamiliari una percentuale elevata è rappresentata da edifici con altezze superiori a quattro e cinque piani. Sono predominanti gli edifici costruiti prima del 1980, che nel caso delle abitazioni è superiore al 65% in tutti i distretti. Gli edifici che finora hanno richiesto un contributo finanziario per la riabilitazione nell'ambito del programma edilizio rappresentano solo il 2,9% del patrimonio edilizio del Cantone, per il quale emerge un mercato potenzialmente importante per i prossimi anni. Secondo le ipotesi sopra menzionate e casi di studio e simulazioni, la valutazione complessiva del rapporto, effettuata in modo approssimativo, stima che considerando solo lo sfruttamento del 5% del totale delle superfici delle facciate (tenendo conto del potenziale impatto dei diversi fattori climatici tipologici, geometrici, tecnici e locali) potrebbe contribuire per circa il 43% al Piano cantonale per l'energia (circa 208 MWp installabili sulle facciate per circa 104 GWh / anno).

La metodologia definita e le informazioni sviluppate attraverso il progetto (come gli indicatori degli edifici nella definizione del potenziale solare "realistico" delle facciate degli edifici plurifamiliari) possono essere replicate sulla parte rimanente del patrimonio edilizio (ad es. In altri contesti o su altre tipologie). In questo senso, la metodologia stabilita in questo progetto potrebbe portare al miglioramento degli attuali sistemi digitali territoriali per la valutazione del potenziale solare urbano, attraverso l'implementazione di dati nel catasto solare svizzero, con la prospettiva di incoraggiare una gestione ottimale per la produzione di energia solare rinnovabile.

Applicazione della metodologia ad un caso di studio nella municipalità di Mendrisio

Inoltre, la metodologia identificata nel progetto bFAST è stata parzialmente modificata ed adattata per l'implementazione su uno specifico caso reale di un'area urbana nella municipalità di Mendrisio, identificata secondo i criteri dell'ISOS, prendendo in considerazione le facciate degli edifici plurifamiliari con un irraggiamento annuale medio superiore a 600 kWh/m^2/a (come suggerito dall'UFE) e con una lunghezza maggiore ad 1 metro per considerare la dimensione minima dei moduli BIPV più diffusi nel mercato [19].

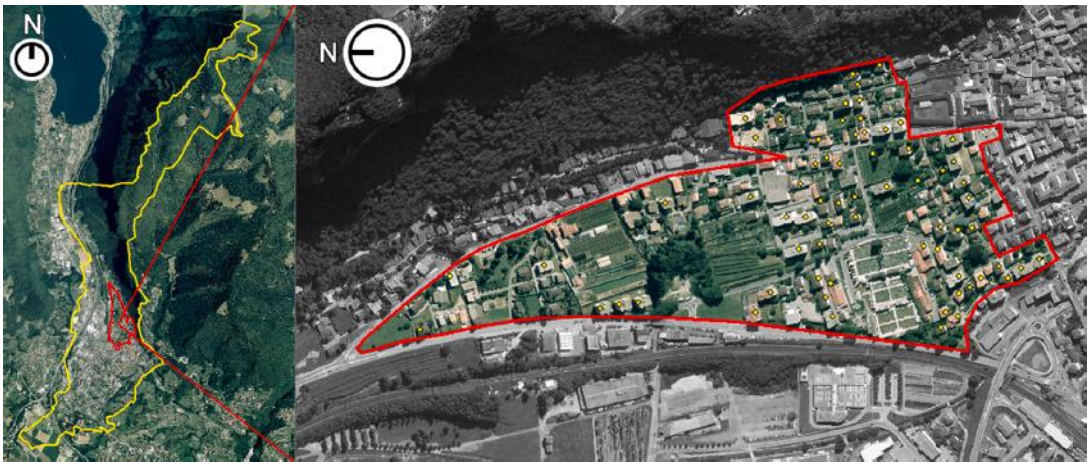


Figura 19 - Localizzazione dell'area residenziale impiegata come caso studio (linea rossa) nel comune di Mendrisio (Ticino, Svizzera), delimitato dalla linea gialla. Fonte: Saretta et al., 2020 [19].

