

POLITECNICO DI TORINO

Laurea Magistrale in

Ingegneria per l'ambiente e il territorio

Tesi di Laurea Magistrale

**STUDIO DI FATTIBILITÀ VOLTO ALLA CREAZIONE DI COMUNITÀ
ENERGETICHE IN VALLE D'AOSTA:
I CASI STUDIO DI LA SALLE E CHAMOIS**



Relatore accademico:
Prof. Guglielmina Mutani

Candidato:
Dario Bonfiglio

A.A 2020/2021

Indice

Abstract (ENG)	iii
Abstract (ITA)	iv
Introduzione	1
1 Sviluppo sostenibile e le Comunità energetiche	1
1.1 Lo Sviluppo Sostenibile in Europa e nel mondo	1
1.2 Le comunità energetiche	5
1.3 Le comunità energetiche esistenti in Europa	7
1.4 La rete elettrica in Italia e le comunità energetiche esistenti	10
1.5 Fonti energetiche rinnovabili	14
2 Normativa vigente in materia di comunità energetiche	18
2.1 Direttive europee	18
2.2 Normativa nazionale italiana	18
2.3 Normative regionali	19
2.4 Requisiti e incentivi economici	22
3 Metodologia	24
4 Analisi territoriale	30
4.1 La Salle	37
4.1.1 Caratteristiche territoriali, geomorfologiche e climatiche	37
4.1.2 Caratteristiche demografiche e socio-economiche	41
4.1.3 Caratteristiche del patrimonio edilizio e dell'ambiente costruito	43
4.1.4 Risorse energetiche	46
4.2 Chamois	53
4.2.1 Caratteristiche territoriali, geomorfologiche e climatiche	53
4.2.2 Caratteristiche demografiche e socio-economiche	57
4.2.3 Caratteristiche del patrimonio edilizio e dell'ambiente costruito	59
4.2.4 Risorse energetiche	62
5 Analisi energetica	67
5.1 La Salle	67
5.1.1 Profili di consumo	69
5.1.2 Profili di produzione da fonti rinnovabili	76
5.1.3 Profili di producibilità elettrica da fonti rinnovabili	82
5.2 Chamois	95
5.2.1 Profili di consumo	97
5.2.2 Profili di produzione da fonti rinnovabili	102
5.2.3 Profili di producibilità elettrica da fonti rinnovabili	105

6	Bilancio energetico	111
6.1	La Salle	113
6.1.1	Bilancio energetico: singoli prosumer	116
6.1.2	Bilancio energetico: comunità energetica	121
6.2	Chamois	125
6.2.1	Bilancio energetico: singoli prosumer	127
6.2.2	Bilancio energetico: comunità energetica	131
7	Analisi economica	135
7.1	La Salle	140
7.2	Chamois	144
8	Conclusioni e scenari futuri	148
A	Il portale PVGIS	150
	Bibliografia	157
	Elenco delle figure	164
	Elenco delle tabelle	166

Abstract (ENG)

Sustainable development is defined as a development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. In order to meet the goals of the 2030 Agenda, the European Union developed several methodologies and opportunities to improve human life, environmental health and, energy efficiency. The energy communities (REC) were born basis on this way: by creating an organization built by different types of subjects it is possible to achieve energy independence inside it, using renewable energy sources and allowing to reduce the carbon impact on the environment. The aim of this thesis is to evaluate the possibility to create two energy communities in two municipalities of the Aosta Valley, respectively La Salle, and Chamois. Starting from existing legislation in this field and by a framework of the examined area, we are going to take into account the energy balance of some buildings, of which it was possible to obtain information about consumption and production, going to implement photovoltaic systems able to produce electrical energy shareable among users of the energy community to cover the requirements. Afterward, a subsequent analysis shows economical benefits for users and how they can get a certain degree of energy autonomy by adopting this strategy. Hence, will be seen a report including different types of scenarios, considering, in particular, the number of users. The last part of the work includes conclusions, focused on the possible future scenarios that could be made to spread, among people and entities, the concept of sustainable energy development by creating energy communities.

Abstract (ITA)

Lo sviluppo sostenibile è definito come lo sviluppo che incontra i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare le proprie necessità. Al fine di raggiungere gli obiettivi imposti dall'Agenda 2030, l'Unione Europea ha sviluppato svariate metodologie e opportunità per migliorare le condizioni di vita umane, la salute ambientale e l'efficienza energetica. Le comunità energetiche (REC) sono nate in questa direzione: creando un'associazione costituita da differenti tipi di soggetti è possibile raggiungere l'indipendenza energetica all'interno della stessa, sfruttando esclusivamente fonti energetiche rinnovabili e riducendo contemporaneamente l'impatto del carbonio sull'ambiente. Lo scopo di questa tesi è valutare la possibilità di creare due comunità energetiche in due comuni della Valle d'Aosta, rispettivamente La Salle e Chamois. Partendo dalla normativa esistente in materia e dall'analisi territoriale, si prenderà in considerazione il bilancio energetico di alcuni edifici per cui è stato possibile ottenere dati riguardo i consumi e la produzione, e su di essi ipotizzare l'installazione di pannelli fotovoltaici in grado di produrre energia elettrica condivisibile tra gli utenti della comunità energetica in modo da coprire il loro fabbisogno. Successivamente, verranno mostrati i benefici economici per gli utenti e come essi possano ottenere una certa autonomia energetica adottando questa strategia. Di conseguenza, verranno trattati diversi scenari che potrebbero verificarsi, che considerano in particolare il numero di membri della comunità energetica. Le conclusioni riportano i possibili futuri sviluppi che possono essere seguiti per diffondere, tra le persone e gli enti competenti, il concetto di sviluppo energetico sostenibile mediante le comunità energetiche.

Introduzione

Tutelare l'ambiente che ci circonda, con i suoi molteplici comparti ed ecosistemi, è divenuto fondamentale se si vuole garantire alla popolazione un futuro sano e in simbiosi con il territorio. Imponendosi questa necessità è stato possibile proporre soluzioni per incontrare questo obiettivo, in Italia e in Europa.

L'obiettivo di questa Tesi di Laurea Magistrale è proporre uno studio preliminare volto alla futura formazione di due comunità energetiche, rispettivamente nei comuni valdostani di La Salle e Chamois, che hanno di recente manifestato interesse al fine di rendersi energeticamente autonomi e ad impatto zero verso l'ambiente. Grazie alla loro collaborazione, avvenuta mediante una comunicazione diretta con i sindaci dei due comuni, è stato possibile redarre un primo bilancio in grado di dare un quadro generale dei benefici ottenibili applicando questa particolare configurazione nelle due municipalità ed inoltre si è potuto verificare la validità e l'applicabilità dello studio a realtà piuttosto differenti tra loro. Studi di questo tipo sono fondamentali per fornire ai Comuni interessati informazioni utili per effettuare scelte consapevoli

La Tesi è strutturata in 8 capitoli. Il *Capitolo 1* mostra l'attuale situazione ambientale, sociale ed economica nell'Unione Europea e in Italia, spiegando il concetto di sviluppo sostenibile e di comunità energetica. Il *Capitolo 2* illustra le normative da seguire qualora si voglia creare una comunità energetica, ponendo attenzione agli incentivi esistenti. A partire dal *Capitolo 3* si descrive la metodologia di lavoro grazie alla quale si può produrre un'analisi territoriale ed energetica a scala comunale, rispettivamente nel *Capitolo 4* e *Capitolo 5*. Il *Capitolo 6* illustra il bilancio energetico noti i profili di consumo-produzione-producibilità a tre diverse scale temporali. Sulla base dei risultati ottenuti, il *Capitolo 7* mostra i costi del progetto e il guadagno ottenibile nel corso degli anni. Il *Capitolo 8* fornisce le conclusioni del lavoro, evidenziando i risultati e gli sviluppi consigliati ai fini di istituire le due comunità energetiche.

Una raccolta completa dei siti web consultabili e della bibliografia permette una facile consultazione per eventuali approfondimenti o chiarimenti sul lavoro svolto.

Capitolo 1

Sviluppo sostenibile e le Comunità energetiche

1.1 Lo Sviluppo Sostenibile in Europa e nel mondo

Rispondere alle esigenze delle generazioni attuali senza compromettere la capacità delle generazioni successive di soddisfare i propri bisogni rappresenta uno dei più grandi obiettivi dell'Unione Europea (UE) e dell'Organizzazione delle Nazioni Unite. Il concetto di sviluppo sostenibile va quindi visto ed applicato in un contesto globale, che tiene in considerazione molteplici fattori, i quali si possono riassumere in tre elementi:

- Ambientale: la tutela degli ecosistemi e dei comparti che li compongono (aria, acqua, suolo ed organismi viventi).
- Sociale: la tutela e il rispetto dei diritti umani, oltre che il raggiungimento della stabilità politica in ogni Stato.
- Economico: la crescita economica, che porta a società eque, con una distribuzione delle risorse bilanciate.

I primi passi in questa direzione vennero fatti nel 1972 a Stoccolma durante la Conferenza delle Nazioni Unite, nella quale venne definito lo sviluppo sostenibile. A questa riunione ne seguirono diverse, tra cui la Conferenza sull'ambiente e sullo sviluppo di Rio de Janeiro del 1992, fino ad arrivare al Summit delle Nazioni Unite sullo Sviluppo Sostenibile del 25 Settembre 2015, dove i 193 Stati membri dell'Assemblea generale dell'ONU hanno adottato l'Agenda 2030 (in [57]), dove all'interno vennero definiti gli obiettivi di sviluppo sostenibile da portare a termine entro il 2030, illustrati in figura (1.1): La seguente trattazione mette in risalto il settimo target, denominato 'Affordable and Clean Energy', all'interno del quale si inseriscono le comunità energetiche. Purtroppo vanno registrati gli effetti e le conseguenze causate dalla pandemia di SARS Covid-19 ([29]), dichiarata in tutto il globo a partire dal Marzo 2020, che ha ridotto gli investimenti nel settore energetico, ridotto l'uso dei mezzi di trasporto e provocato oscillazioni molto accentuate nella domanda di energia elettrica, come mostrato nelle figure seguenti (1.2) e (1.3); (dati



Figura 1.1: I 17 obiettivi dello Sviluppo Sostenibile. Fonte: United Nations

dell' IEA in [26] e [27]).

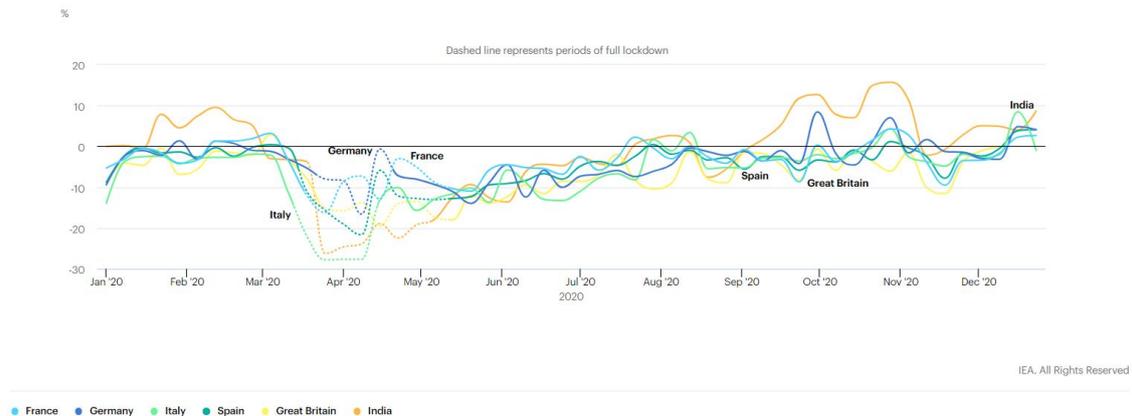


Figura 1.3: Fluttuazione della domanda di energia elettrica settimanale durante i lockdown in alcuni Stati. Fonte: International Energy Agency

In questo nuovo quadro economico e sociale risulta essenziale raggiungere i seguenti obiettivi, riportati in [57]:

- 7.1: Garantire ad ogni popolazione un accesso sicuro, moderno e conveniente ai moderni servizi energetici. La sicurezza energetica riflette il bisogno di continuità nei rifornimenti energetici a prezzi accettabili, come avviene ad esempio nell'Unione Europea, che è fortemente dipendente dalle importazioni di petrolio e gas naturale dai paesi extra-europei (i.e. Russia, Norvegia, Arabia Saudita). Nei paesi in via di sviluppo, come la maggior parte degli stati africani, sorge anche il problema dell'accesso alla rete energetica, considerando che quasi il 50% non ha infrastrutture

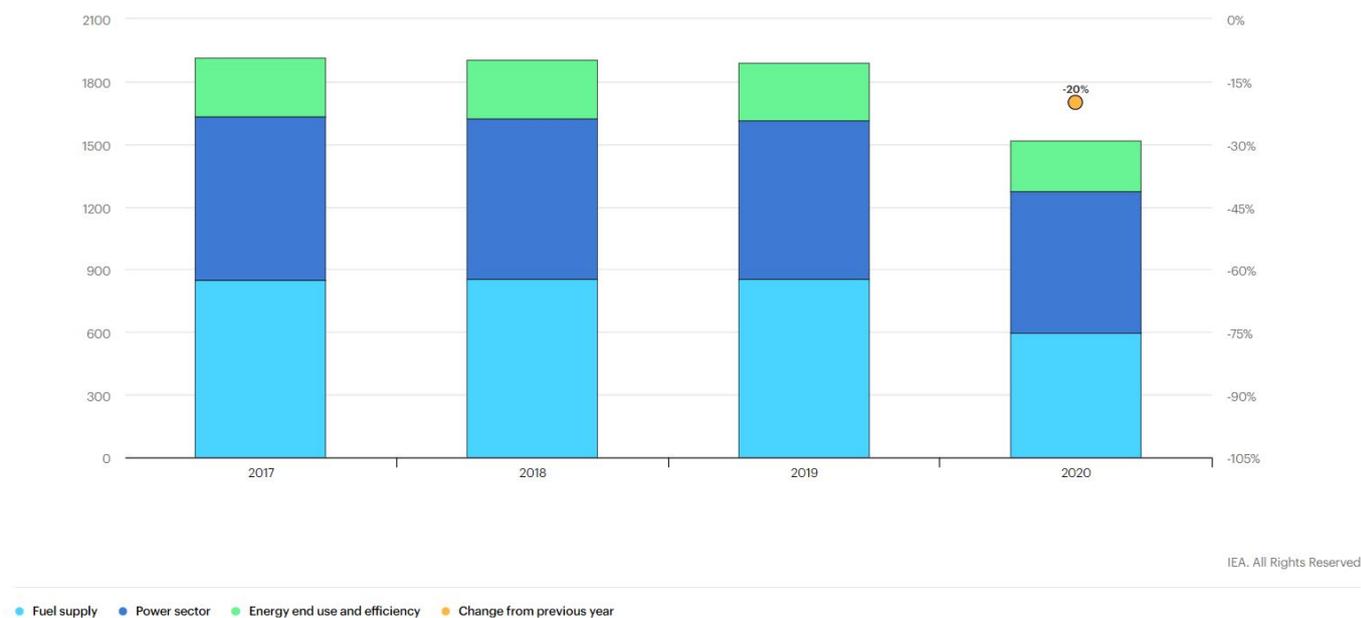


Figura 1.2: Diminuzione degli investimenti nel settore energetico, nel 2020, causa Covid-19. Fonte: International Energy Agency

adeguate. Altro fattore da tenere in considerazione è la difficoltà di connettere alla rete le località rurali, penalizzate rispetto alle aree cittadine.

- 7.2: Incrementare la condivisione di energie rinnovabili, realizzabile mediante tecnologie di raccolta dell'energia, dette Smart Microgrids, descritte in [59]. Queste possono essere i pannelli fotovoltaici e le batterie di accumulo inseriti negli edifici residenziali, elementi importanti in una comunità energetica. Poiché l'energia prodotta da fonti rinnovabili è discontinua e non riesce a coprire il fabbisogno, l'idea è quella di vendere l'energia accumulata in eccesso ad una società di servizi e comprarla quando è carente. Tale concetto verrà approfondito nel paragrafo successivo discutendo sulle comunità energetiche.
- 7.3: Raddoppiare il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica. Viene valutato mediante due indicatori dall'UNEP (si veda l'articolo in [53]), ossia l'intensità energetica in termini di fornitura totale di energia primaria e il prodotto interno lordo (PIL) a parità di potere d'acquisto.
- 7.4: Migliorare la cooperazione internazionale per facilitare l'accesso a fonti energetiche rinnovabili diminuendo l'uso di combustibili fossili e promuovendo lo sviluppo di infrastrutture 'green'.
- 7.5: Migliorare le infrastrutture e le tecnologie basate su energie pulite anche nei paesi in via di sviluppo, e luoghi isolati come isole o senza sbocco sul mare, in accordo con le loro leggi.

Considerando esclusivamente gli obiettivi energetici e climatici imposti dall'Unione Europea per il 2030, essi si riassumono in tre punti, elencati in [19] e discussi durante l'Accordo di Parigi del 2015:

- Riduzione del 40% delle emissioni di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990;
- Una quota del 32% da energia rinnovabile;
- Un miglioramento minimo del 32.5% dell'efficienza energetica;
- Mantenere sotto il 2% l'aumento medio della temperatura globale, limitandolo all'1.5% massimo;
- Fare in modo che le emissioni globali raggiungano il picco al più presto possibile e adottare subito dopo soluzioni per ridurle rapidamente.

Al fine di controllare i progressi fatti, i governi dei 193 Paesi si riuniscono ogni 5 anni, presentando i loro metodi e piani per l'azione per il clima. L'Italia ha presentato il suo piano di sviluppo, visualizzabile in [35], che verrà preso in considerazione nella sezione relativa alle normative. La strategia prevede il raggiungimento, nel 2050, di un impatto climatico pari a zero e come obiettivo vincolante per i Paesi dell'Unione, la riduzione netta delle emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030. Le figure seguenti (1.4a) e (1.4b) mostrano quanto appena detto:

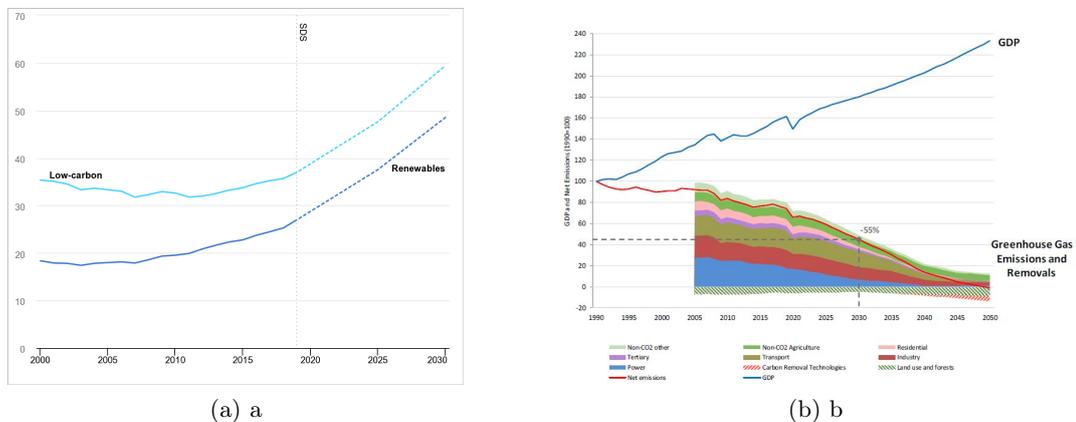


Figura 1.4: Quota di energia prodotta da FER e previsioni di riduzione dei gas serra. Fonte: International Energy Agency

Nello specifico, la tesi vuole concentrarsi al punto 7.2 di cui sopra, proponendo una metodologia in accordo con la necessità di una transizione energetica, descritta a partire dal paragrafo successivo. Questa è definita come il passaggio da fonti energetiche non rinnovabili ad economie sostenibili che sfruttano fonti energetiche rinnovabili (FER) al fine di prevenire l'esaurimento delle risorse, ridurre l'inquinamento atmosferico e accelerare il processo di decarbonizzazione.

