

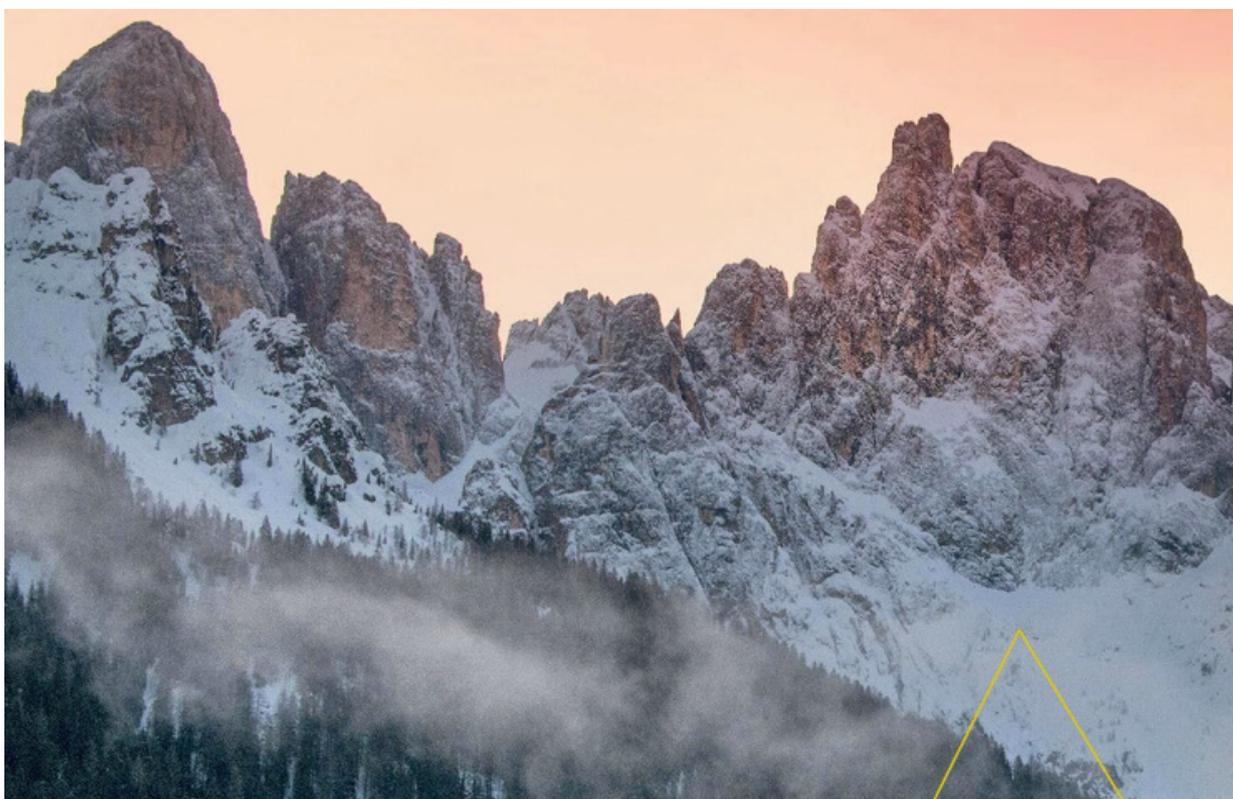


PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



RAPPORTO TECNICO

PIANO ENERGETICO AMBIENTALE
PROVINCIALE 2021-2030



PEAP 2021-2030: STIMA DEL POTENZIALE DI ENERGIA DA FONTE FOTOVOLTAICA DELLA PROVINCIA DI TRENTO

04

OTTOBRE 2023

con il contributo di



FONDAZIONE
BRUNO KESSLER

AGENZIA PROVINCIALE PER LE RISORSE IDRICHE E L'ENERGIA
ufficio studi e pianificazione delle risorse energetiche

Sede: Piazza Fiera, 3 - 38122 a Trento

Telefono: 0461.497310 Fax: 0461.497301

www.energia.provincia.tn.it

Email: aprie@provincia.tn.it (PEC) :aprie@pec.provincia.tn.it

Agenzia Provinciale per le Risorse Idriche e l'Energia

Dirigente generale

dott.ssa Laura Boschini

Coordinamento

ing. Sara Verones

Ufficio Studi e Pianificazione delle Risorse Energetiche

Autore

arch. Massimo Plazzer

Ufficio Studi e Pianificazione delle Risorse Energetiche

Con il contributo di:

dott. Fabio Remondino, dott.ssa Elisa Maria Rosaria Farella, dott. Simone Rigon
Fondazione Bruno Kessler - 3DOM - 3D Optical Metrology

SINTESI NON TECNICA.....	3
Premessa.....	4
Le Fonti di energia rinnovabile in Trentino.....	4
La normativa in materia di energie rinnovabili.....	5
Il potenziale fotovoltaico in provincia di Trento.....	7
Il modello solare.....	8
Dati di input.....	8
Aree idonee:.....	9
Calcolo del potenziale delle coperture degli edifici:.....	11
% Copertura delle superfici.....	11
Fattore di correzione kc.....	11
Producibilità dei pannelli fotovoltaici.....	12
Validazione del modello.....	12
Punti di attenzione.....	13
Risultati a scala provinciale.....	15
Superficie idonea e disponibile.....	15
Potenziale fotovoltaico della provincia di Trento.....	16
Risultati a scala comunale.....	16
TOTALE = Totale tetti + totale aree idonee.....	18
25 comuni con più irraggiamento solare e producibilità a m2.....	18
25 comuni con meno irraggiamento solare e producibilità a m2.....	19
Mappa della producibilità dei comuni trentini.....	21
25 comuni con più potenza installabile.....	22
25 comuni con meno potenza installabile.....	23
Mappa della potenza installabile nei comuni trentini.....	25
Producibilità e consumi.....	26
Solo coperture.....	29
25 Comuni con più irraggiamento sulle sole coperture.....	29
25 comuni con meno irraggiamento.....	30
Mappa della producibilità delle sole coperture.....	32
25 comuni con più potenza installabile sui tetti.....	33
25 comuni con meno potenza installabile sui tetti.....	35
Mappa della potenza installabile sulle sole coperture.....	36
Produzione e consumi degli edifici per categoria.....	37
Solo aree idonee.....	38
25 comuni con più irraggiamento solare e producibilità sulle aree idonee.....	38
25 comuni con meno irraggiamento e producibilità nelle sole aree idonee....	39
Mappa della producibilità delle aree idonee.....	40
25 comuni con più potenza installabile nelle aree idonee.....	42
25 comuni con meno potenza installabile nelle aree idonee.....	43
Mappa della potenza installabile nelle aree idonee.....	45
Comuni e Superfici idonee.....	46
25 Comuni con più superficie idonea (edifici + aree).....	46

25 Comuni con meno superficie idonea (edifici + aree).....	47
25 Comuni con più superficie sui tetti.....	49
25 Comuni con meno superficie sui tetti.....	50
25 Comuni con più aree idonee.....	52
25 Comuni con meno aree idonee.....	53
25 Comuni con più superficie occupata da fotovoltaico sui tetti.....	55
25 Comuni con meno superficie occupata da fotovoltaico sui tetti.....	55
% Aree idonee su superficie comunale.....	57
Conclusioni.....	58
Il Webgis pubblico.....	59
I tematismi:.....	60
Calcolare la potenza installabile su di un'area.....	61
Allegati:.....	62

SINTESI NON TECNICA

Il presente documento illustra il calcolo del potenziale fotovoltaico del territorio della Provincia di Trento, descrivendo le motivazioni tecniche e normative che hanno portato al calcolo, la metodologia adottata, le basi di dati utilizzate e fornendo i principali risultati a livello provinciale e di singolo comune.

Tale lavoro è nato in attuazione di quanto previsto dal D.Lgs 199/2021. L'incarico per lo sviluppo del calcolo a livello territoriale è stato affidato dall'Agenzia Provinciale per le Risorse Idriche e l'Energia (APRIE) alla Fondazione Bruno Kessler (FBK).

Ai fini del calcolo del totale provinciale, è stata realizzata una mappa digitale di risoluzione 1m x 1m, che è oggi disponibile al pubblico sul webgis cartografico provinciale. La mappa permette di calcolare il potenziale di ogni superficie, sia un appezzamento a terra che la copertura di un edificio.

Per il calcolo del potenziale per la provincia di Trento, dalla base di questa mappa sono state considerate tutte le coperture degli edifici esistenti - considerato che la L.P. 4/2022 prevede che l'installazione sulle coperture sia opera libera con comunicazione - e le aree idonee - individuate dalla L.P. 4/2022 - le quali beneficiano di un iter semplificato per installare impianti fotovoltaici a terra.

Nel conteggio delle coperture sono state escluse quelle degli edifici soggetti a vincolo di tutela secondo il Codice dei Beni culturali ed il paesaggio, che pur avendo possibilità di installare fotovoltaico sono soggetti ad un iter più complesso subordinato all'autorizzazione della Soprintendenza. Per le aree idonee sono state escluse invece le "strade" in quanto solo una minima superficie è effettivamente utilizzabile per installare impianti fotovoltaici.

Tale calcolo ha permesso di conoscere, per ogni Comune, quanta produzione di energia da fonte fotovoltaica sarebbe installabile nelle aree ove è urbanisticamente previsto un iter semplificato. Ne è emerso che, utilizzando le superfici sopra menzionate (coperture ed aree idonee, pari ad una superficie totale di 80,3 km²), la Provincia di Trento ha valore teorico di potenza fotovoltaica installabile pari a 9,5 GW, che corrispondono a una produzione di 7884,51 GWh. Un valore che si ritiene notevole e che considera già sufficientemente ampia la possibilità di agire attraverso le "aree idonee" senza necessità di individuare altre aree.

Oltre ai fini del calcolo, la mappa con i dati di irraggiamento è stata resa disponibile attraverso il webgis pubblico. Tale strumento dovrebbe in questo modo fornire all'utente tutti gli strumenti per capire la producibilità delle aree ma anche la effettiva fattibilità dell'intervento.

Nello specifico questo strumento dovrebbe indirizzare:

- la giunta provinciale in relazione agli obiettivi nazionali assegnati alla Provincia;
- i cittadini ad individuare il potenziale di produzione del proprio patrimonio edilizio;
- i tecnici ad avere uno strumento di confronto sui valori di irraggiamento ma anche uno strumento utile per la pianificazione e nell'individuazione dei vincoli per l'installazione di impianti da fonte solare;
- i comuni sia per la parte edilizia, permettendo di conoscere quali e dove siano le aree idonee e non idonee sul territorio, sia per la parte di pianificazione potendo avere a disposizione il soleggiamento anche di aree non idonee;
- i servizi provinciali che, attraverso la sovrapposizione di differenti layer possono avere un quadro completo delle aree oggetto di Autorizzazione Integrata per l'Energia, relative a vincoli e potenziale solare;

Premessa

Il Decreto Legislativo 8 novembre 2021 n.199 prevede all'art. 20 che le regioni debbano provvedere all'individuazione di "superfici ed aree idonee" per l'installazione di impianti di produzione di energia rinnovabile. Parallelamente il PNIEC, Piano Nazionale Integrato Energia e Clima individua, per ogni regione e provincia autonoma degli obiettivi di installazione di impianti di produzione di energia rinnovabile.

La Provincia Autonoma di Trento ha disciplinato con la Legge Provinciale 2 maggio 2022 n.4 le procedure relative agli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile, individuando nella medesima legge le "aree idonee", elencate nell'allegato 2. Parallelamente all'art.7 sono state previste ulteriori semplificazioni per le installazioni sulla copertura degli edifici e a terra nelle pertinenze delle costruzioni esistenti, le quali sono diventate opera libera con comunicazione.

Al fine di capire quale sia il potenziale fotovoltaico della Provincia di Trento e orientare le politiche di sviluppo provinciali in materia di fonti rinnovabili, l'Agenzia Provinciale per le Risorse idriche e l'Energia della Provincia Autonoma di Trento ha attuato attraverso un incarico alla Fondazione Bruno Kessler un progetto denominato "3d solar" per il calcolo del potenziale solare del territorio della Provincia Autonoma di Trento.

FBK già in passato aveva attuato un progetto sperimentale di stima del potenziale fotovoltaico su una porzione del territorio di Trento. Su stimolo e con il supporto tecnico di APRIE, attraverso l'uso dei dati presenti sul Portale geocartografico provinciale è stato implementato lo strumento di calcolo, ampliandolo a tutto il territorio urbanizzato della Provincia di Trento (sono escluse due aree non coperte dal LIDAR corrispondenti alle cime delle Dolomiti).

Le fonti, la metodologia ed i risultati che saranno di seguito presentati hanno portato alla creazione di una mappa che permette una analisi territoriale completa - utilizzabile ai fini della pianificazione urbanistica. Attraverso la messa a disposizione sul portale webgis pubblico della Provincia diviene uno strumento utile anche per i tecnici progettisti ed i cittadini che in questo modo possono avere un facile accesso alle informazioni relative all'esposizione e al potenziale di produzione sulle singole particelle fondiarie ed edificiali, sovrapponendo il dato con eventuali vincoli presenti sull'area e dei quali tener conto.

Attraverso questa mappa è stata attuata una quantificazione del potenziale di produzione elettrica da fotovoltaico di tutte le coperture degli edifici (ad eccezione di quelli vincolati) e di tutte le aree idonee (ad eccezione delle strade) e della loro producibilità suddivisa per Comune.

Le Fonti di energia rinnovabile in Trentino

Il Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030 nel bilancio energetico (baseline 2016) traccia la situazione delle fonti di energia rinnovabile in provincia di Trento e nelle strategie ed azioni previste traccia la linea di sviluppo delle fonti di energia rinnovabile per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione. Dal bilancio energetico emerge che l'83% dell'energia elettrica provinciale proviene da fonti rinnovabili. Per quanto riguarda il fabbisogno di calore le fonti rinnovabili sono circa un quarto del totale mentre il settore dei trasporti è quello più legato alle fonti fossili: solo il 2% quelle rinnovabili. La quota complessiva di energia rinnovabile è il 34,8%. In particolare la fonte solare rappresenta attualmente in Trentino la prima fonte rinnovabile per numerosità degli impianti, quantificati nel 2016 in circa 15 mila. L'obiettivo definito nel PEAP è quello di incrementare del 13,4% la produzione di energia da fonti rinnovabili per arrivare al 2030 al 48.2%.

Dal punto di vista dello sviluppo delle fonti rinnovabili, per il comparto elettrico il PEAP vede nel fotovoltaico il principale sistema di incremento di produzione. Il potenziale di energia idroelettrica è limitato e si prevede il mantenimento della produzione attuale. La biomassa ha potenzialità maggiori dal punto di vista termico e necessita di impianti grandi e costosi. La produzione eolica è considerata minima e data la variabilità delle condizioni di vento non viene considerata significativa ai fini del PEAP. La fonte solare invece, accoppiata ad una elettrificazione dei consumi e ad una riqualificazione energetica del patrimonio edilizio, rappresenta la principale fonte rinnovabile di elettricità su cui il Trentino può puntare in termini di nuove installazioni nel prossimo decennio.

Già all'interno del PEAP viene fatta una stima del potenziale fotovoltaico relativamente al comparto industriale. Sfruttare le coperture degli edifici produttivi per incrementare l'installazione di pannelli fotovoltaici è infatti un obiettivo che ben si sposa con le esigenze di consumo di queste realtà economiche. Già il PEAP con i dati raccolti attraverso la collaborazione con Confindustria ha stimato in 100 MW la potenza installabile sui capannoni in aggiunta ai 50 MW già installati.

Inoltre il tema dello sviluppo delle comunità di energia rinnovabile, previsto nel PEAP nella configurazione della normativa transitoria su cabina secondaria rappresenta un altro potenziale sviluppo dell'energia solare da impianti fotovoltaici.

La normativa in materia di energie rinnovabili

Il progetto di attuare un'analisi del potenziale di produzione di energia solare da impianti fotovoltaici in Provincia di Trento, incaricando FBK che aveva già lavorata su un tema simile, ha preso avvio nel periodo di approvazione di quello che è diventato il Decreto Legislativo 8 novembre 2021 n. 199. Il Decreto, tra le altre cose, prevede che le regioni e province autonome arrivino ad individuare delle "aree idonee" per l'installazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili nelle quali gli impianti possono essere installati con alcune semplificazioni: tempi del procedimento ridotti di un terzo e autorizzazione paesaggistica non vincolante.

Il D.Lgs 199/2021 interviene sulle procedure previste dal D.Lgs 387/2003 che norma le autorizzazioni per impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili. In particolare sono alzate le soglie per cui gli impianti sono soggetti ad Autorizzazione Unica. Inoltre è espressamente indicato che le aree non ricomprese nell'elenco delle aree idonee non possano essere dichiarate aree non idonee in maniera automatica.

La crisi energetica legata alla guerra in Ucraina del 2022 ha portato il governo nazionale ad emettere diversi provvedimenti normativi in materia di energia, tra i quali il D.L. 17 marzo 2022 n. 17 convertito con la Legge 27 aprile 2022 n.34 il quale attua una importante semplificazione in termini di installazione di impianti solari e fotovoltaici: *"l'installazione, con qualunque modalita', anche nelle zone A degli strumenti urbanistici comunali, [...] o su strutture e manufatti fuori terra diversi dagli edifici, ivi compresi strutture, manufatti ed edifici gia' esistenti all'interno dei comprensori sciistici, e la realizzazione delle opere funzionali alla connessione alla rete elettrica nei predetti edifici o strutture e manufatti, nonche' nelle relative pertinenze, compresi gli eventuali potenziamenti o adeguamenti della rete esterni alle aree dei medesimi edifici, strutture e manufatti, sono considerate interventi di manutenzione ordinaria e non sono subordinate all'acquisizione di permessi, autorizzazioni o atti amministrativi di assenso comunque denominati"*. Ciò si applica anche nei centri storici e tra le autorizzazioni esentate vi sono quelle in capo alle Soprintendenze per i beni culturali in materia di autorizzazione paesaggistica, mentre rimangono in essere quelle da acquisire per i beni soggetti a vincolo di tutela culturale.

La normativa nazionale quindi ha operato una “rivoluzione” nel concetto di installazione di impianti da fonti rinnovabili. Se prima del D.Lgs 199/2021 le regioni individuavano le “aree non idonee” dove l’installazione di impianti a FER non era permessa, ora il concetto viene ribaltato e l’installazione deve essere valutata in qualsiasi parte del territorio, ivi compresi i beni vincolati, e il diniego va motivato, mentre nelle aree idonee sono previste delle facilitazioni in termini di tempi ed autorizzazioni richieste per l’installazione di impianti a fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda la Provincia Autonoma di Trento, l’installazione di impianti fotovoltaici sugli edifici era disciplinata dal Regolamento Urbanistico Edilizio Provinciale che agli art. 29 e 30 definiva le modalità di installazione di dette attrezzature tecnologiche. In particolare l’installazione ai fini dell’autoconsumo era possibile sulle coperture degli edifici, in aderenza alla falda. L’installazione per la produzione era possibile sulle coperture non in centro storico e a terra nelle aree a destinazione produttiva e commerciale.

Al fine di recepire la normativa nazionale ed uniformare le procedure al D.Lgs. 387/2003 è stata approvata la Legge Provinciale sulle Fonti Rinnovabili 2022, Legge Provinciale 2 maggio 2022 n.4 che da un lato disciplina le procedure autorizzative in funzione delle soglie di potenza definite all’allegato 1, dall’altro individua le aree idonee per la Provincia di Trento nell’allegato 2.

Per la Provincia Autonoma di Trento le aree idonee sono state individuate utilizzando le categorie urbanistiche già presenti nei PRG. In questo modo, anziché andare a definire particella per particella le aree idonee, sono state scelte le categorie urbanistiche più affini agli obiettivi. In questo modo si è andati a definire aree idonee in ogni Comune, su aree per cui le valutazioni come quelle relative al consumo di suolo o alla pericolosità sono già state fatte in fase di pianificazione. Le aree idonee sono:

- A. aree per servizi infrastrutturali e discariche;
- B. aree produttive industriali-artigianali;
- C. aree miste commerciali, terziarie e produttive;
- D. aree estrattive effettive e cave;
- E. siti ancora da bonificare d’interesse nazionale individuati ai sensi dell’articolo 252 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale), e siti d’interesse locale individuati ai sensi dell’articolo 251 del decreto legislativo n. 152 del 2006, coordinati con l’articolo 77 bis, comma 10 ter, del testo unico provinciale sulla tutela dell’ambiente dagli inquinamenti 1987;
- F. discariche non controllate e bonificate ai sensi dell’articolo 77 del testo unico provinciale sulla tutela dell’ambiente dagli inquinamenti 1987;
- G. aree di servizio per la mobilità;
- H. strade esistenti o da potenziare;
- I. aree a parcheggio.

Inoltre all’art. 7 la L.P 4/2022 ha previsto, recependo il D.L. 34/2021, che sulle coperture delle costruzioni esistenti, per qualsiasi potenza, e nelle pertinenze delle costruzioni, per una potenza inferiore alla soglia prevista all’allegato A del D.Lgs 387/2003, l’installazione di impianti fotovoltaici con qualsiasi modalità sia opera libera con comunicazione, senza necessità di ulteriori autorizzazioni o atti di assenso ivi compresa l’autorizzazione paesaggistica, fatti salvi i beni soggetti a vincolo di tutela da parte del Codice per i beni culturali ed il paesaggio. La normativa provinciale, abrogando i precedenti articoli 29 e 30 del Regolamento Urbanistico Edilizio Provinciale dà solo la prescrizione che nei centri storici si prediliga l’installazione sulla copertura e con pendenza coerente a quella della copertura.

Il potenziale fotovoltaico in provincia di Trento

Alla luce delle modifiche normative intercorse tra il 2021 e il 2022 e ai fini di quantificare la potenza installabile nel territorio della Provincia di Trento è stato impostato il presente lavoro. L'obiettivo era quello di capire, alla luce delle regole attuali, se tutte le superfici "idonee" all'installazione di impianti a FER siano sufficienti a coprire il fabbisogno che il PNIEC richiederà alla Provincia Autonoma di Trento o se sarà necessario implementarne le previsioni, individuando ulteriori aree idonee.

Ai fini del calcolo sono quindi state considerate le aree idonee di cui all'allegato 2 della L.P. 4/2022 ad esclusione delle "strade esistenti o da potenziare" in quanto, calcolare tutta la superficie delle strade come area su cui installare impianti fotovoltaici sarebbe stato fuorviante. Sono state poi calcolate tutte le coperture delle costruzioni esistenti, escludendo i beni sottoposti a vincolo ai sensi del codice dei beni culturali e del paesaggio. Anche qui non per impossibilità assoluta all'installazione ma, a titolo prudenziale, essendo l'iter più complesso, si è preferito non includere questi edifici ritenendoli in numero minoritario e non significativo rispetto al raggiungimento generale dell'obiettivo.

Non sono state neppure ricomprese nel calcolo le pertinenze delle costruzioni. Risulta infatti difficile definire in maniera univoca il concetto di "pertinenza" essendo questo demandato a valutazioni specifiche e puntuali di prossimità: non corrisponde strettamente alle particelle "graffate" con l'edificio ma può ricomprendere terreni entro 150 metri dall'edificio legati funzionalmente allo stesso. Impossibile trovare una regola applicabile ad un modello così generale.

Nella valutazione dei risultati finali va quindi tenuto conto di queste esclusioni come va tenuto conto che vi sono aree non ricomprese nelle aree idonee in cui la realizzazione di impianti fotovoltaici è ammessa e conforme alla destinazione urbanistica: si pensi ad esempio ad un'area a campeggio con impianto a servizio dello stesso, o un'area agricola con impianti funzionali all'azienda, sempre che il PRG di zona lo ammetta. Sono queste ulteriori possibilità che, unite all'ottenimento dell'Autorizzazione Integrata per l'Energia su aree non idonee con variante urbanistica, definiscono ulteriore potenza possibile in Trentino ma esclusa dal presente modello di calcolo.

Ai fini del presente calcolo, tuttavia, si è ritenuto di non considerare il 100% della superficie dei tetti e delle aree. Ciò in considerazione del fatto che non è mai realmente attuabile la copertura totale della superficie considerata. Sulle coperture sono presenti ostacoli (camini, lucernari) inoltre c'è la necessità di mantenere distanze tecniche dai bordi o dai colmi oltre che tener conto di superfici troppo piccole o forme eccessivamente articolate per permettere l'installazione dei pannelli (che hanno dimensioni regolari). Anche per impianti a terra, la copertura di una particella al 100% della superficie non è attuabile. Nella pratica c'è sempre la necessità di avere passaggi e garantire distanze tecniche. Inoltre alla necessità di garantire comunque la compatibilità della destinazione d'uso dell'area, per gran parte delle aree idonee, costringe a non poter occupare tutto lo spazio disponibile. Tenuto conto di queste considerazioni, per ogni particella individuata è stato considerato che il 60% della superficie sia l'area effettivamente utilizzabile. Tale valore è stato poi oggetto di una validazione, come illustrato successivamente.

Il modello inoltre, attraverso l'uso delle ortofoto, ha individuato la superficie dei pannelli fotovoltaici esistenti, selezionandoli tra gli ostacoli e tra gli elementi presenti sulle coperture e sottraendo la superficie già utilizzata da quella disponibile, nel calcolo complessivo.

Il modello solare

Rimandando al documento allegato per approfondimenti più di dettaglio, si descrive brevemente la modalità di impostazione del modello e la metodologia di calcolo. Considerato che il lavoro è stato commissionato dalla Provincia Autonoma di Trento e che è prevista la messa a disposizione dei risultati per una fruizione pubblica, sono stati utilizzati tutti dati open source in possesso all'amministrazione pubblica.

Allo scopo di ottenere il potenziale fotovoltaico complessivo, nella maniera il più precisa possibile, è stato impostato un modello digitale per riuscire ad individuare, per ogni Comune del Trentino, dati spaziali e dati di produzione.

Per ogni comune amministrativo si è voluto calcolare:

- superfici delle coperture delle costruzioni esistenti;
- superfici delle aree idonee;
- aree già occupate da impianti fotovoltaici;
- coefficiente di correzione k_c per tener conto della nuvolosità;

Per ogni mese dell'anno e per il valore medio annuo si è individuato

- irraggiamento solare (Wh/m^2) per ogni mq di superficie;
- producibilità (Wh/m^2);

Applicando queste ultime alle aree con il fattore di correzione k_c è stata calcolata la Potenza nominale (kW) installabile.

Per ogni mese dell'anno e come media mensile si è poi voluto individuare:

- la resa energetica (kWh/kW)
- la produzione di elettricità (GWh)

il tutto sempre distinto tra sole coperture degli edifici, aree idonee e sommatoria delle due sia con *clear sky* (cielo terso senza ostacoli) che applicando il fattore di riduzione in funzione della nuvolosità denominato k_c .

Dati di input

Per la stima dell'irraggiamento sono stati utilizzati i dati presenti nel geocatalogo provinciale che comprende dati Raster (immagini) relativi al territorio ed utili a costruirne la morfologia e la copertura del suolo e dati Vettoriali (shapefile/aree) utili a comprendere per le singole aree gli usi del suolo, i vincoli, gli edifici ecc.

Si è partiti dal modello digitale del territorio Trentino utilizzando i seguenti dati:

I modelli LiDAR del 2014 e in parte del 2011. Da questi è stato ricavato il modello fisico del territorio provinciale, ad esclusione di alcune zone sommitali corrispondenti alle Dolomiti (e pressoché prive di abitazioni, quindi trascurabili).

Ortofoto PAT 2015 e AGEA 2020. Queste immagini sono servite per il riconoscimento degli edifici e dei pannelli già installati sulle coperture esistenti. Ciò è stato effettuato attraverso un sistema di riconoscimento automatizzato sviluppato da FBK.

Oltre a questi dati, sono stati utilizzati i dati relativi all'irraggiamento e alla torbidità dell'aria, per i quali si rimanda alla allegata relazione per i dettagli.

Ne è nata una carta raster che copre tutto il territorio significativamente antropizzato del Trentino e che ha associato ad ogni pixel (corrispondente a 1 metro quadro) il dato di irraggiamento.

Da questa mappa di base, utile a livello generale e base del webgis pubblico per la parte solare, sono state selezionate le superfici idonee per l'installazione di impianti fotovoltaici al fine del calcolo della producibilità di ogni Comune.

Per l'individuazione delle superfici idonee (sommatoria delle aree e delle coperture) sono stati utilizzati i dati vettoriali prodotti dai competenti servizi provinciali, e sempre destinati al geoportale/webgis provinciale come meglio di seguito specificato:

Aree idonee:

Il modello solare è stato elaborato parallelamente all'iter di approvazione della Legge Provinciale 2 maggio 2022 n.4. L'elenco delle "Aree idonee per l'installazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili" è stato ricavato dalle destinazioni urbanistiche delle aree. Pur essendo in vigore l'obbligo di digitalizzazione dei Piani Urbanistici, di fatto non tutti i Comuni si sono ancora adeguati. Molti di essi procedono alla digitalizzazione in concomitanza con le attuazioni di varianti ai PRG ma attualmente solo circa il 40% dei Comuni trentini ha terminato tale digitalizzazione.

Carta di uso del suolo pianificato: I competenti servizi provinciali, al fine di rappresentare nella cartografia trasversale l'uso del suolo, realizzano la "carta di uso del suolo pianificato" che, riconducendo le destinazioni d'uso dei vari PRG in un elenco univoco, classifica le differenti aree attraverso una scala standard e riporta in una mappa provinciale il dato di tipo vettoriale. Al fine di calcolare la superficie a terra sono state valutate le corrispondenti aree ricavate dal dato della carta di uso del suolo pianificato. Come detto, dalla selezione di queste destinazioni d'uso non sono state considerate le aree "strade esistenti" in quanto renderebbero il dato eccessivamente fuorviante.

Cave e cave dismesse: riguardo al tematismo "Cave" e "Cave dismesse" è stata valutata la possibilità di inserire il tematismo relativo al Piano Cave i cui dati vettoriali sono presenti nel database provinciale. Tuttavia, relativamente alle cave in attività, l'installazione di impianti può avvenire solo in talune circostanze in accordo con quanto disciplinato dalla norma di settore. Il tematismo "cave dismesse" invece era un dato puntuale difficilmente utilizzabile. Si è scelto di mantenere il tematismo contenuto nella carta di uso del suolo pianificato anche riguardo le cave e non sovrapporre il piano cave e le cave dismesse.

Siti inquinati: anche con riguardo ai siti inquinati si è attuata una selezione dello shapefile "area da bonificare" presente sul webgis e fornito da APPA, con riguardo ai siti ricompresi nell'allegato B della Legge Provinciale. Anche in questo caso, la effettiva realizzabilità dell'impianto dipende dalla destinazione d'uso finale del sito, in aggiunta alla specifica voce presente nella Carta di Uso del suolo pianificato.

Strade: come precedentemente illustrato, si è ritenuto di non considerare l'area "strade esistenti o da potenziare" tra le aree idonee nel presente calcolo, al fine di non compromettere il risultato finale. L'installazione di impianti nelle aree classificate "strade" deve avvenire senza precludere la destinazione d'uso dell'area pertanto risulterà possibile per una superficie molto limitata (p.es le rotatorie, superfici interne agli svincoli, muri di contenimento, barriere antirumore) e non significativa rispetto alla totalità della superficie stradale compresa nel tematismo "strade esistenti o da potenziare". Quantificarla in maniera puntuale non è semplice, pertanto si è preferito prudenzialmente escludere l'intero tematismo dal calcolo complessivo.

Edifici:

Per quanto riguarda gli edifici è stato ricercato un dataset vettoriale che comprendesse le sagome degli edifici. Il database geocartografico tuttavia non contiene un dato geometrico vettoriale che riguardi ogni singolo edificio.

Carta tecnica provinciale: Il dato dello shape "Edifici" riferito alla Carta Tecnica Provinciale risulta approssimativo in quanto nel caso degli edifici storici o delle schiere, la forma raggruppa tutta la schiera e non il singolo edificio. La scala di questa mappa è infatti 1:10000 mentre la precisione del modello a metro quadro arriva ad una buona lettura anche a scala 1:1000.



Esempio: su agglomerato storico: si noti come la Carta Tecnica Provinciale traccia il perimetro di gruppi di edifici giustapposti anziché considerare il singolo edificio, mentre dalle ortofoto si può vedere la forma dei tetti corrispondente ai singoli edifici

Risulta comunque il dato vettoriale più preciso pertanto si è scelto di utilizzarla per il calcolo, integrandola degli edifici riconosciuti attraverso l'ortofoto 2020.

Mappe catastali: Le mappe del catasto geometrico non sono risultate utilizzabili in quanto esse lavorano sì in maniera vettoriale ma per linee riferite alle particelle e non per forme. Gli edifici sono individuati come p.ed ma non hanno un poligono chiuso e definito. L'estrazione del dato vettoriale avrebbe reso necessaria una elaborazione eccessivamente complessa ed onerosa per i fini del modello. In fase di costruzione del modello sono stati valutati i dati catastali anche al fine di includere le pertinenze delle costruzioni, ambito in cui impianti fotovoltaici aventi potenza inferiore a 50 kW di potenza risultano installabili con sola comunicazione opere libere. Tuttavia, come precedentemente illustrato, il concetto di pertinenza non è rigido, e la pertinenza urbanistica è differente da quella civilistica. Non ci si limita quindi alle sole aree "graffate" con gli edifici ma si tratta di una valutazione di prossimità che varia caso per caso ed era impossibile valutare in maniera generalizzata per tutto il territorio. Si è quindi scelto di trascurare dal calcolo le pertinenze e quindi adottare un approccio prudentiale ed, in generale, di non utilizzare le mappe catastali per l'individuazione degli edifici.

PRG: I Piani Regolatori Comunali classificano edificio per edificio tutte le costruzioni attribuendo una categoria edilizia agli edifici in centro storico. Sono quindi presenti degli shape vettoriali relativi ai singoli edifici. Tuttavia, come precedentemente evidenziato, solo una parte dei Comuni trentini ha completato la digitalizzazione dei propri piani regolatori. In fase di realizzazione del modello solare sono stati estratti tali dati dal database del Servizio Urbanistica e tutela del paesaggio constatando che tale dato non era sufficientemente completo per essere applicato a tutta la provincia. Tale estrazione era propedeutica anche ai

fini di applicare il modello solare solo a determinate categorie edilizie relativamente al centro storico. Il D.L. 17/2022 ha poi esteso l'installazione come manutenzione ordinaria anche ai centri storici quindi tale analisi non è stata più attuata. In generale, vista la non completezza del dato, questo non è stato utilizzato.