Grazie all'analisi degli archetipi di facciata, si sono potuti identificare i fattori geometrici che maggiormente influenzano il potenziale fotovoltaico di facciata, i quali sono riassunti nei seguenti tre fattori di riduzione: "IR1" linguaggio architettonico di facciata (ad esempio, presenza di balconi, presenza di finestre) che esprime la percentuale di superficie opaca disponibile per il BIPV e "IR2" aggetto del tetto, "IR3" volumi in aggetto lateralmente alla facciata, i quali producono ombreggiamenti parziali sulla facciata con valori superiori al limite di 600 kWh/m^2/a. Tali fattori di riduzione sono stati impiegati nella formula per il calcolo del potenziale solare di facciata, definito con livello di dettaglio LOD2.5

$$POT_{BIPV\ 2.5} = S \cdot IR1 \cdot IR2 \cdot IR3 \cdot IRR_{AVG} \cdot PR \cdot \varepsilon\ [\mathrm{kWh/y}] \quad [19]$$

dove:

S: superficie lorda della facciata, fornita da SwissBuilding^{3D} 2.0

IRR_{AVG}: irraggiamento medio annuo nel punto centrale della facciata, fornito da Sonnenfassade

PR: Performance Ratio, valore standard pari a 80%

ε: efficienza di un modulo standard, definito pari a 17%

Grazie ad una metodologia GIS, questa formula è stata utilizzata nel caso studio menzionato sopra per il calcolo del potenziale fotovoltaico con LOD2.5, da cui è emerso che i fattori di riduzione sopra citati hanno un'influenza sul potenziale fotovoltaico di facciata fino al 20% in termini di area disponibile per il fotovoltaico e fino al 30% in termini di irraggiamento e rendimento energetico.

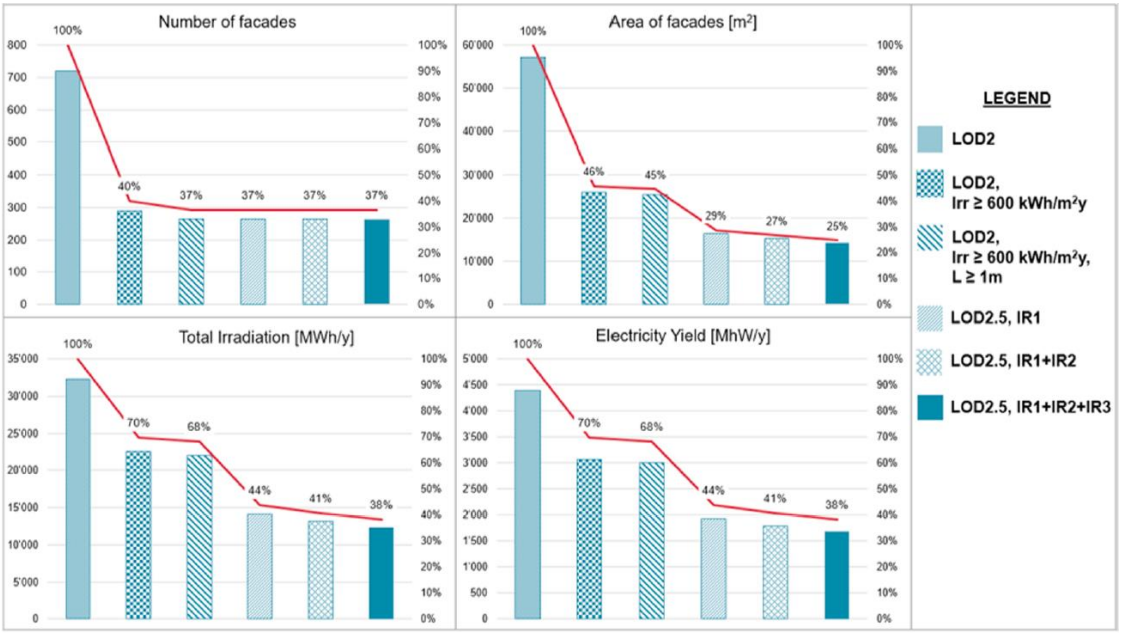


Figura 20: istogrammi rappresentativi delle variazioni di diversi fattori che influenzano il potenziale BIPV di facciata in termini di numero di facciate, area disponibile per il BIPV, irraggiamento e resa elettrica per i diversi fattori di riduzione per ottenere il LOD2.5. Fonte: Saretta et al. (2020) [19].