1.2 Le comunità energetiche

La comunità energetica è definita in [38] come una cooperativa, associazione oppure organizzazione no-profit di clienti finali, come i comuni, i cittadini e gli enti pubblici o privati, i quali si impegnano a raggiungere l'indipendenza energetica al fine di garantire la sicurezza energetica, un basso impatto ambientale e costi energetici sostenibili.

Da questa definizione, si nota come le comunità energetiche (REC, dall'inglese Renewable Energy Communities) mettano in primo piano il ruolo di cooperazione fra i singoli utenti: si tratta di un approccio innovativo, che vede la nascita di nuova figura, il *prosumer*, accanto ai ruoli comuni di consumatore e produttore.

Secondo l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA, in [14]), il prosumer (figura (1.5)) identifica un utente che partecipa attivamente nel mercato energetico sia con il ruolo di consumatore sia con il ruolo di produttore. Egli possiede un proprio impianto di produzione, da cui può prelevare parte dell'energia per coprire i suoi consumi, può scambiarla con i consumatori collegati alla stessa cabina media e bassa tensione (MT/BT) oppure accumularla in un apposito sistema (i.e. battery storage system). Di conseguenza, poichè agisce nella gestione dei flussi energetici, gode di una certa autonomia e di benefici economici.

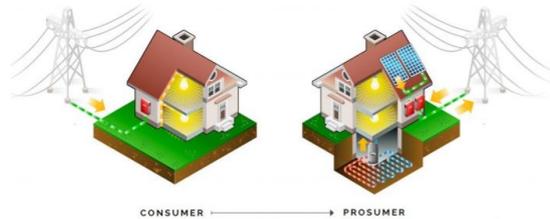


Figura 1.5: *Consumatore vs Prosumer.* Fonte: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Se si considera un'associazione tra utenti che collaborano per poter produrre, scambiare e consumare energia, è possibile parlare di autoconsumo, sia a livello del singolo individuo sia come comunità energetica. In Italia vengono riconosciute due forme:

- Autoconsumo collettivo, quali ad esempio persone fisiche e nuclei familiari residenti in un condominio;
- Comunità energetica, costituita da persone fisiche, PMI, enti e amministrazioni pubblici. Devono essere sottesi alla stessa cabina elettrica di media e bassa tensione.

La figura (1.6) illustra bene le diverse tipologie che si possono avere.



Figura 1.6: *Tipologie di autoconsumo.* Fonte: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

1.3 Le comunità energetiche esistenti in Europa

Molte iniziative volte alla realizzazione di comunità/società verdi sono già state effettuate in Europa in passato, specialmente negli stati centro-settentrionali come Germania, Paesi Bassi, Regno Unito e nella regione scandinava.

Nel 2020, il Joint Reserch Center (JRC) dell’Unione Europea ha pubblicato un report (in [5]) in cui si riassume la situazione attuale riguardo le comunità energetiche esistenti in Europa, prendendo a campione 9 nazioni per stilare tale studio. Dalla figura (1.7) si evince che, al 2020, risultano esserci:

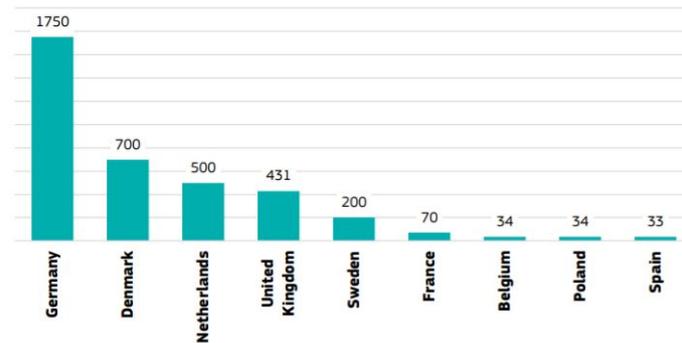


Figura 1.7: N° di comunità energetiche in Europa. Fonte: Joint Research Centre in Ispra

Dallo stesso studio è possibile conoscere le principali fonti energetiche rinnovabili utilizzate all’ interno di una REC (figura (1.8)):

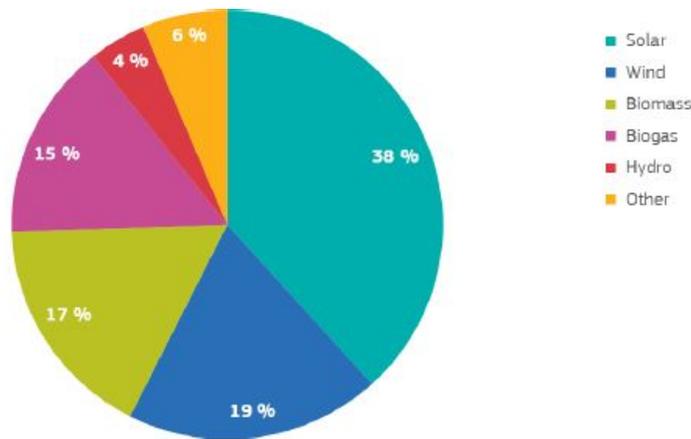


Figura 1.8: FER sfruttate in Europa. Fonte: Joint Research Centre in Ispra

L’articolo in [37] contiene un elenco di comunità energetiche europee mentre la tabella (1.1) riporta una serie di esempi in Europa e nel mondo : Di seguito vengono descritti tre esempi di comunità energetiche europee.

- *Tower Power, Scozia [12].*

Nata nel 2016, è un’aggregazione di utenti nata per coprire la domanda di energia da combustibili fossili all’interno di una comunità locale situata ad Edinburgo in

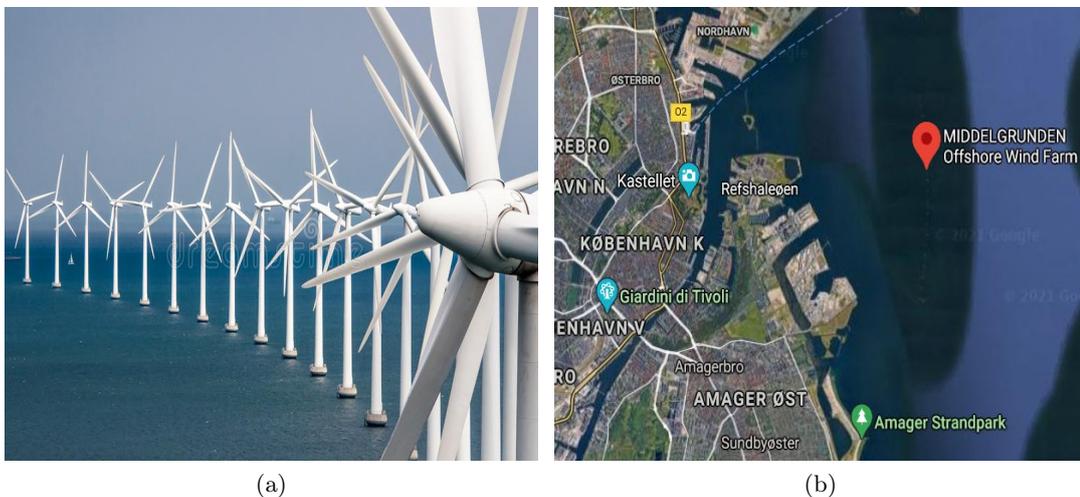
Luogo e anno	Fonte rinnovabile
Village Jühnde, Germania, 2004	Biomassa
Bioenergy Mureck, Austria, dal 1991	Biomassa
Middlegrunden, Danimarca, 2001	Eolico
Brixton Energy, UK, 2012	Solare PV
Tower Power, Scozia, 2016	Solare PV
Dardesheim, Germania, 1993	Eolico e solare PV
Samso, Danimarca, 2004	Eolico e biomassa
Ecopowe, Belgio, 2003	Eolico e solare PV
Som Energia, Spagna, 2010	Idroelettrico, biomassa, eolico, solare
Creluz, Brasile, 1999	Idroelettrico
Hepburn Wind, Australia	Eolico
Buan County, Corea del Sud, 2005	Solare PV-termico e geotermia
MinWind, USA	Eolico
Toronto Solar Share, Canada	Solare PV

 Tabella 1.1: *REC in Europa. Fonte: elaborazione personale*

Scozia, ovvero Dumbiedykes. La tecnologia sfruttata comprende pannelli fotovoltaici montati su tetti di edifici residenziali.

- *Middlegrunden 40 MW Offshore Wind Farm [31].*

La Danimarca è uno dei paesi europei con il più alto numero di soggetti coinvolti in progetti di produzione energetica a partire dalla risorsa eolica. L'impianto offshore Middlegrunden, mostrato nelle figure (1.9a) e (1.9b), fu costruito tra il 2000 e il 2001 ed è posseduto al 50% da una cooperativa e per l'altra metà dalla popolazione locale situata a 3.5 km dal porto di Copenaghen, per un totale di 8553 membri. L'impianto è formato da venti turbine con potenza ciascuna di 2 MW in grado di produrre un'energia pari 89 GWh/y con un'efficienza del 93%. Dal lato economico, il guadagno netto annuo per un membro della comunità è circa 72 €/y, con ritorno dell'investimento avvenuto dopo 8 anni.


 Figura 1.9: *REC - Impianto eolico Middlegrunden. Fonte: articolo in [31] e Google Earth*

- *Jühnde Bio-Energy Village in Germany [25].*

Si tratta di una cooperativa ad azioni di 750 abitanti e 9 aziende agricole, creata nel 2005 nel piccolo paese di Jühnde nella Germania centrale ed in grado di servire 200 edifici. Ciò che ha stimolato la formazione di questa comunità energetica è la volontà di diventare autosufficiente in fatto di consumi di calore ed elettricità, sfruttando la biomassa come fonte: la REC (figure (1.10a) e (1.10b)) è munita di un impianto a biogas CHP da 712 kW, un caldaia a cippato per il riscaldamento invernale da 550 kW e da un sistema di carico di punta per il calore da 1700 kW. L'elettricità prodotta è pari al doppio del fabbisogno. Per ogni membro, il ricavo economico è pari a circa 1220 €/y, con una diminuzione delle emissioni di anidride carbonica di 25 tCO₂/y. La comunicazione all'interno della comunità avviene mediante assemblee, discussioni individuali e workshop, in cui vengono proposte nuove idee per nuovi investimenti e per l'integrazioni di nuovi soggetti all'interno del paese.

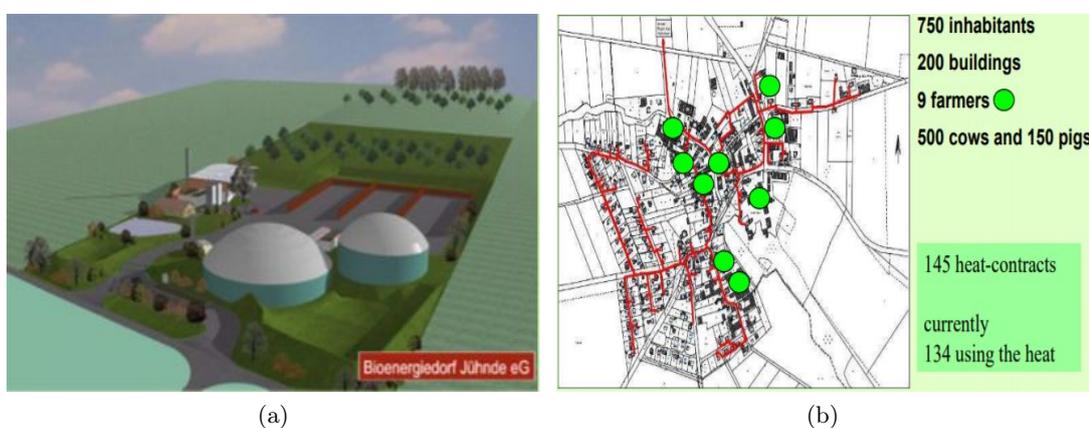


Figura 1.10: REC - Bioenergy Village Jühnde. Fonte: articolo [25]

1.4 La rete elettrica in Italia e le comunità energetiche esistenti

Considerando l'Italia lo Stato in cui descrivere le REC esistenti e quelle in fase di progettazione (i.e. *Comunità energetica GEKO* in Emilia Romagna), è necessario discutere riguardo la rete elettrica nazionale e dei piani presenti e futuri per il suo sviluppo.

Nella sua visione comune, si tratta di una rete elettrica di potenza con la quale è possibile trasportare energia ad alta tensione dalle centrali elettriche di produzione ai singoli clienti finali in MT/BT, mediante le linee di distribuzione; in figura (1.11). Il sistema elettrico è costituito da tre attività in successione l'una con l'altra:

1. Produzione: avviene secondo le leggi del libero mercato, da operatori terzi come ad esempio l'Enel, Edison, Sorgenia, Acea.
2. Trasmissione dell'energia sulla rete ad altissima e alta tensione (AAT/AT) e il dispacciamento, ossia della gestione dei flussi energetici in sicurezza. La società Terna S.p.A ha il monopolio, in concessione, su queste attività, e agisce secondo i prezzi emanati dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG). Quest'ultima è costituita dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) che ha il compito di promuovere e incentivare le fonti rinnovabili e l'efficienza energetica. All'interno del GSE è possibile distinguere due ulteriori enti, ovvero il Gestore dei Mercati Energetici (GME) e l'Acquirente Unico (AU).
3. Distribuzione: avviene secondo le leggi del libero mercato, da operatori come quelli responsabili della fase di produzione.

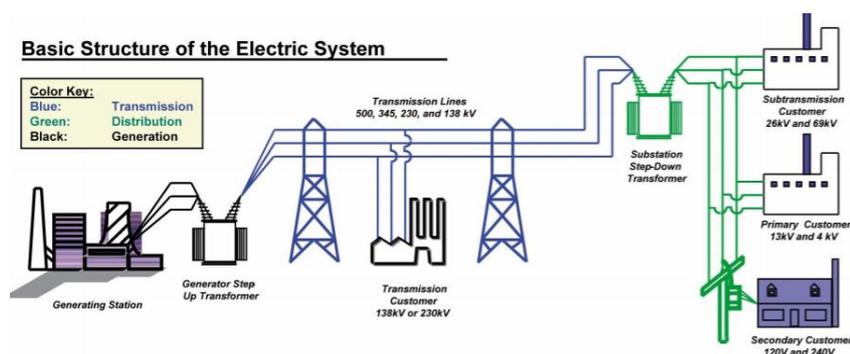


Figura 1.11: Rete elettrica. Fonte: elaborazione personale

Spetta sempre a Terna S.p.A il compito di tracciare la curva di carico giornaliera, che riporta l'andamento dei consumi su base oraria. Basandosi su queste informazioni, il GME interviene nel mercato dell'energia comprando e cedendo energia in modo tale che la produzione coincida con la richiesta, come riportato in figura (1.12) e descritto in [51].

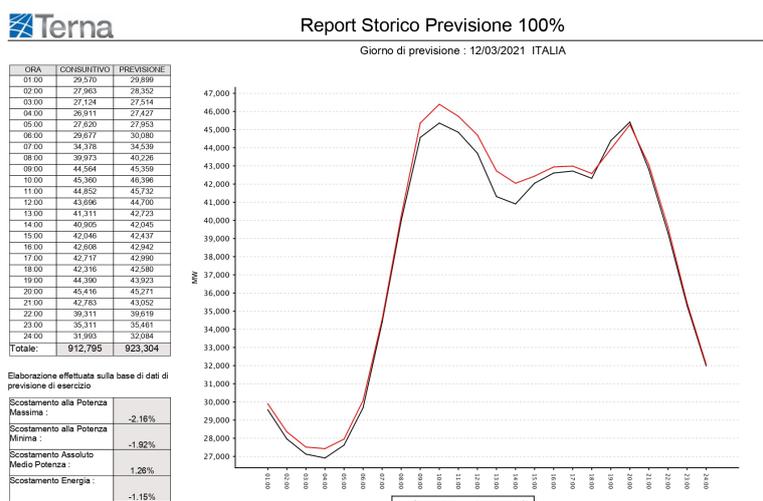


Figura 1.12: Esempio di di curva di carico prevista e reale. Fonte: Terna S.p.A.

Con la diffusione massiva di tecnologie a fonti rinnovabili, specialmente dopo la crisi economica globale del 2008, è risultato necessario pianificare lo sviluppo di una rete elettrica più efficiente, automatizzata, distribuita e resiliente, andando ad evolvere quelle esistenti. Nasce quindi il concetto di *Smart grids*, che identifica una rete in grado di gestire molteplici flussi elettrici in modo discontinuo, bidirezionale, integrando l'uso delle energie rinnovabili (contribuendo al raggiungimento degli obiettivi ambientali dell'UE) e implementando tecnologie digitali innovative (dispositivi ICT), che permettono il controllo della stessa, andando anche ad individuare i comportamenti virtuosi dei clienti, ricompensandoli. Il cliente diventa così protagonista, e da qui nasce la figura del prosumer, elemento fondamentale in una REC. Come si può notare in figura (1.13), la Smart Grid ha la capacità di integrare in rete una generazione elettrica centralizzata e diffusa.

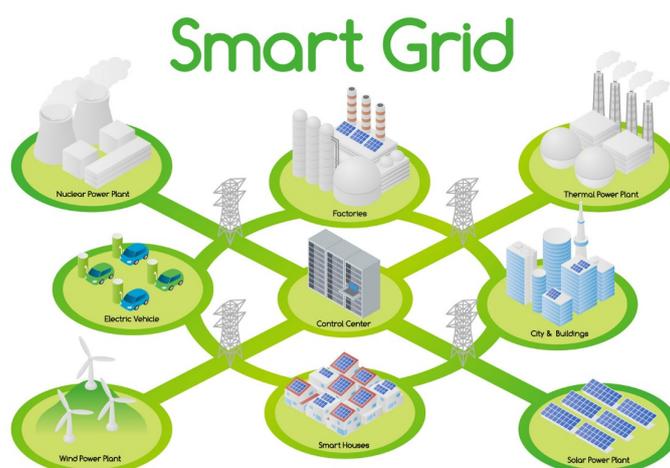


Figura 1.13: Rappresentazione di una Smart Grid. Fonte: elaborazione personale

Le maggiori difficoltà nella realizzazione di una Smart Grid risiedono nell'adeguamento delle infrastrutture attuali, nella complessità dei software per la gestione dei flussi e in

un quadro politico non universale e ben definito mediante accordi appositi.