Beni sottoposti a vincolo culturale: Per quanto attiene i beni sottoposti a vincolo ai sensi del codice dei beni culturali, la Provincia ha a disposizione una cartografia dettagliata dei vincoli diretti e indiretti sul webgis provinciale. Per quanto la normativa nazionale e provinciale preveda la possibilità - previa autorizzazione della Soprintendenza per i beni architettonici - di installare impianti a FER anche sui beni sottoposti a vincolo di tutela, nel calcolo del potenziale fotovoltaico questi beni sono stati esclusi in quanto l'eventuale installazione di impianti risulta comunque di natura straordinaria e non rileva in maniera significativa ai fini del presente calcolo.

Calcolo del potenziale delle coperture degli edifici:

Per il calcolo del potenziale relativo alle coperture degli edifici è stato quindi adottato il seguente metodo:



% Copertura delle superfici

Come precedentemente accennato considerare il 100% delle superfici disponibili avrebbe portato ad un risultato poco realistico. Anche pensando ad un'area produttiva pianeggiante, a terra, ben esposta e interamente a disposizione, è impensabile che la totalità della superficie venga utilizzata come superficie fotovoltaica. Analogamente anche una copertura piana avrà sempre degli spazi inutilizzabili: bordi, sfridi, vani tecnici ecc.

Al fine di ottenere un risultato medio più realistico, è stato dato un valore di copertura delle superfici pari al 60%. Per le analisi e le verifiche effettuate per validare tale percentuale, si rimanda al documento di FBK allegato e al successivo paragrafo "Validazione del modello".

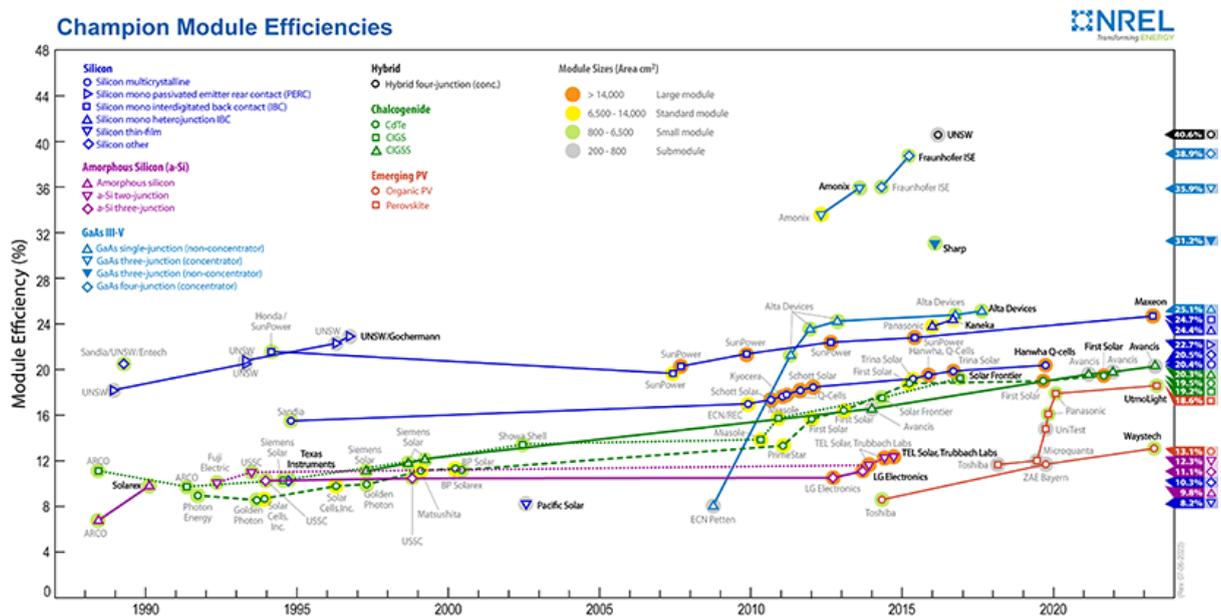
Fattore di correzione k_c

Il modello solare ha effettuato in prima istanza una prima analisi solare in *clear sky* ovvero considerando nulla la copertura del cielo dovuta a fattori meteorologici (cielo terso senza nuvole). Ai fini di generare una rispondenza migliore del modello alla realtà locale, con una precisione quanto più locale possibile, è stato calcolato ed applicato un fattore di correzione k_c (un valore compreso tra 0,62 e 0,79). Si rimanda al documento allegato redatto da FBK la descrizione completa del metodo di calcolo del fattore k_c .

Producibilità dei pannelli fotovoltaici

Una delle procedure più complesse ha riguardato il calcolo dell'efficienza dei pannelli e della loro producibilità a m² al netto delle correzioni riguardanti le condizioni di irraggiamento precedentemente illustrate.

Le tipologie di pannelli e di celle fotovoltaiche presenti sul mercato sono innumerevoli ed in continua evoluzione, in particolar modo nel periodo attuale dove l'accelerazione in termini di transizione verso le fonti di energia rinnovabile è stata alimentata dal contesto internazionale. Con il supporto del gruppo del DICAM dell'Università di Trento con il quale APRIE sta collaborando, è stata analizzata la documentazione prodotta da NREL che ha valutato l'efficienza energetica delle diverse tecnologie e dei diversi prodotti commerciali attualmente sul mercato degli impianti fotovoltaici.



1

Si è scelto quindi di adottare un'efficienza media pari all'80% per tener conto di tecnologie in evoluzione ma anche della diversità di prodotti attualmente presenti sul mercato.

Per passare da produzione a potenza installabile, sono stati considerati i valori presenti dal punto di vista scientifico, ed in particolare quanto individuato dal GSE pari a 1050 kWh/kWp.

Ai fini dell'analisi si è però scelto di adoperare il valore standard di 1000 kWh/kWp come usualmente utilizzato a livello scientifico per il dimensionamento degli impianti.

Validazione del modello

Al fine di validare il modello proposto, FBK ha confrontato i dati sui rendimenti degli impianti fotovoltaici su un periodo esteso, confrontandoli con i valori dei 7 grandi impianti provinciali di cui sono disponibili i dati grazie al portale grandi impianti del GSE.

Riguardo al confronto tra i dati di produzione stimati dal modello e quelli dichiarati al GSE per i grandi impianti considerati, la resa del modello energetico risulta leggermente superiore rispetto agli impianti installati. Ciò è stato tuttavia ritenuto come valido considerando che gli

¹ <https://www.nrel.gov/pv/module-efficiency.html>

impianti sono stati installati quando l'efficienza dei pannelli era minore di quelli attualmente in commercio. Si rimanda al documento allegato per i dati di dettaglio. Le verifiche hanno quindi evidenziato una attendibile rispondenza del modello rispetto ai dati di produzione reali.

Anche con riguardo alla superficie da considerare, sono stati effettuati dei calcoli sulle coperture di alcuni comuni (Civezzano, Folgaria, Pergine, Rovereto e Trento) considerando la superficie delle coperture per la parte più soleggiata e quindi più facilmente utilizzabile. La percentuale di superficie considerata di interesse per l'installazione di fotovoltaico si attesta tra il 58 e il 66 % della superficie. Considerare un 60% di superficie risulta quindi verosimile per quanto riguarda le coperture.

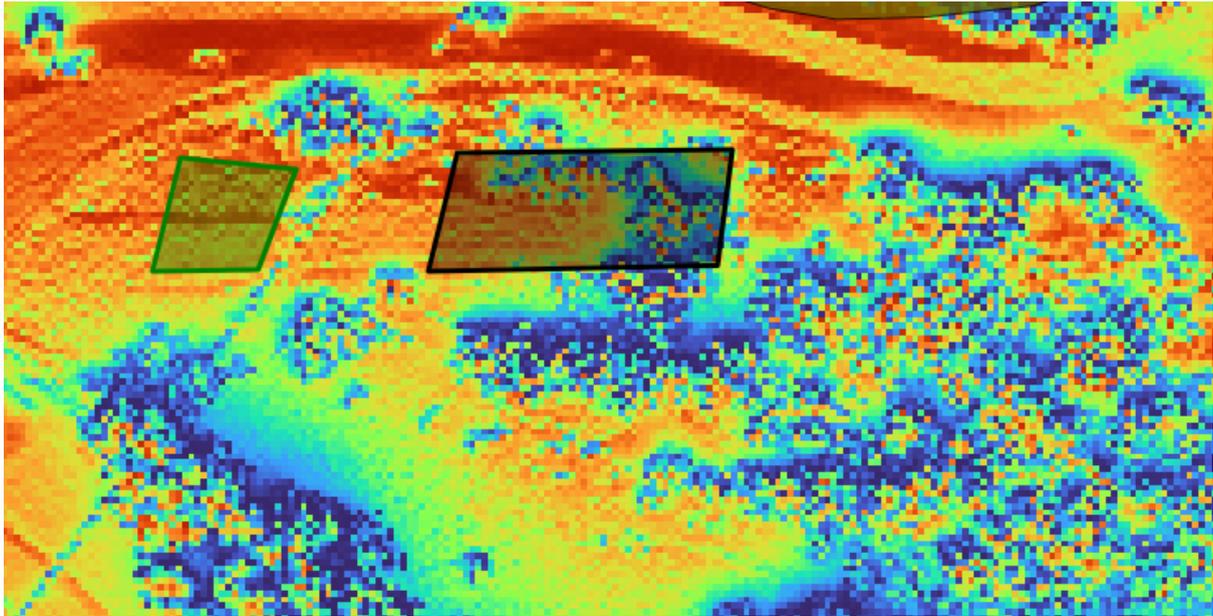
Punti di attenzione

Va specificato che il calcolo viene effettuato ipotizzando il pannello esattamente aderente alla superficie. Su un terreno piano si considera quindi che il pannello sia posto in orizzontale. Naturalmente ciò porta ad un valore teorico che in fase esecutiva può anche essere migliorato. Se i pannelli anziché essere posti in orizzontale sono orientati a sud ed inclinati di 30° la produzione sarà necessariamente maggiore di quella stimata dal modello. Se un terreno è pendente verso nord ma viene rimodellato per installare i pannelli, lo stesso potrà produrre di più. Ciò va valutato in fase esecutiva nella corretta progettazione e dimensionamento degli impianti.

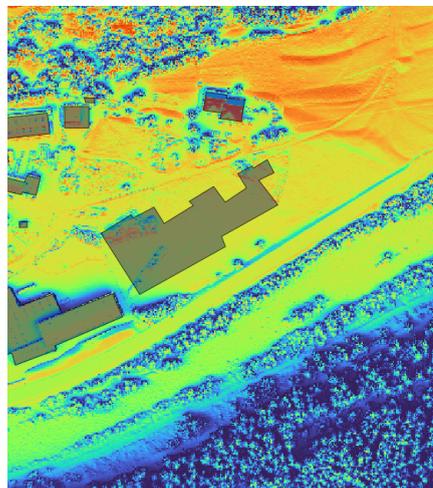


Come specificato in precedenza, i calcoli sono effettuati partendo dal modello digitale del territorio costituito dal volo Lidar commissionato dalla Provincia di Trento. Lo stato dei suoli e degli edifici nell'analisi è quindi quello ripreso dal volo. Nelle aree sono quindi compresi per esempio alberi, manufatti, strutture che in caso di installazione dell'impianto potrebbero subire modifiche.

Nell'esempio di seguito riportato, volendo installare un impianto nell'area a destra (nera) presumibilmente si elimineranno gli alberi che, nel modello, riducono di molto l'irraggiamento della superficie. Al fine di calcolare la potenza che tale impianto a terra, senza alberi, potrebbe avere, il progettista caso può calcolare il valore medio a metro quadro di una superficie analoga senza alberi (poligono verde a sinistra) e moltiplicare lo stesso per l'area della superficie in cui prevede l'intervento.



Un ulteriore punto di attenzione è rappresentato dalla discordanza tra gli edifici nelle ortofoto e quelli rilevati dal Lidar. I rilievi Lidar utilizzati come base del modello sono i più recenti a disposizione della PAT ma risalgono al 2014. Le ortofoto utilizzate sono quelle PAT 2015 e AGEA 2020. Per tener conto dell'evoluzione avvenuta tra il 2014 e il 2022, attraverso le ortofoto 2020 sono stati individuati gli edifici nuovi non presenti nel rilievo Lidar. Tuttavia l'irraggiamento di questi edifici è calcolato sempre sul modello Lidar pertanto non calcola l'effettiva forma, inclinazione e superficie del tetto ma calcola l'area del sedime dell'edificio sovrapposta al terreno precedentemente rilevato.



Esempio: come si vede dalle immagini, a sinistra nell'ortofoto 2015 non era presente il capannone che invece è stato considerato come edificio.

Poichè nemmeno il Lidar 2014 ha rilevato l'edificio, l'irraggiamento (a destra) è riferito al terreno senza l'edificio.

Considerata la mole dei dati e il fatto che questi edifici siano un numero ridotto rispetto al complessivo patrimonio edilizio considerato, visti anche i risultati e tenuto conto che si tratta probabilmente per la maggior parte dei casi di calcoli che vanno a sottostimare la reale producibilità, si ritiene di segnalare la discrepanza per doverosa correttezza metodologica, ma non per questo ritenere il modello ed i risultati meno attendibili.

Risultati a scala provinciale

Di seguito si riportano i risultati complessivi del modello riferiti alla scala provinciale dati dalla sommatoria delle risultanze dei singoli comuni trentini.

Superficie idonea e disponibile

Il modello solare ha misurato la superficie delle aree idonee considerate e la superficie delle coperture esistenti ricavandone, per ogni Comune, l'area disponibile per l'installazione di impianti fotovoltaici.

Come già precedentemente illustrato il sistema, grazie all'intelligenza artificiale, ha individuato, a partire dalle ortofoto, le superfici già occupate da pannelli fotovoltaici.

Ne derivano i seguenti risultati, dati dalla sommatoria delle aree dei singoli Comuni.

NB: il totale (sommatoria delle coperture e delle aree idonee) non corrisponde alla somma di "solo coperture" e "solo aree idonee" in quanto le coperture ricomprendono anche le costruzioni realizzate nelle aree idonee, mentre queste ultime considerano il perimetro indicato a livello urbanistico indipendentemente dalle costruzioni. Se quindi in un'area industriale vi è capannone, considerando le sole coperture viene conteggiato il tetto del capannone, considerando le aree idonee viene considerata tutta l'area incluso il capannone. la superficie del capannone è quindi conteggiata sia all'interno dell' area che come copertura. Il totale (coperture + aree idonee) conteggia correttamente la superficie del tetto una volta sola.

SUPERFICIE IDONEA* DISPONIBILE SUL TERRITORIO PROVINCIALE				
	TOTALE (COPERTURE + AREE IDONEE)	SOLO COPERTURE	SOLO AREE IDONEE	SUPERFICIE GIÀ OCCUPATA DA PANNELLI
m²	80.301.324,50	38.657.174,76	50.891.107,00	1.111.530,00
km²	80,30	38,66	50,89	1,11

* Si ricorda che dal calcolo sono escluse le aree idonee "strade" e le pertinenze delle costruzioni non rientranti nelle "aree idonee".

Considerato che la Provincia di Trento si estende su 6.200 km² di superficie e che la superficie idonea considerata è pari a 80,30 km² si evince che le superfici e le aree attualmente idonee all'installazione di impianti fotovoltaici rappresentano l'1,2% della superficie totale del territorio provinciale.

Potenziale fotovoltaico della provincia di Trento

Secondo i parametri precedentemente illustrati è stato quindi calcolato il potenziale di produzione fotovoltaica applicato alle superfici ed aree idonee considerate, in funzione della effettiva copertura solare delle stesse. Rispetto al dato teorico (superficie necessaria a 1 kW di potenza) ciò ha permesso di valutare l'effettivo irraggiamento delle singole superfici. Un tetto completamente a nord, per quanto idoneo ed esteso, produrrà meno di uno ben orientato. Un'area idonea ubicata in una valle ombreggiata non godrà di un apporto solare pari alla medesima area ubicata in uno spazio aperto e soleggiato.

Dalla sommatoria dei dati relativi ai singoli comuni, risulta un valore teorico di potenza fotovoltaica installabile pari a 9,5 GW, che corrispondono a una produzione di 7884,51 GWh di energia elettrica. Tale valore è stato calcolato considerando una copertura del 60% delle superfici disponibili (coperture e aree a terra) con pannelli fotovoltaici aventi efficienza dell'80%, applicando l'irraggiamento solare sulle medesime superfici, corretto con il fattore kc che tiene conto della "nuvolosità" del Comune in cui sono ubicate le superfici

La tabella di seguito presenta i dati di dettaglio considerando il totale, le sole coperture degli edifici e le sole aree idonee considerate nel modello solare.

	TOTALE		SOLO COPERTURE EDIFICI		SOLO AREE IDONEE	
	potenza nominale	prod. elettricità [GWh]	potenza nominale	prod. elettricità [GWh]	potenza nominale	prod. elettricità [GWh]
kW	9.502.775,34	7884,51	4.505.477,37	3869,79	6.047.105,40	4817,29
MW	9.502,78		4.505,48		6.047,11	
GW	9,50		4,51		6,05	

Ad oggi non sono ancora noti gli obiettivi che saranno richiesti alla Provincia di Trento, tuttavia, pur considerando le approssimazioni del caso e tenuto conto che il modello è comunque basato su un calcolo digitale, risulta che la provincia di Trento ha un notevole potenziale produttivo di energia da fonte rinnovabile sfruttabile utilizzando solo le coperture e le superfici ed aree idonee attualmente individuate in legge.

Anche utilizzando le sole coperture disponibili, senza l'uso di aree idonee o delle pertinenze, con tutta probabilità si raggiungerebbe ampiamente l'obiettivo. Tuttavia - al netto di alcune coperture industriali - l'uso dei soli tetti presuppone la costruzione di impianti di taglia medio-piccola da parte di privati, con un beneficio diretto per la quota autoconsumo, ma con un valore ottenuto dalla messa in rete che, per impianti medio piccoli, non ottimizza i costi di costruzione e di gestione/manutenzione.

Risultati a scala comunale

Va specificato che, rispetto al modello messo a disposizione nel webgis, che permette un calcolo preciso del valore di producibilità dell'area selezionata, i risultati presentati di seguito e nell'allegata tabella sono basati sulla media annua e sulla producibilità media delle

superfici considerate: per esempio per le sole coperture si considera la media della producibilità totale, considerando quindi falde a nord e falde a sud. Se poi, in fase di realizzazione dell'impianto, i pannelli fossero installati sulle sole falde a sud il singolo valore di producibilità del tetto potrebbe essere maggiore.

Le tabelle seguenti riportano i valori relativi all'irraggiamento solare, producibilità, potenza nominale, resa energetica e produzione di energia, descritti di seguito:

Irraggiamento solare [kWh/mq]

La quantità di energia solare che arriva sulla superficie analizzata. Ai fini di questo calcolo è stata considerata la media annua, tuttavia le tabelle comprendono il dato mese per mese.

Producibilità [kWh/mq]

Energia producibile in relazione al sole che arriva calcolata con la formula:

$$E = A * r * H * Pr$$

A= area totale dei pannelli

r= efficienza dei pannelli (20%)

H= irraggiamento globale

Pr= Performance Ratio (80%)

Potenza Nominale:

Potenza di un impianto fotovoltaico installabile sulla superficie, calcolata con la formula:

$$P_n = r * A * G_{stc}$$

G_{stc} = irraggiamento in condizioni standard (1000 W/mq)

Resa energetica [kWh/kW]

$$Y = Pr * H$$

Produzione elettrica [kWh]

$$E^* = P_n * Y$$

TOTALE = Totale tetti + totale aree idonee

In questa sezione si analizzano i risultati relativi alle coperture e alle aree idonee classificando i comuni in base alla producibilità, alla potenza installabile e mettendo i dati in relazione con i consumi per settore.

25 comuni con più irraggiamento solare e producibilità a m²

Riguardo alla producibilità energetica, i primi 25 comuni sono quelli che hanno la maggiore quota di irraggiamento solare e, di conseguenza, la maggiore producibilità a m². Il comune con aree più soleggiate è Pomarolo, seguito da Garniga Terme, Lavis, Nogaredo e Civezzano.

25 COMUNI CON MAGGIORE PRODUCIBILITÀ A METRO QUADRO totale superfici (coperture + aree idonee)						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]
POMAROLO	1.257,61	201,22	123.682	14.643,24	1.006,09	14.732,43
GARNIGA TERME	1.240,95	198,55	48.742	5.777,16	992,76	5.735,32
LAVIS	1.233,98	197,44	1.699.959	198.462,24	987,18	195.918,23
NOGAREDO	1.218,98	195,04	149.831	17.759,28	975,18	17.318,57
CIVEZZANO	1.217,46	194,79	450.883	53.385,12	973,97	51.995,52
TENNA	1.175,94	188,15	88.121	10.459,44	940,75	9.839,77
TRENTO	1.170,48	187,28	4.701.464	550.094,82	936,38	515.098,75
PERGINE VALSUGANA	1.164,30	186,29	2.369.192	277.972,92	931,44	258.915,27
SANT'ORSOLA TERME	1.161,90	185,90	150.915	17.855,76	929,52	16.597,28
SANZENO	1.152,81	184,45	200.384	23.728,08	922,24	21.883,08
MORI	1.148,39	183,74	1.480.850	175.700,76	918,71	161.417,88
GIOVO	1.142,60	182,82	338.963	40.312,32	914,08	36.848,60
CAVEDINE	1.138,67	182,19	428.383	50.558,16	910,94	46.055,40
NOMI	1.136,38	181,82	126.158	14.710,68	909,10	13.373,51

SAN MICHELE ADIGE	1.130,94	180,95	430.748	51.034,44	904,75	46.173,37
ALDENO	1.127,77	180,44	275.445	32.605,20	902,22	29.417,01
CALDONAZZO	1.127,34	180,37	456.573	54.137,88	901,87	48.825,45
VILLA LAGARINA	1.123,69	179,79	460.213	54.748,68	898,95	49.216,29
TERRE D'ADIGE	1.122,84	179,65	304.442	36.122,88	898,27	32.448,03
ANDALO	1.114,37	178,30	275.930	32.845,44	891,50	29.281,70
DRO	1.113,44	178,15	832.753	97.434,60	890,75	86.790,16
LUSERNA	1.110,94	177,75	106.174	12.730,68	888,75	11.314,38
VOLANO	1.110,48	177,68	296.090	35.064,84	888,38	31.150,93
MEZZOCORONA	1.107,89	177,26	1.413.395	166.750,68	886,31	147.793,34
RUMO	1.107,49	177,20	150.173	17.713,44	885,99	15.693,90

25 comuni con meno irraggiamento solare e producibilità a m²

Analogamente sono stati individuati i 25 comuni con meno irraggiamento solare e meno producibilità a m². Il comune con coperture ed aree idonee meno esposte è Valfloriana, seguito da Pelugo, Canal San Bovo, Borgo Lares e Lona Lases.

25 COMUNI CON MINORE PRODUCIBILITÀ A MQ totale superfici (coperture + aree idonee)						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]
VALFLORIANA	810,95	129,75	77.941	9.308,04	648,76	6.038,72
PELUGO	819,31	131,09	66.863	7.976,04	655,45	5.227,89
CANAL SAN BOVO	837,52	134,00	659.387	78.936,36	670,01	52.888,50
BORGO LARES	838,56	134,17	347.479	41.432,04	670,85	27.794,48
LONA LASES	838,91	134,22	605.236	72.313,08	671,12	48.531,08

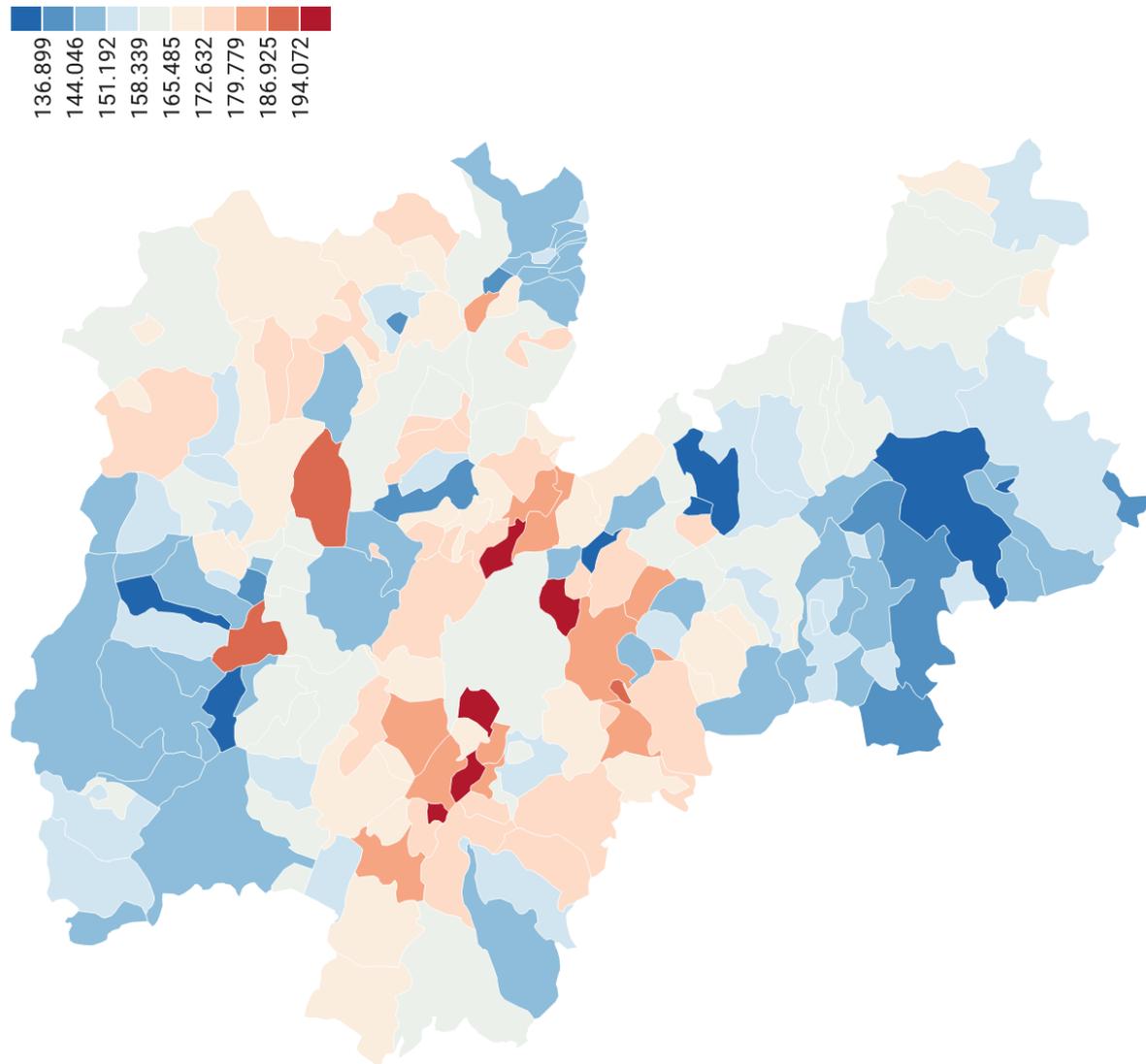
DAMBEL	855,88	136,94	87.361	10.415,88	684,70	7.131,79
SAGRON MIS	862,50	138,00	32.288	3.851,28	690,00	2.657,38
BOCENAGO	877,46	140,39	95.594	11.450,28	701,97	8.037,76
CASTELLO-MO LINA DI FIEMME	888,29	142,13	511.579	60.787,44	710,63	43.197,30
GRIGNO	892,74	142,84	1.213.044	145.393,80	714,19	103.839,40
SPORMAGGIO RE	895,35	143,26	173.962	20.679,36	716,28	14.812,28
CAVIZZANA	899,97	144,00	37.750	4.517,40	719,98	3.252,42
MOLVENO	900,81	144,13	197.388	23.344,56	720,64	16.823,14
BORGO CHIESE	903,24	144,52	1.059.629	125.743,20	722,59	90.861,19
TIONE TRENTO	905,81	144,93	484.144	57.097,20	724,65	41.375,46
SEGONZANO	912,07	145,93	295.425	35.146,56	729,66	25.644,95
PIEVE DI BONO PREZZO	912,12	145,94	288.501	34.265,16	729,70	25.003,19
MASSIMENO	914,30	146,29	21.107	2.526,72	731,44	1.848,15
IMER	918,46	146,95	332.938	39.725,40	734,77	29.188,91
SCURELLE	924,20	147,87	766.271	90.233,52	739,36	66.714,75
MEZZANO	927,50	148,40	322.007	38.380,32	742,00	28.478,07
SAN LORENZO DORSINO	927,90	148,46	337.121	39.850,92	742,32	29.582,27
SELLA GIUDICARIE	928,02	148,48	549.300	65.322,48	742,41	48.496,26
AMBLAR DON	931,18	148,99	131.143	15.219,72	744,95	11.337,89

Mappa della producibilità dei comuni trentini

Nella mappa di seguito è indicata la producibilità Wh/m² dei comuni trentini.

Comuni e producibilità totale aree idonee

Valore di producibilità totale delle aree (coperture + aree idonee) [Wh/mq]



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

25 comuni con più potenza installabile

Incrociando i dati di producibilità a m² con le superfici, si ottiene la potenza teoricamente installabile occupando tutte le aree (coperture + aree idonee) dei territori. I 25 comuni con più spazio per installare pannelli vedono al primo posto Trento, poi Rovereto, Predaia, Pergine Valsugana, Albiano e Arco.