2.3. CONCLUSIONI, VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE IN CANTON TICINO

Di seguito si riassumono i principali aspetti che caratterizzano gli strumenti di mappatura solare in Svizzera e in Ticino:

- Il catasto solare Svizzera è uno strumento digitale e georeferenziato, di semplice utilizzo, molto evoluto che permette una efficace definizione del potenziale solare "sfruttabile" a scala territoriale e del singolo edificio, in modo particolare per le superfici dei tetti e delle facciate degli edifici, fattore quest'ultimo particolare per quanto riguarda il catasto solare Svizzero.
- Permette la valutazione dell'idoneità allo sfruttamento solare delle superfici degli edifici in funzione dell'irraggiamento solare, le caratteristiche morfologiche delle superfici, l'effetto delle ombre e la topografia del sito, che consente un pre-dimensionamento del sistema, utile nel processo decisionale;
- Permette di stimare il potenziale sfruttamento solare e di valutare il raggiungimento degli obbiettivi energetici a livello cantonale e locale per singole municipalità.

- Tengono conto delle aree protette (ISOS), dell'inventario federale degli insediamenti svizzeri da proteggere di importanza nazionale, considerando dei criteri specifici per queste aree che nell'aggregazione dei dati a livello territoriale non vengono considerate (criterio ISOS, che definisce delle distanze di protezione);
- Permettono di predisporre scenari di sfruttamento di parchi immobiliari e singoli edifici, secondo diversi gradi di idoneità per favorire e promuovere la diffusione delle energie rinnovabili (solare fotovoltaico, solare termico oppure un mix di ambedue tecnologie potenzialmente sfruttabili);
- Dà indicazioni su come utilizzare al meglio gli incentivi finanziari messi a disposizione della popolazione e degli enti pubblici e privati. I calcolatori solari correlati consentono, infatti, anche di stimare approssimativamente la produzione energetica, il costo totale e i tempi di ammortamento;
- Serve di stimolo e sensibilizzazione per l'avvio dei processi decisionali che rispondono alla domanda di quanta elettricità o calore è possibile produrre sfruttando l'energia solare utilizzando le superfici del parco immobiliare a disposizione;

Grazie a questo strumento di mappatura solare e anche sulla base di specifici progetti di ricerca realizzati nel territorio, una individuazione del potenziale solare fotovoltaico del patrimonio immobiliare nel Canton Ticino è oggetto di studio, considerando il reale sfruttamento delle superfici dei tetti e delle facciate degli edifici. Il potenziale solare per le facciate degli edifici, basato su un recente studio effettuato nel Canton Ticino (progetto bFAST) è principalmente riferito agli edifici residenziali plurifamiliari, perché si è riscontrato che la percentuale di edifici residenziali in Ticino è significativamente più alta rispetto ad altri tipi di edifici (industria e commercio / servizi) e negli edifici plurifamiliari una percentuale elevata è rappresentata da edifici con altezze superiori a quattro e cinque piani. Su tutto il parco immobiliare ticinese, sono predominanti gli edifici costruiti prima del 1980, che nel caso delle abitazioni è superiore al 65% in tutti i distretti, dimostrando che esiste anche un grande potenziale di sfruttamento solare nell'edilizia storica;

Queste analisi del potenziale, al momento sviluppate sottoforma di metodologie o di prime stime su contesti-pilota, hanno il potenziale di essere ulteriormente replicate e implementate all'interno degli strumenti di gestione territoriale per definire il grado di sfruttamento realistico delle superfici edilizie, introducendo come valore aggiunto la valutazione dei fattori edilizi tipologici, architettonici e costruttivi.

3. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE IN ITALIA

3.1. ALCUNI CALCOLATORI SOLARI FRUIBILI IN ITALIA

In Italia esistono altri calcolatori solari, alcuni sono menzionati successivamente in modo sintetico.

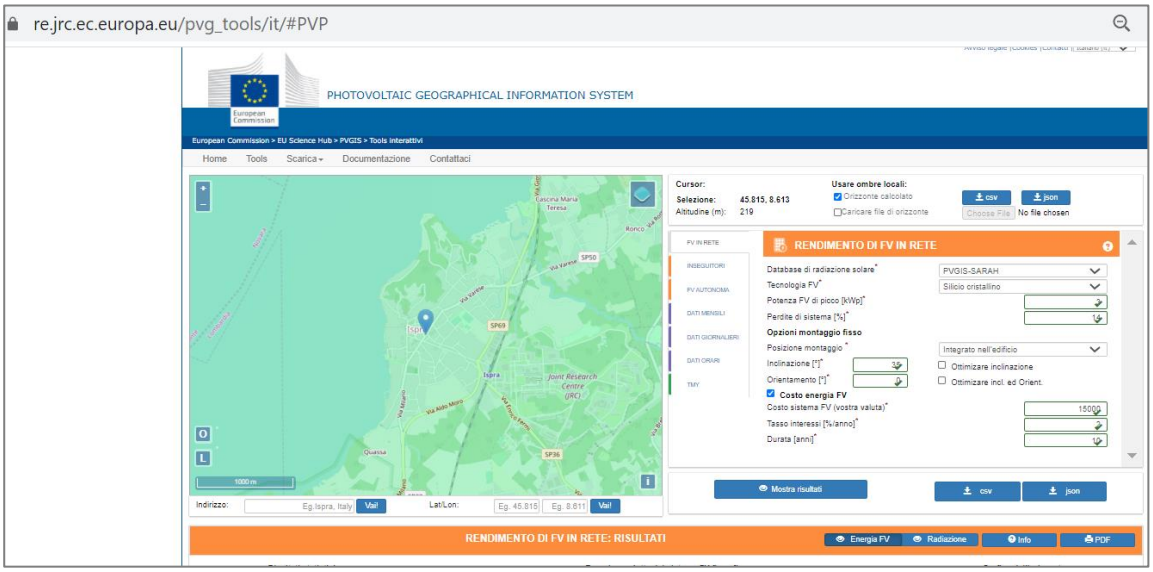
PVGIS - Photovoltaic Geographical Information System

Link: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

La piattaforma PVGIS-Photovoltaic Geographical Information System, è un tool gratuito e accessibile dal Web, per la stima della produzione di energia fotovoltaica, messo a disposizione in Europa dal JRC – Joint Research Centre (Institute for Energy and Transport), Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology (Figura 20).

Si tratta di una mappa sul potenziale di energia solare di ogni regione dell'Unione Europea. Un servizio informativo interattivo per avere una stima, sulla quantità di energia che ogni regione europea può generare, in base ad alcuni dati:

- potenza dell'energia solare
- la distribuzione geografica
- varietà di terreno
- tecnologie FV disponibili