Con la descrizione della rete attuale e futura, in cui si è evidenziato il forte legame tra le FER e le Smart Grid (e il prosumer), risulta più semplice introdurre le REC italiane e le loro caratteristiche.

Già a partire dal XX secolo ([14]) sono sorte le prime forme simili ad un'odierna comunità energetica, perlopiù in località montane del Nord Italia. Di seguito sono riportate alcune di queste:

- *Cooperativa Elettrica Gignod*. Collocata a Saint-Christophe, in Valle d'Aosta, i soci utilizzano l'energia prodotta e cedono ad una società di servizi la quota in eccesso acquistando dallo stesso energia solo quando la richiesta è maggiore.
- *Società Elettrica di Morbegno*. Nata in Valtellina (Lombardia) nel 1897, grazie ad essa viene prodotta energia elettrica mediante 8 impianti idroelettrici.
- *Società Elettrica Santa Maddalena*. Nata nel 1921 in Val di Funes (Alto-Adige, BZ) e attiva tuttora, sfrutta tre impianti idroelettrici (rispettivamente da 775 kW, 2.698 kW, 225 kW), un impianto fotovoltaico (170 kW) e due impianti di teleriscaldamento a biomassa (rispettivamente da 1.100 kW e 700 kW). Il suo successo è dovuto alla capacità di produrre energia elettrica più di quella che viene consumata, e la differenza viene immessa nella rete nazionale dove grazie ai ricavi si ricevono sconti e bonus per nuovi investimenti nel territorio.
- *Ewerk Prad*. Si tratta di una cooperativa di 1350 soci di Prato allo Stelvio (Alto-Adige, BZ) che gestisce 17 impianti a fonti rinnovabili, sia a biomassa che idroelettrico. Il risparmio in bolletta è del 30% sull'energia elettrica e del 20% su quella termica.
- Altre associazioni presenti sul territorio nazionale: *Cooperativa Dobbiaco-San Candido (2003, BZ)*, con un sistema ORC (Organic Rankine Cycle); *Wefogren (2010, Lecce e Verona)*, con impianti fotovoltaici; *Cooperativa Energia Positiva (2015, Nichelino (TO))*, con tre impianti fotovoltaici; *Coldiretti Veneto e Società ForGreen S.p.A (2018, Veneto)*, formata da 514 soci con impianti FER proprietari.

La prima comunità energetica italiana, creata secondo le normative più recenti in materia di clima ed energia, è stata inaugurata il 12 Marzo 2021 a Magliano Alpi (CN, Piemonte) e porta il nome di '*Comunità energetica rinnovabile Energy City Hall*', di cui promotore, coordinatore e prosumer è lo stesso Comune, con il supporto in fase di progettazione e realizzazione dell'Energy Center del Politecnico di Torino. Il Comune di Magliano ([8]) sfrutterà il suo impianto fotovoltaico da 20 kWp installato sul tetto del Palazzo comunale e, grazie ad un secondo impianto fotovoltaico che sarà installato sul tetto della palestra, disporrà di ulteriori 20 kWp.

Un'altro progetto di REC in fase di realizzazione è rappresentato dalla Comunità Energetica del Pinerolese, composta da 6 comuni (Cantalupa, Frossasco, Roletto, San Pietro Val Lemina, Scalenghe, Vigone), 5 imprese e 6 raggruppamenti di cittadini per ogni comune.

All'interno di questa cooperativa si prevede una copertura del fabbisogno totale annuale di energia quasi totale (circa 17 GWh/a), alimentato al 99% da rinnovabili. Il primo passo in questa direzione è stato fatto istituendo una Oil Free Zone, definita in [33] come un'area territoriale nella quale, entro un determinato arco temporale e sulla base di uno specifico atto di indirizzo adottato dai comuni del territorio di riferimento, si prevede la progressiva sostituzione del petrolio e dei suoi derivati con energie prodotte da fonti rinnovabili. Alla guida del progetto c'è Acea Pinerolese, con il supporto del Politecnico di Torino.

1.5 Fonti energetiche rinnovabili

Questo paragrafo vuole fornire le informazioni sufficienti per comprendere le principali fonti di energia rinnovabili, al fine di avere un quadro chiaro delle sorgenti disponibili ed utilizzabili, ovviamente in base al territorio in esame. Le fonti energetiche sono classificate in base a tre criteri:

- *Origine*: divide le fonti disponibili in natura (primarie) da quelle ottenute mediante trasformazione dalle prime (secondarie);
- *Disponibilità*: vi troviamo le non rinnovabili (i.e. combustibili fossili) e quelle rinnovabili, le quali possono essere inesauribili o virtualmente tali (i.e. solare). Questo concetto è basato sulla scala dei tempi umani.
- *Utilizzo*: in fonti non programmabili, ossia intermittenti; fonti programmabili in base alla richiesta di energia.

In accordo con l'Unione Europea, sono considerate risorse rinnovabili:

- *Energia solare*. Per sfruttare questa fonte sono state sviluppate due tecnologie: il solare termico, che cattura ed immagazzina l'energia solare per poterla utilizzare in un secondo tempo per uno scopo particolare (se da essa si produce elettricità si parla di solare termodinamico); il solare fotovoltaico si basa invece sulla conversione della luce in elettricità mediante pannelli costituiti da moduli fotovoltaici, in figura (1.14a), a loro volta formati da cellule di semi-conduttori, ossia dispositivi (celle) elettronici a stato solido che effettuano la conversione vera e propria. Le celle mostrate in figura (1.14b) sono solitamente di forma quadrata e vengono spesso realizzate in materiale cristallino: uno dei più utilizzati è il silicio (Si). La costruzione di questi dispositivi prevede l'introduzione di impurità strutturali nel monocristallo, per consentire un movimento più ordinato degli elettroni. Mediante l'introduzione degli atomi di fosforo (P) si ottiene un silicio di tipo 'p' ad alta densità di elettroni liberi, mentre con l'inserimento di atomi di boro (B) si ottiene un silicio di tipo 'n', dotato di lacune, ossia cariche libere positive. I due tipi di silicio costituiscono due strati distinti e separati: 'n' negativo e 'p' positivo che realizzano la giunzione del semi-conduttore. Il top della cella è ricoperta di una superficie anti-riflettente che migliora l'assorbimento della luce solare.

In questa tesi, verranno presi in considerazione proprio impianti fotovoltaici costituiti da celle di silicio mono/policristallino, sulla base dei dati disponibili nel portale PVGIS dell'Unione Europea.

- *Energia idroelettrica*: Gli impianti idroelettrici sfruttando il dislivello topografico tra due punti posti rispettivamente a monte e a valle, trasformano l'energia potenziale della massa d'acqua in energia meccanica nella turbina idraulica e successivamente in energia elettrica tramite un generatore. Uno dei metodi più comuni per classificare questi sistemi è in base al serbatoio sotteso a monte dello sbarramento e al tempo di funzionamento T:

- Grandi invasi o dighe a serbatoio, con un $T > 400$ h;

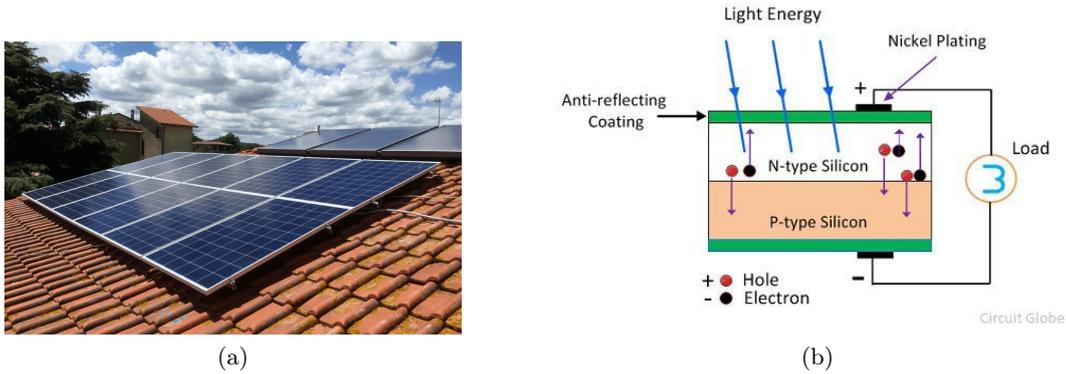


Figura 1.14: *Esempio di impianto fotovoltaico e struttura di una cella al silicio cristallino. Fonte: elaborazione personale*

- Piccoli invasi o *dighe a bacino*, con un $40h < T < 400h$. Lo scopo è la creazione di un volume di invaso, per l'accumulo temporaneo e la regolazione dei deflussi delle acque. Il valore di energia prodotta dipende principalmente dal salto. Un esempio di diga a bacino è mostrato in figura (1.15).;
- Traverse o *impianti ad acqua fluente* con un $T < 40h$. L'obiettivo è fissare il livello dell'acqua dei grandi fiumi a monte, senza la creazione di un invaso. L'energia prodotta dipende sia dal salto che dalla portata del fiume. Un esempio di impianto ad acqua fluente è mostrato in figura (1.15).



(a) Diga a bacino di Cancano (SN).



(b) Centrale idroelettrica ad acqua fluente Taccani (MI).

Figura 1.15: *Esempi di impianti idroelettrici. Fonte: elaborazione personale*

Gli impianti idroelettrici possono anche essere classificati in base alla potenza totale delle turbine installate; portata turbinata e carico utilizzato o tipologia di organi idraulici presenti.

- *Energia eolica*: Rappresenta l'energia cinetica del vento, ossia di una massa d'aria in movimento. Gli aerogeneratori in figura (1.16), comunemente noti come turbine eoliche, sono le strutture che convertono l'energia cinetica del vento in energia

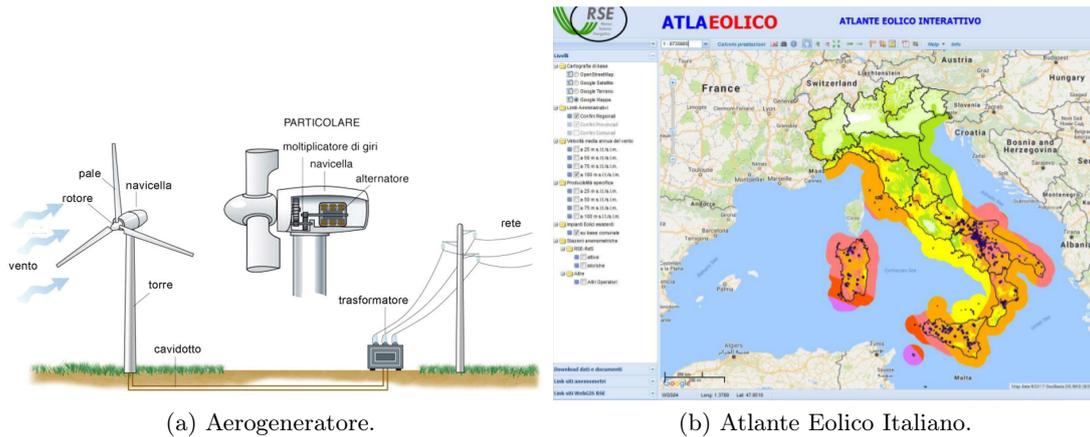


Figura 1.16: *Energia eolica. Fonte: Atlante Eolico in [49]*

elettrica e sono caratterizzati da una potenza di targa che varia a seconda della velocità del vento e da una classe referente all'intensità della turbolenza e alla loro robustezza. Ne consegue che la determinazione della ventosità del sito in esame è il parametro fondamentale per stimare il potenziale eolico.

L'Atlante Eolico in [49] e in figura (1.16) consente di visualizzare e scaricare i valori di producibilità specifica su tutto il territorio italiano, permettendo di ottenere dati di input per iniziare uno studio del potenziale eolico.

- *Energia da biomasse*: Dalla Direttiva europea in [54] la biomassa (figura (1.17)) ad uso energetico è definita come la frazione biodegradabile di prodotti, rifiuti o residui biologici derivati dall'agricoltura, dalla silvicoltura, dall'acquacoltura e dalla frazione biodegradabile di rifiuti municipali o industriali. Per fare un esempio, dal biogas, ovvero una miscela di $CO_2 + CH_4$, può essere prodotta energia elettrica e termica. Gli impianti a generazione combinata di calore ed elettricità (CHP) sfruttano il biogas per tale proposito. I biocarburanti, gli oli vegetali e il cippato sono altre fonti da biomassa utilizzabili per tale scopo a seconda della loro disponibilità.

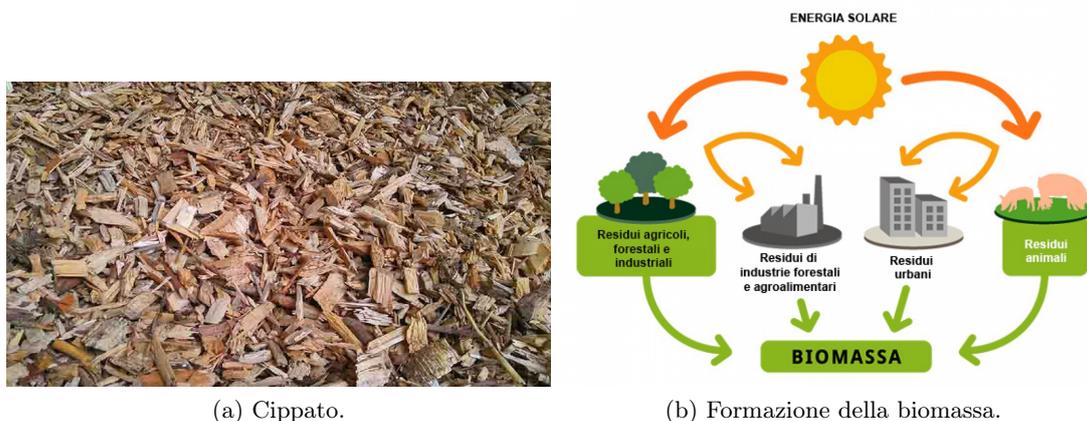


Figura 1.17: *Biomassa. Fonte: elaborazione personale*

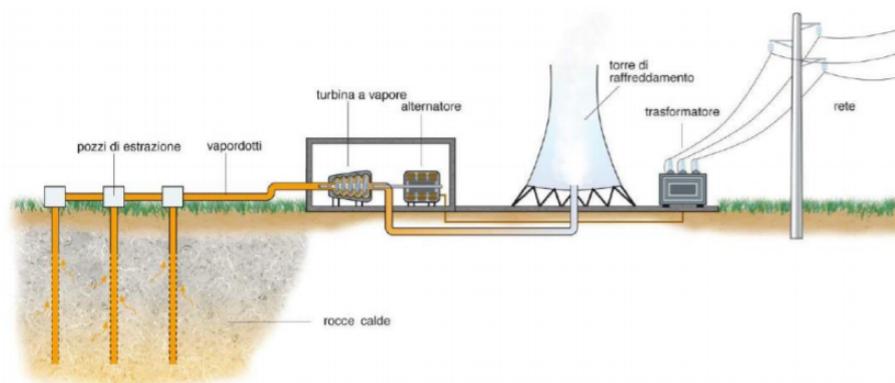


Figura 1.18: *Impianto geotermoelettrico. Fonte: elaborazione personale*

- *Energia geotermica*: E' il calore generato e immagazzinato nel sottosuolo in diverse forme, come rocce, fluidi caldi e falde idriche. Il fine d'uso della risorsa geotermica varia in base alla temperatura della stessa e pertanto si distinguono:
 - Risorse a bassa entalpia, $T < 90^{\circ}\text{C}$;
 - Risorse a media entalpia, $90^{\circ} < T < 150^{\circ}\text{C}$;
 - Risorse ad alta entalpia, $T > 150^{\circ}\text{C}$.

Alcuni possibili applicazioni si hanno nell'acquacoltura, nel teleriscaldamento e in molteplici usi agroalimentari quali la produzione di birra e prodotti caseari. Gli impianti geotermici (figura (1.18)) si suddividono in:

- *Dry steam*, in cui il vapore è usato direttamente in turbina;
- *Wet steam*, in cui il vapore è separato dalla fase liquida prima dell'arrivo in turbina;
- *Binari*, ossia composti da circuiti chiusi di pozzi che scambiano calore con la turbina. Un esempio sono i circuiti Organic Rankine Cycle (ORC).

L'estrazione dell'energia geotermica dal sottosuolo è effettuato mediante le pompe di calore geotermiche, che possono essere closed-loop se scambiano calore con il terreno od open-loop se lo scambio avviene con la falda sotterranea tramite una coppia di pozzi (uno di prelievo e uno di re-immissione).

- *Energia marina*: Viene prodotta dal movimento dei mari, degli oceani e delle correnti. Questa fonte rinnovabile può essere utilizzata mediante tecnologie fluidodinamiche, ossia che sfruttano il movimento di una massa d'acqua ricavandone dapprima energia meccanica che sarà trasformata successivamente in energia elettrica. In questa categoria abbiamo gli impianti da energia fluidodinamica delle correnti marine, gli impianti da energia fluidodinamica delle maree e gli impianti da energia fluidodinamica del moto ondoso. Altri sistemi sfruttano il gradiente salino e termico dell'acqua.

Capitolo 2

Normativa vigente in materia di comunità energetiche

In questo capitolo vengono elencate le leggi in materia di REC, presentate su tre scale: europea, nazionale e regionale in Italia; nella bibliografia è possibile trovare i link relativi ad esse.

2.1 Direttive europee

La prima documentazione risale in seguito agli Accordi di Parigi del 2015, mediante il 'Clean energy Package for All European', costituita da 8 atti legislativi, di cui due destinati alla regolamentazione delle forme di autoconsumo collettivo di energia mediante sostegni economici, diversi a seconda del Paese in esame:

- *Renewable Directive - RED II (2001/2018/EU)*, [56], in cui furono anche ripresi gli obiettivi descritti nell'elenco (1.1).
- *Electricity Directive 2019/944/EU*, [55].

Le forme di autoconsumo collettivo descritte sono:

1. Comunità Energetica Rinnovabile (REC): Entità legale proprietaria con il compito di fornire, mediante la produzione e la condivisione di energia rinnovabile, benefici ambientali, economici e sociali, senza considerare la fase di distribuzione dell'energia elettrica.
2. Comunità Energetiche Cittadine (CEC): Entità legale di cittadini, PMI o pubbliche amministrazioni che lavorano tra loro per produrre, fornire, consumare, distribuire e stoccare l'energia elettrica, migliorando inoltre l'efficienza energetica.

2.2 Normativa nazionale italiana

Preso visione dei piani dell'Unione Europea, l'Italia ha presentato le sue soluzioni per andare incontro agli obiettivi prefissati e per promuovere la diffusione delle REC. Viene quindi elencata la legislazione italiana attuale.