25 COMUNI CON MAGGIORE POTENZA INSTALLABILE totale superfici (coperture + aree idonee)						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]
TRENTO	1.170,48	187,28	4.701.464	550.094,82	936,38	515.098,75
ROVERETO	1.103,02	176,48	3.965.451	469.098,12	882,42	413.940,20
PREDAIA	995,08	159,21	2.428.056	287.963,88	796,06	229.237,83
PERGINE VALSUGANA	1.164,30	186,29	2.369.192	277.972,92	931,44	258.915,27
ALBIANO	935,89	149,74	2.098.129	251.064,12	748,71	187.975,26
ARCO	1.075,21	172,03	2.050.183	243.936,84	860,17	209.827,45
ALA	1.012,94	162,07	1.735.982	205.626,96	810,35	166.629,81
LAVIS	1.233,98	197,44	1.699.959	198.462,24	987,18	195.918,23
MORI	1.148,39	183,74	1.480.850	175.700,76	918,71	161.417,88
MEZZOCORONA	1.107,89	177,26	1.413.395	166.750,68	886,31	147.793,34
RIVA DEL GARDA	1.023,34	163,73	1.354.086	160.695,96	818,67	131.557,22
LEVICO TERME	1.105,36	176,86	1.284.341	152.801,64	884,28	135.120,19
GRIGNO	892,74	142,84	1.213.044	145.393,80	714,19	103.839,40
MEZZOLOMBARDO	1.062,85	170,06	1.144.841	135.859,08	850,28	115.518,77
BORGO VALSUGANA	942,69	150,83	1.088.541	129.642,60	754,15	97.769,78
MADRUZZO	1.049,72	167,95	1.060.112	126.860,64	839,77	106.534,34
BORGO CHIESE	903,24	144,52	1.059.629	125.743,20	722,59	90.861,19

STORO	957,80	153,25	1.087.839	125.184,72	766,24	95.921,09
FORNACE	1.098,25	175,72	1.039.158	124.263,12	878,60	109.177,22
BASELGA DI PINÉ	1.095,58	175,29	1.039.808	123.874,08	876,46	108.571,27
LEDRO	939,15	150,26	953.299	112.355,52	751,32	84.414,80
CLES	1.063,53	170,16	895.973	104.712,84	850,82	89.091,98
CEMBRA LISIGNAGO	1.073,62	171,78	829.115	99.037,08	858,90	85.062,68
DRO	1.113,44	178,15	832.753	97.434,60	890,75	86.790,16

25 comuni con meno potenza installabile

Da tale analisi emerge che i comuni che hanno meno aree (tetti + aree idonee) e quindi meno potenza installabile sono comuni piccoli. Il comune con meno spazi è Massimeno seguito da Sagron Mis, Cavizzana, Vignola Falesina e Garniga Terme

25 COMUNI CON MAGGIORE POTENZA INSTALLABILE totale superfici (coperture + aree idonee)						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]
MASSIMENO	914,30	146,29	21.107	2.526,72	731,44	1,85
SAGRON MIS	862,50	138,00	32.288	3.851,28	690,00	2,66
CAVIZZANA	899,97	144,00	37.750	4.517,40	719,98	3,25
VIGNOLA FALESINA	932,23	149,16	38.712	4.614,96	745,78	3,44
GARNIGA TERME	1.240,95	198,55	48.742	5.777,16	992,76	5,74
CASTEL CONDINO	1.000,45	160,07	52.861	6.274,80	800,36	5,02
SFRUZ	1.087,39	173,98	63.628	7.569,72	869,91	6,58
CIMONE	1.035,80	165,73	64.364	7.584,00	828,64	6,28
PELUGO	819,31	131,09	66.863	7.976,04	655,45	5,23

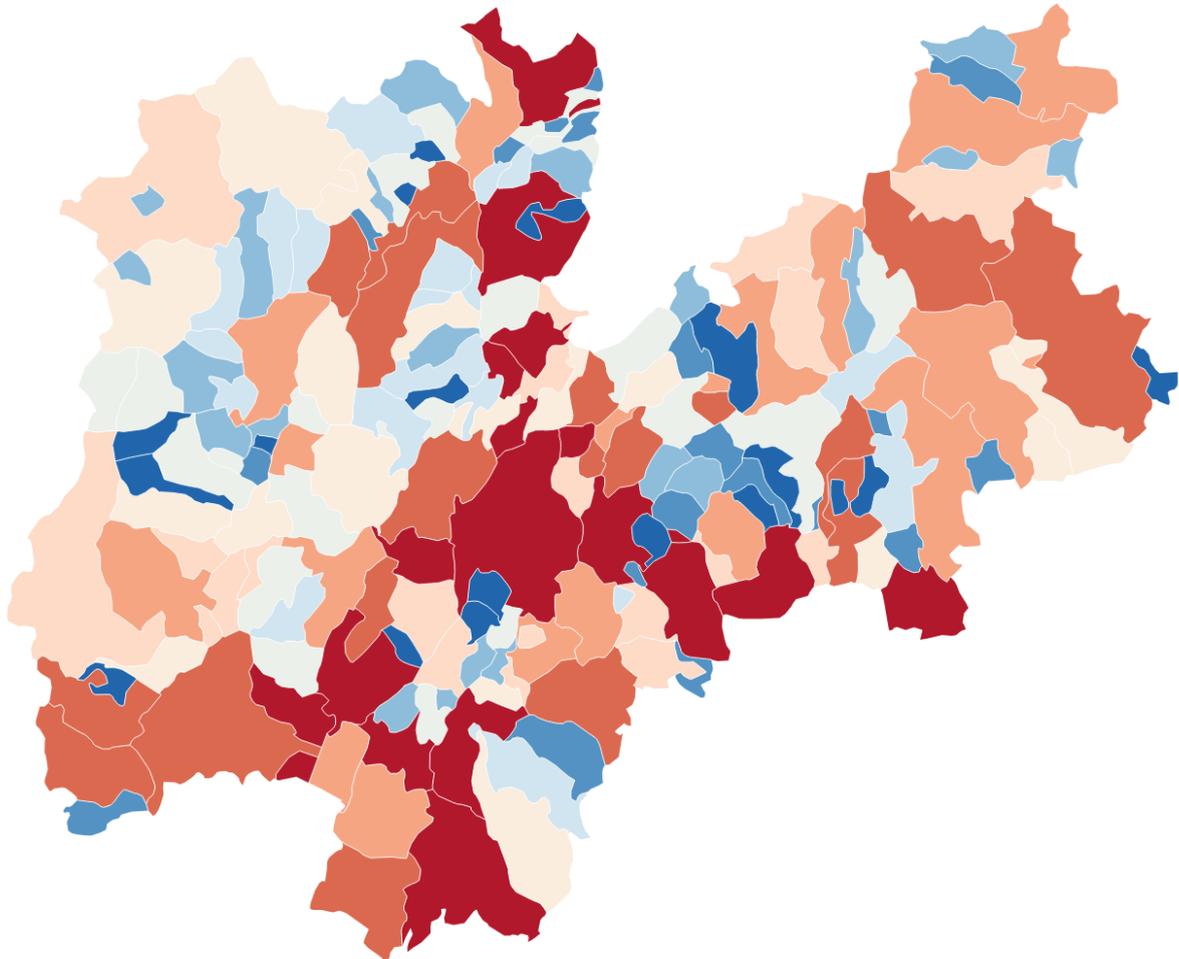
BIENO	943,06	150,89	67.218	8.029,44	754,45	6,06
CIS	1.019,32	163,09	71.525	8.502,48	815,46	6,93
SAMONE	972,94	155,67	75.187	8.750,04	778,36	6,81
TELVE DI SOPRA	983,51	157,36	77.246	9.227,76	786,81	7,26
VALFLORIANA	810,95	129,75	77.941	9.308,04	648,76	6,04
RONCHI VALSUGANA	1.035,14	165,62	78.847	9.343,32	828,11	7,74
DRENA	1.056,75	169,08	78.944	9.368,16	845,40	7,92
CAVEDAGO	1.068,28	170,92	81.936	9.768,00	854,62	8,35
FRASSILONGO	970,55	155,29	84.265	10.085,04	776,44	7,83
PALÙ DEL FERSINA	1.030,72	164,91	84.645	10.095,24	824,57	8,32
DAMBEL	855,88	136,94	87.361	10.415,88	684,70	7,13
RONZONE	951,04	152,17	88.848	10.447,92	760,83	7,95
TENNA	1.175,94	188,15	88.121	10.459,44	940,75	9,84
CINTE TESINO	970,85	155,34	88.014	10.461,48	776,68	8,13
CARZANO	1.074,23	171,88	89.095	10.471,92	859,38	9,00
BOCENAGO	877,46	140,39	95.594	11.450,28	701,97	8,04

Mappa della potenza installabile nei comuni trentini

Nella mappa di seguito è indicata la potenza installabile in kW, occupando tutte le coperture e tutte le aree idonee dei comuni trentini.

Comuni e potenza installabile

Valore di potenza installabile sul totale delle aree (tetti + aree idonee) [kW]



Fonte: PAT-APRIE+FBK • Creato con Datawrapper

Producibilità e consumi

L'energia potenzialmente prodotta coprendo tutte le coperture e tutte le aree idonee, è stata rapportata ai consumi nei tre settori: residenziale, commerciale/alberghiero e artigianale/industriale.

TOTALE TRENINO								
PRODUZIONE	CONSUMI							
da FV Totale Tetti + aree idonee	RESIDENZIALE		COMMERCIALE E ALBERGHI		INDUSTRIALE		TOTALE	
MWh	MWh	%	MWh	%	MWh	%	MWh	%
7.884.511,36	494.167,41	6,27	432.643,39	5,49	761.781,00	9,66	1.688.591,80	21,42

I dati suddivisi per Comune permettono di trovare i 25 comuni che riescono a consumare la maggior parte di energia prodotta. Il Comune che riesce a consumare la maggior parte di energia potenzialmente prodotta dal Fotovoltaico è Storo che assorbe la maggior parte di energia grazie ai consumi industriali. A seguire ci sono i comuni di Borgo Valsugana, Ledro, Calceranica al Lago e Ossana.

25 COMUNI CON PIÙ ALTO CONSUMO LOCALE DELL'ENERGIA PRODUCIBILE totale superfici (coperture + aree idonee)									
COMUNE	PRODUZIONE	CONSUMI							
	da FV Totale Tetti + aree idonee	TOTALI		RESIDENZIALE		COMM. E ALB.		INDUSTRIALE	
	MWh	MWh	%	MWh	%	MWh	%	MWh	%
STORO	95.921,09	77.237,86	80,52	4.304,80	4,49	5.716,81	5,96	67.216,25	70,07
BORGO VALSUGANA	97.769,78	69.019,22	70,59	5.824,62	5,96	10.681,52	10,93	52.513,08	53,71
LEDRO	84.414,80	54.432,54	64,48	5.750,76	6,81	3.696,42	4,38	44.985,36	53,29

CALCERANICA AL LAGO	18.542,51	11.933,30	64,36	1.294,36	6,98	1.311,99	7,08	9.326,95	50,30
S. GIOVANNI DI FASSA	49.659,40	29.896,91	60,20	4.872,08	9,81	16.661,01	33,55	8.363,82	16,84
TRENTO	515.098,75	270.736,41	52,56	100.359,85	19,48	80.868,20	15,70	89.508,36	17,38
OSSANA	19.084,79	9.889,52	51,82	1.030,37	5,40	862,04	4,52	7.997,11	41,90
CAMPITELLO DI FASSA	13.428,72	6.112,04	45,51	1.072,76	7,99	4.317,84	32,15	721,44	5,37
CAVALESE	39.062,74	17.469,17	44,72	4.738,42	12,13	10.617,76	27,18	2.112,99	5,41
CASTELLO TESINO	32.868,85	14.600,83	44,42	912,84	2,78	1.814,43	5,52	11.873,56	36,12
CANAZEI	46.062,02	20.435,00	44,36	2.316,77	5,03	11.382,84	24,71	6.735,39	14,62
ANDALO	29.281,70	12.630,64	43,13	1.274,50	4,35	10.773,50	36,79	582,64	1,99
COMANO TERME	58.099,48	24.682,67	42,48	3.169,40	5,46	4.810,06	8,28	16.703,21	28,75
TIONE DI TRENTO	41.375,46	17.432,61	42,13	3.263,16	7,89	5.069,92	12,25	9.099,53	21,99
MEZZOCORONA	147.793,34	57.816,20	39,12	4.543,85	3,07	1.947,73	1,32	51.324,62	34,73
PINZOLO	64.113,26	21.895,21	34,15	5.569,10	8,69	16.140,32	25,17	185,79	0,29
PRIMIERO S. M. DI C.	74.346,24	24.734,39	33,27	5.945,80	8,00	15.086,93	20,29	3.701,66	4,98
MOLVENO	16.823,14	5.585,72	33,20	8,82	0,05	4.711,89	28,01	865,01	5,14
ARCO	209.827,45	69.342,87	33,05	15.337,87	7,31	13.478,90	6,42	40.526,10	19,31
VOLANO	31.150,93	9.728,36	31,23	2.614,89	8,39	761,45	2,44	6.352,02	20,39
ROVERETO	413.940,20	128.675,91	31,09	32.640,67	7,89	27.868,66	6,73	68.166,58	16,47
CALDONAZZO	48.825,45	14.683,56	30,07	3.422,69	7,01	2.262,05	4,63	8.998,82	18,43
MOENA	46.502,69	13.078,68	28,12	4.175,77	8,98	6.875,38	14,78	2.027,53	4,36
MALÉ	31.491,64	8.545,64	27,14	2.053,31	6,52	5.618,94	17,84	873,38	2,77
CLES	89.091,98	24.054,98	27,00	6.229,32	6,99	2.954,66	3,32	14.871,00	16,69

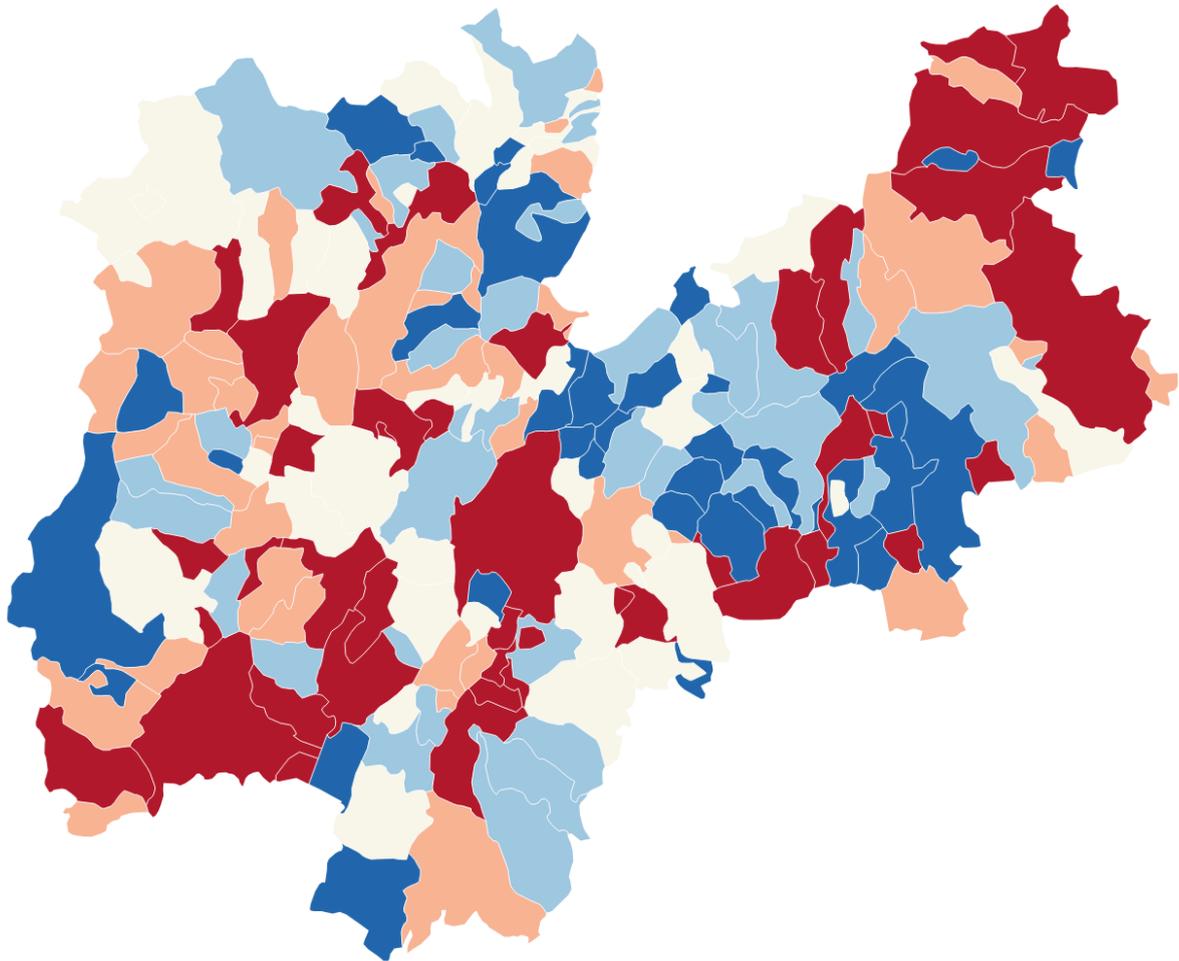
Trento è invece il comune che più riuscirebbe a consumare nel settore residenziale (19,48%) seguito da Riva del Garda (15,71%), Giustino(14,85%), Pomarolo (14,29%) e Cavalese (12,13%). Per il settore commerciale/alberghiero il comune che consumerebbe più energia prodotta è Andalo (36,79%) seguito da San Giovanni di Fassa (33,55%) e Campitello di Fassa (32,15%), Molveno (28,01%) e Cavalese (27,18%); Riguardo invece i consumi

industriali i cinque comuni che consumerebbero più energia fotovoltaica corrispondono ai primi cinque della tabella dei consumi totali.

% consumo energia producibile

Per ogni comune, rispetto all'energia teoricamente prodotta usando coperture e aree idonee si calcola la % di energia consumabile dalle utenze locali

■ < 8% ■ 8%–10% ■ 10%–14% ■ 14%–23% ■ ≥ 23%



Fonte: PAT-APRIE+FBK • Creato con Datawrapper

Solo coperture

La presente sezione analizza i dati relativi alle sole coperture degli edifici.

25 Comuni con più irraggiamento sulle sole coperture

Analizzando i dati, risulta che il comune che ha le coperture degli edifici meglio esposte, e che quindi può avere una producibilità a metro quadro maggiore, è il comune di Lavis, seguito da Civezzano, Pomarolo, Garniga Terme e Nogaredo.

25 COMUNI CON MAGGIORE PRODUCIBILITÀ A METRO QUADRO solo coperture							
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]	Aree pannellate [m ²]
LAVIS	1.277,37	204,38	731.864	82.290,84	1.021,90	84,09	46.107
CIVEZZANO	1.264,36	202,30	246.434	28.851,24	1.011,49	29,18	6.007
POMAROLO	1.263,79	202,21	99.480	11.739,00	1.011,03	11,87	1.655
GARNIGA TERME	1.244,42	199,11	44.065	5.215,92	995,54	5,19	599
NOGAREDO	1.239,83	198,37	109.172	12.880,20	991,86	12,78	1.837
FORNACE	1.228,57	196,57	97.888	11.310,72	982,86	11,12	3.632
TRENTO	1.207,84	193,25	2.579.807	295.495,98	966,27	285,53	117.340
TENNA	1.203,06	192,49	77.267	9.156,96	962,45	8,81	959
SANT'ORSOLA TERME	1.198,31	191,73	104.248	12.255,72	958,65	11,75	2.117
GIOVO	1.195,77	191,32	148.111	17.410,08	956,62	16,65	3.027
PERGINE VALSUGANA	1.189,62	190,34	1.301.180	149.811,48	951,69	142,57	52.751
LUSERNA	1.183,46	189,35	36.245	4.339,20	946,77	4,11	85
SAN MICHELE ALL'ADIGE	1.179,57	188,73	232.195	27.208,08	943,66	25,68	5.461
TERRE D'ADIGE	1.175,34	188,05	150.087	17.600,28	940,27	16,55	3.418
CALDONAZZO	1.174,70	187,95	295.281	34.782,84	939,76	32,69	5.424

MORI	1.172,59	187,61	519.636	60.355,08	938,07	56,62	16.677
ALDENO	1.171,37	187,42	156.839	18.372,48	937,10	17,22	3.735
CAMPODENNO	1.163,14	186,10	147.814	17.256,12	930,52	16,06	4.013
SANZENO	1.161,73	185,88	114.561	13.429,32	929,39	12,48	2.650
NOMI	1.160,05	185,61	75.521	8.634,24	928,04	8,01	3.569
VILLALAGARINA	1.158,18	185,31	245.114	28.936,80	926,54	26,81	3.974
VOLANO	1.154,74	184,76	183.912	21.603,48	923,79	19,96	3.883
BRESIMO	1.152,00	184,32	44.483	5.318,52	921,60	4,90	162
DRO	1.150,27	184,04	338.294	38.099,52	920,21	35,06	20.798
CAVEDINE	1.148,85	183,82	242.266	28.224,12	919,08	25,94	7.065

25 comuni con meno irraggiamento

Analogamente, i 25 comuni con meno irraggiamento (e quindi meno producibilità) sulle coperture esistenti vedono Pelugo come comune con le costruzioni più ombreggiate, seguito da Valfloriana, Borgo Lares, Canal San Bovo e Sagron Mis.

25 COMUNI CON MINORE PRODUCIBILITÀ A METRO QUADRO solo coperture							
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]	Aree pannellate [m ²]
PELUGO	828,60	132,58	40.370	4.796,88	662,88	3.179,76	396
VALFLORIANA	860,60	137,70	52.583	6.265,08	688,48	4.313,40	374
BORGOLARES	865,33	138,45	109.736	12.902,88	692,27	8.932,22	2.212
CANAL SAN BOVO	865,42	138,47	252.475	30.106,92	692,33	20.844,06	1.584
SAGRON MIS	867,20	138,75	28.071	3.345,24	693,76	2.320,79	194
CAVIZZANA	898,65	143,78	21.136	2.523,72	718,92	1.814,36	105
CASTELLOMOLINA DI FIEMME	899,45	143,91	199.694	23.361,24	719,56	16.809,84	5.017

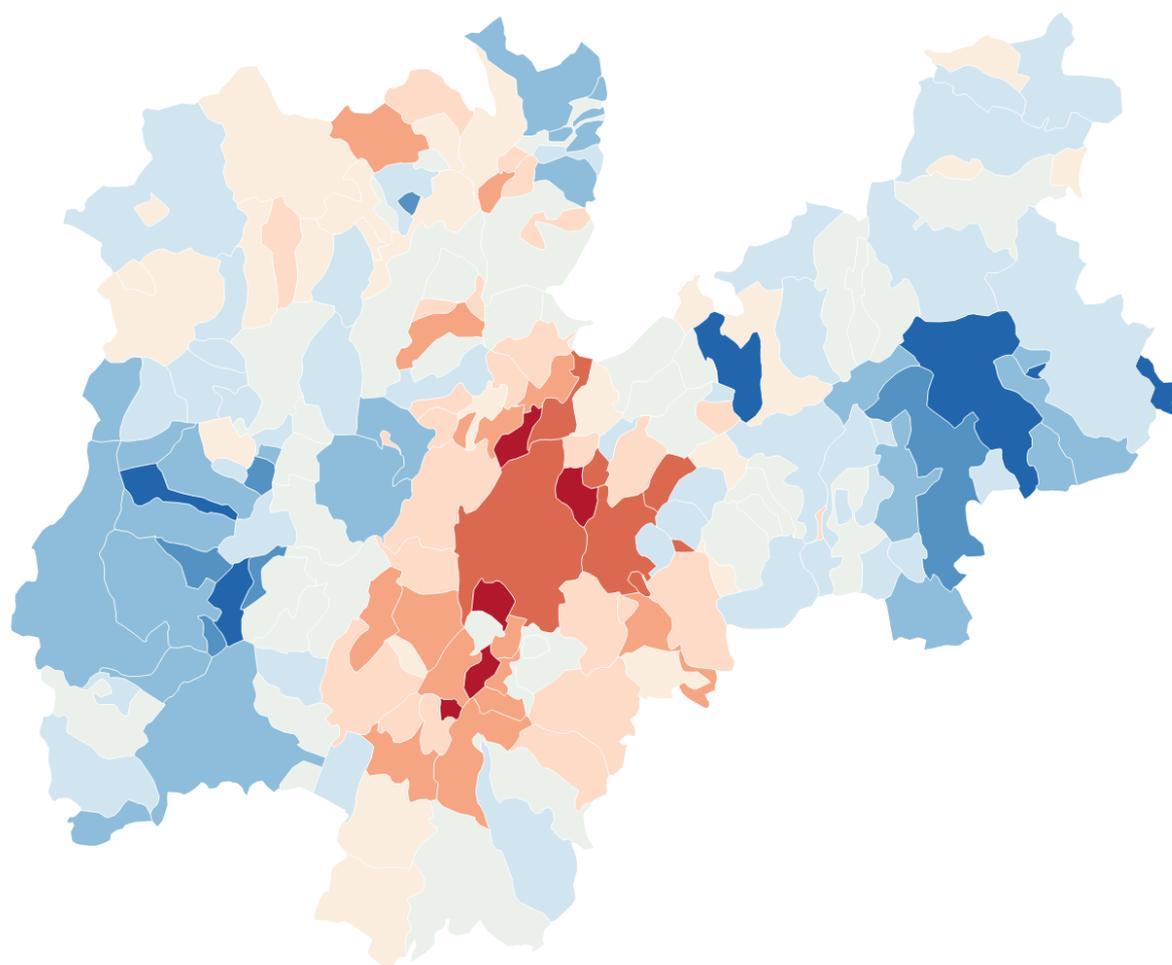
BOCENAGO	899,83	143,97	53.921	6.449,52	719,86	4.642,77	175
TIONE DI TRENTO	916,50	146,64	334.300	39.115,92	733,20	28.679,71	8.334
PIEVE DI BONO PREZZO	928,79	148,61	187.376	22.130,16	743,03	16.443,45	2.958
MOLVENO	937,87	150,06	100.659	11.737,08	750,30	8.806,29	2.850
BORGO CHIESE	939,77	150,36	334.282	38.701,56	751,82	29.096,53	11.769
RUFFRÈ MENDOLA	941,31	150,61	71.963	8.410,56	753,05	6.333,57	1.875
MASSIMENO	942,07	150,73	18.518	2.216,04	753,66	1.670,14	51
GRIGNO	943,55	150,97	341.911	40.857,84	754,84	30.841,03	1.429
SELLA GIUDICARIE	944,23	151,08	311.473	36.783,24	755,38	27.785,51	4.946
SPIAZZO	945,90	151,34	168.848	19.839,36	756,72	15.012,80	3.520
SAN LORENZO DORSINO	947,58	151,61	172.573	20.105,16	758,06	15.240,95	5.030
PIEVE TESINO	948,94	151,83	120.361	14.170,56	759,15	10.757,64	2.273
MEZZANO	950,78	152,12	186.937	22.171,92	760,62	16.864,51	2.171
RONZONE	951,35	152,22	64.161	7.485,48	761,08	5.697,02	1.782
LEDRO	952,66	152,43	576.381	67.125,36	762,13	51.158,34	17.003
VALDAONE	953,26	152,52	144.375	17.104,08	762,61	13.043,75	1.841
IMER	957,42	153,19	119.878	14.158,20	765,94	10.844,30	1.893
PORTE DI RENDENA	958,81	153,41	212.151	24.999,72	767,05	19.175,95	3.820

Mappa della producibilità delle sole coperture

Di seguito è riportata in una mappa del Trentino, la producibilità delle sole coperture, Comune per Comune.

Comuni e producibilità delle coperture

Valore di producibilità delle coperture degli edifici esistenti [Wh/mq]



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

25 comuni con più potenza installabile sui tetti

Proseguendo, si è andati ad individuare quali siano i primi 25 comuni per potenza installabile sulle coperture esistenti. Il dato vede in testa il comune di Trento, seguito da Rovereto, Pergine Valsugana, Arco e Riva del Garda. Si rileva come tali comuni siano i più grandi (e quindi i più edificati) della provincia.

25 COMUNI CON MAGGIORE POTENZA INSTALLABILE							
solo coperture							
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]	Aree pannellate [m ²]
TRENTO	1.207,84	193.253,63	2.579.807	295.495,98	966,27	285.528,40	117.340
ROVERETO	1.147,18	183.548,54	1.970.618	229.718,16	917,74	210.822,16	56.300
PERGINE VALSUGANA	1.189,62	190.338,61	1.301.180	149.811,48	951,69	142.574,55	52.751
ARCO	1.099,43	175.909,18	1.139.509	134.655,96	879,55	118.436,10	17.376
RIVA DEL GARDA	1.035,59	165.693,81	918.668	108.445,80	828,47	89.843,99	14.953
PREDAIA	1.048,13	167.700,15	737.008	85.038,12	838,50	71.304,53	28.357
LAVIS	1.277,37	204.379,95	731.864	82.290,84	1.021,90	84.092,99	46.107
LEVICO TERME	1.125,01	180.002,09	673.605	79.513,32	900,01	71.562,82	10.994
ALA	1.037,97	166.075,89	624.235	72.217,28	830,38	59.967,75	22.424
LEDRO	952,66	152.426,27	576.381	67.125,36	762,13	51.158,34	17.003
BORGO VALSUGANA	967,16	154.745,64	564.186	66.720,00	773,73	51.623,15	8.186
PRIMIERO - SAN	974,41	155.906,08	550.602	65.042,88	779,53	50.702,90	8.578

MARTINO DI CASTROZZA							
CLES	1.075,74	172.117,97	528.675	60.637,08	860,59	52.183,66	23.366
MORI	1.172,59	187.614,24	519.636	60.355,08	938,07	56.617,36	16.677
STORO	991,16	158.585,91	546.007	60.164,88	792,93	47.706,51	44.633
MEZZOLOMBARDO	1.111,91	177.905,22	492.382	57.564,00	889,53	51.204,68	12.682
PINZOLO	1.051,02	168.162,48	478.991	56.802,84	840,81	47.760,53	5.634
VILLE D'ANAUNIA	1.040,52	166.482,58	461.925	53.922,96	832,41	44.886,17	12.567
BASELGA DI PINÉ	1.132,75	181.240,59	445.570	52.565,52	906,20	47.635,03	7.524
MEZZOCORONA	1.127,07	180.330,79	436.632	49.539,12	901,65	44.667,14	23.806
PREDAZZO	977,62	156.419,11	402.195	46.658,04	782,10	36.491,05	13.378
FOLGARIA	1.111,46	177.833,20	394.424	46.645,56	889,17	41.475,65	5.711
NOVELLA	1.089,11	174.257,53	382.645	44.626,80	871,29	38.882,78	10.755
BRENTONICO	1.067,79	170.846,27	376.546	44.174,28	854,23	37.735,05	8.427
SAN GIOVANNI DI FASSA	1.004,77	160.763,73	364.299	42.945,60	803,82	34.520,47	6.419

25 comuni con meno potenza installabile sui tetti

Analogamente è stato verificato il dato per i comuni con meno potenza installabile sui tetti. Esse corrispondono con i comuni più piccoli e quindi vedono al primo posto Massimeno seguito da Cavizzana, Vignola Falesina Sagron Mis e Cis

25 COMUNI CON MINORE POTENZA INSTALLABILE solo coperture							
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]	Aree pannellate [m ²]
MASSIMENO	942,07	150,73	18.518	2.216,04	753,66	1.670,14	51
CAVIZZANA	898,65	143,78	21.136	2.523,72	718,92	1.814,36	105
VIGNOLA FALESINA	978,20	156,51	26.047	3.095,16	782,56	2.422,14	254
SAGRON MIS	867,20	138,75	28.071	3.345,24	693,76	2.320,79	194
CIS	1.027,88	164,46	34.032	4.003,32	822,31	3.291,96	671
LUSERNA	1.183,46	189,35	36.245	4.339,20	946,77	4.108,23	85
PALÙ DEL FERSINA	1.060,98	169,76	40.045	4.743,24	848,78	4.025,99	518
PELUGO	828,60	132,58	40.370	4.796,88	662,88	3.179,76	396
CASTEL CONDINO	1.072,84	171,65	42.052	4.940,88	858,27	4.240,62	878
CAPRIANA	999,93	159,99	41.802	4.947,72	799,94	3.957,88	571
DAMBEL	1.108,49	177,36	42.155	4.991,16	886,79	5.771,11	562
GARNIGA TERME	1.244,42	199,11	44.065	5.215,92	995,54	5.192,66	599
BRESIMO	1.046,44	167,43	45.061	5.267,64	837,15	4.409,82	1.164
CIMONE	1.152,00	184,32	44.483	5.318,52	921,60	4.901,54	162
SFRUZ	1.100,78	176,12	47.934	5.686,44	880,62	5.007,62	547
DRENA	989,40	158,30	50.278	5.760,96	791,52	4.559,93	2.270
SAMONE	1.068,07	170,89	50.010	5.896,08	854,46	5.037,96	876
VALFLORIANA	860,60	137,70	52.583	6.265,08	688,48	4.313,40	374

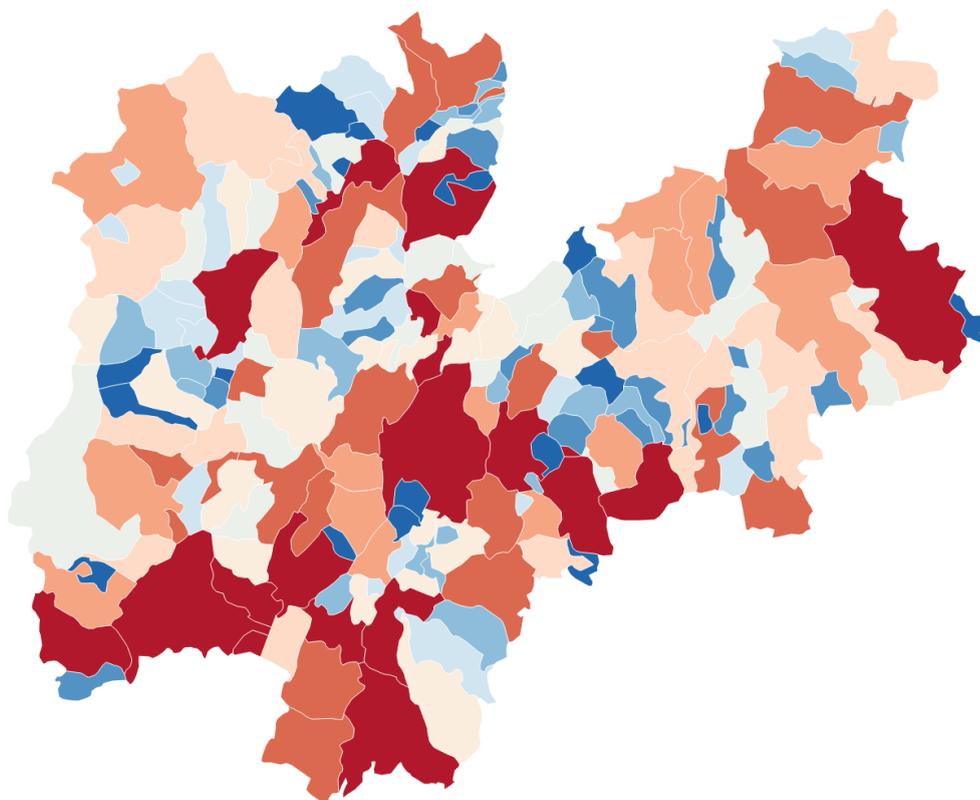
BIENO	969,20	155,07	52.729	6.290,76	775,36	4.877,60	306
BOCENAGO	899,83	143,97	53.921	6.449,52	719,86	4.642,77	175
CROVIANA	1.069,76	171,16	56.495	6.507,84	855,81	5.569,45	2.263
CAVEDAGO	1.101,08	176,17	56.679	6.737,16	880,87	5.934,53	536
BONDONE	961,43	153,83	58.415	6.883,92	769,14	5.294,71	1.049
RONCHI VALSUGANA	1.029,12	164,66	60.012	7.083,12	823,30	5.831,51	986
CINTE TESINO	980,73	156,92	61.075	7.228,80	784,58	5.671,60	835

Mappa della potenza installabile sulle sole coperture

Di seguito una rappresentazione, comune per comune, della potenza installabile sulle coperture degli edifici.

Comuni e potenza installabile sulle coperture

valore di potenza installabile sulle coperture degli edifici [kW]



Fonte: PAT- APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

Produzione e consumi degli edifici per categoria

Collegare in GIS il dato delle categorie degli edifici

Solo aree idonee

In questa sezione si evidenziano i risultati dell'analisi solare, relativamente alle sole aree idonee.

25 comuni con più irraggiamento solare e producibilità sulle aree idonee

Con riguardo alle sole aree idonee sono stati selezionati i 25 comuni con più irraggiamento solare relativamente alle aree idonee e maggior valore di producibilità. Ancora una volta a primo posto c'è il comune di Pomarolo, seguito da Cimone, Lavis, Vermiglio e Garniga Terme.