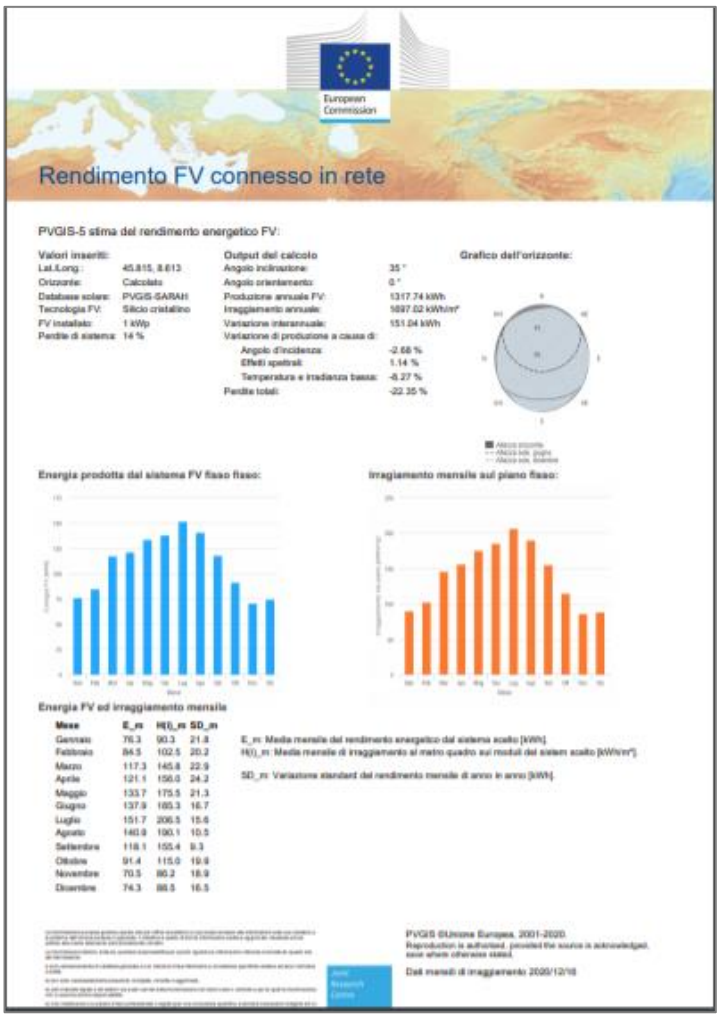


Figura 20: Valori e risultati finali per una determinata località ottenuti dal programma. PVGIS

Il risultato finale esportabile in PDF e offre informazione di dettaglio in termini di Energia prodotta dal sistema FV o [kWh] per impianti connessi alla rete e non e per sistemi a terra o montati sugli edifici e in termini di irraggiamento mensile sul piano fisso, media mensile di irraggiamento al metro quadro sui moduli del sistema scelto [kWh/m²].

ENEA_SOLTERM

Link: www.solaritaly.enea.it

Sarebbe il sito dell'Atlante italiano della radiazione solare (Figura 21), sviluppato da ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (già Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), che opera nei campi della ricerca e dell'innovazione tecnologica e presta servizi avanzati nei settori dell'energia, con particolare riguardo al settore nucleare, e dello sviluppo economico sostenibile. L'ENEA è impegnato in un ampio programma di sviluppo e dimostrazione

di alcune delle tecnologie disponibili per lo sfruttamento dell'energia solare, tra cui: il solare termodinamico, il fotovoltaico e il solare termico a bassa temperatura.

A supporto della ricerca e lo sviluppo della tecnologia solare, da diversi anni l'ENEA ha in piedi un'attività di caratterizzazione del territorio italiano ai fini dell'individuazione di siti vocati a tale tecnologia e per questo è attiva nella produzione mappe di radiazione solare al suolo (globale e diretta; oraria, giornaliera, giornaliera media mensile, annua, medie pluriennali ecc.; orizzontale, normale o su piani comunque orientati). Le mappe sono attualmente prodotte con risoluzione spaziale di 2.5 km x 2.5 km circa. Per il calcolo sono adottati diversi algoritmi che pervengono alla stima della radiazione partendo dalle immagini di copertura nuvolosa acquisite dai satelliti METEOSAT dell'EUMETSAT - European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites.

Inoltre, le attività riguardano anche l'archiviazione ed elaborazione di serie storiche di misure di radiazione effettuate da Enti italiani dotati di reti stazioni di acquisizione-dati installate sul territorio italiano (Finsiel, Aeronautica e..). Già disponibili sul sito, sono le procedure per il Calcolo della radiazione solare globale giornaliera media mensile (Rggmm), al livello del suolo, su superfici comunque orientate. Tale calcolo è effettuato secondo quanto prescritto dalla Norma UNI 8477 recante istruzioni per il "Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell'energia raggiante ricevuta", ed è utile a tutti coloro (progettisti, esercenti, ecc.) che in diversa maniera sono interessati agli impianti che utilizzano l'energia solare, in particolare fotovoltaici. Dati e mappe di radiazione per l'Italia, ottenuti sempre dall'ENEA ma aggiornati al 1999, sono comunque disponibili e liberamente scaricabili anche dal sito dell'Archivio Climatico. L'ENEA mette anche a disposizione su richiesta un sistema di calcolo per l'analisi preliminare della fattibilità economica degli impianti energetici (FELIPE), con riferimento alla normativa italiana e un modello di calcolo per la previsione oraria della radiazione solare e della produzione elettrica di un impianto fotovoltaico.