- *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima*, [35]. Sono indicati gli obiettivi e le linee guida per la riduzione delle emissioni di gas serra e dei consumi di energia primaria; a tal fine sono promosse diverse tecnologie basate sull'uso di fonti rinnovabili.
- *L.N. n°221 del 28/12/2015, Articolo 71*, [33]. Vengono istituite le Oil Free Zone.
- *Decreto Milleproroghe, ossia il D.L n°162 del 30/12/2019, Articolo 42 bis*, [20]. Sono definite le configurazioni di autoconsumo collettivo e di comunità energetica, formate da soggetti in grado di partecipare liberamente mantenendo lo stato di consumatore finale, previa la stipula di un contratto di diritto privato. Inoltre sono stati fissati i seguenti requisiti:
 1. Impianti nuovi alimentati con fonti energetiche rinnovabili;
 2. Potenza degli impianti < 200 kW, ciascuno;
 3. POD sottesi alla stessa cabina MT/BT;
 4. Possibilità di installazione di sistemi di accumulo addizionali.
- *Decreto MISE del 16/09/2020*, [34]. Derivato dal Decreto Milleproroghe, sono pubblicati gli incentivi economici per l'autoconsumo collettivo e per le comunità energetiche. Gli incentivi verranno trattati in una sezione a parte (in 2.4); le loro caratteristiche generali sono le seguenti:
 1. Dura 20 anni;
 2. Si compone di due parti, quella dovuta all'energia immessa data dall'eccesso di produzione, e quella legata all'energia condivisa.
- *Delibera Arera 318/2020/R/EEL*, [3]. Il testo si riferisce alla regolazione delle partite economiche relative all'energia elettrica condivisa da un gruppo di autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente in edifici e condomini oppure condivisa in una comunità di energia rinnovabile.
- *Regole del GSE del 22/12/2020*, [24]. Illustra nel dettaglio le regole tecniche per l'accesso all'incentivo economico a promozione dell'energia condivisa.

Per quanto riguarda i costi da sostenere per l'acquisto di un impianto alimentato ad energia rinnovabili, il Decreto Legge 22 Giugno 2012 in [9] la Legge di Bilancio 2020 ha prorogato al 31/12/2021 la possibilità di detrarre dalla dichiarazione dei redditi il 50% delle spese dovute alla loro realizzazione, fino ad un massimo di 96.000 €. La detrazione è restituita in 10 anni in dieci rate annuali di uguale importo.

2.3 Normative regionali

Allo stato attuale in Valle d'Aosta non è presente alcuna direttiva riguardo la regolamentazione delle comunità energetiche, pertanto una delle prime operazioni che dovrebbero essere fatte per favorire la loro crescita è istituire una legislazione specifica.

Il Piano Energetico Ambientale della Valle d'Aosta (PEAR), riportato in [41] e approvato nel 2014, rappresenta il principale strumento di pianificazione regionale in ambito energetico. I punti chiave del documento sono allineati con il Piano 20-20-20 dell'Unione Europea:

- Il 20% dei consumi finali lordi dell'UE deve provenire da FER. Ogni nazione, secondo il decreto 'Burden Sharing'; dovrà ripartire tale obiettivo per ogni regione: la Valle d'Aosta dovrà raggiungere il 52% di energia prodotta da fonti rinnovabili entro il 2020.
- La riduzione del 20% dei consumi energetici complessivi.
- La riduzione delle emissioni di anidride carbonica del 20% rispetto al 1990.

Il Piano ha evidenziato come i consumi siano in crescita, specialmente quelli relativi al gas naturale; la produzione di energia elettrica invece deriva al 99% da fonti rinnovabili, principalmente idroelettrico.

In sintesi, gli interventi sono quindi volti all'efficienza energetica, alla riduzione dei consumi e all'incremento di rinnovabili.

Le REC, come ampiamente detto finora, rappresentano una soluzione innovativa che va incontro a queste esigenze. In Italia sono poche le regioni che hanno leggi in tema, ad esempio Puglia, Liguria, Sardegna e Piemonte. In virtù della vicinanza con la Valle d'Aosta oltre che per via di alcune similitudini geografiche, viene di seguito descritta, e successivamente utilizzata come ipotesi per alcune valutazioni, la normativa della Regione Piemonte, la prima in Italia.

Insieme al PEAR piemontese del 2018, che si impegna ad ottenere al 2025 un numero di REC pari al 10% del territorio regionale, esistono le seguenti norme:

- *L.R. n°12 del 03/08/2018*, in [48]: promuove e istituisce le comunità energetiche in Piemonte.
- *D.G.R. n°18-8520 dell'08/03/2019*, in [47]: sono riportate le disposizioni per i criteri relativi al sostegno finanziario.
- *D.D. n°547 del 08/10/2019*, in [46]: si tratta di un avviso pubblico per la raccolta delle manifestazioni di interesse ad contribuire economicamente alla fondazioni delle comunità energetiche.

In [47] si trovano requisiti minimi per formare REC piemontesi, elencati nella tabella qui sotto (2.1):

Parametro	Requisito
Consumo annuo	> 0.5 GWh
Autoconsumo	> 70%, di cui il 50% deve provenire da fonti rinnovabili

Tabella 2.1: *Requisiti REC piemontesi.*

L'aiuto economico per coloro che manifestano un interesse, che varia da 5.000€ a 10.000€ fino ad esaurimento della dotazione finanziaria pari a 50.000€ (dal decreto in [46]), viene calcolato sulla base di appositi criteri, riportati in figura (2.1):

CRITERIO	PUNTEGGIO
Numero di comuni e di soggetti coinvolti	
da 1 a 3	fino a 5 punti
da 4 a 7	fino a 10 punti
superiore a 8	fino a 20 punti
Pluralità e caratteristiche di produttori di energia elettrica e termica	fino a 15 punti
Entità di produzione e di consumo elettrico e termico afferente ai soggetti aderenti alla comunità energetica	
Da 0,5 a 1 GWh	fino a 5 punti
Da 1 a 3 GWh	fino a 10 punti
Superiore a 3 GWh	fino a 15 punti
Quota di autoconsumo compresa tra 70 e 80%	fino a 5 punti
Quota di autoconsumo compresa tra 80 e 90%	fino a 10 punti
Quota di autoconsumo superiore a 90%	fino a 15 punti
Quota di autoconsumo da fonte rinnovabile compresa tra 50 e 70 %	fino a 5 punti
Quota di autoconsumo da fonte rinnovabile compresa tra 70 e 85 %	fino a 10 punti
Quota di autoconsumo da fonte rinnovabile superiore ad 85 %	fino a 20 punti

Figura 2.1: *Requisiti REC piemontesi. Fonte: Decreto Legge in [46]*

2.4 Requisiti e incentivi economici

Sulla base dei decreti precedentemente elencati, il GSE ha pubblicato sul suo sito internet, in merito alla configurazione di comunità energetica, i requisiti di accesso, gli importi e le tempistiche di pagamento, disponibili al link [22].

Giuridicamente, una Comunità Energetica ha le seguenti caratteristiche:

- 1) È un gruppo autonomo regolato da uno Statuto, controllato dai membri o azionisti che detengono gli impianti di produzione della comunità di cui fanno parte.
- 2) I membri sono persone fisiche, PMI, enti territoriali o imprese private per cui la comunità non rappresenta l'attività lavorativa principale;
- 3) Vuole apportare benefici all'ambiente e miglioramenti sociali ed economici all'interno del gruppo.

Gli impianti di produzione ammessi devono essere entrati in esercizio a partire dal 1° Marzo 2020 ed entro 60 giorni dall'entrata in vigore della direttiva UE 2018/2011 [56] e devono avere una potenza non superiore a 200 kW. Questi esercizi devono utilizzare esclusivamente fonti rinnovabili, come quelle elencate nella sezione (1.5).

I contributi economici sono riconosciuti, per ciascun impianto produttivo, per la durata di 20 anni a partire dalla data di decorrenza commerciale dello stesso e per ciascun kWh di energia elettrica condivisa. L'incentivo riguarda (2.2):

- *Corrispettivo unitario*, comprensivo dalla somma della tariffa di trasmissione e del valore più elevato della componente variabile della tariffa di distribuzione, entrambi valutati per usi in bassa tensione. Viene valorizzata quindi l'energia elettrica condivisa, mediante la restituzione delle componenti tariffarie;
- *Tariffa premio*: L'incentivazione dell'energia elettrica condivisa;
- *Ritiro dedicato*: il ritiro dell'energia elettrica immessa in rete da parte del GSE, qualora lo richieda.

Per il calcolo, vengono utilizzate le seguenti formule (si veda [24]):

Incentivo	Valore
Corrispettivo unitario	$C_{CE} = CU_{Af,m} * E_{AC}$
Premio	$I_{CE} = TP_{CE} * E_{AC}$
Ritiro dell'energia	$R_{CE} = PR^3 * E_{immessa}$

Tabella 2.2: Incentivi per le Comunità Energetiche.

Dove:

- $E_{CE}[kWh]$ è l'energia elettrica condivisa, pari al minimo tra l'energia immessa in rete dagli impianti e l'energia prelevata dai membri in ciascuna fascia oraria. L'energia così calcolata per ogni fascia oraria viene successivamente sommata fino ad ottenere l'energia elettrica mensile condivisa.

- $CU_{Af,m}$ [€/kWh] è il corrispettivo unitario di autoconsumo forfettario mensile ed è uguale alla somma tra la tariffa di trasmissione $TRAS_e$ e del valore più elevato della componente variabile di distribuzione vigenti nel mese m-esimo $BTAU$, entrambi definiti per utenze in bassa tensione:

$$CU_{Af,m} = TRAS_e + \max(BTAU_m) \quad (2.1)$$

- TP_{CE} [€/MWh], dal valore di 110 €/MWh per le REC. Questa tariffa non spetta per gli impianti fotovoltaici per cui vi è il divieto di accesso dallo Stato oppure se hanno già avuto accesso alla detrazione Superbonus 110%.
- PR [€/MWh] è il Prezzo Riconosciuto per il ritiro dell'energia immessa in rete ed è regolato dalla delibera ARERA 280/07 in [2]. Dipende dalla fonte dell'impianto considerato. Per il solare fotovoltaico, il PR nel 2021 vale 39.9 €/MWh, su una quantità di energia elettrica ritirata annualmente fino a 1500 MWh.

I contributi vengono calcolati dal GSE ogni mese, sia per l'energia condivisa all'interno della comunità che per quella ritirata. Essi vengono pubblicati entro il 25 del terzo mese successivo a quello di riferimento (i.e. Rif: settembre - Comunicazione: Dicembre) e vengono erogati, in euro, entro il mese successivo alla loro pubblicazione. La copertura dei costi amministrativi è a carico della comunità nei confronti del GSE. La tabella (2.3) li riassume.

Potenza [kW]	Fisso [€/anno]	Variabile [€/kW]
$P \leq 3$	0	0
$3 < P \leq 20$	30	0
$20 < P \leq 200$	30	0
Per ogni connessione	4	0

Tabella 2.3: *Costi amministrativi.*

Gli incentivi finora mostrati non sono cumulabili nè con quelli emessi per la configurazione di scambio sul posto nè con gli incentivi del D.M. 04/07/2019, tuttavia vi è la possibilità di usufruire delle detrazioni del D.L. Rilancio ('Superbonus').

Capitolo 3

Metodologia

ENEA definisce in [15] la pianificazione energetica territoriale come uno strumento d'azione delle Pubbliche Amministrazioni riconosciuto di massima importanza per coinvolgere attivamente le comunità locali nel percorso verso la sostenibilità energetica, attraverso la programmazione di azioni che aumentino l'efficienza energetica e il ricorso alle fonti rinnovabili, incentivando il risparmio energetico e l'uso razionale dell'energia. Ogni pianificazione parte dall'analisi del territorio di studio, al fine di conoscere:

- Risorse energetiche rinnovabili disponibili e il loro potenziale energetico;
- Morfologia e orografia del territorio;
- Vincoli paesaggistici, ambientali e culturali esistenti;
- Aspetti antropici territoriali;
- Profilo di consumo, produzione e producibilità a scala annuale, mensile e oraria;
- Confronto tra i profili di consumo e producibilità alle varie scale temporali.

Si tratta di un processo fondamentale, necessario per progettare successivamente impianti di energia rinnovabile correttamente, garantendo la sicurezza energetica e la sostenibilità ambientale. I Sistemi Informativi Territoriali (GIS) hanno un'elevata capacità di utilizzo nel campo della pianificazione e della gestione del territorio, in quanto sono in grado di rappresentare graficamente moltissime informazioni di diverso tipo in modo immediato, derivate da banche dati scelte. Queste verranno descritte successivamente in questo capitolo. L'immagine in (3.1) descrive la metodologia per l'ottenimento dei profili di consumo, produzione e producibilità a scala urbana.

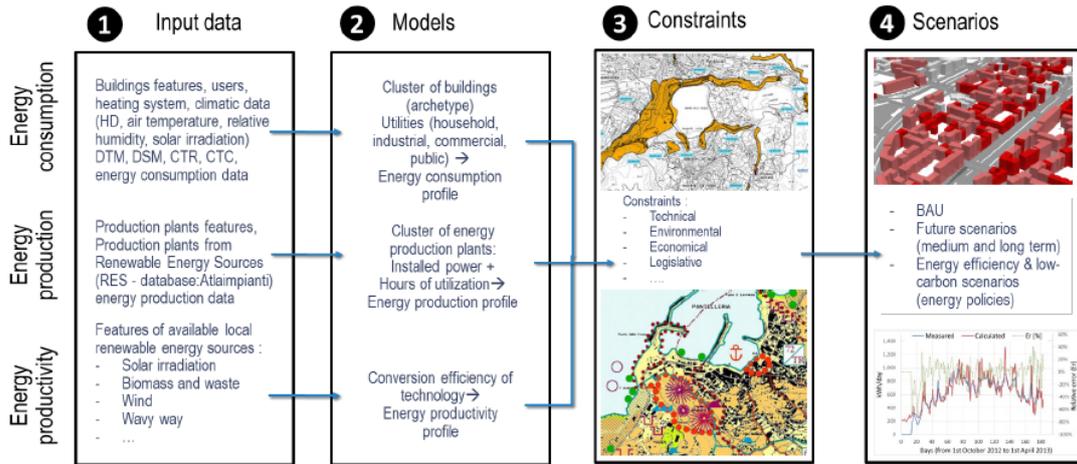


Figura 3.1: Metodologia per l'analisi energetica. (Fonte: Gruppo di Ricerca costituito dalla Prof.ssa Guglielmina Mutani, Prof.ssa Cristina Bertani e i dottorandi Valeria Todeschi, Simone Beltramino, Silvia Santantonio.)

Dalla figura si evince come la raccolta dei dati di input è fondamentale per definire i modelli per il calcolo dei differenti profili, sulla base dei dati sulle risorse energetiche disponibili, sulle caratteristiche climatiche e dell'edificato e sui dati geospaziali come il DTM e il DSM. I vincoli sono importanti poichè delineano i limiti per l'uso e l'accesso alle fonti energetiche e influenzano i conseguenti scenari che si possono ipotizzare per individuare le migliori scelte per promuovere tecnologie che vanno incontro al processo di transizione energetica. Lo studio di tesi è organizzato secondo un approccio top-down: partendo dalla scala territoriale, verranno di seguito analizzati le singole utenze oggetto di analisi, valutando per esse i profili di consumo, produzione e producibilità da fonte rinnovabile se è prevista l'installazione di un impianto a fonti rinnovabili.

Il lavoro prevede l'integrazione di una metodologia in grado di valutare il potenziale e la fattibilità della ristrutturazione dei tetti in un contesto urbano edificato, applicandola ai Comuni oggetto di analisi (in [52]). Inoltre, la conoscenza delle caratteristiche dei territori di studio ottenute mediante l'uso di banche dati, ha permesso di sfruttare dei modelli per il calcolo dei profili di consumo e producibilità elettrica su scala oraria per alcune determinate strutture scelte sulla base dei seguenti criteri. Inoltre l'obiettivo è fornire anche un metodo per pianificare la progettazione di impianti fotovoltaici sui tetti di tali edifici, noto il potenziale solare del territorio. In figura (3.2) viene illustrata questa metodologia. Noti i metodi in (in [52]), si riporta più nel dettaglio quanto appena detto.

1. **Database dei Sistemi Informativi Geografici.** Permettono la raccolta dei dati di input, elaborabili mediante software GIS. I database forniscono diverse tipologie di dati:

- Modelli di elevazione del terreno. Si tratta di dati raster distinguibili in due classi: il Digital Terrain Model (DTM) e il Digital Surface Model (DSM). IL DTM rappresenta la superficie terrestre senza considerare la vegetazione o

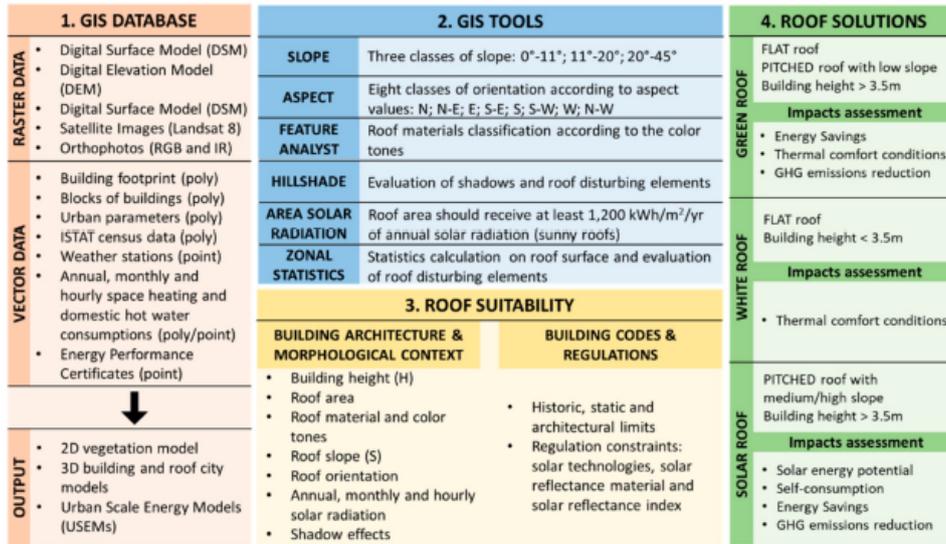


Figura 3.2: Metodologia per la valutazione dei tetti di edifici urbani. Fonte: articolo in [52]

l'ambiente costruito; il DSM invece tiene conto della loro presenza, permettendo di valutare l'ombreggiamento sugli edifici, quantificare la radiazione solare e i valori di pendenza e orientamento degli stessi.

- Immagini satellitari (dati raster). Nel caso in questione ottenuti dalla missione Landsat 8 e permettono di ricavare parametri come il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) il quale analizza la copertura vegetativa sulla superficie.
- Dati vettoriali poligonali, derivati da mappe tecniche dei luoghi esaminati. Questi forniscono informazioni riguardo l'impronta urbana; il numero, l'età e lo stato conservativo degli edifici; la superficie (e il volume) netta riscaldabile e il rapporto superficie/volume. Inoltre anche l'altezza, l'esposizione solare e l'orientamento verso la strada dell'immobile.
- Dati di censimento, dal portale ISTAT (in [30]).
- Dati climatici in riferimento alla regione considerata: temperatura, umidità, velocità del vento ad esempio. Per la Regione Autonoma della Valle d'Aosta è possibile ottenere queste informazioni sul sito [6]).
- Certificati di performance energetica; per la Valle d'Aosta visualizzabili in [44].