25 COMUNI CON MAGGIORE PRODUCIBILITÀ A METRO QUADRO						
solo aree idonee						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m²]	Producibilità [kWh/m²]	Area [m²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione e Elettricità [MWh]
POMAROLO	1.239,55	198,33	24.191	2.902,92	991,64	2,88
CIMONE	1.183,83	189,41	19.633	2.355,96	947,07	2,23
LAVIS	1.180,27	188,84	1.375.293	160.389,00	944,21	151,44
VERMIGLIO	1.175,75	188,12	119.103	14.292,36	940,60	13,44
GARNIGA TERME	1.167,34	186,77	5.334	640,08	933,87	0,60
ALTAVALLE	1.162,62	186,02	117.742	14.050,92	930,09	13,07
ROVERÈ DELLA LUNA	1.152,04	184,33	297.295	35.467,68	921,63	32,69
CIVEZZANO	1.140,88	182,54	232.953	27.807,48	912,70	25,38
NOGAREDO	1.136,99	181,92	55.343	6.638,64	909,59	6,04
RONCHI VALSUGANA	1.136,80	181,89	19.061	2.287,32	909,44	2,08
ISERA	1.134,15	181,46	92.592	11.051,04	907,32	10,03
PERGINE VALSUGANA	1.132,56	181,21	1.275.089	148.821,96	906,04	134,84
GIOVO	1.128,36	180,54	197.899	23.711,76	902,69	21,40
NOMI	1.121,95	179,51	58.651	6.830,16	897,56	6,13
MEZZOCORONA	1.115,40	178,46	1.163.634	137.391,24	892,32	122,60

SOVER	1.114,46	178,31	29.746	3.564,48	891,56	3,18
VILLALAGARINA	1.113,11	178,10	286.265	34.004,40	890,49	30,28
CAVEDINE	1.110,21	177,63	222.590	26.710,80	888,17	23,72
COMMEZZADURA	1.108,42	177,35	87.693	10.521,60	886,73	9,33
PELLIZZANO	1.097,77	175,64	29.413	3.528,72	878,22	3,10
TRENTO	1.096,06	175,37	5.564.371	661.784,16	876,85	580,28
MALE	1.083,33	173,33	114.340	13.316,04	866,67	11,54
BASELGA DI PINÈ	1.077,53	172,41	623.637	74.747,16	862,03	64,43
MORI	1.076,08	172,17	1.053.672	125.275,56	860,87	107,85
TERZOLAS	1.075,66	172,11	67.770	8.111,88	860,53	6,98

25 comuni con meno irraggiamento e producibilità nelle sole aree idonee

25 COMUNI CON MINORE PRODUCIBILITÀ A METRO QUADRO solo aree idonee						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione e Elettricità [MWh]
VIGNOLA FALESINA	635,38	101,66	12.779	1.533,48	508,30	0,78
VALFLORIANA	677,83	108,45	25.070	3.008,40	542,27	1,63
FIEROZZO	682,34	109,17	27.855	3.339,00	545,87	1,82
DAMBEL	723,39	115,74	45.303	5.436,36	578,71	3,15
SAGRON MIS	764,87	122,38	4.389	526,68	611,90	0,32
MEZZANA	782,96	125,27	57.528	6.903,36	626,36	4,32
TRAMBILENO	783,17	125,31	108.242	12.989,04	626,53	8,14
MASSIMENO	783,63	125,38	2.147	257,64	626,90	0,16

SPORMAGGIORE	798,44	127,75	79.150	9.459,72	638,76	6,04
BRESIMO	800,39	128,06	153.520	18.422,40	640,31	11,80
GRIGNO	801,56	128,25	871.133	104.535,96	641,25	67,03
CASTELTESINO	803,70	128,59	172.288	20.652,60	642,96	13,28
BIENO	805,30	128,85	15.150	1.818,00	644,24	1,17
MEZZANO	809,15	129,46	169.171	20.188,68	647,32	13,07
LONA LASES	818,57	130,97	552.361	66.063,60	654,86	43,26
CAMPITELLO DI FASSA	821,98	131,52	35.237	4.224,24	657,59	2,78
SEGONZANO	832,34	133,17	179.886	21.459,24	665,87	14,29
CANAL SAN BOVO	834,92	133,59	422.480	50.666,16	667,93	33,84
VALDAONE	835,16	133,63	231.080	27.726,00	668,13	18,52
IMER	836,60	133,86	236.291	28.204,56	669,28	18,88
BORGOCHIESE	839,27	134,28	877.933	104.571,84	671,42	70,21
BOCENAGO	841,07	134,57	42.918	5.150,16	672,86	3,47
CASTELIVANO	853,06	136,49	488.381	58.605,72	682,45	40,00
DIMAROFOLGARIDA	865,91	138,55	514.969	61.796,28	692,73	42,81
SELLAGIUDICARIE	866,85	138,70	271.343	32.461,32	693,48	22,51

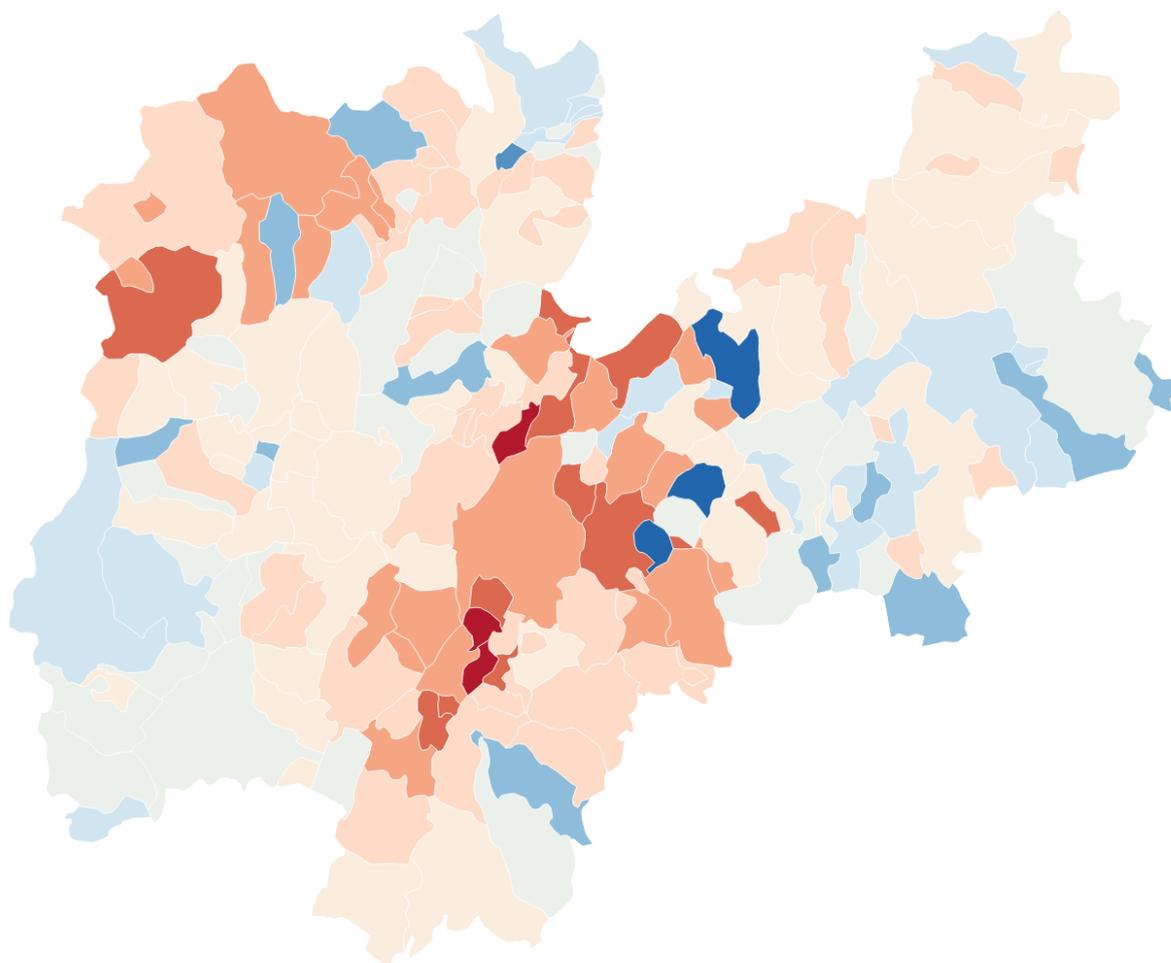
Mapa della producibilità delle aree idonee

Di seguito è riportata in una mappa del Trentino, la producibilità delle aree idonee, Comune per Comune.

Comuni e producibilità delle aree idonee

Valore di producibilità delle aree idonee [Wh/mq]

VALUE



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

25 comuni con più potenza installabile nelle aree idonee

Sempre con riguardo alle aree idonee, si è andati ad individuare quali siano i primi 25 comuni per potenza installabile su dette aree esistenti.

25 COMUNI CON MAGGIORE POTENZA INSTALLABILE solo aree idonee						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]
TRENTO	1.096,06	175,37	5.564.371	661.784,16	876,85	580,28
ROVERETO	1.037,05	165,93	2.649.109	312.960,72	829,64	259,65
ALBIANO	881,12	140,98	1.996.596	239.043,48	704,89	168,50
PREDAIA	965,65	154,50	1.778.687	212.642,40	772,52	164,27
LAVIS	1.180,27	188,84	1.375.293	160.389,00	944,21	151,44
ARCO	1.029,44	164,71	1.298.789	155.385,24	823,55	127,97
ALA	941,37	150,62	1.302.877	154.379,28	753,09	116,26
PERGINE VALSUGANA	1.132,56	181,21	1.275.089	148.821,96	906,04	134,84
MEZZOCORONA	1.115,40	178,46	1.163.634	137.391,24	892,32	122,60
MORI	1.076,08	172,17	1.053.672	125.275,56	860,87	107,85
FORNACE	1.035,45	165,67	959.289	114.981,72	828,36	95,25
BORGO CHIESE	839,27	134,28	877.933	104.571,84	671,42	70,21
GRIGNO	801,56	128,25	871.133	104.535,96	641,25	67,03
MADRUZZO	967,72	154,83	843.265	101.102,04	774,17	78,27
MEZZOLOMBARDO	973,04	155,69	809.302	95.892,48	778,43	74,65
CEMBRA LISIGNAGO	1.063,01	170,08	673.984	80.728,68	850,40	68,65
LEVICO TERME	1.065,06	170,41	675.472	80.428,44	852,04	68,53
STORO	898,35	143,74	691.003	80.056,20	718,68	57,53
BORGO	912,41	145,99	643.409	77.034,60	729,93	56,23

VALSUGANA						
SCURELLE	895,41	143,27	652.192	76.716,72	716,33	54,95
BASELGA DI PINÈ	1.077,53	172,41	623.637	74.747,16	862,03	64,43
RIVA DEL GARDA	995,00	159,20	598.246	71.507,88	796,00	56,92
LONA LASES	818,57	130,97	552.361	66.063,60	654,86	43,26
DRO	1.069,34	171,09	555.204	65.251,20	855,47	55,82
DIMARO FOLGARIDA	865,91	138,55	514.969	61.796,28	692,73	42,81

25 comuni con meno potenza installabile nelle aree idonee

Sempre con riguardo alle aree idonee, si è andati ad individuare quali siano i 25 comuni con minore potenza installabile su dette aree esistenti.

25 COMUNI CON MINORE POTENZA INSTALLABILE						
solo aree idonee						
COMUNE	Irraggiamento Solare [kWh/m ²]	Producibilità [kWh/m ²]	Area [m ²]	Potenza Nominale [kW]	Resa Energetica [kWh/kW]	Produzione Elettricità [MWh]
MASSIMENO	783,63	125,38	2.147	257,64	626,90	0,16
SAGRON MIS	764,87	122,38	4.389	526,68	611,90	0,32
GARNIGA TERME	1.167,34	186,77	5.334	640,08	933,87	0,60
TENNA	1.035,92	165,75	11.050	1.326,00	828,74	1,10
CASTEL CONDINO	957,51	153,20	11.063	1.327,56	766,01	1,02
VIGNOLA FALESINA	635,38	101,66	12.779	1.533,48	508,30	0,78
FRASSILONGO	879,68	140,75	14.954	1.794,48	703,74	1,26
BIENO	805,30	128,85	15.150	1.818,00	644,24	1,17
TELVE DI	869,25	139,08	15.705	1.884,60	695,40	1,31

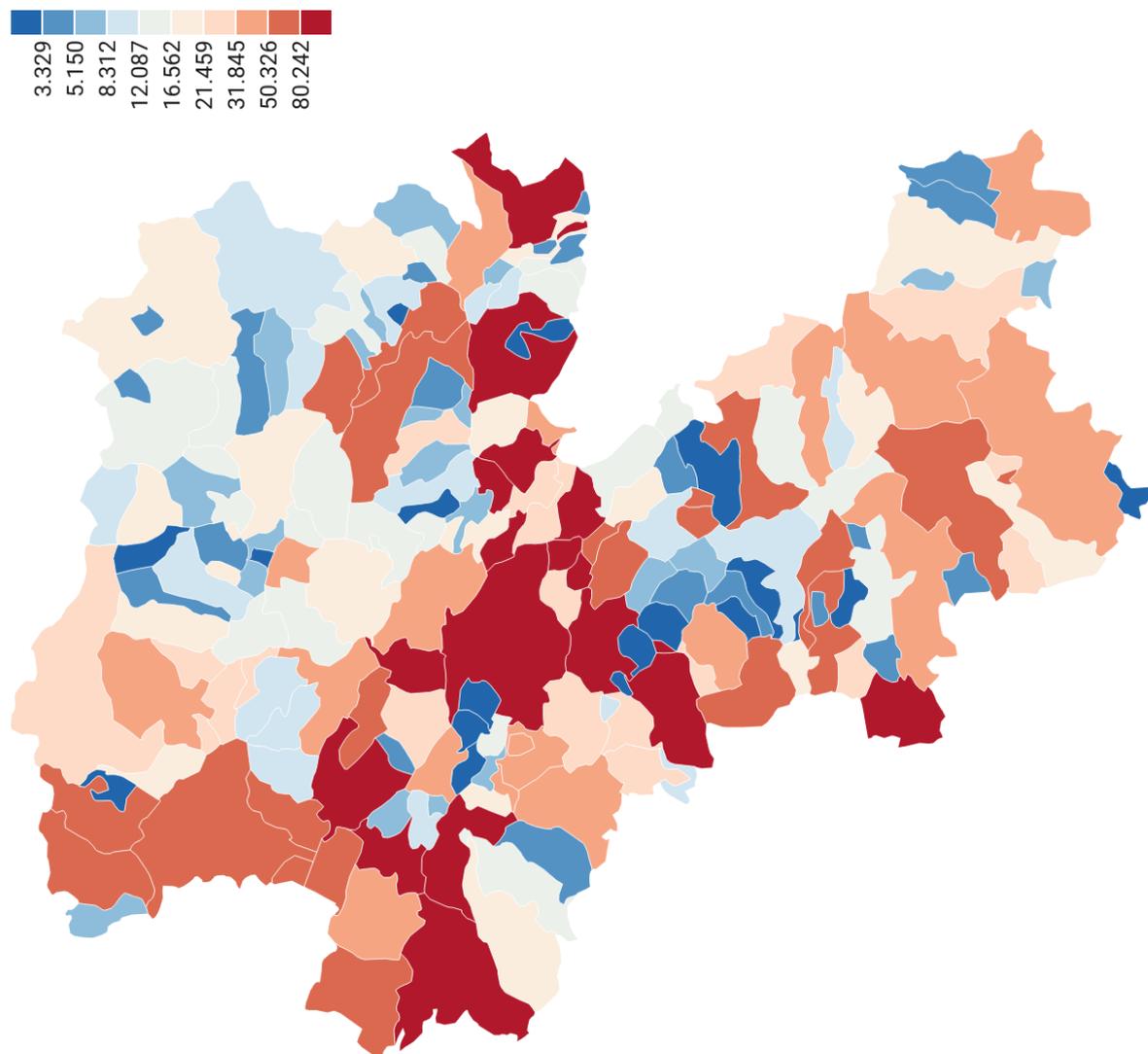
SOPRA						
SFRUZ	1.050,95	168,15	16.970	2.036,40	840,76	1,71
CAVIZZANA	916,80	146,69	17.611	2.112,48	733,44	1,55
RONCHI VALSUGANA	1.136,80	181,89	19.061	2.287,32	909,44	2,08
CIMONE	1.183,83	189,41	19.633	2.355,96	947,07	2,23
POMAROLO	1.239,55	198,33	24.191	2.902,92	991,64	2,88
VALFLORIANA	677,83	108,45	25.070	3.008,40	542,27	1,63
CAVEDAGO	996,43	159,43	26.715	3.205,80	797,14	2,56
CARZANO	977,04	156,33	27.728	3.327,36	781,63	2,60
RONZONE	905,71	144,91	27.759	3.331,08	724,56	2,41
FIEROZZO	682,34	109,17	27.855	3.339,00	545,87	1,82
SAMONE	946,75	151,48	29.705	3.462,84	757,40	2,62
PELLIZZANO	1.097,77	175,64	29.413	3.528,72	878,22	3,10
MAZZIN	1.029,70	164,75	29.554	3.544,20	823,76	2,92
SOVER	1.114,46	178,31	29.746	3.564,48	891,56	3,18
TERRAGNOLO	1.011,35	161,82	30.486	3.658,32	809,08	2,96
PELUGO	884,86	141,58	30.993	3.711,12	707,89	2,63

Mappa della potenza installabile nelle aree idonee

Di seguito è riportata in una mappa del Trentino, la potenza installabile in Kw nelle aree idonee, Comune per Comune.

Comuni e potenza installabile nelle aree idonee

Valore di potenza installabile nelle aree idonee [kW]



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

Comuni e Superfici idonee

Attraverso il database provinciale sono stati individuati i 25 comuni con più superfici idonee e i 25 comuni con meno superfici idonee.

I dati sono stati individuati sia come sommatoria di edifici ed aree, sia singolarmente (solo edifici, solo aree).

I dati di superficie idonea sono stati poi confrontati con la superficie complessiva del Comune, per ottenere la percentuale di superficie idonea rapportata alle dimensioni del territorio.

25 Comuni con più superficie idonea (edifici + aree)

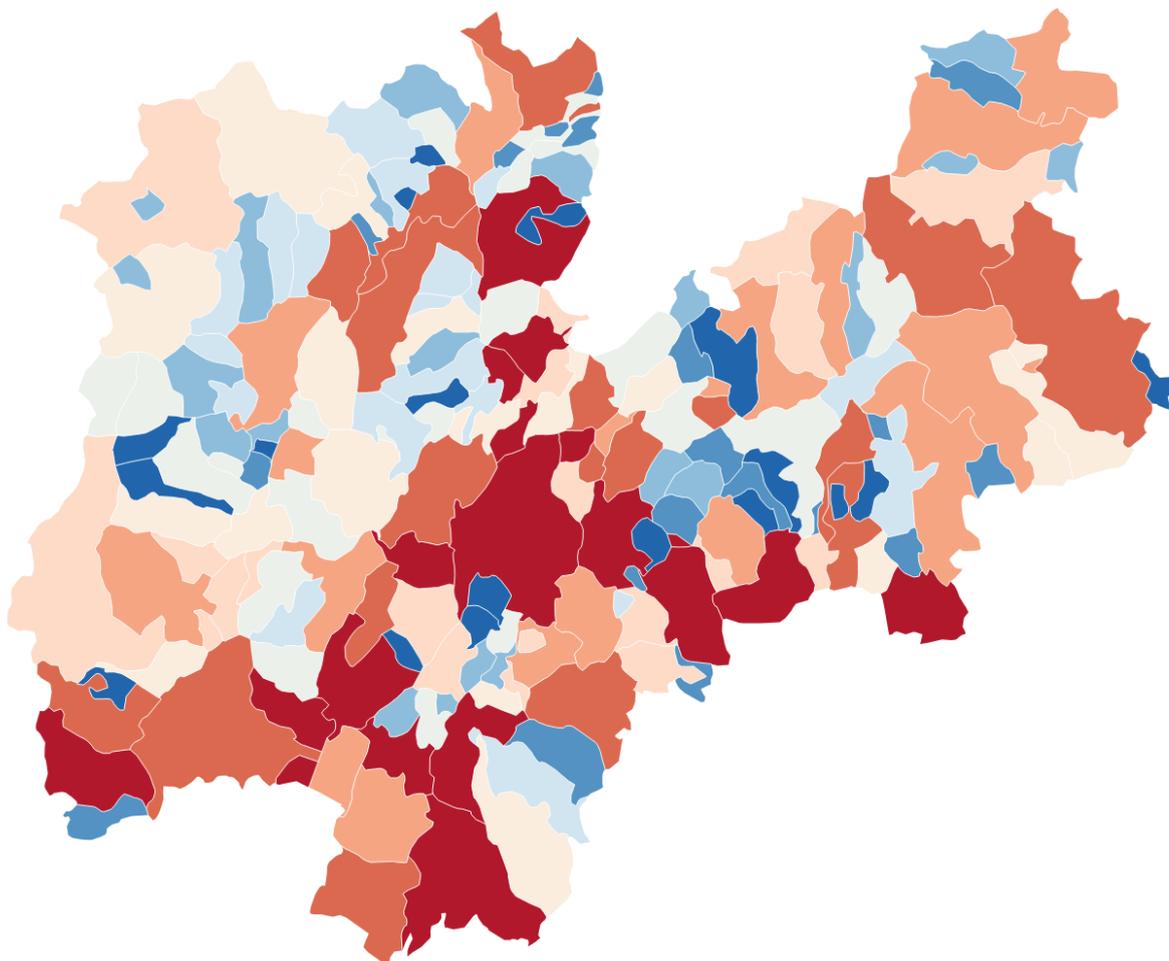
COMUNE	m²	km²
TRENTO	4.701.463,50	4,70
ROVERETO	3.965.451,00	3,97
PREDAIA	2.428.056,00	2,43
PERGINE VALSUGANA	2.369.192,00	2,37
ALBIANO	2.098.129,00	2,10
ARCO	2.050.183,00	2,05
ALA	1.735.982,00	1,74
LAVIS	1.699.959,00	1,70
MORI	1.480.850,00	1,48
MEZZOCORONA	1.413.395,00	1,41
RIVA DEL GARDA	1.354.086,00	1,35
LEVICO TERME	1.284.341,00	1,28
GRIGNO	1.213.044,00	1,21
MEZZOLOMBARDO	1.144.841,00	1,14
BORGIO VALSUGANA	1.088.541,00	1,09
STORO	1.087.839,00	1,09
MADRUZZO	1.060.112,00	1,06
BORGIO CHIESE	1.059.629,00	1,06
BASELGA DI PINÉ	1.039.808,00	1,04
FORNACE	1.039.158,00	1,04
LEDRO	953.299,00	0,95
CLES	895.973,00	0,90
DRO	832.753,00	0,83
CEMBRA-LISIGNAGO	829.115,00	0,83
VILLE D'ANAUNIA	810.607,00	0,81

25 Comuni con meno superficie idonea (edifici + aree)

COMUNE	m²	km²
MASSIMENO	21.107,00	0,02
SAGRON MIS	32.288,00	0,03
CAVIZZANA	37.750,00	0,04
VIGNOLA FALESINA	38.712,00	0,04
GARNIGA TERME	48.742,00	0,05
CASTEL CONDINO	52.861,00	0,05
SFRUZ	63.628,00	0,06
CIMONE	64.364,00	0,06
PELUGO	66.863,00	0,07
BIENO	67.218,00	0,07
CIS	71.525,00	0,07
SAMONE	75.187,00	0,08
TELVE DI SOPRA	77.246,00	0,08
VALFLORIANA	77.941,00	0,08
RONCHI VALSUGANA	78.847,00	0,08
DRENA	78.944,00	0,08
CAVEDAGO	81.936,00	0,08
FRASSILONGO	84.265,00	0,08
PALÙ DEL FERSINA	84.645,00	0,08
DAMBEL	87.361,00	0,09
CINTE TESINO	88.014,00	0,09
TENNA	88.121,00	0,09
RONZONE	88.848,00	0,09
CARZANO	89.095,00	0,09
BOCENAGO	95.594,00	0,10

Comuni e superficie idonea

Superficie idonea (coperture + aree idonee) comune per comune [mq]



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

25 Comuni con più superficie sui tetti

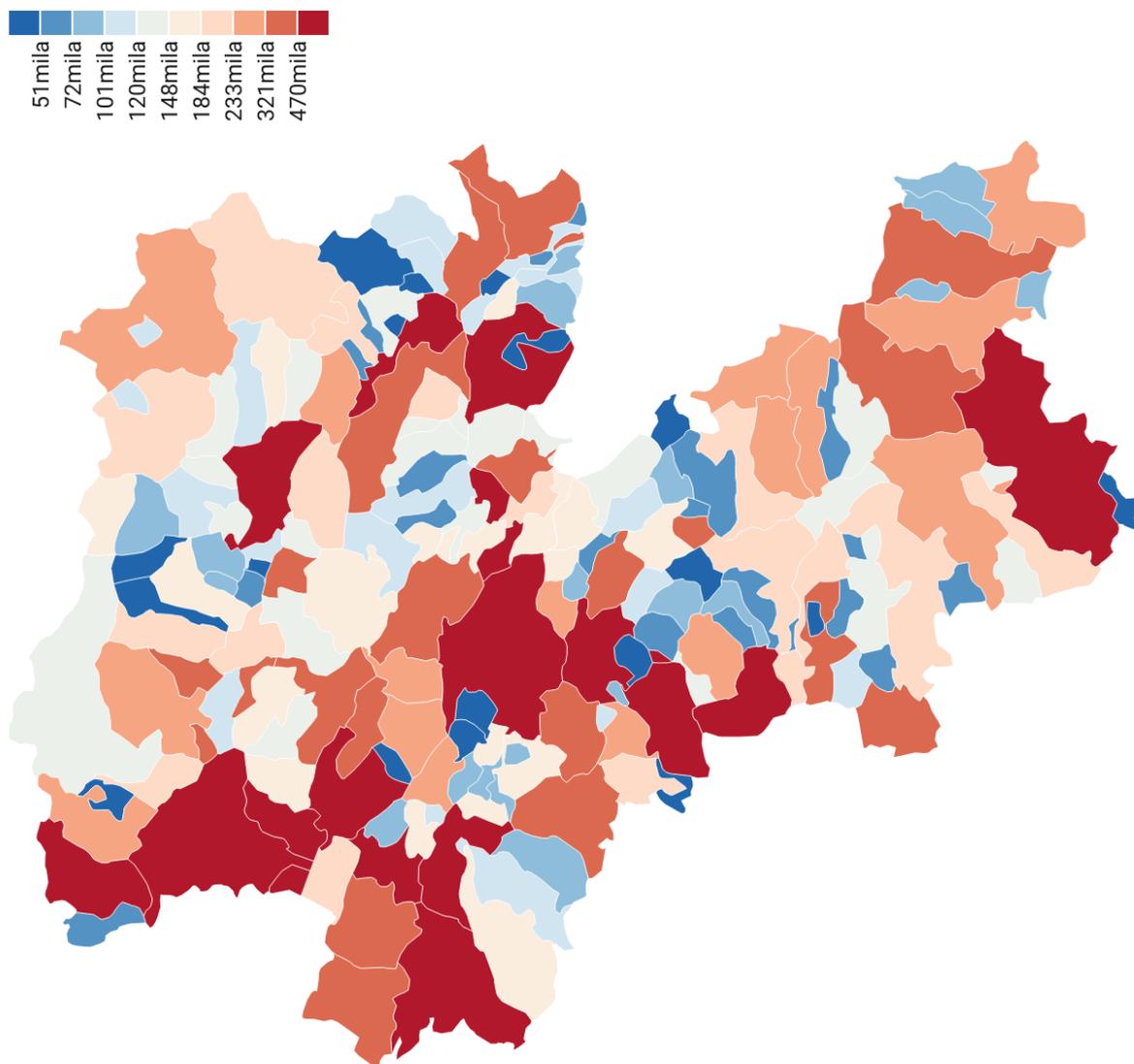
COMUNE	m ²	km ²
TRENTO	2.579.806,50	2,58
ROVERETO	1.970.618,00	1,97
PERGINE VALSUGANA	1.301.180,00	1,30
ARCO	1.139.509,00	1,14
RIVA DEL GARDA	918.668,00	0,92
PREDAIA	737.008,00	0,74
LAVIS	731.864,00	0,73
LEVICO TERME	673.605,00	0,67
ALA	624.234,67	0,62
LEDRO	576.381,00	0,58
BORGO VALSUGANA	564.186,00	0,56
PRIMIERO-SAN MARTINO DI CASTROZZA	550.602,00	0,55
STORO	546.007,00	0,55
CLES	528.675,00	0,53
MORI	519.636,00	0,52
MEZZOLOMBARDO	492.382,00	0,49
PINZOLO	478.991,00	0,48
VILLE D'ANAUNIA	461.925,00	0,46
BASELGA DI PINÉ	445.570,00	0,45
MEZZOCORONA	436.632,00	0,44
PREDAZZO	402.195,00	0,40
FOLGARIA	394.424,00	0,39
NOVELLA	382.645,00	0,38
BRENTONICO	376.546,00	0,38
AVIO	373.251,00	0,37

25 Comuni con meno superficie sui tetti

COMUNE	m²	km²
MASSIMENO	18.518,00	0,02
CAVIZZANA	21.136,00	0,02
VIGNOLA FALESINA	26.047,00	0,03
SAGRON MIS	28.071,00	0,03
CIS	34.032,00	0,03
LUSERNA	36.245,00	0,04
PALÙ DEL FERSINA	40.045,00	0,04
PELUGO	40.370,00	0,04
CASTEL CONDINO	41.802,00	0,04
CAPRIANA	42.052,00	0,04
DAMBEL	42.155,00	0,04
GARNIGA TERME	44.065,00	0,04
BRESIMO	44.483,00	0,04
CIMONE	45.061,00	0,05
SFRUZ	47.934,00	0,05
DRENA	50.010,00	0,05
SAMONE	50.278,00	0,05
VALFLORIANA	52.583,00	0,05
BIENO	52.729,00	0,05
BOCENAGO	53.921,00	0,05
CROVIANA	56.495,00	0,06
CAVEDAGO	56.679,00	0,06
BONDONE	58.415,00	0,06
RONCHI VALSUGANA	60.012,00	0,06
CINTE TESINO	61.075,00	0,06

Comuni e area coperture

Area sulla copertura delle costruzioni, comune per comune [mq]



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

25 Comuni con più aree idonee

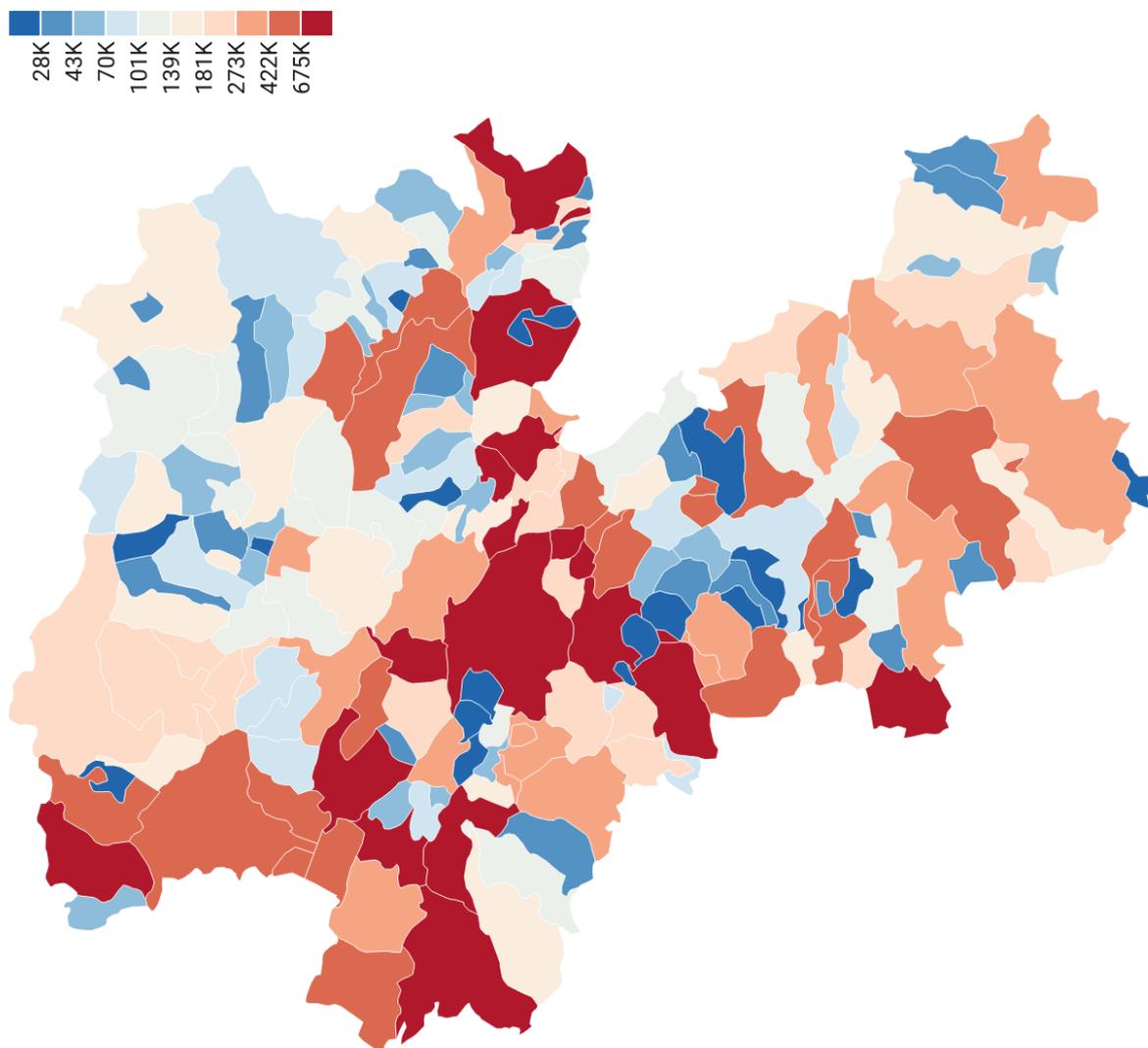
COMUNE	m ²	km ²
TRENTO	5.564.371,00	5,56
ROVERETO	2.649.109,00	2,65
ALBIANO	1.996.596,00	2,00
PREDAIA	1.778.687,00	1,78
LAVIS	1.375.293,00	1,38
ALA	1.302.877,00	1,30
ARCO	1.298.789,00	1,30
PERGINE VALSUGANA	1.275.089,00	1,28
MEZZOCORONA	1.163.634,00	1,16
MORI	1.053.672,00	1,05
FORNACE	959.289,00	0,96
BORGO CHIESE	877.933,00	0,88
GRIGNO	871.133,00	0,87
MADRUZZO	843.265,00	0,84
MEZZOLOMBARD O	809.302,00	0,81
STORO	691.003,00	0,69
LEVICO TERME	675.472,00	0,68
CEMBRA LISIGNAGO	673.984,00	0,67
SCURELLE	652.192,00	0,65
BORGO VALSUGANA	643.409,00	0,64
BASELGA DI PINÉ	623.637,00	0,62
RIVA DEL GARDA	598.246,00	0,60
DRO	555.204,00	0,56
LONA LASES	552.361,00	0,55
DIMARO-FOLGARI DA	514.969,00	0,51