Figura 21: Cattura di schermo dell'Atlante italiano della radiazione solare

4. CONCLUSIONI

Gli strumenti di mappatura solare del territorio sono strumenti che permettono sfruttare e identificare il potenziale di sfruttamento per le tecnologie solari (BIPV, ma anche solare termico e fotovoltaico non integrato) nel parco edilizio esistente, anche quello storico. Questi strumenti di mappatura (catasto solare) **sono da considerarsi "indicativi"** generalmente in quanto il loro scopo non è quello di quantificare con esattezza il potenziale solare effettivo, quanto piuttosto di predisporre scenari di sfruttamento secondo diversi gradi di idoneità per favorire e promuovere la diffusione delle energie rinnovabili.

Assieme ad un introduzioni sugli strumenti esistenti a livello europeo, è stato presentato lo strumento di mappatura solare Svizzero (tettosolare.ch / facciatasolare.ch) per la stima il potenziale e sono stati presentati anche i dati indicativi per quanto riguarda la Svizzera (Canton Ticino), perché sia dal singolo edificio sia a livello comunale, lo strumento di mappatura presentato nel documento, offre il risultato della stima di produzione energetica da fonte rinnovabile solare nei tetti e le facciate degli edifici. Lo strumento di mappatura solare del Cantone Ticino, risulta per tanto uno strumento determinante per il raggiungimento degli obiettivi del Piano energetico cantonale (PEC) in materia di produzione di energia elettrica attraverso il fotovoltaico. Per l'Italia sono stati introdotti due esempi di calcolatori solari fruibili gratuitamente sul Web che permettono una stima preliminare dell'energia prodotta dai sistemi fotovoltaici.

Le valutazioni reali di questo potenziale, sono prettamente esprimibili in fase progettuale e attraverso una consulenza specialistica sull'immobile, in funzione del caso specifico e dal singolo contesto. Tuttavia, considerato che spesso questi tools divengono il principale **strumento di sensibilizzazione e motivazione** della committenza privata e pubblica per l'esecuzione di un intervento, è importante che alcuni fattori e parametri edilizi significativi, che potrebbero porsi come "ostacolo" o come "fattore premiale", entrino sin da subito in gioco in maniera da consolidare la base critica decisionale sin dalle fasi preliminari di valutazione.

In tal senso, l'implementazione nelle piattaforme di mappatura solare territoriale, di una valutazione tipologica edilizia dovrebbe aiutare e **supportare i proprietari immobiliari interessati a risanare o rivalorizzare i propri edifici con sistemi solari** attivi come il fotovoltaico (BIPV). I catasti solari pongono le basi per raggiungere questo obiettivo. Quest'obbiettivo, che va oltre a quanto oggi offrono come risultato i catasti solari esistente è un argomento introdotto nel progetto di ricerca bFAST in Svizzera, in quanto è stato finalizzato alla definizione e all'analisi dei modelli tipologici di facciata ricorrenti negli edifici del Ticino e dei relativi parametri condizionanti l'integrabilità dei sistemi solari, al fine di esprimere dei fattori ponderali per una stima più realistica del potenziale solare che possano essere applicabili sin dalle fasi iniziali di valutazione per includere i principali aspetti archetipici dell'edificio che condizionano l'integrazione dei sistemi solari fotovoltaici.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Saretta, E., Caputo, P., & Frontini, F. (2019). A review study about energy renovation of building façades with BIPV in urban environment. Sustainable Cities and Society 44 (2019) 343-355.

[2] Lobaccaro, G., Lisowska, M. M., Saretta, E., Bonomo, P., & Frontini, F. (2019). A Methodological Analysis Approach to Assess Solar Energy Potential at the Neighborhood Scale. Energies, 12(18), 3554.