2. **Strumenti GIS.** Detti più comunemente GIS tool, essi analizzano le caratteristiche degli edifici e dell'ambiente urbano mediante operazioni geospaziali. Il software utilizzato per il lavoro di tesi è ESRI ArcGIS.

- Lo Slope tool valuta la pendenza dei tetti sfruttando il DSM. I risultati della simulazioni possono essere interpretati nel seguente modo: tetti con una pendenza inferiore a 11deg sono considerati piatti; per una pendenza compresa tra 11deg e inferiore a 20deg sono tetti spioventi; per pendenze tra i 20deg e i 45deg sono classificabili come tetti spioventi adatti all'installazione di impianti solari.

- Aspect tool restituisce l'orientamento dei tetti conoscendo il DSM. I valori sono compresi tra gli 0deg e i 360deg.
- Area Solar Radiation tool quantifica la radiazione solare annuale e mensile noto il DSM. Il risultato della simulazione è un valore di radiazione globale incidente per ogni pixel della dimensione di 0.5 m.
- L'"Hillshade tool" restituisce un rilievo con l'ombreggiatura a partire dal DSM, considerando l'angolo di illuminazione e le ombre.

3. **Idoneità del tetto: analisi dei criteri per valutarne le caratteristiche.** Dovendo progettare degli impianti fotovoltaici sui tetti di alcuni edifici dei due Comuni valdostani, in tabella (3.1) sono riportati i criteri da rispettare, derivati dall'articolo [52].

Criterio	Tetto]
Altezza dell'edificio	$> 3.5 \text{ m}$
Area del tetto	$> 50 \text{ m}^2$
Materiali e colori	No elementi disturbanti
Pendenza (S)	$20 \text{ deg} \leq S < 45\text{deg}$
Orientamento	Preferibilmente a Sud, mai a Nord
Radiazione solare (I)	$I \geq 1200 \text{ kWh/ m}^2$
Ombreggiamento	Relativo alla radiazione solare

Tabella 3.1: *Criteri di valutazione dei tetti per l'uso della tecnologia basata sul solare. Fonte: elaborazione personale*

4. **Tecnologie per i tetti adatti all'installazione di impianti ad energia solare.** Vengono proposte delle possibili soluzioni per installare impianti basati sul solare. In particolare, per i Comuni di La Salle e Chamois, sono considerati impianti fotovoltaici installati sui tetti degli edifici che soddisfano i requisiti del punto 3.

Concentrandosi invece sulla struttura operativa del lavoro di tesi, sono indicate le da seguire.

1. **Raccolta dei dati di input.** Il reperimento dei dati utili è stato uno degli aspetti più complessi e problematici dello studio, soprattutto per via del tempo occorso per richiedere ai comuni tutte le informazioni necessarie. Sono state prese in considerazione diverse fonti, elencate di seguito:

- Banche dati: il database *ISTAT*, [30] ha permesso di ottenere informazioni riguardo le condizioni socio-economiche e dell'edificato presenti nei territori di La Salle e Chamois; *Atlaimpianti* ([23]) permette di localizzare gli impianti di produzione su tutto il territorio italiano, distinguendoli in base alla fonte energetica; dal *Geoportale SCT Valdostano* ([40]) sono stati scaricati i Digital Surface Model (DSM); l'*Atlante italiano della radiazione solare ENEA* ([13])

mostra i dati di radiazione incidente sul territorio, scelto il comune di riferimento. Il portale PVGIS ([17]) è il fulcro dell'analisi della producibilità di energia elettrica dai pannelli fotovoltaici installabili sui tetti degli edifici, in quanto la ricava mediante calcoli automatici conoscendo la tipologia di pannello che si vuole installare.

- Il Sistema Interscambio Anagrafe Tributarie Enti Locali (SIATEL), una banca dati accessibile esclusivamente dagli enti territoriali autorizzati poiché contiene dati sensibili. Allo stato attuale solo Chamois ha fornito i profili di consumo annuale delle strutture situate nel suo territorio.
- Bollette relative ai consumi mensili del triennio 2017-2018-2019 degli edifici comunali: per La Salle si possiede anche il valore, in €/kWh, dell'energia elettrica; tale dato manca nel caso di Chamois, pertanto si è provveduto a fare una stima mensile del suo valore.
- Vincoli: di natura legislativa, paesaggistica ed ambientale, come la biomassa effettivamente disponibile in base alle vie di comunicazione ed all'altitudine e la superficie dei tetti disponibile per l'installazione dei pannelli. In Valle d'Aosta quest'ultima è del 50%

2. **Analisi territoriale ed energetica.** Vengono inquadrare le municipalità interessate, evidenziando le caratteristiche geomorfologiche, socio-economiche e consistenza dell'edificato.

Si discutono quindi i profili di consumo, producibilità e produzione, necessari per il successivo bilancio energetico. Si ricorda che considerando la configurazione di comunità energetica, tale bilancio riguarderà principalmente la componente di consumo e producibilità di elettricità.

3. **Bilancio energetico.** Vengono confrontati i profili precedentemente trattati su base annuale, mensile ed oraria.

4. **Analisi economica e scenari di interesse.** Noto il bilancio energetico, vengono ipotizzati una serie di scenari possibili, riportati qui sotto:

- REC composta da soli edifici comunali, alcuni dei quali prosumer ed altri solo consumer;
- REC composta dagli edifici comunali e da un certo numero di strutture residenziali.

Gli scenari saranno correlati da un'analisi economica fatta sulla durata degli incentivi, ossia 20 anni.

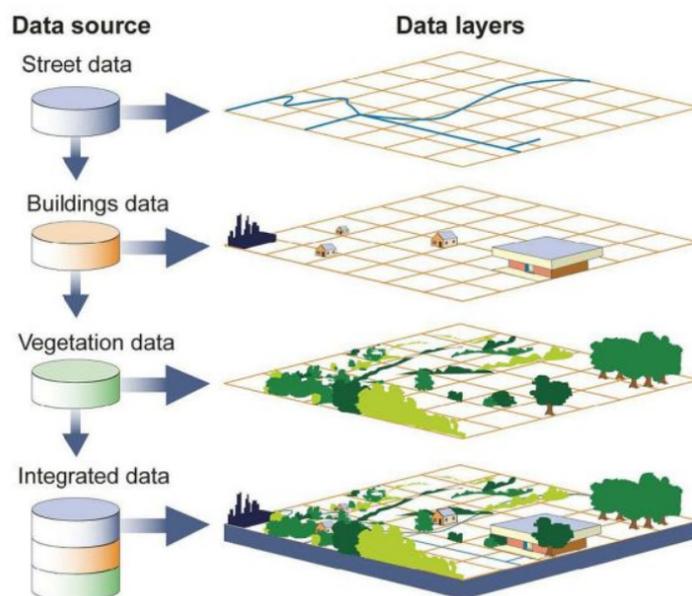


Figura 3.3: *Integrazione dei dati nei GIS. (Fonte: Infobuild.it)*

Sistemi Informativi Territoriali (SIT, GIS in lingua inglese)

La Regione Lombardia in [45] definisce i GIS come uno strumento di organizzazione dei dati territoriali, che permette di associare alle geografie di riferimento (quali cartografie o immagini satellitari ad esempio) dati di varia natura riguardanti il mondo antropico e ambientale.

Oltre ad essere un supporto per la gestione e la pianificazione del territorio, come discusso precedentemente, i GIS rappresentano uno strumento per comunicare i piani di programmazione che riguardano il territorio su varie scale geografiche, quali ad esempio quella nazionale, geografica, comunale e al livello del singolo edificio. In figura (3.3), da [28] si evidenzia la capacità dei GIS di integrare dati di origine diversa, i quali forniscono descrizione differenti a seconda delle esigenze. Chiosa sui software utilizzati:

- ESRI ArcGIS Desktop permette di elaborare le mappe cartografiche e solari delle porzioni di territorio esaminate. In particolare sono stati utilizzati i suoi pacchetti ArcMap e ArcScene;
- SNAP e Google Earth sono utilizzati per la rappresentazione di un'immagine ottenuta da un dato satellitare.
- Microsoft Excel è utilizzato per svolgere i calcoli matematici relativi ai bilanci energetici ed economici;
- Meteonorm 8 è necessario per ricavare il coefficiente di turbidità di Linke.

Capitolo 4

Analisi territoriale

La prima parte è dedicata a fornire un quadro generale della regione valdostana; successivamente La Salle e Chamois verranno visti considerando ogni singolo aspetto classificato in base alla tipologia di informazione.

La Valle d'Aosta è una regione italiana, situata nell'Italia nord-occidentale, con capoluogo Aosta (AO). Giuridicamente è una regione autonoma a statuto speciale, che la rende abbastanza indipendente dal governo centrale della nazione in molti settori, specialmente quelli riguardanti il turismo, l'agricoltura, l'artigianato e lo sfruttamento del territorio montano. Possiede uno dei più alti tenori di vita in Italia, classificandosi come seconda regione per PIL Pro Capite, che ammonta a circa 35 milioni di €. Inoltre, è la regione con meno abitanti in Italia.

Confina a ovest con la Francia e a nord con la Svizzera mentre a sud e a sud-est con la Regione Piemonte; tali vicinanze hanno portato alla formazione di una forte comunità linguistica francese. A tal proposito, le lingue ufficiali della regione sono l'italiano e il francese. Il suo territorio è quasi totalmente montuoso ed è collocato all'interno dell'arco alpino, vi possiamo infatti trovare le più alte montagne della catena, tra cui il Monte Bianco, con un'altitudine di 4808.72 m.s.l.m., e il Monte Cervino con un'altitudine di 4478 m.s.l.m. Oltre a caratterizzarla geograficamente, le Alpi hanno una forte impronta sociale ed economica sulla popolazione valdostana: importantissimo è il turismo, sia quello storico (ad esempio i numerosi castelli come quelli di Fenis e Bard e i siti romani ad Aosta) che naturalistico dato dall'ampia varietà di paesaggi (come il Parco Nazionale del Gran Paradiso); lo sport più praticato è lo sci alpino grazie alle numerose piste che si affollano di persone pressochè tutto l'anno ad eccezione dell'estate.

Seguendo la classificazione climatica di Köppen, a causa dell'orografia territoriale si identificano un clima alpino in quota e un clima continentale nelle aree ad altitudine più bassa, concentrate nella parte centrale e a sud della Valle. Le temperature medie regionali variano da minimi intorno ai -3°C nel mese di dicembre e massimi intorno ai 30°C nel mese di luglio, basandosi sui dati climatici del Centro Funzionale RAVDA disponibili al sito [6]. La figura (4.1) mostra le posizioni delle stazioni meteo della Valle d'Aosta.

Dato	Corrispondenza
Superficie	3260.9 km ²
Altitudine media	951 m.s.l.m.
Confini regionali	Piemonte
Confini nazionali	Francia, Svizzera
Clima	Continental, alpino
Fuso orario	UTC + 1
Capoluogo	Aosta (AO, unica provincia regionale)
Montagne rilevanti	Monte Bianco, Cervino, Monte Rosa
Fiume principale	Dora Baltea
Laghi principali	Lago Verney, Gran Lago
Presidente	Erik Lavévaz
Popolazione	124.041 abitanti
Densità abitativa	38.04 ab/km ²
Lingue ufficiali	Italiano, francese
Dialetti riconosciuti	Francoprovenzale valdostano, walser, piemontese
Comuni	74
PIL Nominale	≈ 4450 mln€
PIL Pro Capite	≈ 35.500 €

Tabella 4.1: *Dati geomorfologici e socio-economiche della Valle d'Aosta. Fonte: elaborazione personale*

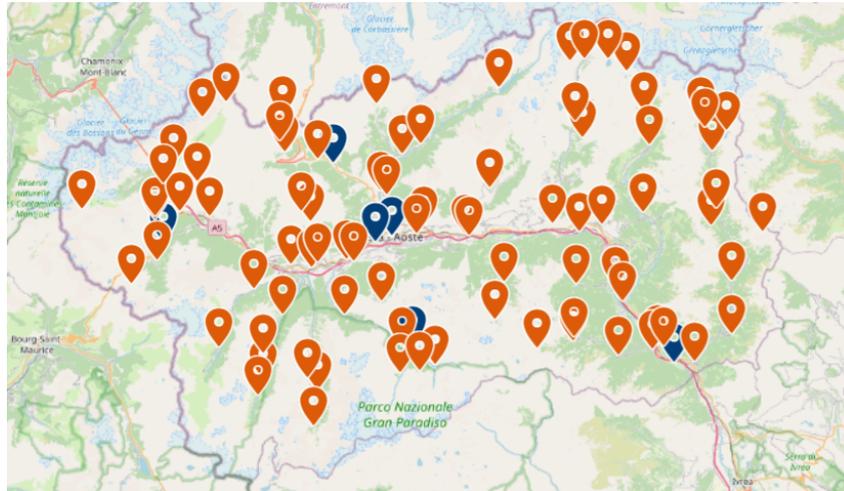


Figura 4.1: *Stazioni meteo. In blu le stazioni ARPA; in arancione le stazioni del Centro Funzionali. Fonte: Centro Funzionale RAVDA in [6]*

Il 4% della superficie è ricoperta da ghiacciai, più di 200 in numero. Particolarmente ricca è l'idrografia, data da numerosi fiumi, laghi ed alcune piccole cascate. In virtù di quest'ultima caratteristica, la Valle d'Aosta ha un alto potenziale idroelettrico. Nella tabella (4.1) sono elencate alcune informazioni di carattere generale differenziate per tipologia di dato, mentre la figura (4.2) illustra graficamente il contesto territoriale della Valle d'Aosta in Italia e in Europa. Lo studio territoriale della Valle d'Aosta procede con l'analisi della componente vegetativa, idrografica ed urbana. Questa è stata svolta mediante il trattamento di due dati satellitari ottenuti dalle banche dati dell'Agenzia Spa-

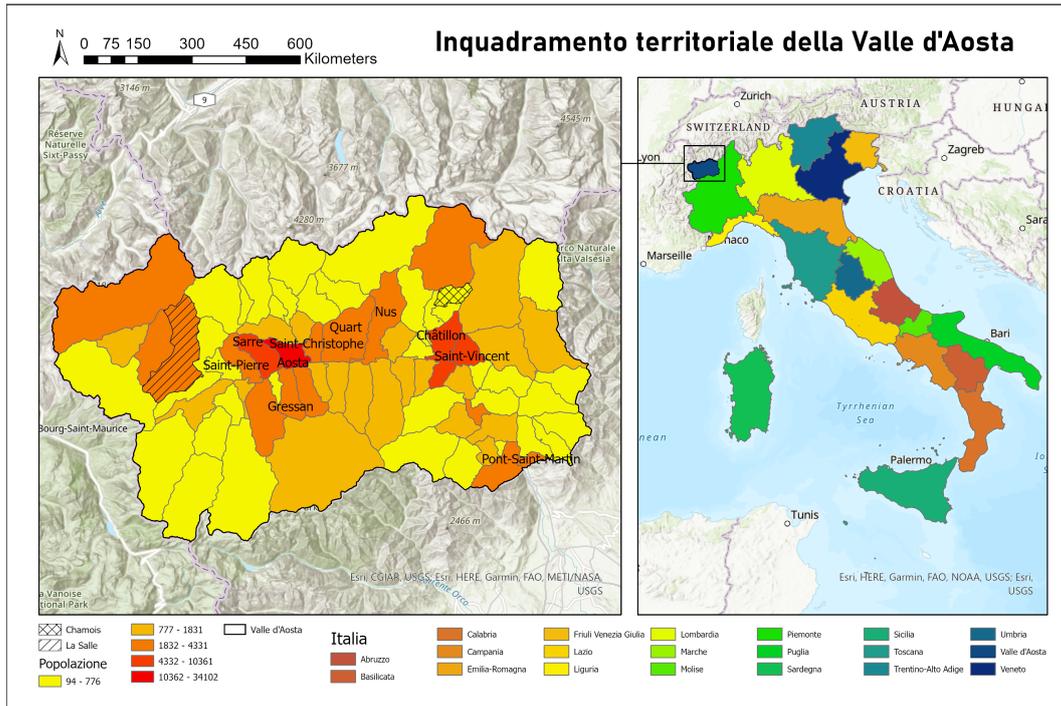


Figura 4.2: *Contesto territoriale della Valle d'Aosta. Elaborazione propria con ArcGIS Pro*

ziale Europea (ESA) 'Copernicus Open Access Hub' in [18] e EarthExplorer della United States Geological Survey (USGS) in [58]. Dal portale dell'ESA è stata scaricata, e successivamente elaborata mediante il software SNAP, un'immagine radar ad apertura sintetica (SAR) ricavata nel periodo compreso tra il 24/05/2020 e il 05/06/2020, che ha permesso di visualizzare alcune caratteristiche della zona centro-nord della regione con l'inclusione dell'arco alpino al confine con la Svizzera e la Francia. In figura (4.3) è mostrato quanto detto. Le mappe in figura (4.4) e (4.5) analizzano numericamente la vegetazione e la copertura nevosa in un particolare giorno preso come campione esemplificativo, ossia il 19/02/2021. Queste mappe sono state elaborate da un segnale del satellite Landsat 8 misurato nel medesimo periodo di acquisizione.