25 Comuni con meno aree idonee

COMUNE	m ²	km ²
MASSIMENO	2.147,00	0,00
SAGRON MIS	4.389,00	0,00
GARNIGA TERME	5.334,00	0,01
TENNA	11.050,00	0,01
CASTEL CONDINO	11.063,00	0,01
VIGNOLA FALESINA	12.779,00	0,01
FRASSILONGO	14.954,00	0,01
BIENO	15.150,00	0,02
TELVE DI SOPRA	15.705,00	0,02
SFRUZ	16.970,00	0,02
CAVIZZANA	17.611,00	0,02
RONCHI VALSUGANA	19.061,00	0,02
CIMONE	19.633,00	0,02
POMAROLO	24.191,00	0,02
VALFLORIANA	25.070,00	0,03
CAVEDAGO	26.715,00	0,03
CARZANO	27.728,00	0,03
RONZONE	27.759,00	0,03
FIEROZZO	27.855,00	0,03
PELLIZZANO	29.413,00	0,03
MAZZIN	29.554,00	0,03
SAMONE	29.705,00	0,03
SOVER	29.746,00	0,03
TERRAGNOLO	30.486,00	0,03
PELUGO	30.993,00	0,03

Superficie delle aree idonee

Superficie delle aree idonee, comune per comune [mq]



Source: PAT-APRIE + FBK • Created with Datawrapper

25 Comuni con più superficie occupata da fotovoltaico sui tetti

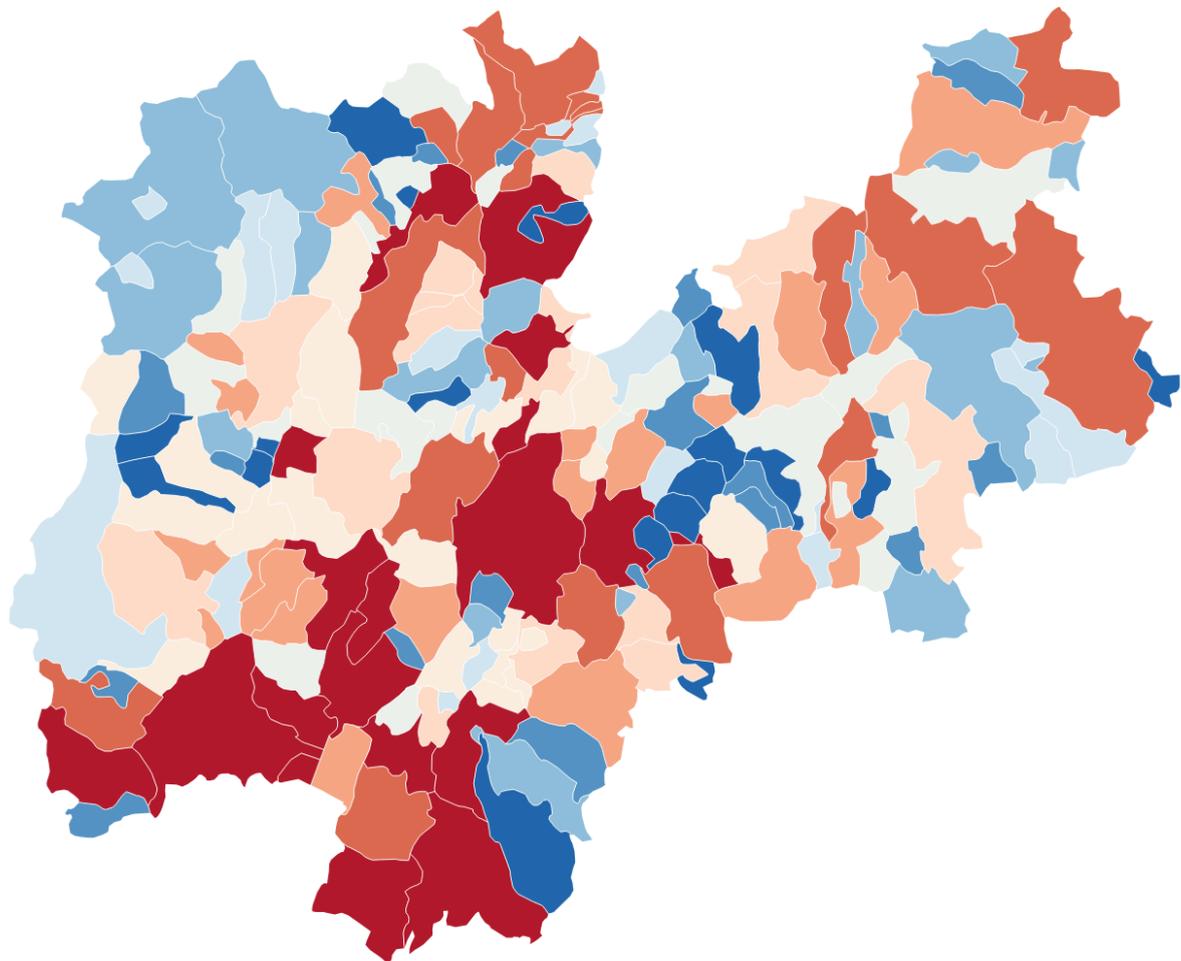
COMUNE	m ²
TRENTO	117.340
ROVERETO	56.300
PERGINE VALSUGANA	52.751
LAVIS	46.107
STORO	44.633
PREDAIA	28.357
COMANO TERME	24.491
MEZZOCORONA	23.806
CLES	23.366
ALA	22.424
DRO	20.798
NOVALEDO	20.260
AVIO	19.381
ARCO	17.376
LEDRO	17.003
MORI	16.677
RIVA DEL GARDA	14.953
SCURELLE	14.325
TESERO	13.705
PREDAZZO	13.378
BORGIO D' ANAUNIA	12.694
MEZZOLOMBARDO	12.682
VILLE D'ANAUNIA	12.567
BORGIO CHIESE	11.769
LEVICO TERME	10.994

25 Comuni con meno superficie occupata da fotovoltaico sui tetti

COMUNE	m ²
MASSIMENO	51
LUSERNA	85
CAVIZZANA	105
BRESIMO	162
BOCENAGO	175
SAGRON MIS	194
FRASSILONGO	223
VIGNOLA FALESINA	254
BIENO	306
TELVE DI SOPRA	348
VALLARSA	365
VALFLORIANA	374
PELUGO	396
FIEROZZO	495
PALÙ DEL FERSINA	518
CAVEDAGO	536
SFRUZ	547
DAMBEL	562
CASTEL CONDINO	571
TERRAGNOLO	573
GARNIGA TERME	599
CIS	671
TORCEGNO	802
STREMBO	815
CINTE TESINO	835

Superficie di fotovoltaico installato sulle coperture

Impianti fotovoltaici installati sulle coperture al 2020 (da riconoscimento tramite ortofoto) [mq]



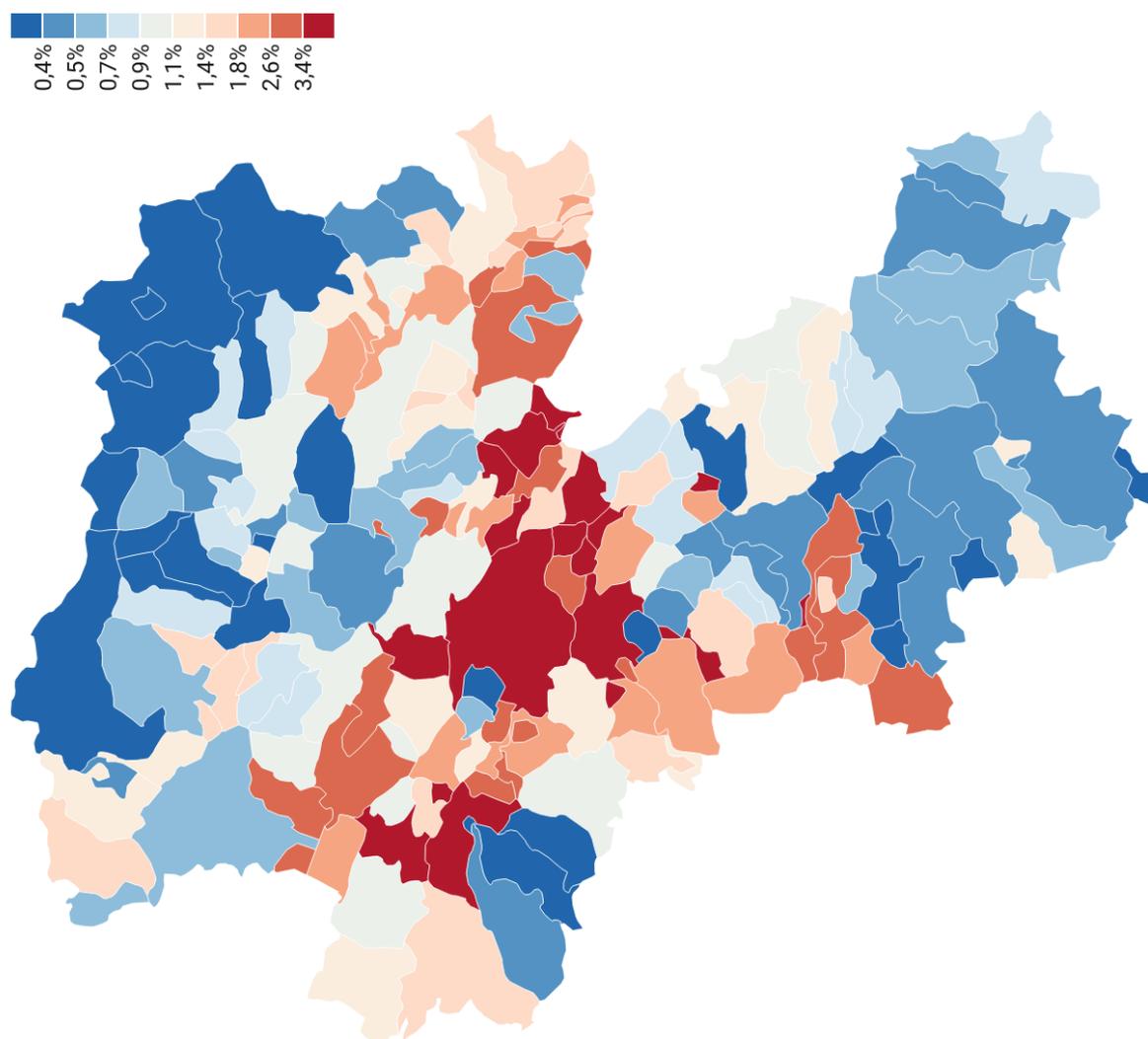
Created with Datawrapper

% Aree idonee su superficie comunale

Per capire l'impatto delle aree idonee del territorio, la superficie idonea è stata rapportata alla superficie comunale e ne è stata calcolata la percentuale. Il valore è stato calcolato sia come aree totali (tetti + aree idonee) sia separato tra coperture e aree a terra.

% superficie idonea su superficie comunale

rapporto tra la superficie idonea all'installazione di impianti FV (tetti + aree idonee) e superficie comunale



Fonte: PAT-APRIE + FBK • Creato con Datawrapper

Conclusioni

Il presente lavoro riporta contenuti utili ai fini programmatori e pianificatori in termini di energia, territorio, ambiente, paesaggio.

Pur con le necessarie attenzioni e con le considerazioni precedentemente descritte, il modello ha portato all'individuazione della potenza installabile sulle superfici attualmente idonee individuate dalla L.P. 2 maggio 2022 n.4. Esso dimostra che tali superfici sono più che sufficienti a garantire uno sviluppo della produzione di energia fotovoltaica nella provincia di Trento, secondo quanto previsto dalla pianificazione esistente.

Anche in previsione degli obiettivi del PNIEC e l'obiettivo di produzione di energia da fonte rinnovabile che lo Stato assegnerà alla Provincia di Trento, il presente calcolo dimostra come la previsione di raggiungere l'obiettivo attraverso l'installazione di potenza fotovoltaica sia fattibile. Il potenziale, con 9,5 GW installabili tra coperture ed aree idonee, permette - almeno in linea teorica - di incrementare notevolmente l'apporto in termini di energia solare. In relazione allo specifico obiettivo tuttavia, le valutazioni saranno fatte una volta che lo stesso sarà ufficialmente reso noto, ed avverranno attraverso un provvedimento della Giunta provinciale, come previsto dal comma 6 dell'art. 4 della L.P. 4/2022

Analizzando nel dettaglio ogni Comune, emerge che i più grandi Comuni hanno un maggior potenziale avendo più superfici disponibili, ma emerge pure come realtà più piccole abbiano grandi disponibilità di aree idonee sul territorio.

Anche in merito all'irraggiamento, che determina la potenzialità di installazione di impianti a fonti rinnovabili, la situazione del trentino è molto differenziata e offre spunti inaspettati.

Rendere pubblico il lavoro relativo al potenziale solare attraverso il webgis trasversale, offre inoltre la possibilità a cittadini, tecnici ed amministratori, di utilizzare in maniera agevole e completa questi dati.

Da questa analisi emerge che, pur tenendo conto delle semplificazioni e dei limiti del modello, la normativa attuale risulta sufficiente a coprire un ampio sviluppo della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile. Non si ritiene quindi necessario, al netto degli eventuali recepimenti di leggi nazionali, individuare ulteriori categorie da ricomprendere nell'elenco delle "aree idonee".

Si ricorda tuttavia che le uniche aree in cui non risulta possibile installare nuovi impianti aventi potenza superiore alle soglie, sono quelle ricomprese tra le invariati al PUP (ad eccezione delle aree agricole di pregio che restano soggette a compensazione). Negli altri casi, l'installazione di impianti fotovoltaici anche in aree diverse da quelle ricomprese nell'allegato B della L.P. 2 maggio 2022 n. 4 è possibile qualora il procedimento di autorizzazione integrata per l'energia dia esito positivo. In questi casi infatti, il provvedimento costituisce, se occorre, variante agli strumenti urbanistici subordinati al PUP e dichiarazione di pubblica utilità, urgenza e indifferibilità.

In quest'ottica, l'effettiva producibilità potrebbe quindi risultare ulteriormente incrementata.

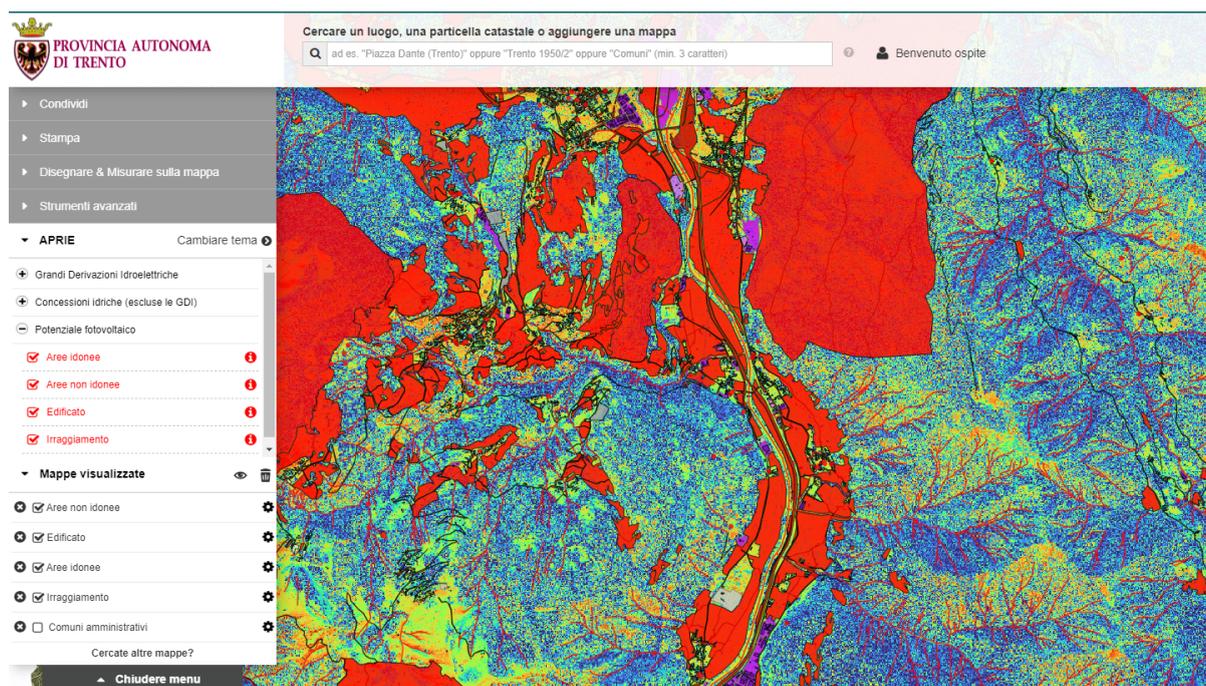
Il Webgis pubblico

Al fine di rendere pubblica la fruizione del modello di produzione solare del territorio della Provincia autonoma di Trento, lo stesso è stato caricato sul webgis trasversale che permette di visualizzare tutta la cartografia prodotta dalle strutture provinciali. Attraverso l'attivazione dei diversi livelli si possono sovrapporre differenti carte, utili ad inquadrare ciascuna area di riferimento sotto differenti aspetti.

L'accesso al webgis avviene attraverso il link https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?lang=it&topic=19&bgLayer=orto2015&layers=ammcom&la_yers_visibility=false&X=5112932.25&Y=674063.69&zoom=2&catalogNodes=94

Le cartografie relative all'irraggiamento solare sono comprese nella sezione dell'APRIE, Agenzia Provinciale per le Risorse Idriche e l'Energia che ha redatto la stima (Se la sezione non è visibile, si può cercare attraverso il pulsante "cambiare tema").

Tale strumento è stato pensato nell'ottica di risultare il più possibile utile al cittadino per capire quanta energia possa essere prodotta da un impianto installato sulla propria abitazione. Pertanto, pur avendo a disposizione i dati ritagliati per sole coperture e per sole aree idonee, si è optato per mettere a disposizione il calcolo per tutto il territorio, incluse quindi le aree non idonee. Ciò sia per poter rispondere ad eventuali evoluzioni normative che a eventuali varianti alla destinazione urbanistica delle aree.



Al fine di orientare al meglio l'utente sono stati quindi inseriti e predisposti alcuni livelli, attivabili dall'utente per facilitare l'individuazione delle zone. In particolare, accedendo alla apposita sezione APRIE l'utente, al fine di facilitare l'individuazione delle aree di interesse, può sovrapporre al livello della mappa più livelli vettoriali corrispondenti a differenti carte e in particolare:

- un livello con le sagome dell'edificato, utile per individuare gli edifici;
- un livello con le aree idonee previste all'allegato B della L.P. 2 maggio 2022 n.4;
- un livello con le aree non idonee costituite dalle invarianti al PUP;
- Gli edifici e le aree con vincolo di tutela culturale (diretto e indiretto);

Attraverso lo strumento “misurare e disegnare sulla mappa” è possibile tracciare un’area e calcolare la potenza installabile in kW e la produzione media annua di energia. I calcoli di tale potenziale sono operati come precedentemente descritto nel relativo capitolo.

La mappa di base risulta visualizzabile solo ad una scala inferiore a 1:20.000 e l’area selezionabile è limitata a 5000 mq per permettere analisi precise e verosimili. (è possibile, per aree superiori, definire più forme giustapposte per un calcolo di superfici

I tematismi:

Di seguito la descrizione degli specifici tematismi corrispondenti ai livelli attivabili sul webgis

Irraggiamento

La mappa mostra il territorio colorato attraverso una scala cromatica che partendo dal blu (aree non soleggiate) e fino al rosso (aree molto soleggiate) mostra il territorio trentino. Si tratta di un livello raster, dove ad ogni pixel è associato un valore. Interrogando con lo strumento “disegnare e misurare sulla mappa” il sito restituisce il valore di potenza installabile, resa e producibilità annua dell’area tracciata.

Aree idonee

Il tematismo rappresenta le aree idonee di cui all’allegato B della Legge Provinciale 2 maggio 2022 n.2. Il dato è costruito attraverso l’estrazione delle corrispondenti categorie dalla Carta di Uso del Suolo Pianificato.

Essendo la classificazione della destinazione d’uso in capo ai singoli PRG comunali, il dato rappresenta un supporto indicativo che necessita di una verifica dell’effettiva corrispondenza delle aree attraverso il PRG vigente del comune territorialmente competente.

Edificato

Il tematismo rappresenta il layer “edifici” presente sulla Carta Tecnica Provinciale, integrato delle costruzioni individuate attraverso le ortofoto 2020. Nel caso di agglomerati urbani, la forma racchiude più edifici contigui. Il tematismo è utile ad individuare sulla carta dell’irraggiamento le costruzioni esistenti. Il tematismo non comprende gli edifici soggetti a vincolo di interesse culturale in quanto l’installazione di impianti fotovoltaici e solari termici su dette costruzioni è subordinata all’autorizzazione della Soprintendenza per i beni culturali. Il livello dei vincoli culturali (diretti e indiretti) è già presente sul webgis ed attivabile con una semplice ricerca.

Aree non idonee. descrizione

Il tematismo rappresenta le invarianti al PUP ovvero le aree nelle quali non è possibile installare impianti fotovoltaici in aree diverse dalle coperture e dalle pertinenze delle costruzioni esistenti.

Tale strumento dovrebbe in questo modo fornire all’utente tutti gli strumenti per capire la producibilità delle aree ma anche la effettiva fattibilità dell’intervento. Nello specifico dovrebbe indirizzare:

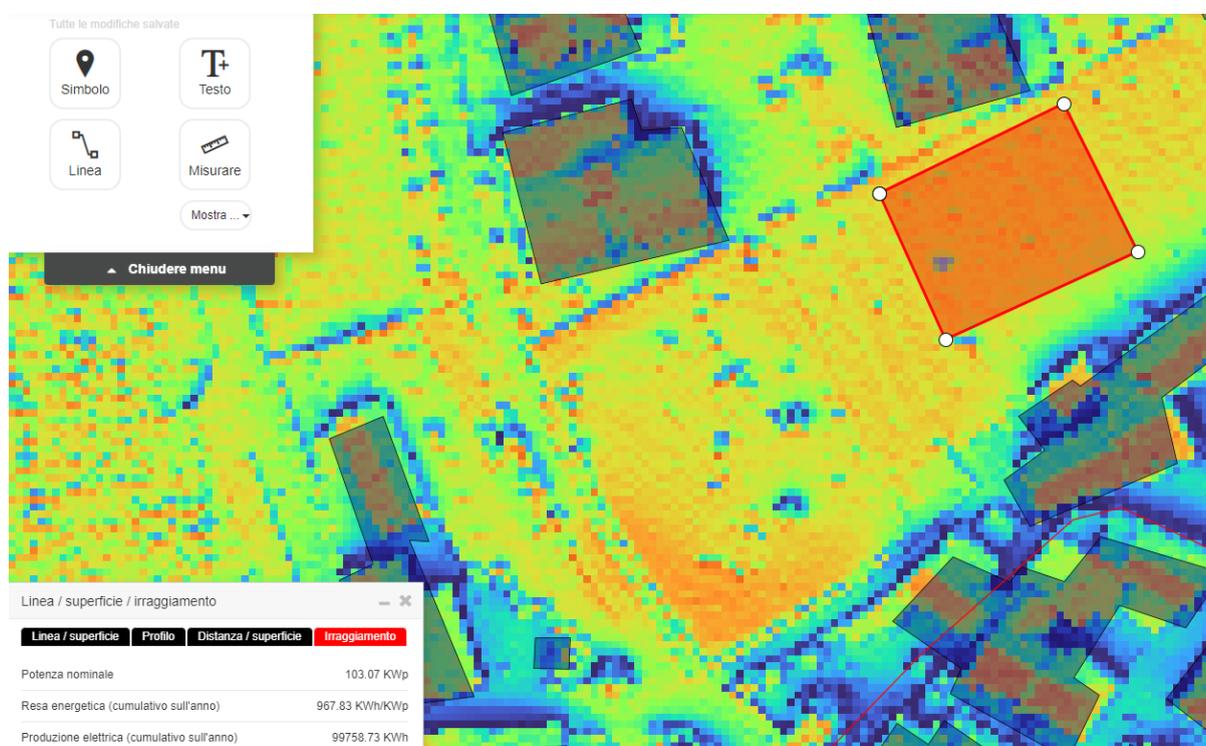
- i cittadini ad individuare il potenziale di produzione del proprio patrimonio edilizio;
- i tecnici ad avere uno strumento di confronto sui valori di irraggiamento ma anche uno strumento utile per la pianificazione e nell’individuazione dei vincoli per l’installazione di impianti da fonte solare;

- i comuni sia per la parte edilizia, permettendo di conoscere quali e dove siano le aree idonee e non idonee sul territorio, sia per la parte di pianificazione potendo avere a disposizione il soleggiamento anche di aree non idonee.
- i servizi provinciali che, attraverso la sovrapposizione di differenti layer possono avere un quadro completo delle aree oggetto di Autorizzazione Integrata per l'Energia, relative a vincoli e potenziale solare.

Calcolare la potenza installabile su di un'area

Attraverso lo strumento "Disegnare e misurare sulla mappa" l'utente può facilmente tracciare un'area sulla mappa di irraggiamento e conoscere, oltre ai valori di lunghezza del perimetro e superficie, anche la potenza energetica installabile, la resa energetica e la produzione elettrica annua.

Una volta disegnato un poligono chiuso (attenzione a chiudere il poligono) nella sezione "irraggiamento" si trovano i dati relativi a un ipotetico impianto fotovoltaico.



Allegati:

[tabella completa](#)

3D SOLAR

STIMA DEL POTENZIALE FOTOVOLTAICO SUL TERRITORIO DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Relazione finale

Indice:

1. Introduzione
 - 1.1 Sfide e contributo di 3D Solar
2. Metodologia
 - 2.1 3D Solar: dati di input
 - 2.2 Stima dell'irraggiamento solare
 - 2.2.1 Atlanti Solari e altri dati di irraggiamento disponibili per la Provincia Autonoma di Trento
 - 2.2.2 Calcolo dell'orizzonte
 - 2.2.3 Calcolo dell'irraggiamento solare
 - 2.3 Selezione delle aree idonee all'installazione dei pannelli
 - 2.4 Identificazione dei pannelli già installati
 - 2.5 Stima del potenziale fotovoltaico
3. Verifiche
 - 3.1 Calcolo del *clear-sky index* (K_c)
 - 3.2 Verifica delle aree effettivamente disponibili in copertura per nuove installazioni
 - 3.3 Verifica dei dati di producibilità fotovoltaica
4. Risultati
5. Conclusioni
6. Bibliografia

1. Introduzione

Il progetto 3D Solar, promosso dall'Agenzia APRIE (Agenzia Provinciale per le risorse idriche e l'energia) con il coinvolgimento del gruppo 3D Optical Metrology (3DOM) della Fondazione Bruno Kessler (FBK), ha come obiettivo la stima della producibilità energetica da fonti fotovoltaiche sull'intero territorio della Provincia Autonoma di Trento (PAT).

Lo studio nasce dalla necessità di supportare le strategie di pianificazione in materia di energia da fonti rinnovabili a seguito dell'attuale crisi energetica internazionale e la necessità di rispondere agli obiettivi fissati dai recenti piani e programmi europei. Le iniziative promosse dal Green Deal europeo (European Commission, 2019), con l'ambizioso obiettivo di raggiungere la decarbonizzazione del settore energetico ed un'Europa climaticamente neutrale entro il 2050, sono state recentemente ridefinite in vista di una riduzione dei combustibili fossili dalla Russia a seguito della crisi ucraina. Il REPowerEU Plan (European Commission, 2022a) e la EU Solar Energy Strategy (European Commission, 2022b) rappresentano la risposta europea alla recente crisi energetica, centrata sullo sviluppo delle fonti rinnovabili per incontrare i bisogni di città sempre più energivore. Il solare fotovoltaico (PV), in particolare, è identificato come tecnologia chiave per il raggiungimento degli obiettivi posti dalla transizione ecologica.

In questo scenario ed in vista dell'approvazione della legge provinciale 2 maggio 2022 n.4 (che disciplina il regime autorizzatorio per la produzione da fonti rinnovabili ed individua nuove aree idonee per l'installazione degli impianti), la Provincia Autonoma di Trento ha recentemente promosso il presente lavoro come strumento preliminare di conoscenza e di supporto per le politiche di pianificazione energetiche locali.

Il principale obiettivo di 3D Solar è la stima della potenziale producibilità da fonte fotovoltaica su larga scala. Tra i numerosi fattori fisici, geografici, tecnici ed economici che influenzano la stima della reale capacità produttiva di un territorio, due aspetti sono particolarmente rilevanti. Il primo riguarda la disponibilità di dati accurati sull'irraggiamento solare; il secondo, il calcolo delle aree disponibili ed idonee alle nuove installazioni. Il progetto 3D Solar ha l'ambizione di fornire una mappatura puntuale e su ampia scala di questi elementi, ricorrendo a processi automatizzati e recenti soluzioni di Intelligenza Artificiale.

I numerosi metodi proposti negli ultimi anni per la stima dell'irraggiamento solare si differenziano principalmente per la scala di applicazione, i dati di input richiesti, l'accuratezza dei risultati e la replicabilità dei processi. Nel calcolo delle aree idonee a nuove installazioni, dati ed analisi geospaziali sono necessari per l'individuazione ed esclusione degli spazi già occupati da impianti o per i quali non è previsto un reale beneficio economico per lo scarso soleggiamento.

1.1. Sfide e contributo di 3D Solar

La Provincia Autonoma di Trento (PAT) si estende su una superficie di circa 6200 kmq con tipici caratteri morfologici di un territorio alpino. Per una stima accurata della potenziale producibilità da fonte fotovoltaica su così larga scala, con particolare riferimento agli aspetti citati che

influenzano maggiormente i risultati (stima dell'irraggiamento solare e delle aree idonee a nuove installazioni), 3D Solar propone una nuova metodologia per affrontare due principali sfide:

- Considerare nella stima dell'irraggiamento solare tutte le possibili occlusioni derivanti dalla morfologia del territorio e da ostacoli in prossimità. Mentre gli ombreggiamenti dovuti al territorio montuoso possono essere calcolati con dati in input a media risoluzione, considerare nel calcolo ostacoli dovuti ad elementi adiacenti implica l'utilizzo di dati ad alta risoluzione, con conseguenti alti costi in termini computazionali. In 3D Solar, un approccio multi-scalare e Digital Surface Models (DSMs) con risoluzione spaziale di 30 m e 1 m sono utilizzati come dati di input per la produzione di mappe di irraggiamento.
- Il calcolo delle aree idonee a nuove installazioni comporta l'individuazione degli impianti già installati, oltre a ulteriori considerazioni di natura geometrica ed economica da affrontare su larga scala. In 3D Solar, una rete neurale è stata impiegata per il riconoscimento automatico dei pannelli esistenti, ed ulteriori analisi spaziali e geometriche hanno consentito il calcolo della superficie disponibile ed idonea a nuovi impianti.

La soluzione proposta in 3D Solar abbina dunque tecniche di modellazione GIS automatizzate per la stima dell'irraggiamento, tecniche di interpolazione e soluzioni di Intelligenza Artificiale (AI), che hanno consentito di gestire *big-data* e ridurre l'intervento manuale richiesto in molte fasi del progetto.

2. Metodologia

Questa sezione presenta metodi e soluzioni impiegati nelle principali fasi del progetto 3D Solar per la stima della producibilità fotovoltaica. La metodologia si affida a soluzioni *open-source* e replicabili in altri contesti, laddove disponibili simili dati di input. Le principali fasi del progetto hanno riguardato:

- a) Il calcolo degli ombreggiamenti con approccio multi-scalare;
- b) La stima dell'irraggiamento solare;
- c) L'aggregazione ed elaborazione delle mappe di irraggiamento (mensili ed annuali) riferite a diversi scenari di installazione;
- d) La selezione delle aree idonee;
- e) L'individuazione delle aree già occupate da pannelli;
- f) Il calcolo della Producibilità, Potenza Nominale, Resa Energetica e Produzione Elettrica per tutti i comuni del Trentino in diversi scenari di installazione;
- g) La verifica dei dati di irraggiamento e il calcolo del "*clear-sky index (K_c)*";
- h) Le analisi spaziali e geometriche di verifica per le aree da considerare effettivamente disponibili per nuove installazioni in copertura;
- i) Verifica della stima di producibilità.

Alcuni lavori (Antonanzas et al., 2017; Choi et al., 2019; Gassar & Cha, 2021) hanno recentemente offerto una revisione dei metodi disponibili per la stima dell'irraggiamento solare e, più in

generale, della producibilità fotovoltaica, confrontando relativi vantaggi e criticità. I metodi esistenti possono essere principalmente categorizzati in:

- a) *Sampling methods*: efficienti da un punto di vista computazionale ed adatti a stime su larga scala. In questi metodi, la stima delle variabili da dedurre per l'intero set di dati è dedotta da dati campione. Queste tecniche sono state soprattutto impiegate per il calcolo delle aree idonee all'installazione e la produzione fotovoltaica (Bocca et al., 2016, Assouline et al., 2018; Groppi et al., 2018; Horan et al., 2020; Fakhraian et al., 2021; Fakhraian et al., 2021b, Thai & Brouwer, 2021).
- b) *Geostatistical methods*: la predizione di alcune variabili è in questo caso basata su analisi spaziali statistiche. Le tecniche di *kriging* appartengono a questa categoria e sono principalmente impiegate per la mappatura della radiazione solare (Oliver and Webster, 2014; Monger et al., 2016; Jamaly and Kleissl, 2017; Nam and Hur, 2018; Bessafi et al., 2020)
- c) *GIS-modelling methods*: utilizzati per la stima dell'irraggiamento solare e potenziale fotovoltaico, implicano l'utilizzo di dati 3D (3D raster). Quando dati ad alta risoluzione sono disponibili, sono considerati tra i metodi più robusti (Agugiaro et al., 2011; Agugiaro et al., 2012; Boz et al., 2015; Sreckovic et al., 2016; Suomalainen et al., 2017; Palmer et al., 2018; Nelson and Grubestic, 2020; Prieto et al., 2019; Saretta et al., 2020; Ramadhan et al., 2021; Giannelli et al., 2022).
- d) *Machine learning methods*: come in altri settori, anche per la stima della produzione elettrica da fonti fotovoltaiche e la mappatura dell'irraggiamento solare questi metodi hanno recentemente dimostrato le loro grandi potenzialità. Nonostante i risultati promettenti, queste tecniche richiedono un numero considerevole di dati di *training*, spesso non disponibili (Assouline et al., 2015; Li et al., 2016; Assouline et al., 2017; Mainzer et al., 2017; Van Tai, 2019; Ahmed et al., 2020; Feng et al., 2020; Rana and Rahman, 2020; Walch et al., 2020; Alam et al., 2021; Tina et al., 2021, Frederiksen and Cai, 2022; Zazoum, 2022).