[3] PVSites, Building-Integrated photovoltaic technologies and systems for large-scale market deployment, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (Fonte: https://www.pvsites.eu/)

[4] Alamy, P., Nguyen, V., Saretta, E., Bonomo, P., Romàn Medina, E., Vega de Seoane, J.& Alonso, P. (2019) BIM – A booster for energy transition and BIPV adoption. In Conference Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

[5] Markus Portmann et al. Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch: Berechnung von Potenzialen in Gemeinden. e4plus, BFE Report 8th March 201, https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/redirect/sol.htm

[6] Pierluigi Bonomo, Cristina S. Polo Lopez, Erika Saretta, Francesco Frontini. Report bFAST Studio del potenziale solare delle facciate "Facciate Attive Solari Ticino". (2018). ISAAC-SUPSI

[7] ISOS - Federal inventory of Swiss settlements to be protected of national importance (Inventario federale degli insediamenti svizzeri da proteggere di importanza nazionale) https://www.bak.admin.ch/bak/it/home/patrimonio-culturale/patrimonio-culturale-e-monumenti-storici/isos---inventario-federale-degli-insediamenti-svizzeri-da-proteg.html, Link: map.geo.admin.ch Inventario federale ISOS

[8] BFE, Scheda ISOS Bellinzona https://data.geo.admin.ch/ch.bak.bundesinventar-schuetzenswerte-ortsbilder/PDF/ISOS_3755.pdf

[9] Piano energetico cantonale (PEC), 5 novembre 2014 -Cantonal Energy Plan (PEC) approved on 5th November 2014 http://www.ti.ch/pec

[10] 740.110 UEn. Regolamento sull'utilizzazione dell'energia (RUEn), 16 settembre 2018 - UEn. Energy use regulation (RUEn), 16 September 2018 https://www3.ti.ch/CAN/RLeggi/public/raccolta-leggi/legge/numero/9.1.7.1.6

[11] MoPEC 2014 «Modello di prescrizioni energetiche dei Cantoni», rev. 2018 https://www.endk.ch/it/politica-energetica/mopec

[12] Cereghetti N., Pampuri L., 2013. Fotovoltaico in Ticino: situazione, potenziale e obiettivi. Dati – statistiche e società, 13 (2). pp. 37-43

[13] Impianti fotovoltaici in Ticino, 2017. Report 2016 ISAAC-SUPSI. SPAAS December 2017

[14] Message 7091 May 13, 2015 Department of the Territory, Action Plan 2013 https://www4.ti.ch/fileadmin/GENERALE/piano_energetico_cantona2013 action planle/documenti/PEC_Piano_azione_2013.pdf
[15] Potenziale solare dei comuni svizzeri, Fonte: EnergieSchweiz / SvizzeraEnergia,https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/solarpotenzial-von-schweizer-gemeinden
[16] Linda Soma, Antonietta D'Ottavio, Nerio Cereghetti. (2017) SAAC-SUPSI Rapporto tecnico: Rapporto sul potenziale degli impianti fotovoltaici in Cantone Ticino. Repubblica e Cantone Ticino. Ufficio dell'energia/Sezione protezione aria acqua e suolo (ISAAC-SUPSI)
[17] Pierluigi Bonomo, Cristina S. Polo Lopez, Erika Saretta, Francesco Frontini. Report bFAST Studio del potenziale solare delle facciate "Facciate Attive Solari Ticino" (2018). ISAAC-SUPSI
[18] Pierluigi Bonomo, Cristina S. Polo López, Erika Saretta, Paolo Corti, Francesco Frontini (2018). bFAST: a methodology for assessing the solar potential of façades in existing building stocks. Eurosun2018, 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, Rapperswill (Switerland), 11-13 September 2018. ISES conference proceedings. p.p. 122 – 132. ISBN 978-3 -9820408-0-6. doi:10.18086/eurosun2018.06.08
[19] Saretta, E., Bonomo, P., & Frontini, F. (2020). A calculation method for the BIPV potential of Swiss façades at LOD2.5 in urban areas: a case from Ticino region. Solar Energy 195 (2020) 150-165