Tramite il software ArcGIS, la vegetazione e la copertura nevosa sono state calcolate mediante due coefficienti che sfruttano alcune bande dello spettro elettromagnetico: il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e il Normalized Difference Snow Index (NDSI):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad NDSI = \frac{RED - SWIR}{RED + SWIR}$$

Dove:

- NDVI e NDSI sono i coefficienti sopra citati, adimensionali;
- RED è la banda dello spettro del visibile corrispondente al colore rosso ($\lambda = 625 - 740nm$);
- NIR è la banda dello spettro corrispondente all'infrarosso vicino ($\lambda = 750 - 1400nm$);
- SWIR è la banda dello spettro corrispondente all'infrarosso ad onde corte ($\lambda = 1400 -$

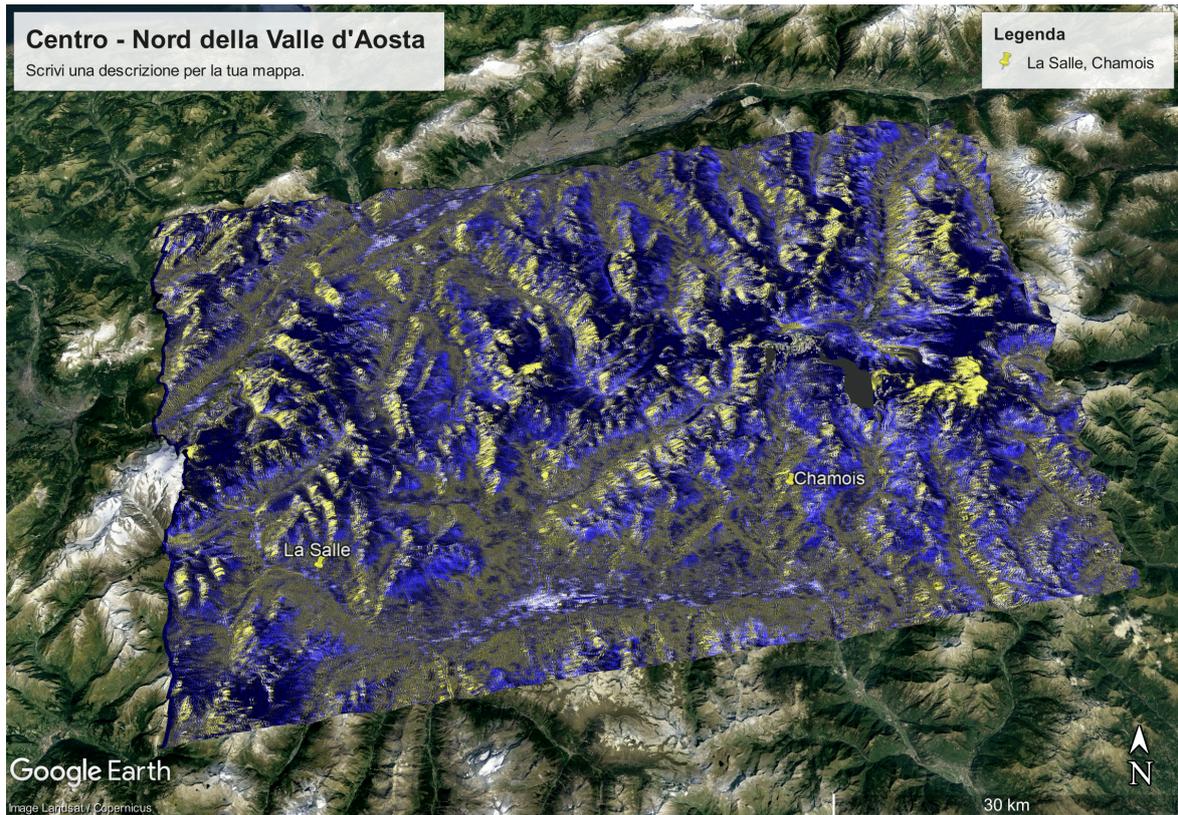


Figura 4.3: *Mappa geomorfologica ed urbana della Valle d'Aosta. A) Aggregazioni di punti bianchi indicano i centri urbani, evidenziando anche le principali vie di comunicazione. B) La vista del sensore montato sul satellite è deducibile dal colore giallo, ossia W-E. C) La vegetazione è rappresentata con un colore giallo scuro, ocra. 4) Le aree montane sono indicate con diverse tonalità di blu e in risalto grazie ai rilievi in 3D Elaborazione propria con SNAP e pubblicazione in Google Earth*

3000nm). Per completezza, in figura (4.6) è illustrato lo spettro elettromagnetico solare.

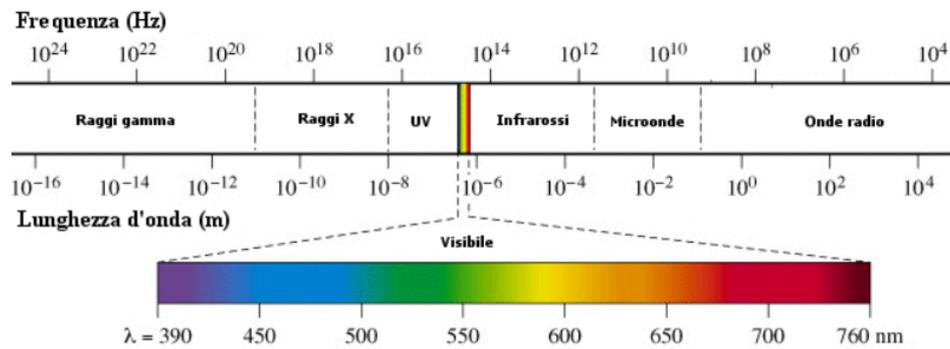


Figura 4.6: *Spettro elettromagnetico solare. Fonte: Osservatorio Astrofisico di Torino*

Per quanto riguarda la distribuzione dell'edificato in figura (4.7) si nota come le aree urbane siano concentrate nelle aree a minore altitudine, dove la vegetazione è più fitta.

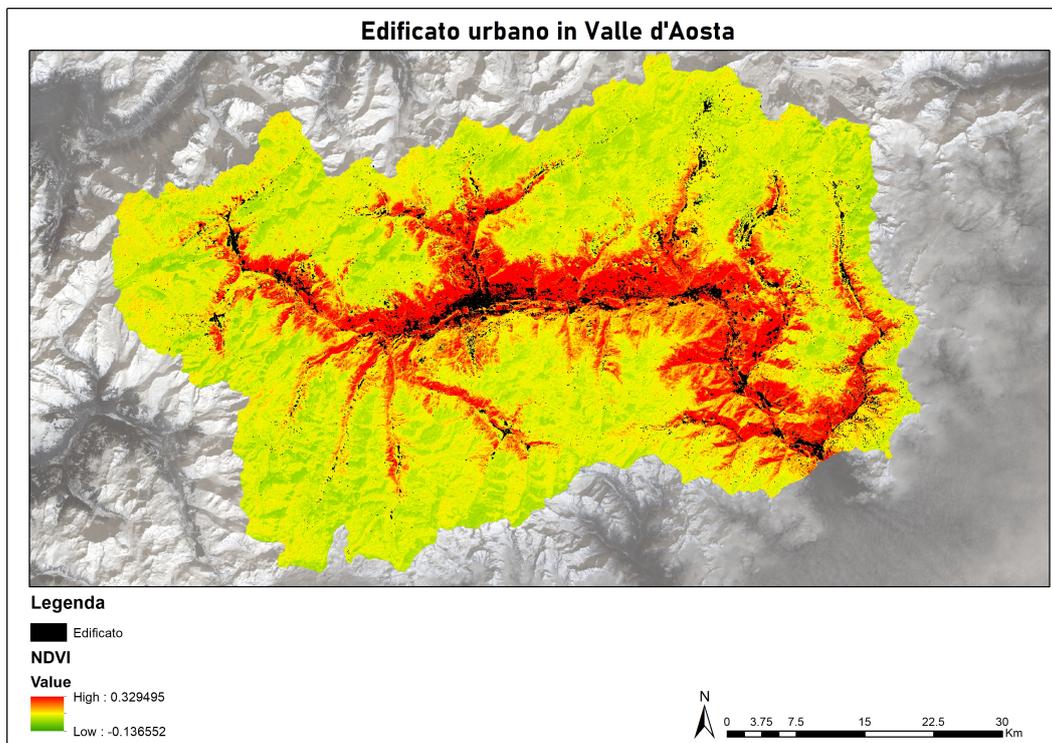
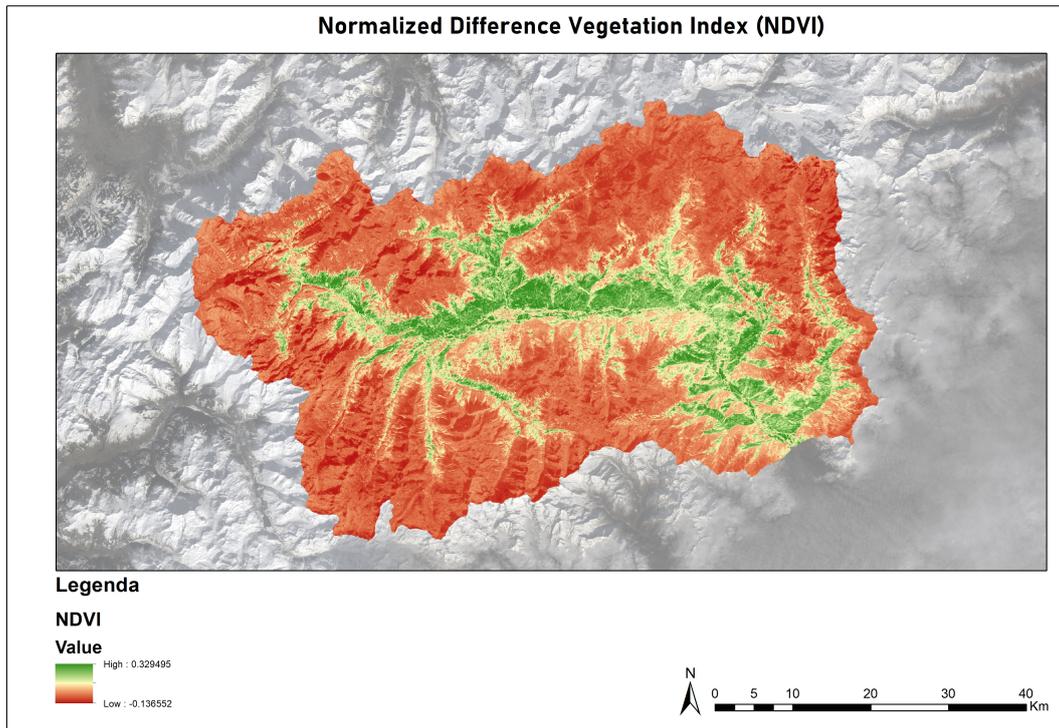
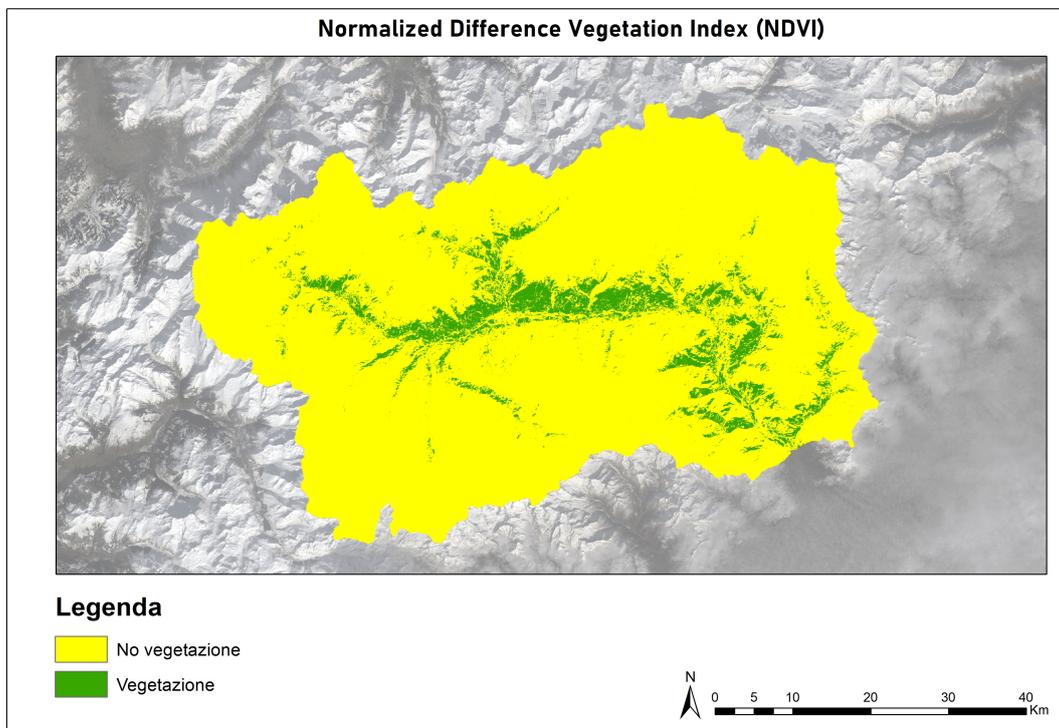


Figura 4.7: *Impronta urbana della Valle d'Aosta. Elaborazione propria con ArcGIS*

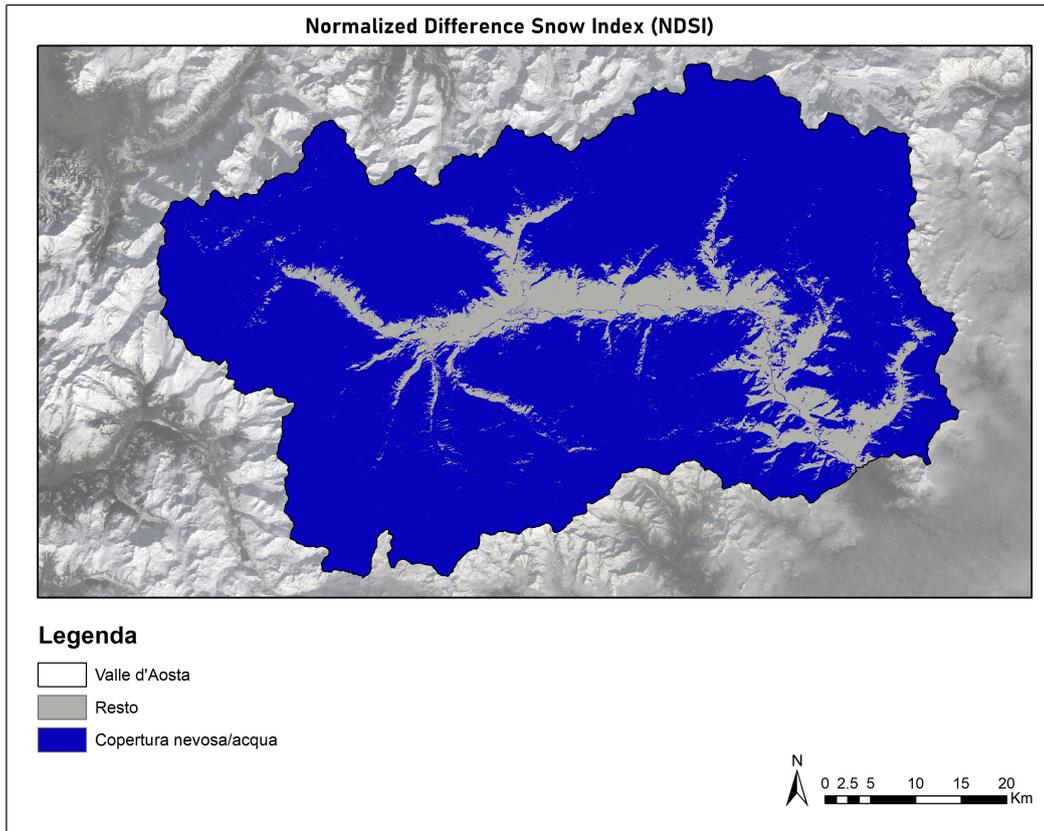


(a) Scala graduata

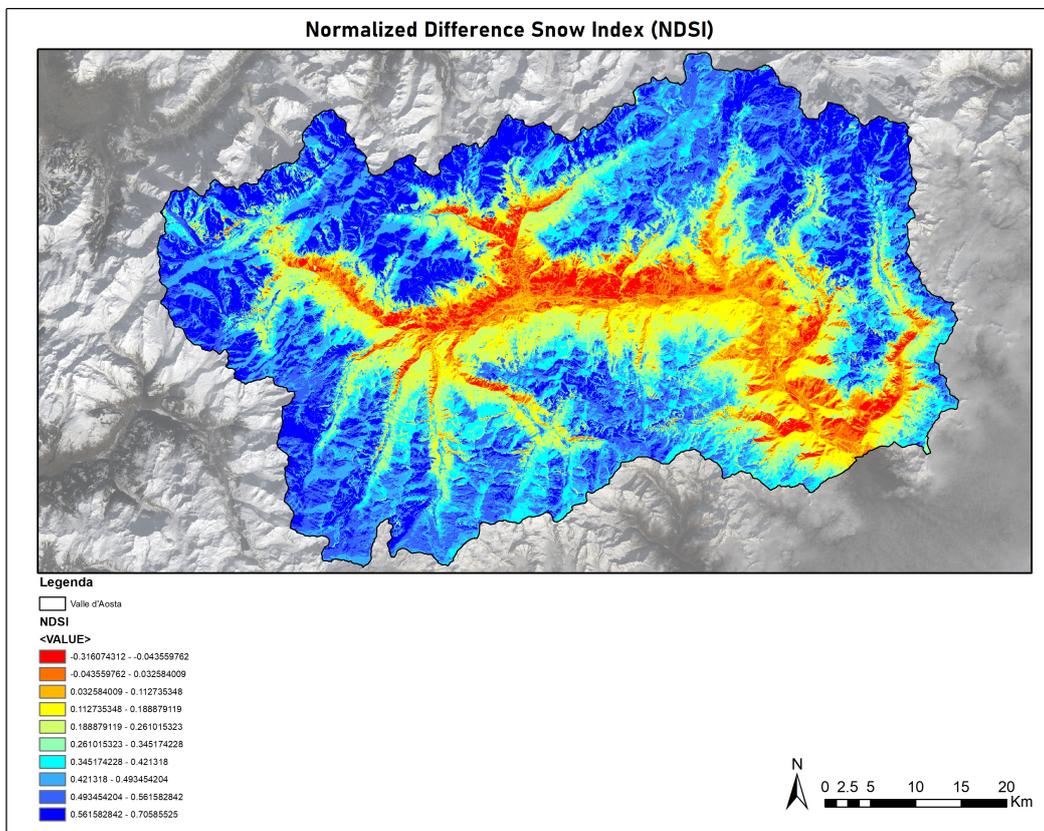


(b) Scala a colori discreti

Figura 4.4: NDVI. Elaborazione propria con ArcGIS



(a) Scala graduata



(b) Scala a colori discreti

Figura 4.5: NDSI. Elaborazione propria con ArcGIS

4.1 La Salle

4.1.1 Caratteristiche territoriali, geomorfologiche e climatiche

La Salle (AO) è un comune situato nella zona nord-ovest della Valle d'Aosta, a 1001 m.s.l.m., all'interno di un'area definita Valdigne, che rappresenta la parte alta di questa regione. Il suo territorio, che si estende lungo una superficie di 83.94 km^2 , è prevalentemente montano, come è possibile osservare in figura (4.8), che mostra il DSM della Valle d'Aosta nord-occidentale con un passo di 2 metri; la figura (4.9) evidenzia i valori puntuali di altitudine dei comuni della Valdigne ed infine la figura (4.10) mappa l'area in 3D. I raster regionali sono scaricabili dal catasto in [42]. La Dora Baltea, il fiume principale che bagna La Salle, ha la sua origine proprio in Valdigne, precisamente la sorgente è situata nella località di Entrèves. In figura (4.11), si individuano le amministrazioni confinanti, ovvero Avise, Morgex, Courmayeur, Saint-Rhémy-en-Bosses e la Thuile. Inoltre La Salle gestisce all'interno della sua municipalità 32 frazioni, dove Derby, Cheverel, Villaret, Ecours sono tra le più popolate e rilevanti. Curiosità: La Salle e le sue frazioni sono viste come un insieme di microcomunità che poggiano i loro ideali dalla nascita della comunità parrocchiale di Derby (in [7]).