In 3D Solar, *sampling approaches* sono stati impiegati per la finale definizione della percentuale delle aree da considerare idonee per nuove installazioni in copertura; *geostatistical techniques*, per il calcolo del “*clear-sky index (K_c)*” e la correzione dei dati di irraggiamento; *GIS-modelling methods*, per la mappatura dell'irraggiamento solare sull'intera provincia; *machine-learning techniques*, per l'identificazione automatica dei pannelli fotovoltaici già installati.

2.1 3D Solar: dati di input

Il *workflow* di 3D Solar per la stima della producibilità fotovoltaica sul territorio della PAT rispetta tre principali requisiti:

- a) La stima deve tener conto di tutte le possibili occlusioni al soleggiamento e questo implica l'utilizzo di dati in input anche ad alta risoluzione;
- b) L'intera *pipeline* deve essere basata su soluzioni *open-source*, replicabili ed automatizzabili per gestire *big-data* e ridurre l'intervento manuale durante il processamento;

- c) Le soluzioni e metodologie adottate devono ovviamente tener conto della tipologia e qualità dei dati di input disponibili per la Provincia.

Con riferimento alle due attività principali del progetto dunque:

- a) La stima dell'irraggiamento solare si basa su un approccio di *GIS-modelling* e dati LiDAR (GRASS GIS) disponibili per la PAT. Il metodo tiene conto dell'orografia del territorio nel calcolo degli ombreggiamenti.
- b) Il calcolo delle aree già occupate da impianti fotovoltaici (da sottrarre alla quota disponibile per nuove installazioni nelle aree considerate idonee) sfrutta i risultati del riconoscimento automatico dei pannelli con una rete neurale, testata su alcune ortofoto della Provincia.

In particolare, per le due diverse attività i dati disponibili ed utilizzati nel progetto sono:

1. *Stima dell'irraggiamento:*

- a) Digital Surface Models (DSMs) (dati PAT) derivati da volo LiDAR del 2014 con risoluzione a 1 m, integrati con DSMs da LiDAR del 2011 a 1 m per alcune aree mancanti (Figura 1);
- b) DEM (EuroDEM, 2021) con risoluzione di 30 m per l'intero territorio provinciale;
- c) Mappe di torbidità' dell'aria disponibili dal LINKE dataset.

2. *Identificazione dei pannelli* (Figura 2):

- a) Ortofoto PAT, 2015, con risoluzione di 20 cm;
- b) Ortofoto AGEA, 2020, con risoluzione di 20 cm.

Infine, per il calcolo delle aree idonee a nuove installazioni, secondo quanto definito dalle nuove norme:

- a) Dati vettoriali (*shapefiles*) eterogenei (territori e limiti comunali, edificato-2017, carta dell'uso del suolo, vincoli architettonici, cave, altre carte tematiche) (Sezione 2.3) (Figura3).

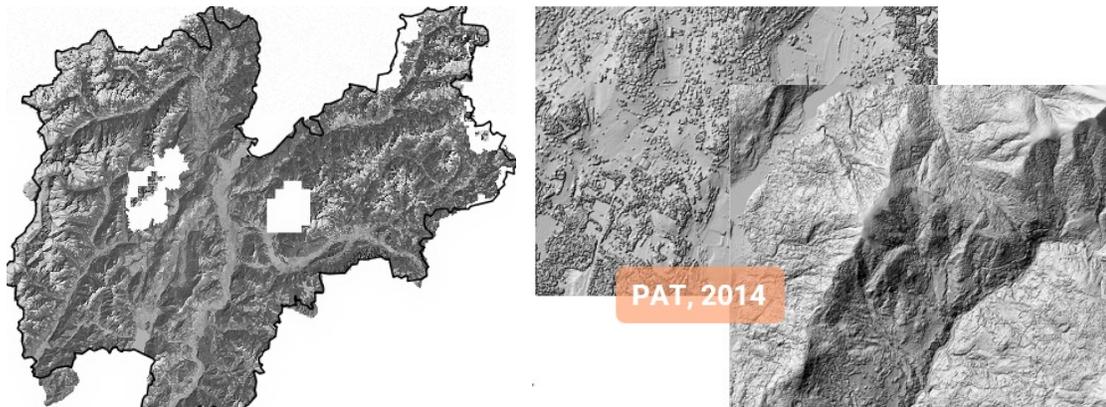
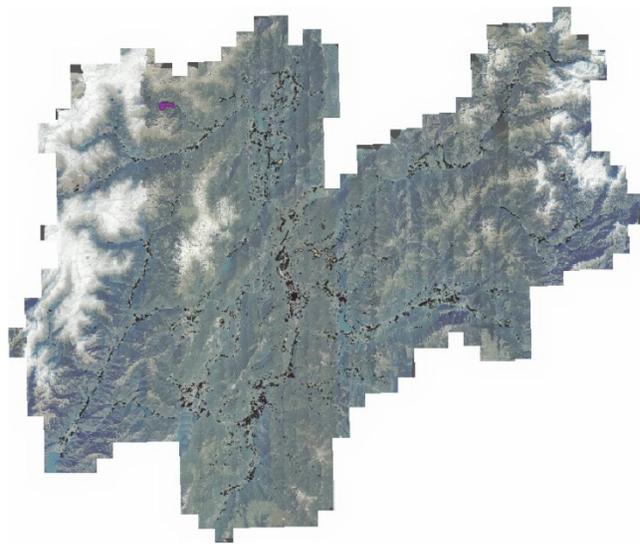


Figura 1: DSM – LiDAR del 2014 disponibile per la PAT (sinistra) ed esempio di *tiles* con risoluzione 1 m sulla destra (500x500m). I dati mancanti (aree in bianco nell'immagine a sinistra) sono stati integrati con DSMs da volo LiDAR del 2011.



Figura 2: Ortofoto PAT (sinistra) del 2015 ed AGEA (destra) del 2020.



- ✓ ■ A_Infrastrutture
- ✓ ■ B_Produttiva
- ✓ ■ C_Miste
- ✓ ■ D_Cave
- ✓ ■ J_Parcheggi
- ✓ ■ F_Mobilita
- ✓ ■ E_Inquinati
- ✓ ■ vincoli_arch_DaEscludere

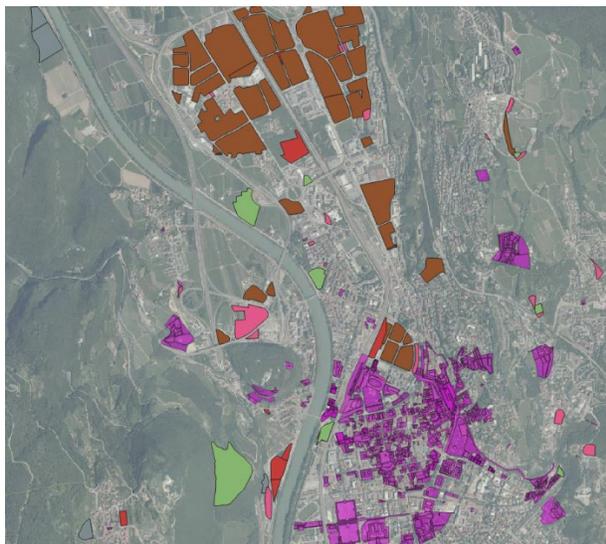


Figura 3: *Shapefiles* tematici per l'individuazione delle altre aree idonee a nuove installazioni (oltre alle coperture dell'edificato), sovrainposti all'ortofoto AGEA 2020. Nelle figure in basso, alcuni esempi della città di Trento (sinistra) e Rovereto (destra).

2.2 Stima dell'irraggiamento solare

2.2.1 Atlanti Solari e altri dati di irraggiamento disponibili per la PAT

Diversi dati sull'irraggiamento solare riferiti al territorio della PAT sono stati elaborati e pubblicati negli ultimi decenni in Atlanti Solari e piattaforme web (Figura 4). La principale differenza tra i prodotti ad oggi disponibili riguarda la tipologia e la risoluzione spaziale dei dati utilizzati in input nel processo di mappatura. Tra i più rilevanti, si evidenziano:

- Atlante Italiano della Radiazione Solare (ENEA): le mappe sono state pubblicate nel 2000 ed elaborate da immagini Meteosat con risoluzione finale di 7 km.
- Mappe di Radiazione Solare Globale (Aeronautica Militare Italiana): realizzate nel 2012 con risoluzione spaziale di 7-8 km ed ottenute interpolando dati da 40 stazioni distribuite sul territorio italiano (non vengono considerate stazioni in Trentino).
- Atlante Europeo della Radiazione Solare (Commissione delle Comunità Europee): tecniche di *co-kriging* vengono utilizzate per interpolare dati provenienti da 610 stazioni (periodo di riferimento 1981-1990). La risoluzione spaziale delle mappe è di circa 10 km.
- PVGIS (JRC – Joint Research Centre della Commissione Europea): le mappe prodotte sono disponibili sul tool online (https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool_en), in cui un simulatore fornisce anche dati sul potenziale fotovoltaico. Tre diversi databases (e diverse risoluzioni spaziali nell'ordine comunque dei km) sono a disposizione per i dati di radiazione (riferiti a diversi periodi di acquisizione).
- sunRISE (RSE): mappe e dati di radiazione disponibili dal 2005 basate su dati satellitari RADSAT (risoluzione spaziale sull'Italia di 4,5 km). Non tiene conto dell'orografia e relativi elementi di occlusione nella stima.
- ATLANTE SOLARE DEL TRENINO (Osservatorio Trentino sul Clima - PAT) (Laiti et al., 2016): lavoro di mappatura completo e rilevante riguardante la Provincia, promosso nel 2012. Le mappe di radiazione finale hanno risoluzione spaziale di 200 m.

A differenza dei casi precedenti, le mappe di irraggiamento elaborate in 3D Solar hanno una risoluzione spaziale di 1 m, per consentire una stima più puntuale del potenziale fotovoltaico dell'intera Provincia.

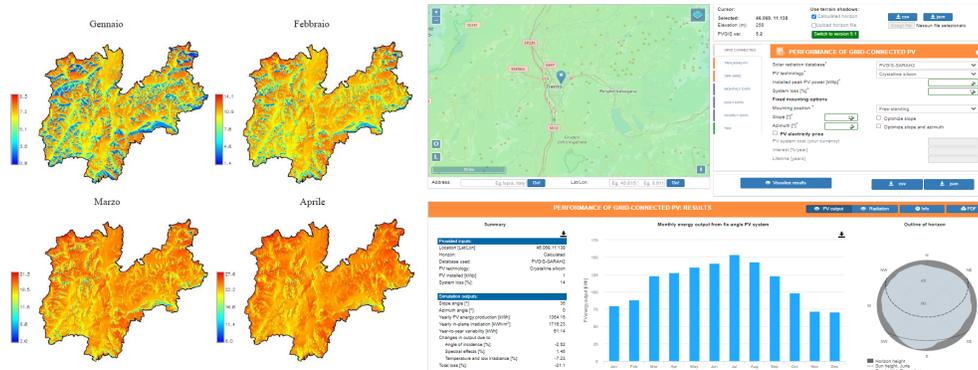


Figura 4: A sinistra, alcuni esempi di mappe di irraggiamento prodotte per l'Atlante Solare del Trentino (Osservatorio Trentino sul Clima – PAT, 2012). Sulla destra, l'interfaccia web del tool PVGIS (JRC).

2.2.2 Calcolo dell'orizzonte

Per la realizzazione delle mappe di irraggiamento di 3D Solar è stato utilizzato il modulo di GRASS GIS *r.sun*. La scelta di questa soluzione è principalmente legata alla natura *open-source* del software e la possibilità di automatizzare i processi di calcolo (necessaria per la mole di dati utilizzati nel progetto - 25199 *tiles* del DSM di 500x500m con risoluzione di 1 m).

Il software *open-source* GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) e' un GIS (Sistema Informativo Geografico) realizzato da OSGeo (Open Source Geospatial Foundation). Il modulo *r.sun* di GRASS modella la radiazione solare in assunzione di *clear-sky*, ovvero di cielo sereno (Page et al., 2001; NREL, 2000) tenendo conto di numerosi fattori astronomici (Krcho, 1990; Jenco, 1992) ed orografici (modelli digitali del terreno o di superficie in input). Mappe raster di irradianza (W/mq) o di irraggiamento (o irradiazione) (kWh/mq) sono i principali prodotti del modulo, con la possibilità di calcolare le componenti diretta (*B*), diffusa (*D*) e riflessa (*G*) della radiazione solare (oltre alla radiazione globale e alla durata del soleggiamento), nell'area geografica selezionata e in specifici giorni ed orari (oltre ad alba, tramonto, irradiazione extra-terrestre e lunghezza del giorno indicato). Nel primo caso, il modulo genera mappe di irradianza solare istantanea per una specifica ora e giorno dell'anno (W/mq); nel secondo, le mappe rappresentano l'irraggiamento cumulato in un determinato giorno dell'anno (kWh/mq). Queste ultime, ed in particolare mappe di irraggiamento globale, sono le mappe prodotte in 3D Solar.

Come input per l'elaborazione delle mappe di irraggiamento, mappe di orizzonte (*horizon maps*) devono essere prodotte. Il modulo *r.horizon* di GRASS permette il calcolo delle mappe di orizzonte, restituendo come output l'altezza dell'orizzonte in radianti. Il modulo ha due diverse modalità di calcolo: il primo, computa l'intero orizzonte intorno ad un singolo punto di coordinate assegnate; il secondo genera una o più mappe raster dell'altezza dell'orizzonte in una specifica direzione. Queste mappe, che considerano gli aspetti orografici del modello in input (raster 3D) ed includono informazioni sull'ombreggiamento dovute ad occlusioni, rappresentano l'altezza dell'orizzonte in diverse direzioni (est=0°, nord=90°, ecc.) e sono quelle prodotte in questo progetto.

In 3D Solar, per tener conto delle occlusioni ed ombreggiamenti dovuti sia alla morfologia del territorio alpino (ostacoli al soleggiamento dovuti alle montagne) che di ostacoli di prossimità (edifici contigui, elementi di arredo urbano, abbaini, ecc.) dati multi-scalari sono stati prodotti e combinati per questa fase.

In particolare, le *horizon maps* sono state calcolate in GRASS utilizzando:

2. Il DEM (EuroDEM) a 30 m di risoluzione, con intervalli di 10° e considerando un'area di buffer per le aree di confine di 10 km (Figura 5);
3. Il DSM derivante da volo LiDAR 2014 (e LiDAR 2011 per le parti mancanti) a 1 m di risoluzione, con intervalli di 10°, computati su singola *tile* (500x500m) e con un'area di buffer di 500 m per ogni *tile* (Figura 6).

Le aree di buffer sono incluse nel calcolo degli ombreggiamenti per non precludere una corretta stima nelle zone di confine dei dati in input (EuroDEM o le diverse *tiles* a 1 m di risoluzione) e

possibili occlusioni nelle aree circostanti. Il processamento dei dati ad 1 m, in particolare, è stato automatizzato per considerare in input ogni *tile* di riferimento e le nove *tiles* circostanti (Figura 6 – destra).

Sono state dunque prodotte 36 *horizon maps* nel primo caso (risoluzione 30 m) e 907164 con le 25199 *tiles* ad 1 m.

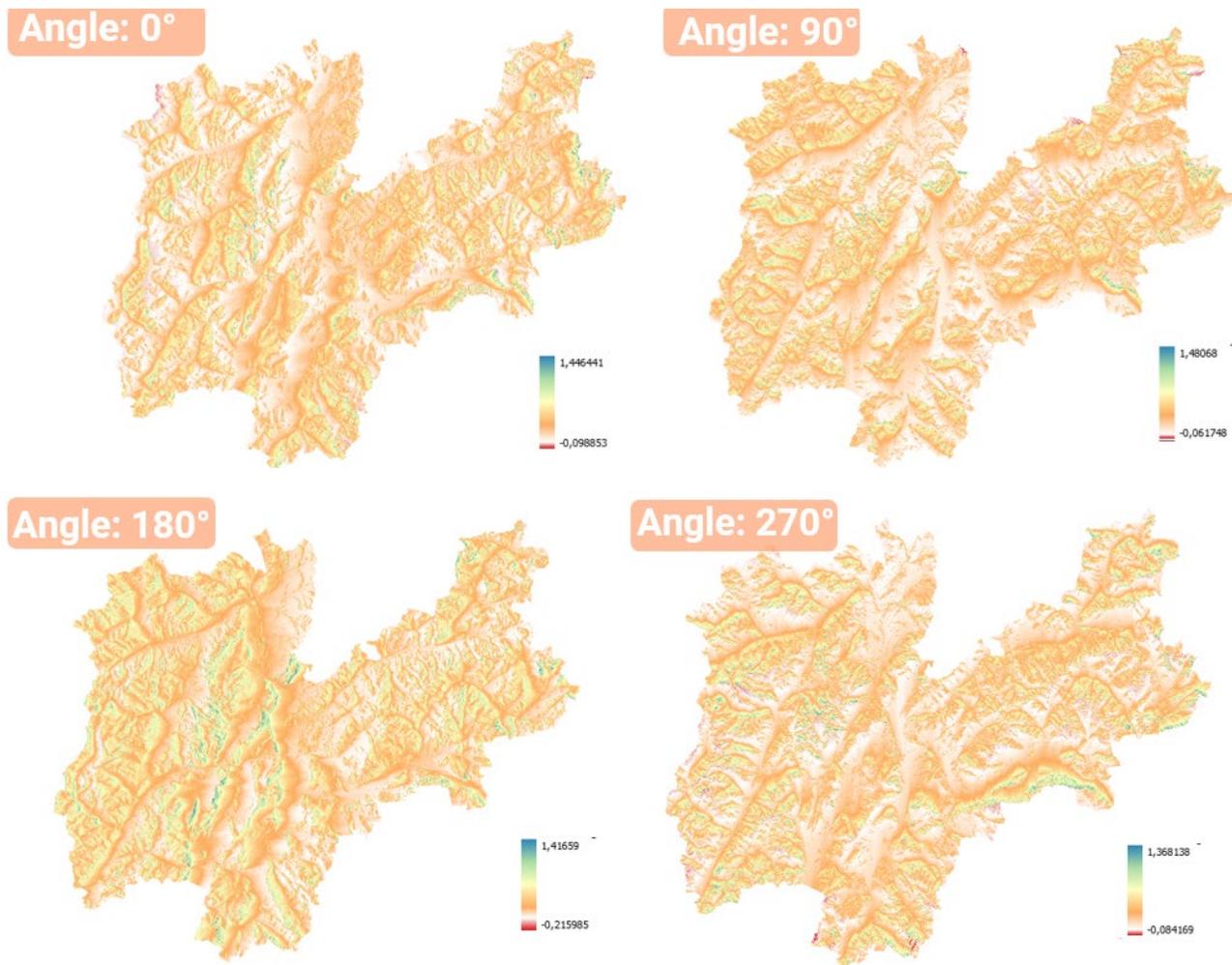


Figura 5: Esempio delle 36 *horizon maps* calcolate su EuroDEM con risoluzione di 30 m e angoli di 0°, 90°, 180°, 270°.

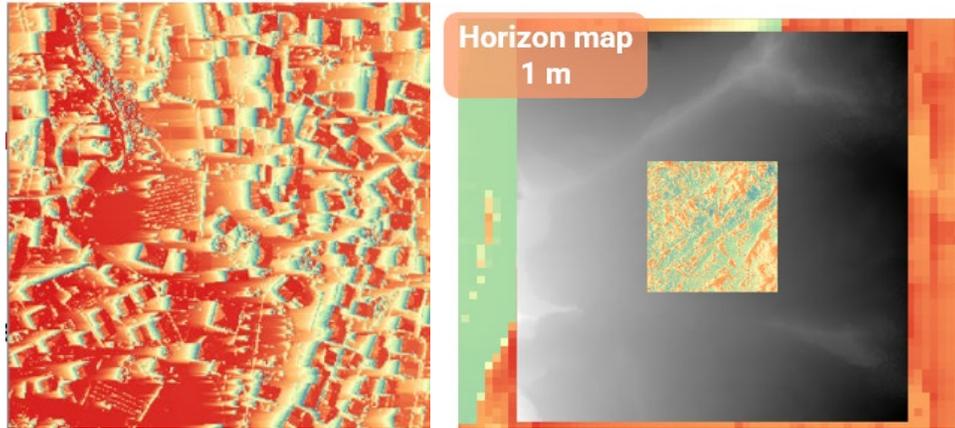


Figura 6: Esempio di *horizon maps* calcolate su DSM con risoluzione di 1 m ed intervalli di 10° (sinistra), considerando come area di buffer le nove *tiles* circostanti (destra).

Elaborate le mappe alle due diverse risoluzioni, i dati ottenuti sono stati combinati per generare le *horizon maps* finali da utilizzare nel processo successivo. Le 907164 *horizon maps* ad 1 m, risultanti da questa combinazione, contengono dunque tutti i dati di ombreggiamento a diverse scale (Figura 7). Le nuove mappe, automaticamente generate, tengono conto del valore dei singoli pixels derivato dal processamento alle diverse risoluzioni e conservano come valore finale il più alto dei due.

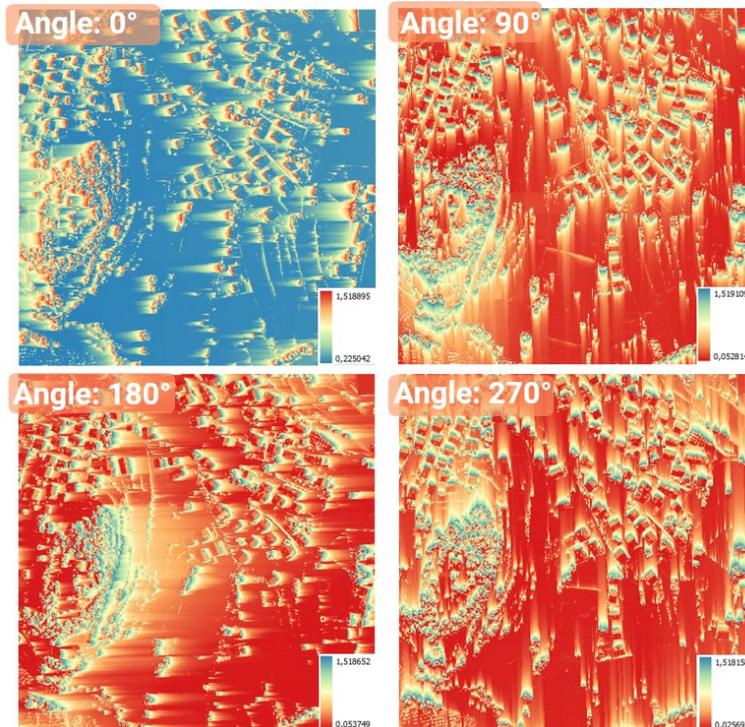


Figura 7: Esempi di *horizon maps* finali a 1m (esempio di una *tile* del DSM di 500mx500m), calcolate a 0° , 90° , 180° , 270° e risultato della combinazione dei dati con risoluzione a 30 m e 1 m.

2.2.3 Calcolo dell'irraggiamento solare

Il modulo *r.sun* di GRASS GIS per il calcolo dell'irraggiamento solare prevede in input, oltre alle *horizon maps*, mappe di *Aspect* e *Slope* derivate dal DSM e contenenti i valori di pendenza (*Aspect*) e direzione (*Slope*) della pendenza del terreno. Più di 50000 mappe sono state dunque prodotte per ogni *tile* (più di 25000) del DSM con risoluzione 1 m (Figura 8).

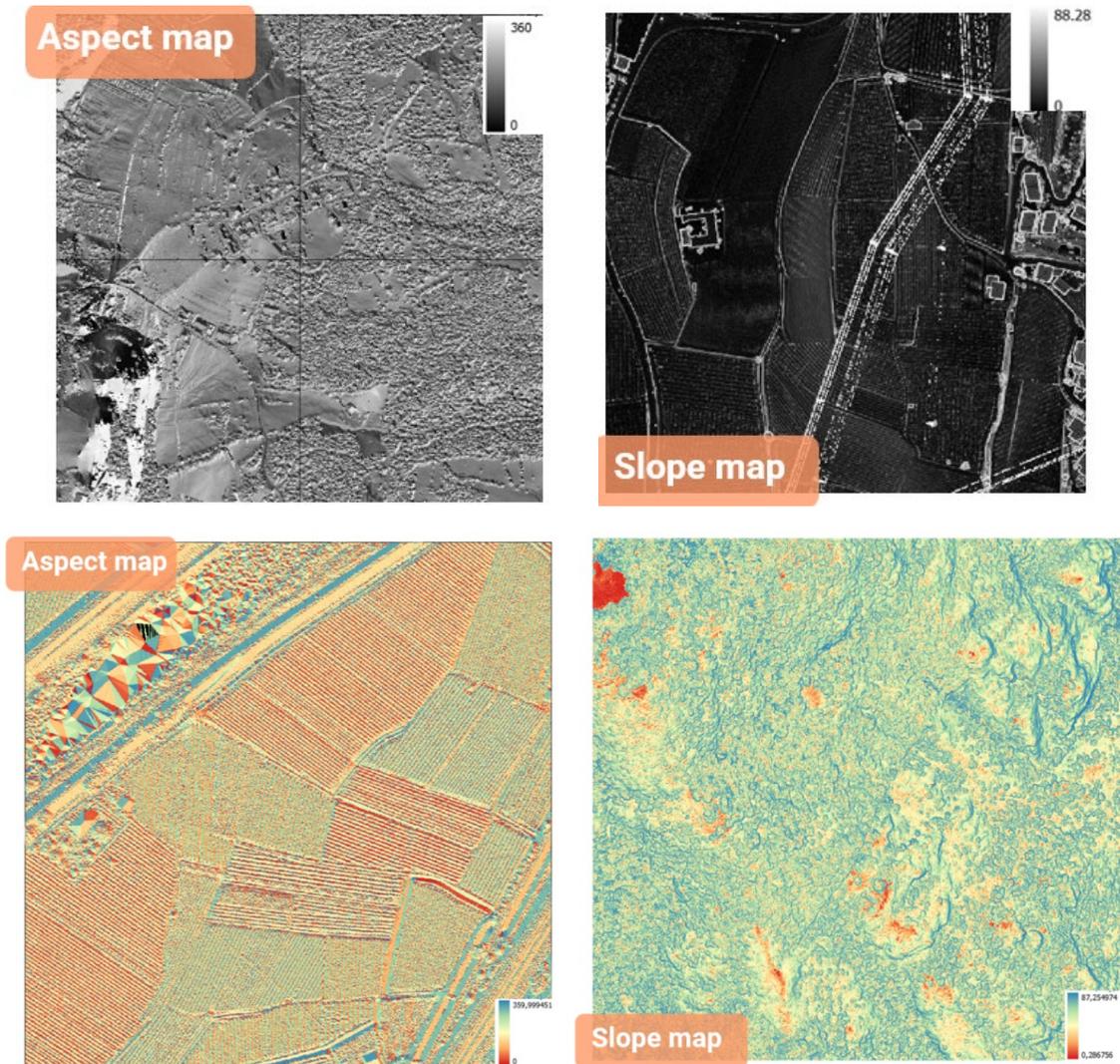


Figura 8: Esempi di mappe di *Aspect* e *Slope* calcolate per ogni *tile* a 1 m (diversi stili di visualizzazione).

Nel calcolo dell'irraggiamento, sono state inoltre considerate mappe di torbidità dell'aria nei diversi mesi dell'anno derivate dal LINKE dataset. La torbidità è un fattore che incide sulla quota di irraggiamento in grado di colpire le superfici (Figura 9).

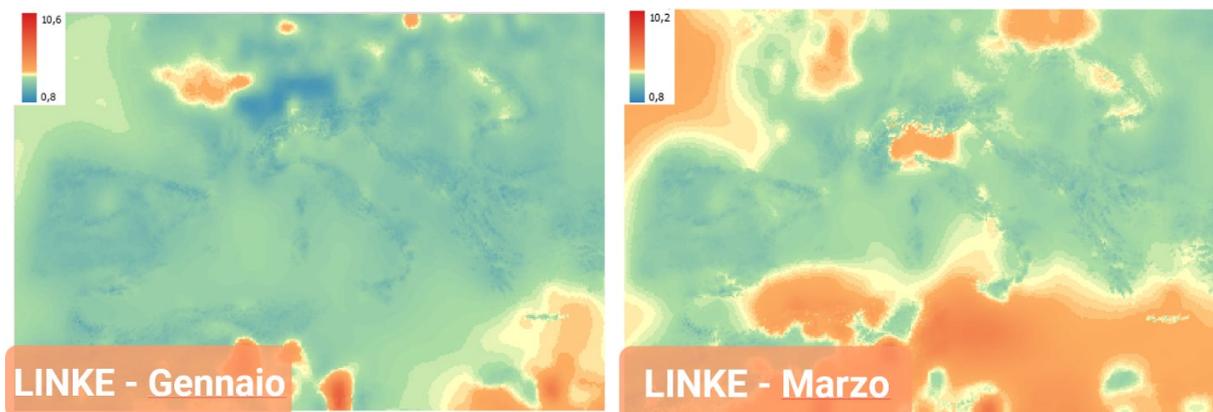
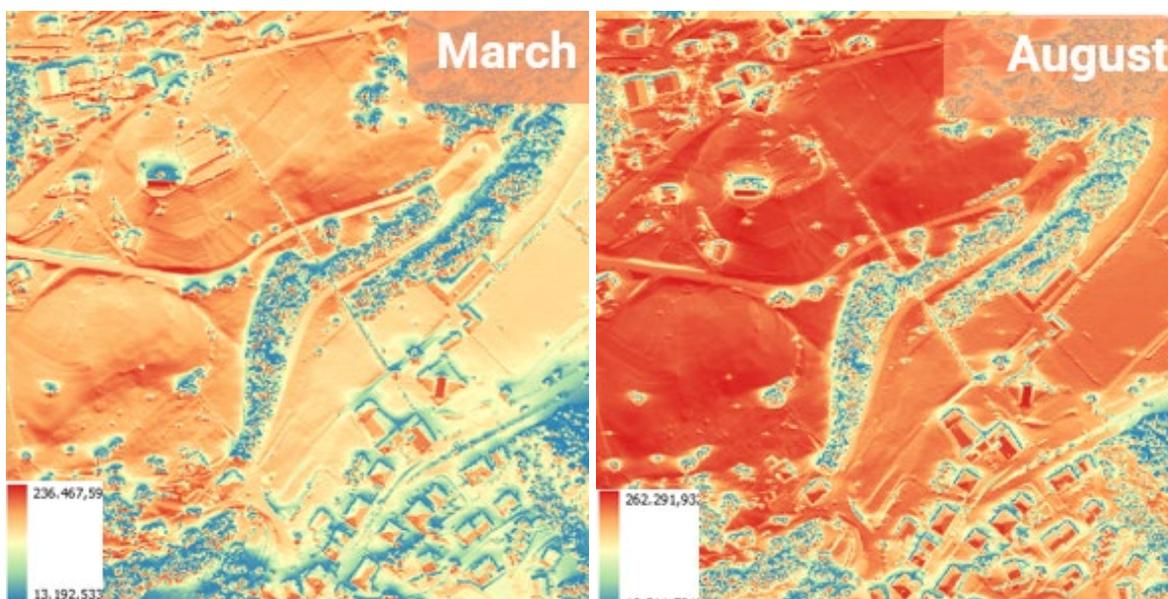


Figura 9: Esempi di mappe di torbidità LINKE in diversi mesi dell'anno (Gennaio e Marzo).

Come anticipato nella Sezione 2.2.2, il modulo di GRASS GIS *r.sun* calcola l'irraggiamento diretto, diffuso, riflesso e globale in uno specifico giorno dell'anno, latitudine, superficie e condizioni atmosferiche, tenendo conto delle informazioni di ombreggiamento contenute nelle *horizon maps*. In alternativa, è anche possibile calcolare l'angolo di incidenza e/o mappe di irradianza solare istantanea.

Piu di 9 milioni di mappe di irraggiamento globale per ogni *tile* del DSM (500x500m) e per ogni giorno dell'anno (valori giornalieri cumulati) in assunzione di *clear-sky* sono state dunque generate per l'intera Provincia.

I valori di irraggiamento ricavati da mappe ad 1 m di risoluzione sono stati successivamente aggregati su base mensile (medie giornaliere cumulate) e annuale (somma dei valori mensili cumulati), generando all'incirca ulteriori 300000 mappe (Figura 10). Queste mappe raster, raggruppate per comuni, rappresentano il prodotto finale di 3D Solar per quanto riguarda l'irraggiamento.



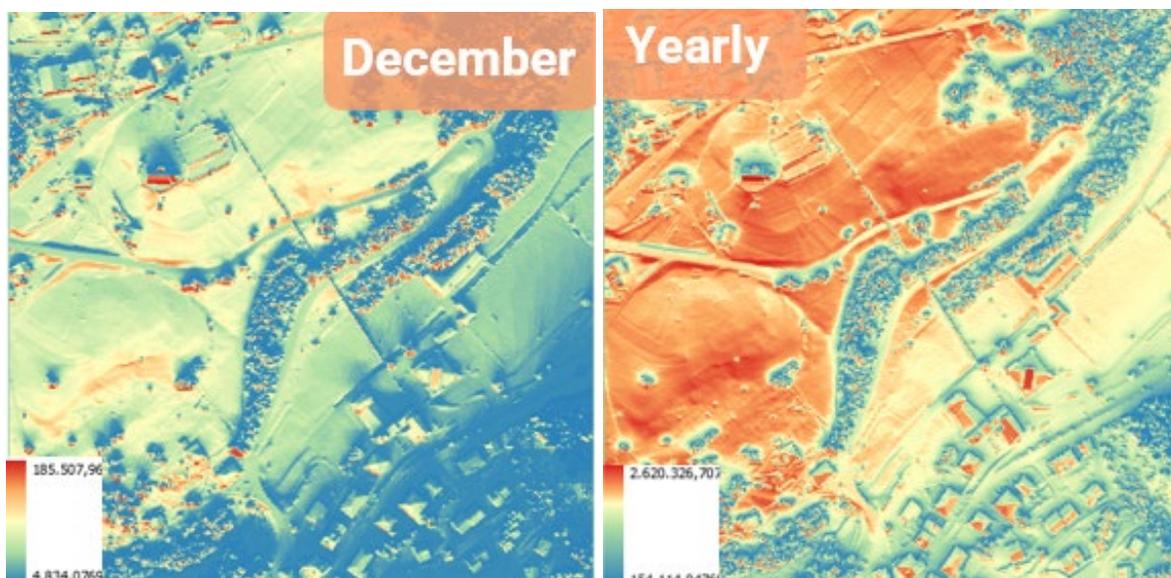


Figura 10: Esempi di mappe di irraggiamento finali aggregate su base mensile ed annuale (medie mensili dei valori giornalieri cumulati e somma annuale delle medie mensili).