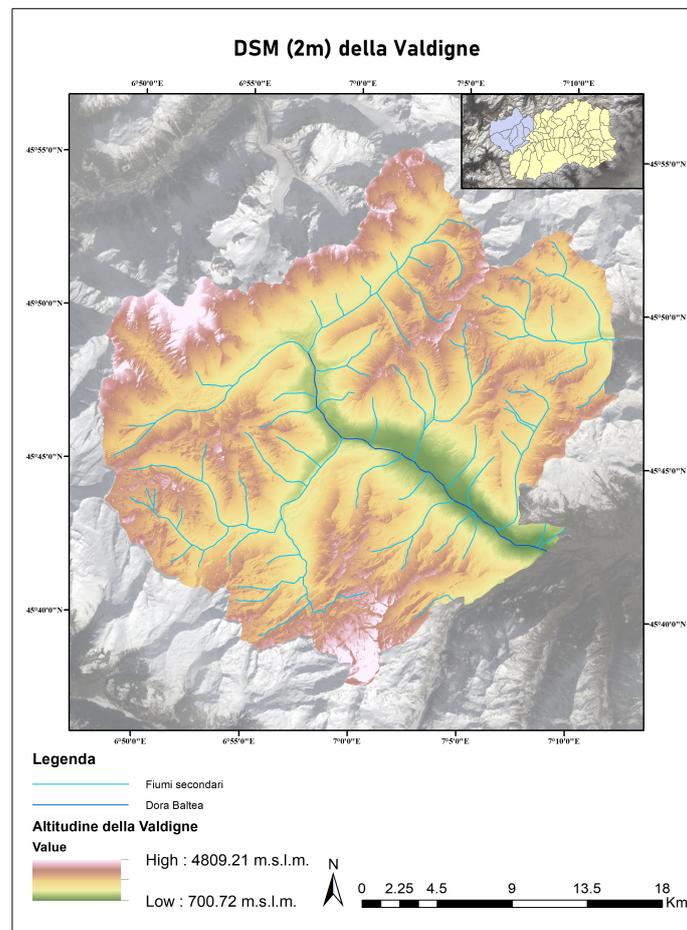


Figura 4.8: Orografia ed idrografia del Nord-Ovest valdostano. Elaborazione propria con ArcMap.

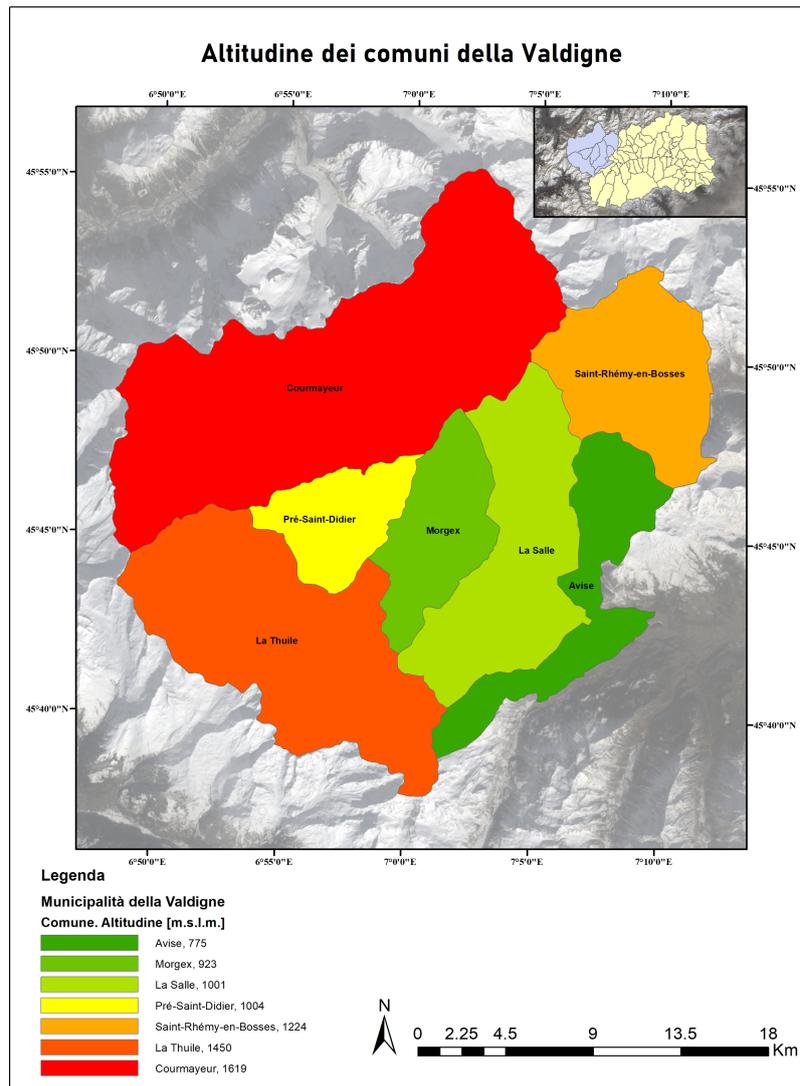


Figura 4.9: *Altitudine delle municipalit  della Valdigne. Elaborazione propria con ArcMap.*

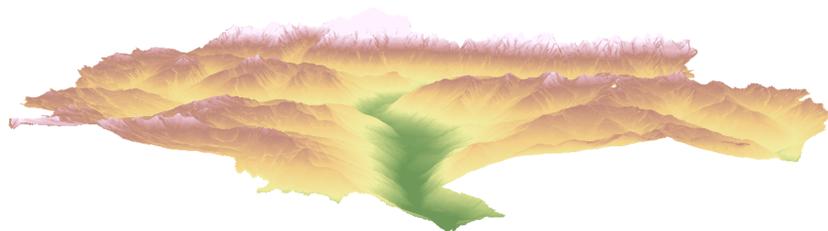


Figura 4.10: *Mappa 3D della Valdigne. Elaborazione propria con ArcScene.*

La figura (4.11) inoltre considera la classificazione climatica della Valdigne: tutta l'area è in fascia climatica F, ossia con un valore di gradi giorno superiore a 3000; nel nostro caso La Salle ha un valore di 3734 GG. Per questo tipo di municipalità, non vi sono limiti nel periodo e nell'orario di accensione degli impianti di riscaldamento, pertanto si considera l'intero anno solare di 365 giorni. I gradi giorno (abbreviati in GG, (4.2)) sono definiti come la somma, in tutti i giorni dell'anno, della differenza in valore assoluto tra la temperatura dell'ambiente interno (fissata convenzionalmente a 20°C) e la temperatura media esterna giornaliera (equazione (4.1)):

$$GG = \sum_{e=1}^n |T_0 - T_e| \quad (4.1)$$

Dove:

- T_0 è la temperatura ambiente, pari a 20°C;
- T_e è la temperatura media esterna giornaliera;
- n è il numero di giorni del periodo di riscaldamento; $1 \leq n \leq 365$.

Zona climatica	GG	Stagione del riscaldamento	[$h_{accensione}$ /giorno]
A	< 600	1° dicembre - 15 marzo	6
B	$600 \leq 900$	1° dicembre - 31 marzo	8
C	$901 \leq 1400$	15 novembre - 31 marzo	10
D	$1401 \leq 2100$	1° novembre - 15 aprile	12
E	$2101 \leq 3000$	15 ottobre - 15 marzo	14
F	> 3000	no limitazioni	no limitazione

Tabella 4.2: *Gradi Giorno [°C]. Fonte: Elaborazione personale*

Il territorio ha una sismicità medio-bassa, in zona 3. La classificazione varia da un valore di 1, indice di elevata sismicità, ad un valore di 4 che rappresenta il rischio minimo.

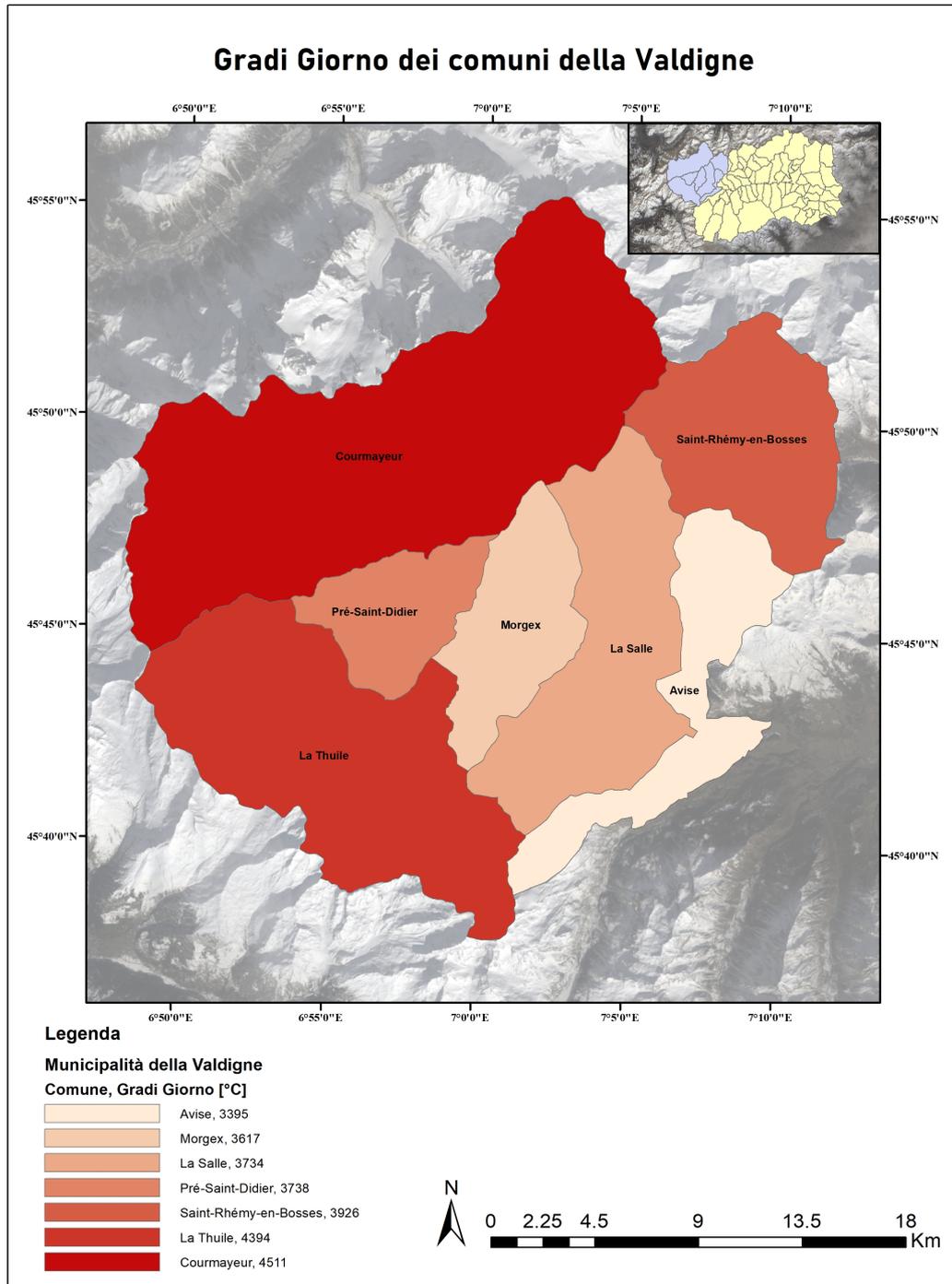


Figura 4.11: *Limiti amministrativi di La Salle con i rispettivi Gradi Giorno. Elaborazione propria con ArcGIS.*

4.1.2 Caratteristiche demografiche e socio-economiche

Al 1° Gennaio 2020 la popolazione residente a La Salle ammonta a 2001 persone (dati da [30]), quasi perfettamente divisa per genere con un 51% di maschi e un 49% di femmine. Come si nota in figura (4.12), nel corso degli ultimi dieci anni si è osservato un declino demografico più o meno accentuato, in particolar modo dalle 32 frazioni, dove molte case sono state vendute a stranieri che le usano esclusivamente durante le vacanze stagionali (estate/inverno) lasciandole vuote per molti mesi all'anno. Il grafico (4.13) suddivide la popolazione cittadina in diverse fasce di età: nel comune vi abitano principalmente persone adulte ed anziane, in quanto i giovani tra i 15 e i 24 anni tendono probabilmente ad uscire e studiare fuori, aumentando così l'età media. La densità abitativa si concentra nella zona ad altitudine più bassa, in prossimità della Dora Baltea, come si vedrà nel paragrafo successivo in figura (4.14).

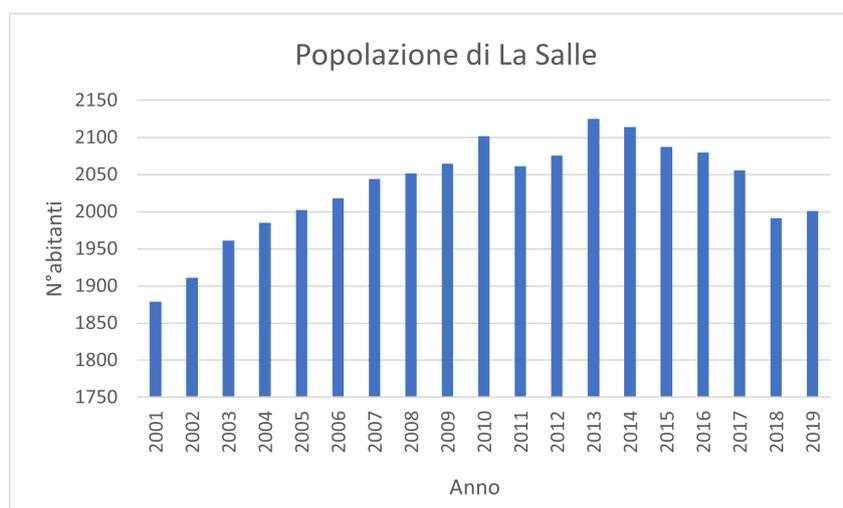


Figura 4.12: *Andamento della popolazione residente a La Salle al 31 dicembre di ogni anno. Fonte: ISTAT*

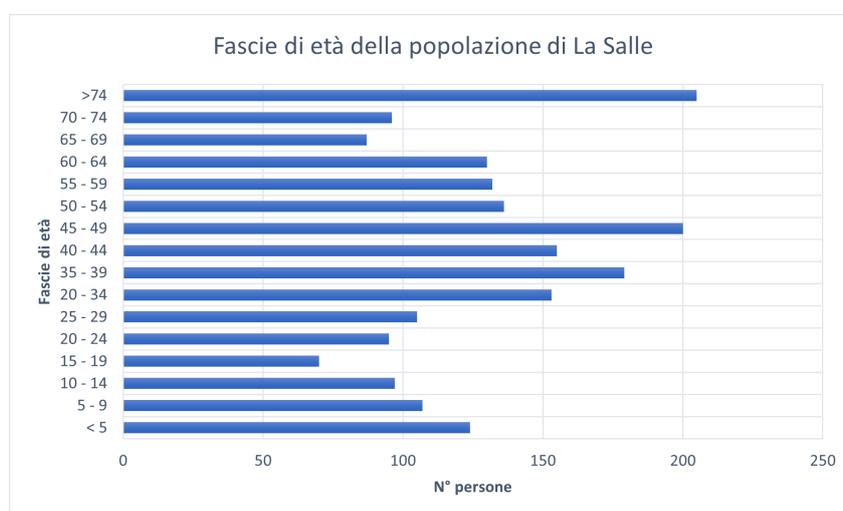


Figura 4.13: *Popolazione di La Salle per fasce di età. Fonte: ISTAT.*

Dato	Corrispondenza
N° abitanti	2001
Densità abitativa	23.74 ab/ km^2
Nome abitanti	Sallereins
Patrono	San Cassiano di Imola
Giorno festivo	13 agosto
Distanza dal capoluogo Aosta (AO)	114 km

Tabella 4.3: *Dati demografici di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

In tabella (4.3) sono riportate informazioni aggiuntive sul comune: Il settore turistico è ben sviluppato e incide parecchio sull'economia del territorio grazie alle numerose attrazioni naturali presenti e alle molteplici strutture sportive, tra cui le piste da sci, i sentieri escursionistici, i campi di equitazione e i club sportivi, di fiolet (lo sport tradizionale della Valdigne), tennis, rafting e di vari sport invernali. Il comune possiede anche due musei, ovvero il Museo Etnografico L'Homme et la Pente situato nella frazione Cheverel e il Museo d'arte Plassier.

Infine, occorre menzionare anche il settore vinicolo, che produce il 'Blanc de Morgex et de La Salle', un vino bianco prodotto autoctono e piuttosto diffuso in tutti i maggiori supermercati del Nord Italia.

4.1.3 Caratteristiche del patrimonio edilizio e dell'ambiente costruito

L'analisi è stata svolta mediante l'ausilio dei dati del censimento ISTAT 2011 in [30], in quanto il successivo del 2021 ha subito dei rallentamenti a causa dell'attuale pandemia di COVID-19. La figura (4.13) evidenzia come la maggior parte delle strutture si trovi nei pressi delle vie di comunicazione principali, quali le strade e la ferrovia, posizionati ad un'altitudine più bassa.

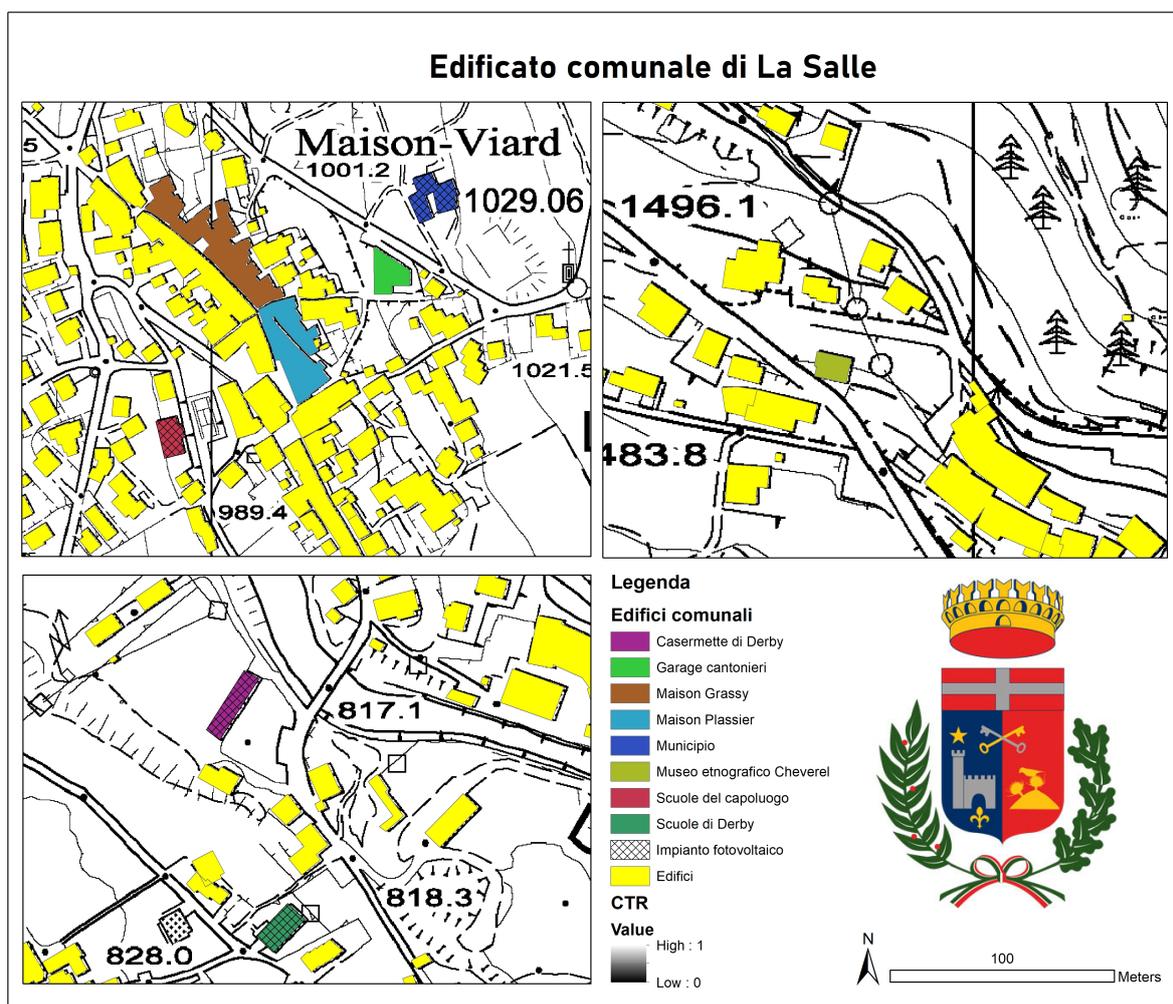


Figura 4.14: Caratteristiche dell'ambiente costruito e della viabilità a La Salle. Elaborazione propria con ArcGIS.