2.3 Selezione delle aree idonee all'installazione dei pannelli

Calcolate le mappe di irraggiamento su base giornaliera, mensile e annuale per l'intera Provincia, dati vettoriali (*shapefiles*) sono stati utilizzati come “maschere” per il ri-calcolo dell'irraggiamento nelle sole aree considerate utili (Figura 11). Oltre alle superfici di copertura degli edifici dell'intera Provincia (dati sull'edificato disponibili per l'anno 2017), sono state considerate come aree idonee (derivate dalla Carta dell'Uso del suolo pianificato e altre carte tematiche):

1. Aree per servizi infrastrutturali e discariche;
2. Aree produttive industriali-artigianali;
3. Aree miste commerciali, terziarie e produttive;
4. Aree estrattive effettive e cave;
5. Zone di recupero ambientale/siti inquinati;
6. Aree di servizio per la mobilità;
7. Aree industriali o produttive dismesse;
8. Parcheggi.

Dal totale delle aree considerate idonee, sono state dunque sottratti edifici e zone sottoposte a vincoli architettonici diretti ed indiretti.



Figura 11: Preparazione dei dati vettoriali (*shapefiles*) con l'individuazione delle aree idonee da utilizzare come "maschere" per il ri-calcolo dell'irraggiamento.

Un'intensa fase di *editing* manuale è stata a questo punto necessaria per correggere errori e disallineamenti dei dati vettoriali rispetto al DSM utilizzato per il calcolo dell'irraggiamento e per poter integrare l'ingombro di edifici recenti (costruiti negli anni successivi al 2011 e 2014) visibili nelle ortofoto a disposizione (dato più recente – ortofoto 2020) (Figura 12).



Figura 12: Alcuni esempi di problemi nell'utilizzo di *shapefiles* disponibili come "maschere" per il ri-calcolo dell'irraggiamento (disallineamenti, errori, edifici non digitalizzati, ecc..). I files sono stati corretti e ri-digitalizzati per tutti i comuni del trentino.

Gli *shapefiles* corretti sono stati dunque utilizzati come “maschere” per il ri-calcolo dell’irraggiamento globale su base mensile ed annuale sulle sole aree idonee individuate. Per avere una visione più ampia della variazione dei valori in diversi scenari di possibile installazione, il calcolo dell’irraggiamento è stato ripetuto considerando (Figura 13):

- a) La quota di irraggiamento sulle superfici di copertura del solo edificato;
- b) La quota di irraggiamento sull’edificato, escludendo le superfici già occupate dai pannelli (Sezione 2.4);
- c) La quota di irraggiamento sulle sole altre aree idonee descritte;
- d) La quota di irraggiamento considerando le coperture dell’edificato e le altre aree idonee.

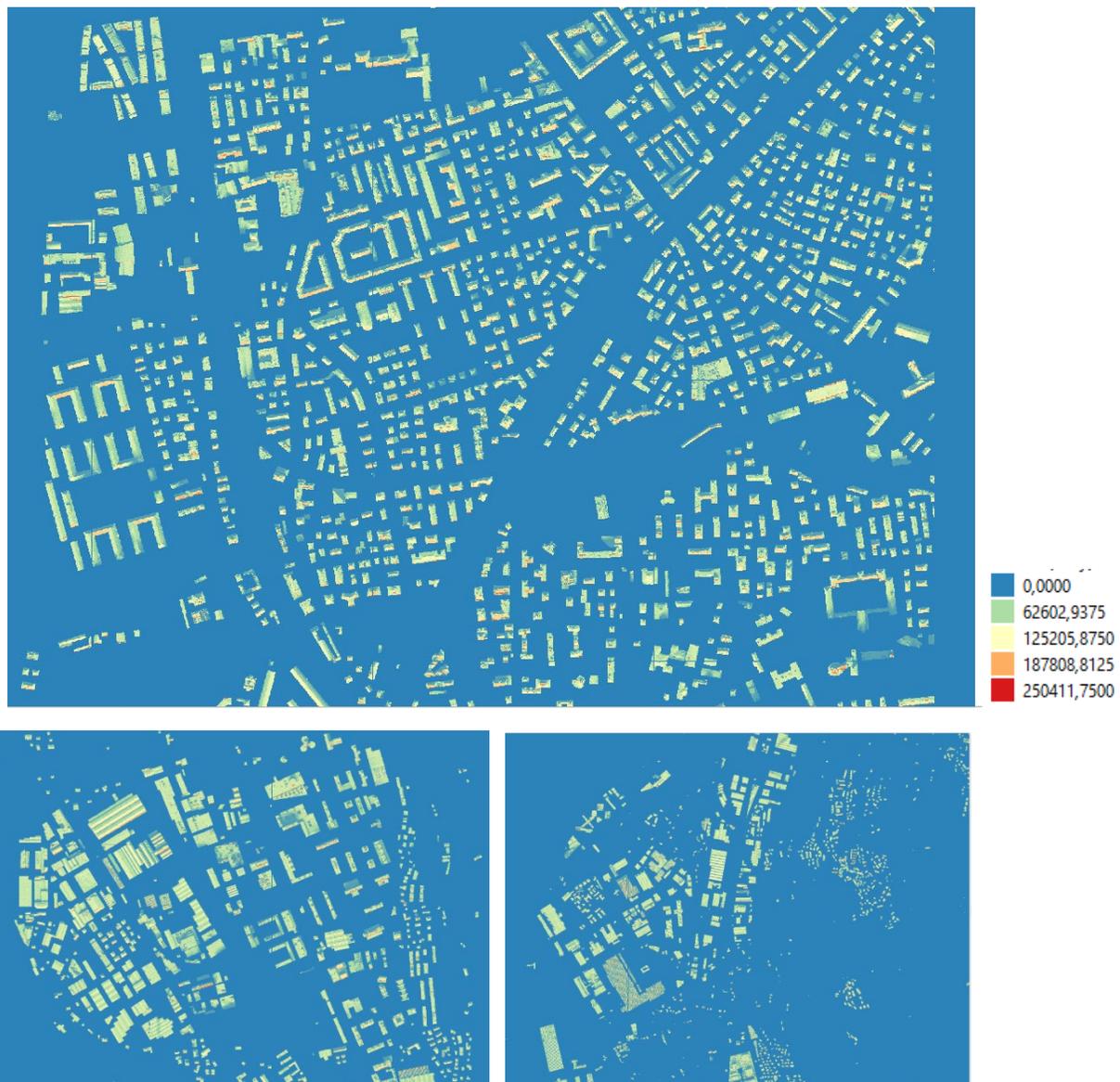


Figura 13: Alcuni esempi di mappe raster di irraggiamento (Trento, giugno) considerando solo l’edificato (in alto), solo le altre aree idonee (in basso a sinistra) e tutte le aree idonee (basso a destra).

2.4 Identificazione dei pannelli già installati

Per il calcolo delle aree effettivamente disponibili per l'installazione dei nuovi pannelli ed il ri-calcolo dell'irraggiamento sulle aree di copertura restanti sono state sperimentate procedure automatiche di riconoscimento con soluzioni di Intelligenza Artificiale. Una rete neurale, basata su un'architettura U-NET (disponibile su: <https://github.com/dldx/PV-detector>), è stata ri-addestrata per poter riconoscere i pannelli in un contesto alpino come quello della PAT, con la preparazione di dati di *training* e l'annotazione manuale di circa 1600 pannelli. La rete è stata testata sull'ortofoto PAT 2015, con migliori caratteristiche radiometriche se confrontata con la più recente AGEA del 2020. I risultati per calcolo delle aree occupate per singolo comune sono riportati nella tabella condivisa.

La procedura ha restituito anche in questo caso “maschere” vettoriali per il ri-calcolo dell'irraggiamento sulle sole aree di copertura libera (Figura 14). Una fase di *editing* dei risultati automatici è stata anche in questo caso affrontata per correggere errori della rete ed identificare installazioni più recenti visibili nell'ortofoto del 2020.

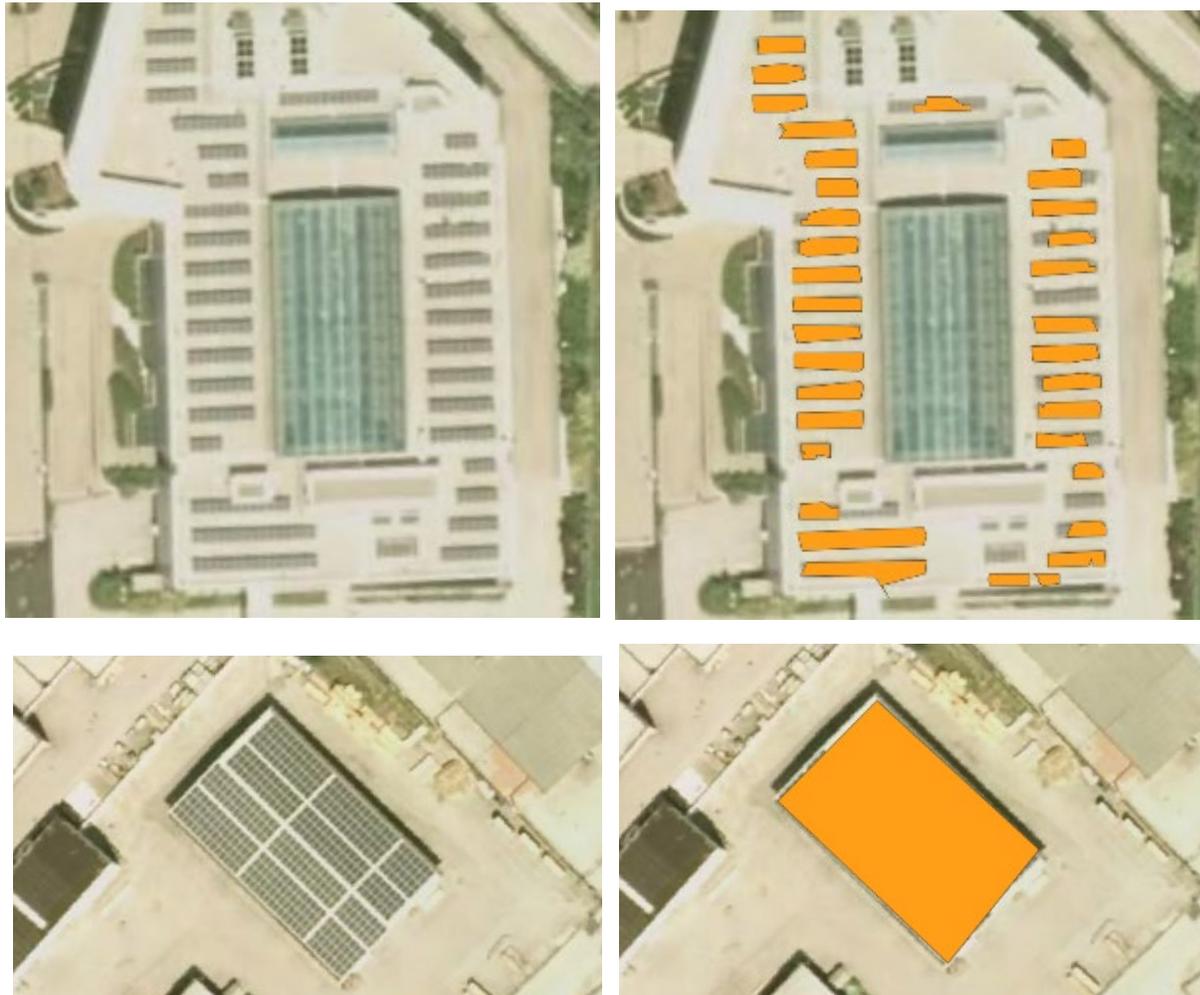


Figura 14: Riconoscimento automatico con tecniche di *deep learning* dei pannelli già installati su ortofoto PAT 2015.

2.5 Stima del potenziale fotovoltaico

Per gli scenari descritti nella Sezione 2.3 (solo edificato, solo altre aree idonee ed aree idonee totali) è stato a questo punto possibile stimare quanto segue per i singoli comuni e su base mensile ed annuale:

Producibilità [KWh/m2]:

$$E = A * r * H * PR$$

E = Energia totale (KW)

A = area totale dei pannelli

r = efficienza dei pannelli (20%)

H = irraggiamento globale

PR = *performance ratio* (80%)

Potenza nominale [KWp]:

$$P_n = r * A * G_{stc}$$

r = efficienza dei pannelli (20%)

A = area totale dei pannelli

G_{stc} = irraggiamento a condizioni standard (1000 W/m2)

Resa energetica [Kwh/KWp]:

$$Y = PR * H$$

PR = *performance ratio* (80%)

H = irraggiamento globale

Produzione elettrica [KWh] :

$$E^* = P_n * Y$$

In dettaglio, la sola Producibilità (KWh/mq) è stata calcolata con riferimento ai dati di irraggiamento ottenuti in *clear-sky condition* (Sezione 2.2). Tutti i valori sono invece inclusi nella tabella conclusiva condivisa (divisa per comuni), tenendo conto del *clear-sky index* calcolato come presentato di seguito (Sezione 3.1).

3. Verifiche

3.1 Calcolo del *clear-sky index* (K_c)

Una volta ottenuta la stima dell'irraggiamento e producibilità fotovoltaica in tutti gli scenari previsti in *clear-sky condition*, dati di radiazione forniti da 22 stazioni presenti sul territorio trentino (fonte – Meteotrentino) (Tabella 1, Figura 15) sono stati utilizzati per il calcolo del *clear-sky index* (K_c). I dati utilizzati sono riferiti a 10 anni di misurazioni (2011-2021), escludendo i valori considerati dai codici qualità incerti. La mediana dei valori mensili è stata dunque utilizzata per il calcolo del *clear-sky index* (K_c), inteso come rapporto tra valori misurati di irraggiamento globale su superficie orizzontale e stimati tramite modelli di radiazione *clear-sky* (r_{sun} di GRASS GIS). Valori di K_c prossimi al valore 1 indicano condizioni di cielo sereno, valori vicini allo 0 una diffusa nuvolosità.

	Latitudine	Longitudine	Quota (m)
Ala (Ronchi)	45.739190	11.065450	692.00
Aldeno	45.968006	11.091231	182.00
Canazei	46.478318	11.766852	1465.00
Caoria	46.192017	11.683911	803.00
Cavalese	46.284782	11.451713	958.00
Dro (Marocche)	45.983947	10.941250	282.00
Grigno	46.006312	11.656835	238.00
Male'	46.351598	10.918411	720.00
Mezzano	46.154673	11.812625	640.00
Monte Bondone (Viote)	46.013651	11.054869	1490.00
Paganella (Malga Terlago)	46.143008	11.021504	1790.00
Passo Manghen	46.174924	11.439944	2035.00
Passo Tonale	46.262564	10.596825	1875.00
Passo Sommo	45.918646	11.206083	1360.00
Pergine Valsugana	46.061880	11.244267	498.00
Rovereto	45.896325	11.043987	203.00
Rumo	46.45391	11.008531	1100.00
Tione	46.041087	10.730879	533.00
Torbole	45.870095	10.877355	90.00
Tremalzo	45.841658	10.684142	1560.00
Trento Roncafort	46.095645	11.101370	194.00
Val Genova (Malga Caret)	46.181420	10.634818	1418.00

Tabella 1: Elenco e localizzazione delle 22 stazioni radiometriche utilizzate in 3D Solar.

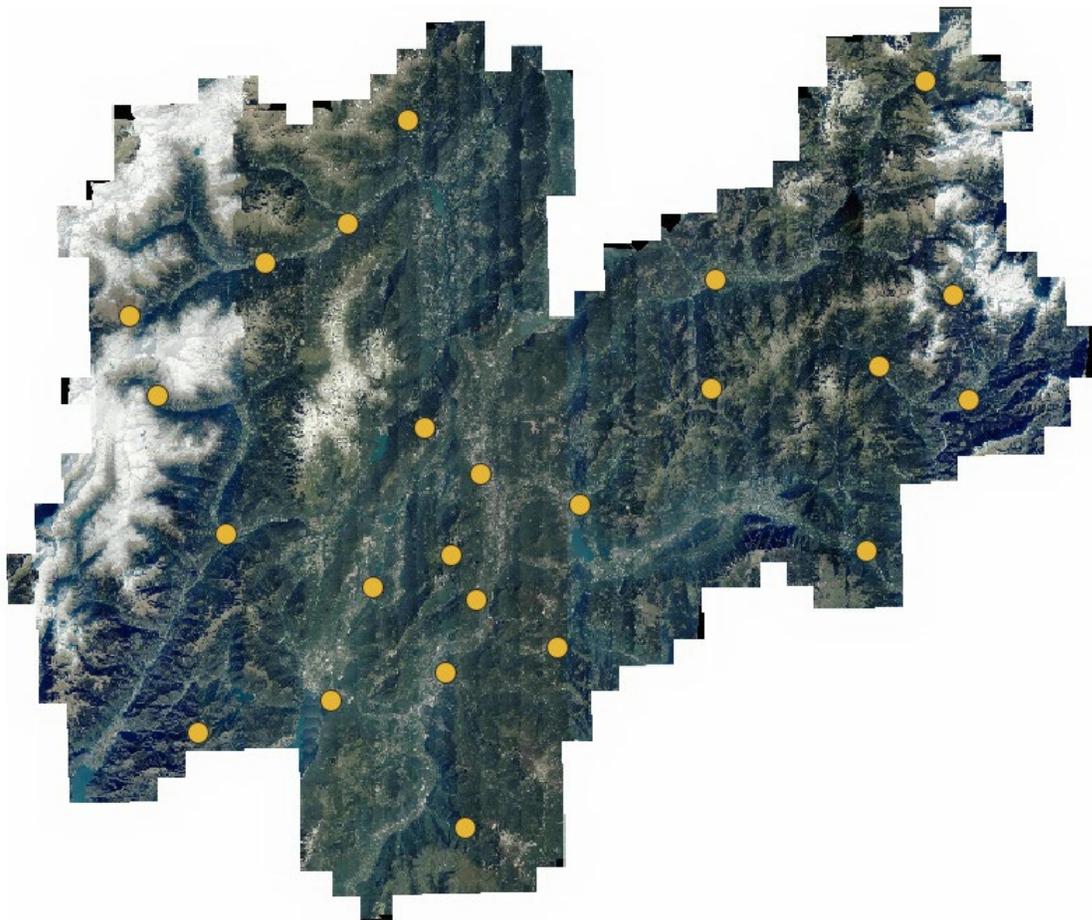


Figura 15: Distribuzione delle 22 stazioni radiometriche utilizzate sul territorio Provinciale.

Tecniche di *kriging* sono state utilizzate per interpolare i dati e calcolare indici di *clear-sky* per ogni comune del Trentino e ogni mese dell'anno (Figura 16).

Tra le tecniche di interpolazione, è stato in questo caso utilizzato il “*Regression kriging*”, ovvero una tecnica di interpolazione spaziale che combina una regressione di una variabile dipendente su predittori (variabile *target*) con il *kriging* dei residui dei predittori (ovvero la parte della variabile dipendente che non può essere interpretata dal modello). Il *Regression kriging* è dunque una tecnica ibrida che combina un semplice o multiplo *layer regression model* con un *Ordinary kriging* dei residui della predizione. Il metodo, considera tra i predittori l'orografia del territorio (DSMs).

La tabella riassuntiva finale condivisa, riporta i valori calcolati per ogni comune, mese ed anno, oltre ad utilizzare questi valori nel calcolo della producibilità, potenza nominale, resa energetica e produzione elettrica.

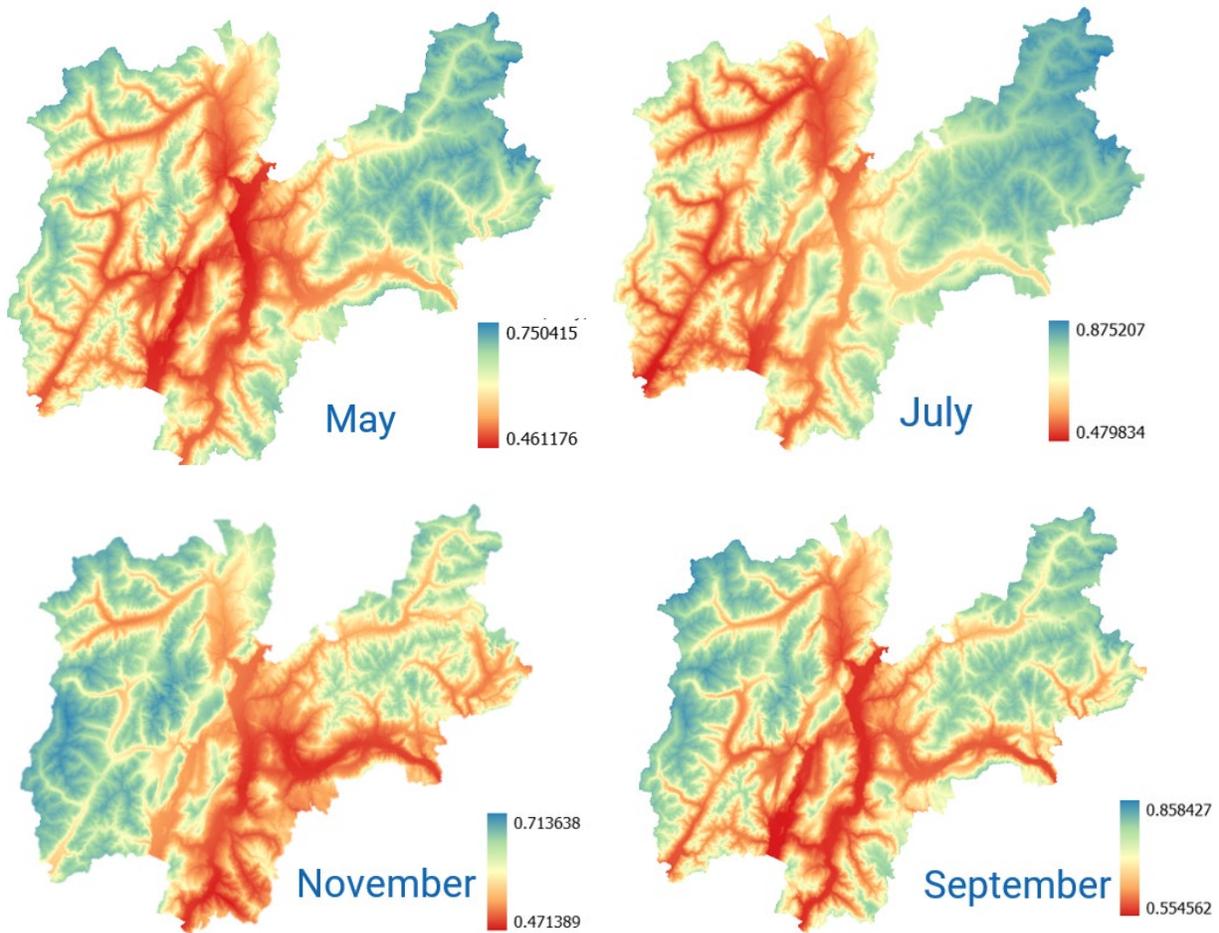


Figura 16: Esempi di mappe generate con metodi di *kriging* per il calcolo del *clear-sky index* per i diversi mesi dell'anno sull'intero territorio provinciale.

3.2 Verifica delle aree effettivamente disponibili in copertura per nuove installazioni

Come ulteriore verifica delle aree effettivamente disponibili in copertura per nuove installazioni sono stati selezionati diversi scenari e condotte ulteriori analisi spaziali e geometriche. Considerando limiti fisici e di convenienza economica per l'installazione di nuovi pannelli, delle aree totali in copertura (libere da impianti da installati) è stata analizzata la percentuale di superficie disponibile dopo l'esclusione di aree che non soddisfano specifici criteri.

In particolare, considerando diverse aree urbane in cinque comuni (Civezzano, Folgaria, Pergine, Rovereto e Trento) sono state generate "maschere" automatiche per le mappe di irraggiamento, da cui poter ricalcolare le aree disponibili. Sono state considerate aree effettivamente idonee i pixels con valori di:

- Irraggiamento superiore a 1000 KWh/mq;
- Pendenza (*Slope*) superiore a 45°;
- *Aspect* compresi tra i 22.5 e 335.5 (esclude le falde più a nord);

L'applicazione di un'area di buffer di 50 cm ha inoltre escluso dal computo delle aree idonee le superfici ai bordi delle coperture (Figura 17).

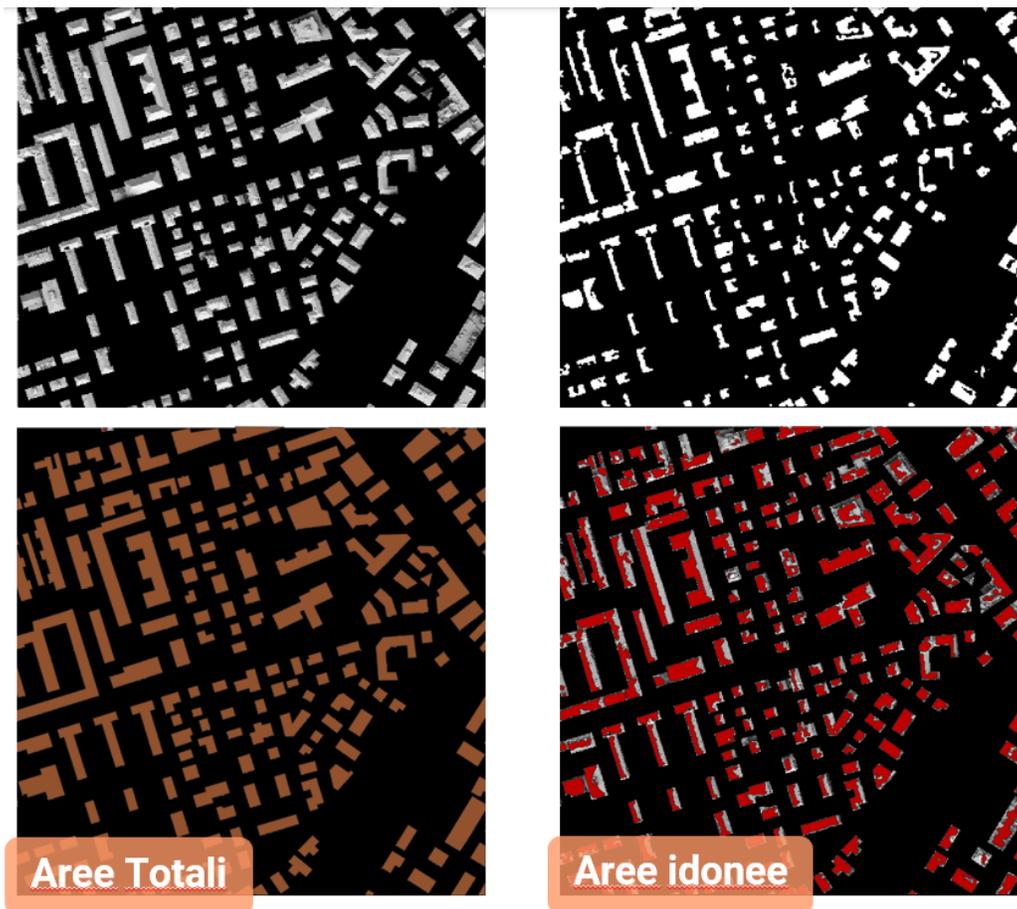


Figura 17: Esempio di *masking* automatico e ri-calcolo delle aree effettivamente idonee a nuove installazioni in copertura.

I risultati mostrano una percentuale di aree effettivamente utilizzabili di :

- Circa il 62% per Civezzano;
- Circa il 63% per Folgaria;
- Circa il 66% per Pergine;
- Circa il 59% per Rovereto;
- Circa il 58% per Trento.

In definitiva, una percentuale del 60% delle aree calcolate come disponibili nella prima fase può essere considerato prudenzialmente ed effettivamente utile a nuove installazioni.

3.3 Verifica dei dati di producibilità fotovoltaica

Tra le complessità di questo lavoro, una riguarda la validazione dei dati di stima della producibilità fotovoltaica, per la scarsità di dati su impianti attivi sul territorio e sulle loro caratteristiche. I dati

più completi, in particolare sui rendimenti degli impianti in un arco temporale più esteso, sono riferiti a 7 grandi impianti distribuiti sul territorio provinciale.

Considerando la mediana dei valori di irraggiamento, di PR (*Performance Ratio*) e di energia prodotta riportati per i diversi impianti (anni 2010-2021) la tabella (Tabella 2) riporta le differenze tra i valori misurati (mediane) e quello stimati in 3D Solar di produzione annuale:

Impianto	PR Medio	PV stimato vs Valori Misurati (KWh)	
SAIT COOP	73.62%	+ 16%	
TRENTINO TRASPORTI	73.62%	+5%	
CAVIT	73.38%	+9%	
BAU EXPERT	53.67%	+34%	
AXPO	71.43%	+10%	
METALSISTEM SPA	67.36%	+12%	
DRO	75.57%	+14%	

Tabella 2: Dati riassuntivi del confronto tra dati stimati di producibilità e produzione effettiva per 7 grandi impianti in Trentino.

Nelle differenze tra valori stimati e misurati va tenuto conto che i valori di efficienza e rendimento dei pannelli considerati in questo studio (rispettivamente 20% e 80%) tengono conto dell'avanzamento delle tecnologie dei pannelli che saranno in distribuzione ed installati nei prossimi anni. Dai dati in tabella 2 si evince che il rendimento attuale si aggira intorno al 70% (con l'eccezione del caso di Bau Expert, dove chiaramente si registra la differenza maggiore), mentre informazioni sulla loro efficienza non sono disponibili per altri confronti. Considerando questi fattori, così come alcune differenze nel calcolo nelle aree dei pannelli installati si ritiene che, almeno nei casi considerati, la stima sul potenziale di 3D Solar possa essere considerata sufficientemente accurata.

4. Risultati

I risultati finali di 3D Solar comprendono dati vettoriali, tabellari e raster. In particolare, come **dati vettoriali** (Figura 18):

- Per ogni comune, sono stati prodotti *shapefiles* relativi allo scenario delle aree idonee totali considerati nello studio. Gli attributi dei poligoni forniscono informazioni sulle rispettive aree e dati di irraggiamento annuale (*clear-sky*).

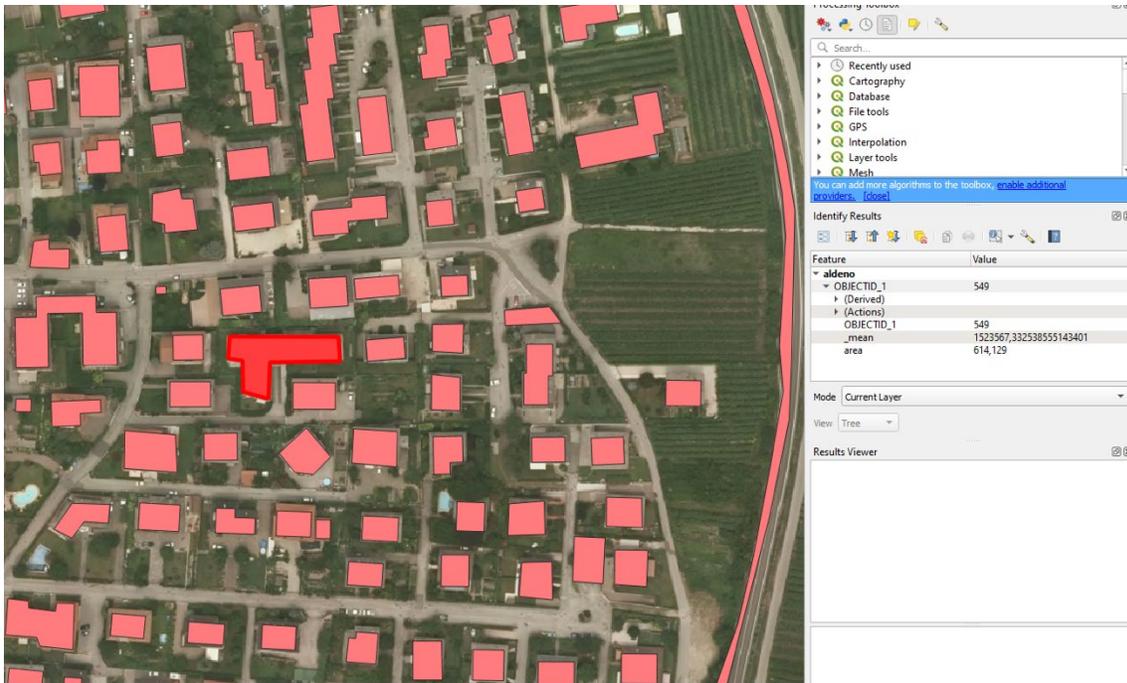


Figura 18: Esempio di *shapefile* prodotto con valori annuali di irraggiamento e rispettiva area di riferimento (comune di Aldeno).

I dati tabellari (comprendono invece, per ogni comune (valori mensili ed annuali) (Figura 19):

- a) Dati calcolati con modello *clear-sky*, in tre scenari (solo edifici, aree idonee totali, solo altre aree idonee):
 - 1) Irraggiamento Solare (Wh/mq);
 - 2) Producibilità (Wh/mq);
 - 3) Area (mq)

- b) Ancora con riferimento al modello *clear-sky*:
 - 1) Dati sull'irraggiamento solare (ri-calcolati escludendo le aree già pannellate) (Wh/mq);
 - 2) Totale delle aree pannellate per comune (mq).

- c) Percentuale delle aree in copertura considerate utilizzabili ed idonee a nuove installazioni (Sezione 3.2).

- d) *Clear-sky index* per ogni comune (valori mensili ed annuali) (Sezione 3.1).

e) Dati corretti con *clear-sky index* riferiti a (su tre scenari / solo edifici, totale aree idonee e solo altre aree idonee):

- 1) Irraggiamento solare (Wh/mq);
- 2) Producibilità (Wh/mq);
- 3) Potenza Nominale (KWp);
- 4) Resa Energetica (KWh/KWp);
- 5) Produzione Elettricità (GWh).

Clear Sky							
COMUNE	Month / Year	Aree Idonee Totali			Solo Edifici		
		Irraggiamento Solare (Wh/m ²)	Producibilità (Wh/m ²)	AREA (m ²)	Irraggiamento Solare (Wh/m ²)	Producibilità (Wh/m ²)	AREA (m ²)
ala	january	47105.243	7536.839		49101.297	7856.208	
	february	69616.256	11138.601		72144.607	11543.137	
	march	119681.061	19148.970		123281.428	19725.028	
	april	158466.458	25354.633		162163.694	25946.191	
	may	195586.871	31293.899		199187.179	31869.949	
	june	200072.560	32011.610		203277.554	32524.409	
	july	202885.040	32461.606	1735982	206467.568	33034.811	624235
	august	177189.218	28350.275		181056.255	28969.001	
	september	133303.170	21328.507		137080.481	21932.877	
	october	89899.743	14383.959		92841.865	14854.698	
	november	53706.714	8593.074		55871.261	8939.402	
	december	38317.222	6130.755		40081.679	6413.069	
year		1485829.555	237732.729		1522554.869	243608.779	

Clear Sky									
COMUNE	Month / Year	Altre Aree Idonee (Parcheggi, zone produttive, ...)			Solo edifici senza Aree pannellate	Aree Pannellate	% area tetto utilizzabile	Kc	
		Irraggiamento Solare (Wh/m ²)	Producibilità (Wh/m ²)	AREA (m ²)	Irraggiamento Solare (Wh/m ²)	AREA (m ²)			
ala	april	148764.836	23802.374		162045.637			0.672	
	may	188571.676	30171.468		199061.442			0.594	
	june	195157.849	31225.256		203161.196			0.684	
	july	196806.606	31489.057	1302877	206341.399	22424	0.600	0.695	
	august	168146.957	26903.513		180929.323			0.695	
	september	122014.383	19522.301		136965.178			0.667	
	october	79360.378	12697.660		92751.923			0.677	
	november	44553.619	7128.579		55800.441			0.634	
	december	30865.521	4938.483		40023.329			0.752	
	year		1380846.077	220935.372		1521353.212			0.682

Clear Sky * Kc													
Aree Idonee Totali			Solo Edifici					Altre Aree Idonee (Parcheggi, zone produttive, ...)					
Potenza Nominale (KWp)	Resa Energetica (KWh/KWp)	Calcolo Resa Energetica	Irraggiamento Solare (Wh/m ²)	Producibilità (Wh/m ²)	Potenza Nominale (KWp)	Resa Energetica (KWh/KWp)	Produzione Elettricità (GWh)	Irraggiamento Solare (Wh/m ²)	Producibilità (Wh/m ²)	Potenza Nominale (KWp)	Resa Energetica (KWh/KWp)	Produzione Elettricità (GWh)	
28.811	16.630	Yf = PR * H / Gste	37539.562	6006.330				29523.248	4723.720			23.619	3.646
35.276		-PR = performance ratio	45696.259	7311.401				37879.320	6060.601			30.303	4.678
68.155		H = solar irradiation	87756.980	14041.117				77010.601	12321.696			61.608	9.511
85.228		Gste = irraggiamento condizioni standard	109020.069	17443.211				87.216	6.299			80.010	12.352
92.996			118394.182	18941.469				112075.002	17932.000			89.660	13.842
109.408			138950.189	22322.030				111.160	8.028			106.720	16.475
112.828			143525.692	22964.111				114.821	8.292			109.448	16.896
98.525			125843.514	20134.962				100.675	7.270			93.497	14.434
71.127			91428.051	14628.488				73.142	5.282			65.104	10.051
48.722			62895.068	10063.211				50.316	3.634			43.010	6.640
27.233			35413.385	5666.142				28.931	2.046			22.592	3.488
23.064			30157.099	4825.136				24.126	1.742			18.578	2.868
810.350	166.630		1037974.311	166075.890	72217.280			830.379	59.968			753.094	116.262

Figura 17: Esempio di dati tabellari prodotti per il comune di Ala.

Le **mappe raster** finali di irraggiamento (Figura 20) sono relative all'assunzione di *clear-sky condition* (Sezione 2.2.3) e sono riferite a:

- 1) Intero comune;
- 2) Aree totali idonee;
- 3) Coperture dell'edificato;
- 4) Coperture dell'edificato escludendo le aree pannellate;
- 5) Altre aree idonee individuate.



Figura 20: Esempi di mappe raster nei diversi scenari prodotti per i diversi comuni (solo edificato in alto, totale delle aree idonee in basso).

5. Conclusioni

Questo documento presenta metodi e soluzioni utilizzati in 3D Solar per la stima del potenziale fotovoltaico dell'intera PAT. Considerata la particolare orografia del territorio, un approccio multi-scalare è stato adottato per la stima degli ombreggiamenti e per considerare tutte le possibili occlusioni dovuti a fattori geografici e caratteristiche degli assetti urbani. La stima finale fa affidamento su dati di irraggiamento ad alta risoluzione (1 m) e su processi automatizzati per l'estrazione di informazioni dalla gran mole di dati utilizzati. Tecniche di interpolazione, analisi geospaziali e metodi di Intelligenza Artificiale fanno parte del *workflow* implementato per un progetto su così ampia scala.

I risultati di 3D Solar, mappe raster, dati vettoriali e tabellari sono concepiti come strumenti utili al miglioramento delle politiche energetiche su scala locale e provinciale. E' in previsione la possibilità di rendere disponibili questi dati alla cittadinanza, con l'obiettivo di incentivare l'installazione di nuovi impianti e supportare la transizione ecologica imposta dalla attuale crisi climatica ed energetica.

Tra gli aspetti più critici del progetto, alcuni sono risultati particolarmente rilevanti:

- La non disponibilità di dati di input aggiornati, in particolare per i DSMs (anni 2014 e 2011) ed ortofoto (la scarsa radiometria dell'ortofoto AGEA del 2020 ne ha permesso solo un parziale utilizzo nelle fasi di progetto);
- La non eterogeneità e poca accuratezza dei dati geospaziali disponibili per il territorio provinciale (dati non coincidenti) e la necessità di intervenire manualmente in molte fasi del processamento;
- La scarsa disponibilità di dati di validazione, sia per l'effettiva radiazione misurata (considerando la quantità di dati incerti o mancanti in molti casi) che per l'effettiva produzione degli impianti installati rispetto alla stima prodotta. Con riferimento a quest'ultimo punto, le ulteriori verifiche effettuate, non riportate in questo documento, non hanno prodotto risultati utili, considerata la scarsità di informazioni e non accuratezza della localizzazione degli impianti di cui erano riportati valori di produzione.

Remondina Fabio

6. Bibliografia

1. Alam, A.M., Razeq, I.A. and Zunaed, M., 2021, April. Solar PV Power Forecasting Using Traditional Methods and Machine Learning Techniques. In *2021 IEEE Kansas Power and Energy Conference (KPEC)* (pp. 1-5). IEEE.
2. Antonanzas, J., Osorio, N., Escobar, R., Urraca, R., Martinez-de-Pison, F.J. and Antonanzas-Torres, F., 2016. Review of photovoltaic power forecasting. *Solar energy*, *136*, pp.78-111.
3. Agugiario G., Remondino F., Stevanato G., Filippi R.-D., Furlanello C., 2011. Estimation of solar radiation on building roofs in mountainous areas. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXVIII-3/W22. p. 155–60. Doi: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-3-W22-155-2011.
4. Agugiario G., Nex F., Remondino F., Filippi R.-D., Droghetti S., Furlanello C. 2012. Solar radiation estimation on building roofs and web-based solar cadaster. *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*;I-2:177–82.
5. Ahmed, R., Sreeram, V., Mishra, Y. and Arif, M.D., 2020. A review and evaluation of the state-of-the-art in PV solar power forecasting: Techniques and optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *124*, p.109792.
6. Assouline D., Mohajeri N., Scartezzini J.-L., 2015. A machine learning methodology for estimating roof-top photovoltaic solar energy potential in Switzerland. In: *Proceedings of international conference CISBAT*; 555–60. Doi: 10.5075/epfl-cisbat2015-555-560.
7. Assouline, D., Mohajeri N., Scartezzini J.-L., 2017. Quantifying rooftop photovoltaic solar energy potential: a machine learning approach. *Solar Energy* *141*, 278-296.
8. Assouline D., Mohajeri N., Scartezzini J.-L., 2018. Estimation of large-scale solar rooftop PV potential for smart grid integration: a methodological review. *Sustain Interdependent Networks*, Springer;145:173–219.
9. Bessafi, M., Oree, V., Khooaruth, A. and Chabriat, J.P., 2020. Impact of decomposition and kriging models on the solar irradiance downscaling accuracy in regions with complex topography. *Renewable Energy*, *162*, pp.1992-2003.
10. Bocca, A., Bottaccioli, L., Chiavazzo, E., Fasano, M., Macii, A. and Asinari, P., 2016. Estimating photovoltaic energy potential from a minimal set of randomly sampled data. *Renewable Energy*, *97*, pp.457-467.
11. Boz M.B., Calvert K., Brownson J.R.S., 2015. An automated model for rooftop PV systems assessment in ArcGIS using LiDAR. *Energy*;3(3):401–20.
12. Choi, Y., Suh, J. and Kim, S.M., 2019. GIS-based solar radiation mapping, site evaluation, and potential assessment: A review. *Applied Sciences*, *9*(9), p.1960.
13. European Commission (2019). The European Green Deal. COM(2019) 640 final, Brussels. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>.
14. European Commission (2022a). REPowerEU Plan. COM(2022) 230 final, Brussels. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>.

15. European Commission (2022b). EU Solar Energy Strategy. COM(2022) 221 final, Brussels. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A221%3AFIN>.
16. Fakhraian, E., Forment, M.A., Dalmau, F.V., Nameni, A. and Guerrero, M.J.C., 2021a. Determination of the urban rooftop photovoltaic potential: A state of the art. *Energy Reports*, 7, pp.176-185.
17. Fakhraian, E., Alier, M., Valls Dalmau, F., Nameni, A. and Casañ Guerrero, M.J., 2021b. The Urban Rooftop Photovoltaic Potential Determination. *Sustainability*, 13(13), p.7447.
18. Feng, Y., Hao, W., Li, H., Cui, N., Gong, D. and Gao, L., 2020. Machine learning models to quantify and map daily global solar radiation and photovoltaic power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, p.109393.
19. Frederiksen, C.A.F. and Cai, Z., 2022. Novel machine learning approach for solar photovoltaic energy output forecast using extra-terrestrial solar irradiance. *Applied Energy*, 306, p.118152.
20. Gassar, A.A.A. and Cha, S.H., 2021. Review of geographic information systems-based rooftop solar photovoltaic potential estimation approaches at urban scales. *Applied Energy*, 291, p.116817.
21. Giannelli, D., León-Sánchez, C. and Agugiario, G., 2022. Comparison and evaluation of different GIS software tools to estimate solar irradiation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, pp.275-282.
22. Groppi, D., Santoli, L., Cumo, F. Garcia, A., 2018. A GIS-based model to assess buildings energy consumption and usable solar energy potential in urban areas. *Sustain Cities Soc*;40:546–58.
23. Horan, W., Byrne, S., Shawe, R., Moles, R., O'Regan, B. A geospatial assessment of the rooftop Decarbonisation potential of industrial and commercial zoned buildings: an example of Irish cities and regions. *Sustain Energy Technol Assess* 2020;38: 100651.
24. Jamaly, M. and Kleissl, J., 2017. Spatiotemporal interpolation and forecast of irradiance data using Kriging. *Solar Energy*, 158, pp.407-423.
25. Jenco M., 1992. Distribution of direct solar radiation on georelief and its modelling by means of complex digital model of terrain (in Slovak). *Geograficky casopis*, 44, 342-355.
26. Krcho J., 1990. Morfometricka analiza a digitalne modely georeliefu (Morphometric analysis and digital models of georelief). VEDA, Bratislava.
27. Laiti, L., Giovannini, L., Zardi, D. and di Fisica dell'Atmosfera, G., 2016. *Atlante Climatico Trentino*.
28. Li, Z., Rahman, S.M., Vega, R. and Dong, B., 2016. A hierarchical approach using machine learning methods in solar photovoltaic energy production forecasting. *Energies*, 9(1), p.55.
29. Mainzer, K., Killinger, S., McKenna, R., Fichtner, W., 2017. Assessment of rooftop photovoltaic potentials at the urban level using publicly available geodata and image recognition techniques. *Sol Energy*;155:561–73.

30. Monger, S.H., Morgan, E.R., Dyreson, A.R. and Acker, T.L., 2016. Applying the kriging method to predicting irradiance variability at a potential PV power plant. *Renewable Energy*, 86, pp.602-610.
31. Nam, S. and Hur, J., 2018. Probabilistic forecasting model of solar power outputs based on the naive Bayes classifier and kriging models. *Energies*, 11(11), p.2982.
32. Nelson, J.R. and Grubestic, T.H., 2020. The use of LiDAR versus unmanned aerial systems (UAS) to assess rooftop solar energy potential. *Sustainable Cities and Society*, 61, p.102353.
33. NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2000. Solar position and intensity program SOLPOS 2.0. NREL, Golden, CO.
34. Oliver, M.A. and Webster, R., 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113, pp.56-69.
35. Page J., Albuissou M., Wald L., 2001. The European solar radiation atlas: a valuable digital tool. *Solar Energy*, 71, 81-83.
36. Palmer D., Koumpli E., Cole I., Gottschalg R., Betts T., 2018. A GIS-based method for identification of wide area rooftop suitability for minimum size PV systems using LiDAR data and photogrammetry. *Energies*;11(12):3506.
37. Prieto, I., Izkara, J.L. and Usobiaga, E., 2019. The application of lidar data for the solar potential analysis based on urban 3D model. *Remote Sensing*, 11(20), p.2348.
38. Ramadhan, R.A., Heatubun, Y.R., Tan, S.F. and Lee, H.J., 2021. Comparison of physical and machine learning models for estimating solar irradiance and photovoltaic power. *Renewable Energy*, 178, pp.1006-1019.
39. Rana, M. and Rahman, A., 2020. Multiple steps ahead solar photovoltaic power forecasting based on univariate machine learning models and data re-sampling. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 21, p.100286.
40. Saretta E., Caputo P., Frontini F., 2020. An integrated 3D GIS-based method for estimating the urban potential of BIPV retrofit of facades. *Sustain Cities Soc* 2020;62:102410.
41. Sreckovic N., Lukac N., Zalik B., Stumberger G., 2016. Determining roof surface for the installation of PV (photovoltaic) systems, based on LiDAR (Light Detection And Ranging) data, pyranometer measurements, and distribution network configuration. *Energy*;96:404–14.
42. Suomalainen, K., Wang, V., Sharp, B., 2017. Rooftop solar based on LiDAR data: bottom-up assessment at neighbourhood level. *Renew Energy*;111:463–75.
43. Thai, C., Brouwer, J., 2021. Challenges estimating distributed solar potential with utilization factors: California universities case study. *Appl Energy*; 282: 116209. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116209>.
44. Van Tai, D., 2019, October. Solar photovoltaic power output forecasting using machine learning technique. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1327, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
45. Walch A., Castello R., Mohajeri N., Scartezzini J.-L., 2020. Big data mining for the estimation of hourly rooftop photovoltaic potential and its uncertainty. *Appl Energy* 2020;262:114404.

46. Zazoum, B., 2022. Solar photovoltaic power prediction using different machine learning methods. *Energy Reports*, 8, pp.19-25.



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



AGENZIA PROVINCIALE PER LE RISORSE IDRICHE E L'ENERGIA



WEBGIS

MAPPA DEL POTENZIALE DI PRODUZIONE DI ENERGIA FOTOVOLTAICA DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

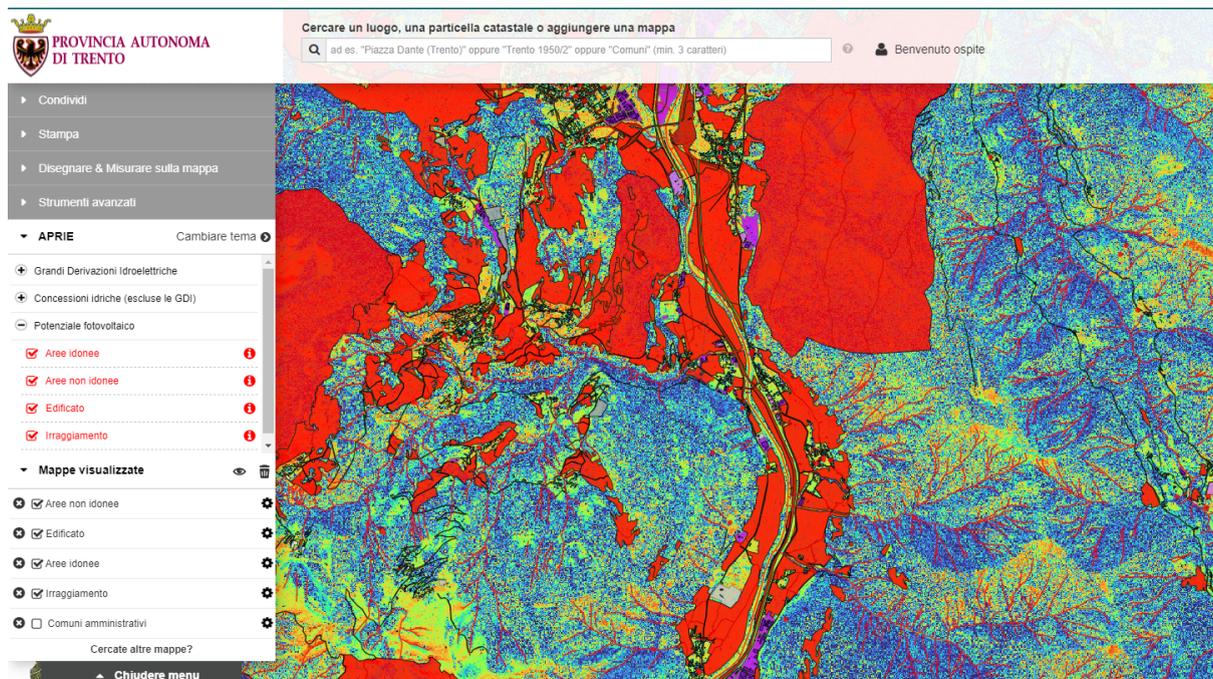
Istruzioni operative

Al fine di rendere pubblica la fruizione del modello di produzione solare del territorio della Provincia autonoma di Trento, lo stesso è stato caricato sul webgis trasversale che permette di visualizzare tutta la cartografia prodotta dalle strutture provinciali. Attraverso l'attivazione dei diversi livelli si possono sovrapporre differenti carte, utili ad inquadrare ciascuna area di riferimento sotto differenti aspetti.

L'accesso al webgis avviene attraverso il link https://webgis.provincia.tn.it/wgt/?lang=it&topic=19&bgLayer=orto2015&layers=ammcom&layers_visibility=false&X=5112932.25&Y=674063.69&zoom=2&catalogNodes=94

Le cartografie relative all'irraggiamento solare sono comprese nella sezione dell'APRIE, Agenzia Provinciale per le Risorse Idriche e l'Energia che ha redatto la stima (Se la sezione non è visibile, si può cercare attraverso il pulsante "cambiare tema").

Tale strumento è stato pensato nell'ottica di risultare il più possibile utile al cittadino per capire quanta energia possa essere prodotta da un impianto installato sulla propria abitazione. Pertanto, pur avendo a disposizione i dati ritagliati per sole coperture e per sole aree idonee, si è optato per mettere a disposizione il calcolo per tutto il territorio, incluse quindi le aree non idonee. Ciò sia per poter rispondere ad eventuali evoluzioni normative che a eventuali varianti alla destinazione urbanistica delle aree.



Al fine di orientare al meglio l'utente sono stati quindi inseriti e predisposti alcuni livelli, attivabili dall'utente per facilitare l'individuazione delle zone. In particolare, accedendo alla apposita sezione APRIE l'utente, al fine di facilitare l'individuazione delle aree di interesse, può sovrapporre al livello della mappa più livelli vettoriali corrispondenti a differenti carte e in particolare:

- un livello con le sagome dell'edificato, utile per individuare gli edifici;
- un livello con le aree idonee previste all'allegato B della L.P. 2 maggio 2022 n.4;
- un livello con le aree non idonee costituite dalle invariati al PUP;
- Gli edifici e le aree con vincolo di tutela culturale (diretto e indiretto);

Attraverso lo strumento "misurare e disegnare sulla mappa" è possibile tracciare un'area e calcolare la potenza installabile in kW e la produzione media annua di energia. I calcoli di tale potenziale sono operati come precedentemente descritto nel relativo capitolo.

La mappa di base risulta visualizzabile solo ad una scala inferiore a 1:20.000 e l'area selezionabile è limitata a 5000 mq per permettere analisi precise e verosimili. (è possibile, per aree superiori, definire più forme giustapposte per un calcolo di superfici)

I tematismi:

Di seguito la descrizione degli specifici tematismi corrispondenti ai livelli attivabili sul webgis

Irraggiamento

La mappa mostra il territorio colorato attraverso una scala cromatica che partendo dal blu (aree non soleggiate) e fino al rosso (aree molto soleggiate) mostra il territorio trentino. Si tratta di un livello raster, dove ad ogni pixel è associato un valore. Interrogando con lo strumento "disegnare e misurare sulla mappa" il sito restituisce il valore di potenza installabile, resa e producibilità annua dell'area tracciata.

Aree idonee

Il tematismo rappresenta le aree idonee di cui all'allegato B della Legge Provinciale 2 maggio 2022 n.2. Il dato è costruito attraverso l'estrazione delle corrispondenti categorie dalla Carta di Uso del Suolo Pianificato.

Essendo la classificazione della destinazione d'uso in capo ai singoli PRG comunali, il dato rappresenta un supporto indicativo che necessita di una verifica dell'effettiva corrispondenza delle aree attraverso il PRG vigente del comune territorialmente competente.

Edificato

Il tematismo rappresenta il layer "edifici" presente sulla Carta Tecnica Provinciale, integrato delle costruzioni individuate attraverso le ortofoto 2020. Nel caso di agglomerati urbani, la forma racchiude più edifici contigui. Il tematismo è utile ad individuare sulla carta dell'irraggiamento le costruzioni esistenti. Il tematismo non comprende gli edifici soggetti a vincolo di interesse culturale in quanto l'installazione di impianti fotovoltaici e solari termici su dette costruzioni è subordinata all'autorizzazione della Soprintendenza per i beni culturali. Il livello dei vincoli culturali (diretti e indiretti) è già presente sul webgis ed attivabile con una semplice ricerca.

Aree non idonee, descrizione

Il tematismo rappresenta le invarianti al PUP ovvero le aree nelle quali non è possibile installare impianti fotovoltaici in aree diverse dalle coperture e dalle pertinenze delle costruzioni esistenti.

Tale strumento dovrebbe in questo modo fornire all'utente tutti gli strumenti per capire la producibilità delle aree ma anche la effettiva fattibilità dell'intervento. Nello specifico dovrebbe indirizzare:

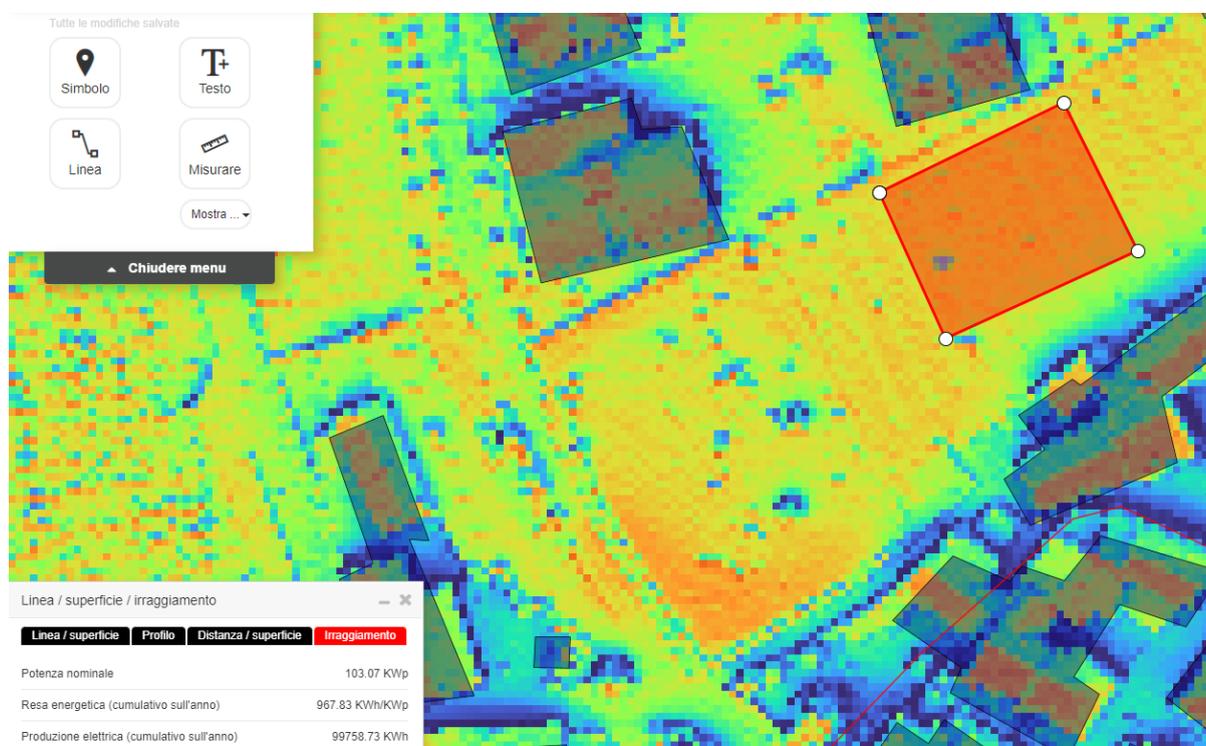
- i cittadini ad individuare il potenziale di produzione del proprio patrimonio edilizio;
- i tecnici ad avere uno strumento di confronto sui valori di irraggiamento ma anche uno strumento utile per la pianificazione e nell'individuazione dei vincoli per l'installazione di impianti da fonte solare;
- i comuni sia per la parte edilizia, permettendo di conoscere quali e dove siano le aree idonee e non idonee sul territorio, sia per la parte di pianificazione potendo avere a disposizione il soleggiamento anche di aree non idonee.

- i servizi provinciali che, attraverso la sovrapposizione di differenti layer possono avere un quadro completo delle aree oggetto di Autorizzazione Integrata per l'Energia, relative a vincoli e potenziale solare.

Calcolare la potenza installabile su di un'area

Attraverso lo strumento "Disegnare e misurare sulla mappa" l'utente può facilmente tracciare un'area sulla mappa di irraggiamento e conoscere, oltre ai valori di lunghezza del perimetro e superficie, anche la potenza energetica installabile, la resa energetica e la produzione elettrica annua.

Una volta disegnato un poligono chiuso (attenzione a chiudere il poligono) nella sezione "irraggiamento" si trovano i dati relativi a un ipotetico impianto fotovoltaico.



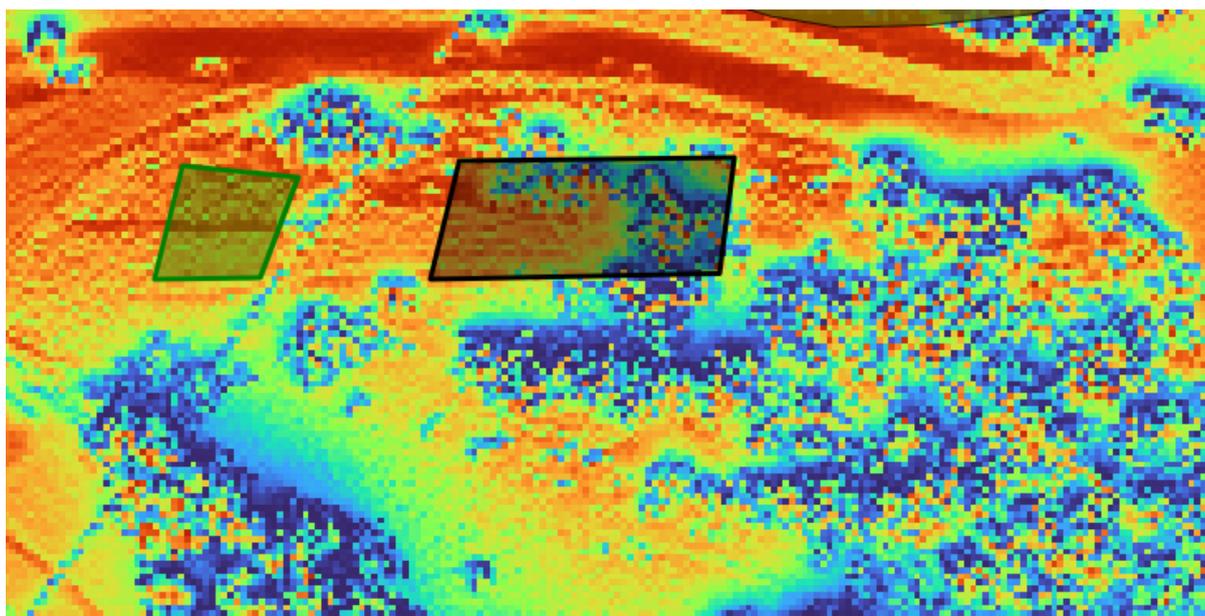
Punti di attenzione

Va specificato che il calcolo viene effettuato ponendo il pannello esattamente aderente alla superficie. Su un terreno piano il pannello viene posto in orizzontale. Naturalmente ciò porta ad un valore teorico che, in fase esecutiva può anche essere migliorato. Se i pannelli anziché essere posti in orizzontale sono orientati a sud ed inclinati di 30° produrranno di più. Se un terreno è pendente verso nord ma viene rimodellato per installare i pannelli, lo stesso potrà produrre di più. Ciò va valutato in fase esecutiva nella corretta progettazione e dimensionamento degli impianti.



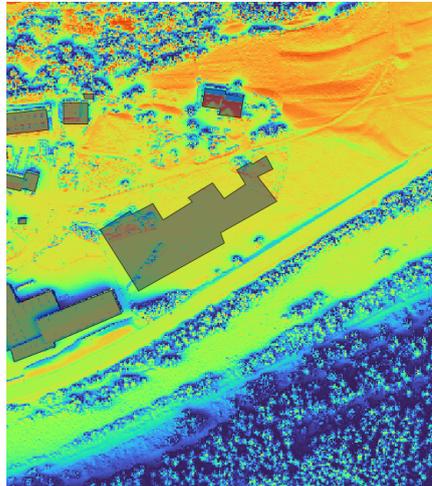
Come specificato in precedenza, i calcoli sono effettuati attraverso il modello digitale del territorio costituito dal volo LIDAR commissionato dalla Provincia di Trento. Lo stato dei suoli e degli edifici nell'analisi è quindi quello ripreso dal volo. Nelle aree sono quindi compresi per esempio alberi, manufatti, strutture che in caso di installazione dell'impianto potrebbero subire modifiche.

Nell'esempio di seguito riportato, volendo installare un impianto nell'area a destra (nera) presumibilmente si elimineranno gli alberi che, nel modello, riducono di molto l'irraggiamento della superficie. Al fine di calcolare la potenza che tale impianto a terra, senza alberi, potrebbe avere, il progettista può calcolare il valore medio a metro quadro di una superficie analoga senza alberi (poligono verde a sinistra) e moltiplicare lo stesso per l'area della superficie in cui prevede l'intervento.



Un ulteriore punto di attenzione è rappresentato dalla discordanza tra gli edifici nelle ortofoto e quelli rilevati dal Lidar. I rilievi Lidar utilizzati come base del modello sono i più recenti a

disposizione della PAT ma risalgono al 2014. Le ortofoto utilizzate sono quelle PAT 2015 e AGEA 2020. Per tener conto dell'evoluzione avvenuta tra il 2014 e il 2022, attraverso le ortofoto 2020 sono stati individuati gli edifici nuovi non presenti nel rilievo Lidar. Tuttavia l'irraggiamento di questi edifici è calcolato sempre sul modello Lidar pertanto non calcola l'effettiva forma, inclinazione e superficie del tetto ma calcola l'area del sedime dell'edificio sovrapposta al terreno precedentemente rilevato.



Esempio: come si vede dalle immagini, a sinistra nell'ortofoto 2015 non era presente il capannone che invece è stato considerato come edificio.

Poichè nemmeno il Lidar 2014 ha rilevato l'edificio, l'irraggiamento (a destra) è riferito al terreno senza l'edificio.

Considerato la mole dei dati e il fatto che questi edifici siano un numero ridotto rispetto al complessivo patrimonio edilizio considerato, visti anche i risultati e tenuto conto che si tratta probabilmente per la maggior parte dei casi di calcoli che vanno a sottostimare la reale producibilità, si ritiene di segnalare la discrepanza per doverosa correttezza metodologica, ma non per questo ritenere il modello ed i risultati meno attendibili.

PER INFORMAZIONI:



Agenzia Provinciale per le Risorse Idriche e l'Energia (APRIE)
Ufficio studi e pianificazione delle risorse energetiche

Piazza Fiera, 3 – 38122 Trento
T +39 0461 497310
F +39 0461 497301
pec aprie@pec.provincia.tn.it
@ aprie@provincia.tn.it
www.energia.provincia.tn.it