In totale l'edificato conta 3600 strutture, di cui 3224 sono effettivamente utilizzate. Ciò è riportato nella seguente tabella (4.4):

Dato	Corrispondenza
Popolazione residente	2001 abitanti
Edifici totali	3600
Edifici abitati	3224
Edifici ad uso residenziale	2316
Famiglie residenti	1026
Edifici ad uso commerciale/terziario	908

Tabella 4.4: *Dati dell'edificato di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

La quasi totalità degli edifici è stata costruita nel secondo dopoguerra, malgrado si osservi una diminuzione degli edifici in costruzione a partire degli anni 2000 (figura (4.15)). Considerando anche le strutture storiche ante 1919, ne consegue che la classe energetica della maggior parte degli edifici è inclusa tra le 4 meno efficienti (D-E-F-G): in figura (4.16) sono raffigurati gli Attestati di Prestazione Energetica (APE) relativi al territorio di La Salle. Risulta quindi necessario adottare politiche di efficientamento energetico, che minimizzino il consumo di energia e aumentino il rendimento (i.e. nuovi infissi, caldaie a condensazione di classe A, interventi di coibentazione).

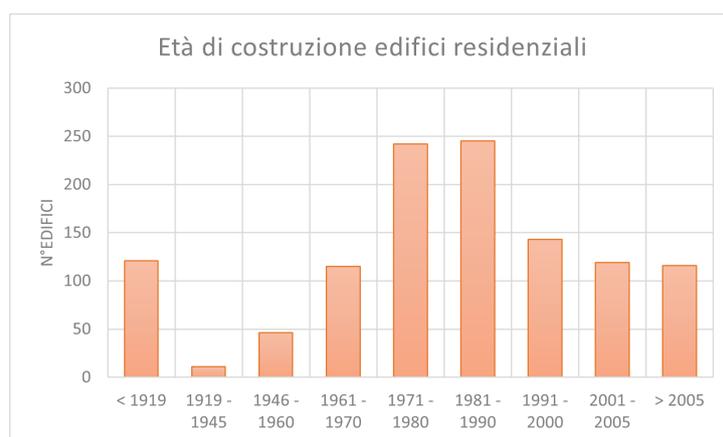


Figura 4.15: *Età di costruzione degli edifici a La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

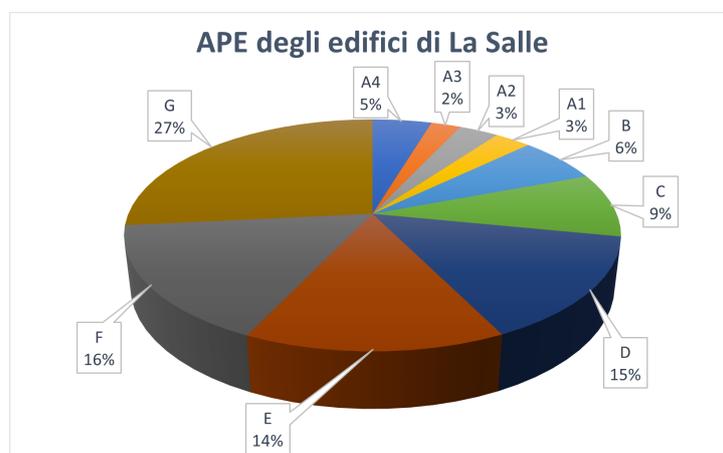


Figura 4.16: *APE degli edifici a La Salle. Fonte: Portale Beauclimat della Regione Valle d'Aosta*

Molto buono è lo stato di conservazione degli edifici, come si vede in figura (4.17).



Figura 4.17: *Stato di conservazione dell'edificato di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

4.1.4 Risorse energetiche

In questa sezione sono esaminate le fonti energetiche rinnovabili (si rimanda alla sezione 1.5) disponibili nel territorio di La Salle e che verranno prese successivamente in considerazione per l'analisi della producibilità di energia elettrica.

In prima luogo è conveniente citare le FER non sfruttabili:

- Energia geotermica: non sono presenti sorgenti d'interesse, in base alla valutazione del National Research Council of Italy in [36].
- Energia marina: per ovvi motivi, non disponibile.
- Energia eolica: non tenuta in considerazione a causa del territorio non idoneo per l'uso della tecnologia ad essa associata..

Come si vedrà nella sezione relativa ai modelli di produzione, sul territorio sono presenti diversi impianti idroelettrici, tuttavia a causa della mancanza di informazioni più approfondite relative ad esse (sono note solo posizione e potenza nominale) non è stato possibile proporre una valutazione approfondita della potenza prodotta a scala diversa da quella annuale.

La risorsa *biomassa* presente è stata valutata utilizzando il software ArcGIS e la sua componente ArcMap. Gli step da seguire sono i seguenti:

1. Caricare il raster DSM di La Salle e lo shapefile delle foreste in Valle d'Aosta: scaricabili dal Geoportale in [42].
2. Calcolo delle pendenze del terreno mediante le librerie di ArcToolbox ('surface'). Si considerino tre classi di pendenza: 0-25%, 25%-50%, 50%-75%. Oltre non è possibile prelevare biomassa. Il risultato è in figura (4.18).
3. Caricare gli shapefile delle strade territoriale; quindi fare tre buffer tra questo e le classi precedenti per individuare l'area raggiungibile dai mezzi di trasporto: per pendenze tra 0-25%, 250m; tra 25%-50%, 100m; tra 50%-75%, 50m.
4. Calcolo della superficie forestale accessibile (4.19).
5. Calcolo della superficie forestale disponibile al netto dei vincoli esistenti (4.19), ovvero:
 - Impossibilità di prelevare biomassa forestale al di sopra di 1800 m.s.l.m.
 - Vincoli paesaggistici dovuti alla presenza di laghi, fiumi, parchi, riserve naturali.
 - Legge 3917 del 20/06/1877, detta Legge Castagno, che impone il divieto di disboscamento dei terreni al di sopra del limite della vegetazione del castagno.
 - Vincoli idrogeologici per terreni suscettibili a deformazioni o in grado di turbare il regime delle acque, come stabilito dall'articolo 1 del R.D.L. 30/12/1923, reperibili in [44] nella sezione del Corpo Forestale della Valle d'Aosta.

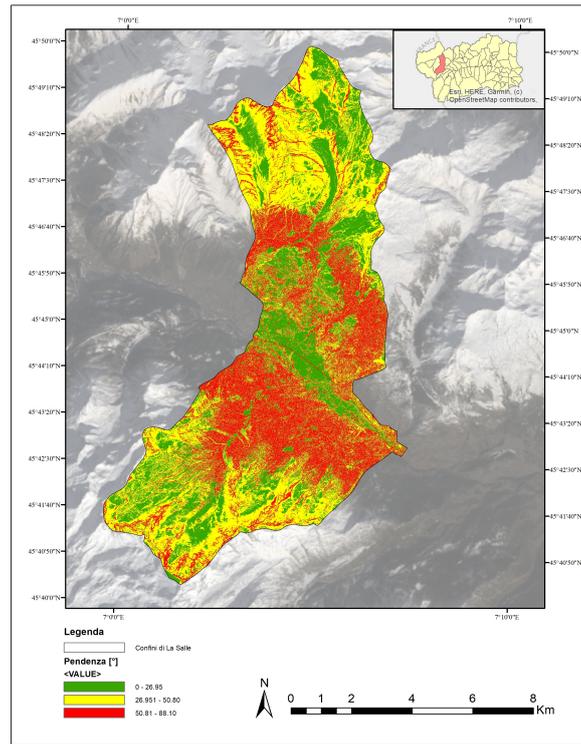
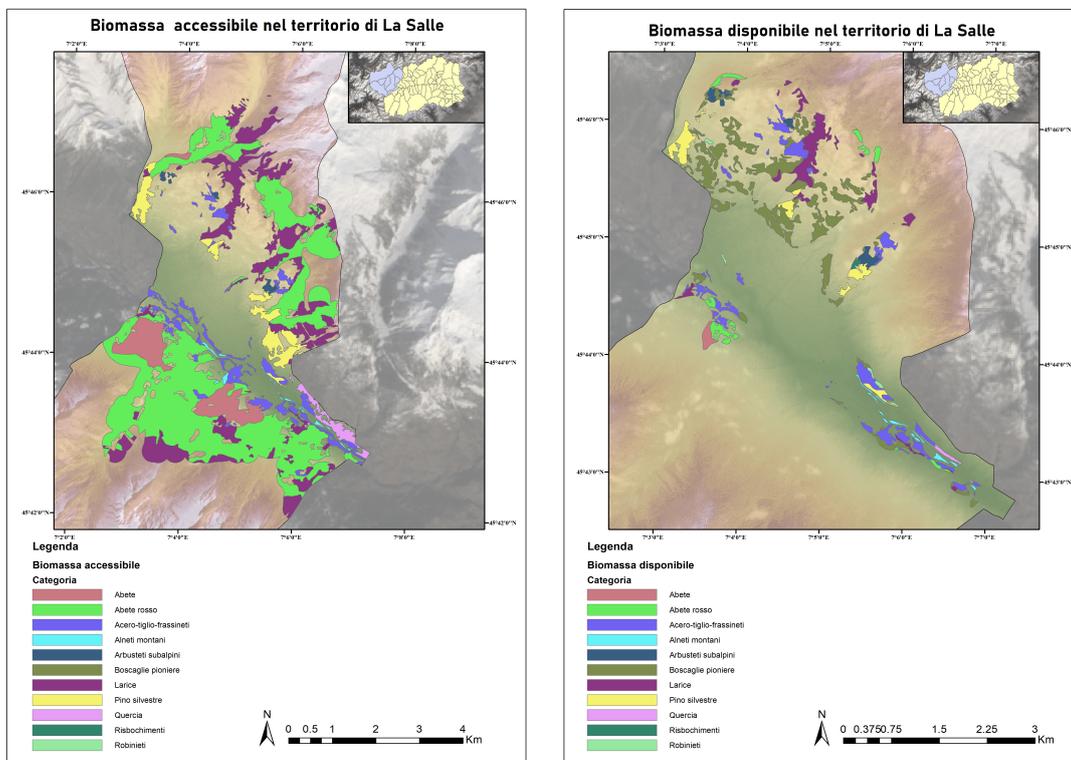


Figura 4.18: *Carta della pendenza del territorio di La Salle. Elaborazione propria con ArcMap*



(a) Biomassa accessibile

(b) Biomassa disponibile

Figura 4.19: *Biomassa forestale. Elaborazione propria con ArcMap*

L'*energia solare* è stata analizzata con ArcGIS, il quale dispone di un tool chiamato 'Area Solar Radiation' che permette di ricavare i valori di irraggiamento solare su una determinata area noto il raster DSM. Tali valori sono stati calcolati per ogni mese dell'anno 2020. Occorre impostare i parametri mensili di trasmissività e coefficiente di diffusione, quest'ultimo ricavabile dal portale PVGIS impostando la località di interesse [17]. Quindi, la trasmissività è calcolata usando la formula seguente:

$$T = \left(\frac{G_{b,h}}{1367} \right)^{\frac{1}{FDL}} \quad (4.2)$$

Dove:

- T è la trasmissività, adimensionale;
- $G_{b,h}$ è la componente diretta di irradiazione solare, in W/m^2 ;
- $1367 W/m^2$ è la costante di irradiazione solare;
- FDL è il Fattore di Turbidità atmosferica di Linke, ottenuto mediante il software Meteonorm.

Una volta ottenuti questi dati di input, sono ricavate le mappe di irradiazione solare, mostrate nelle figure (4.20), (4.21), (4.22) e (4.23). Si è fatta l'ipotesi che i mesi di gennaio, aprile, luglio ed ottobre facciano da riferimento per le quattro stagioni.

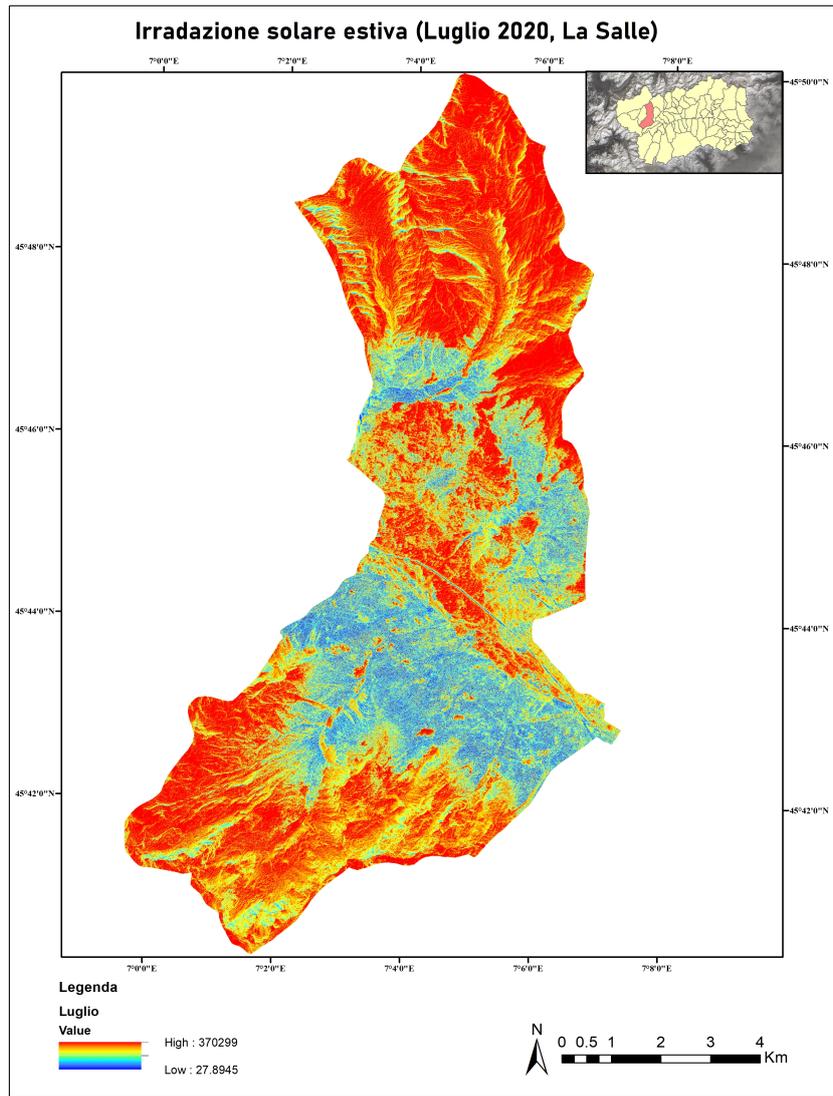


Figura 4.20: *Irradiazione solare estiva a La Salle. Elaborazione personale.*

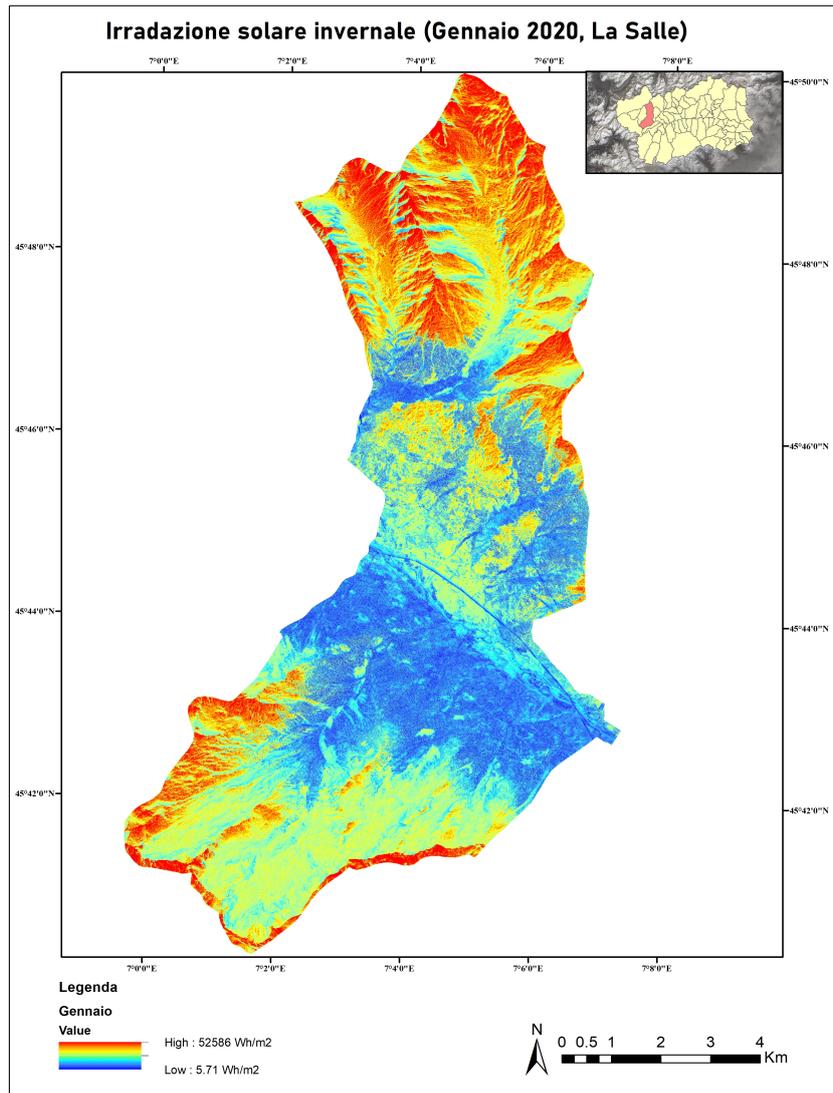


Figura 4.21: Irradiazione solare invernale a La Salle. Elaborazione personale.

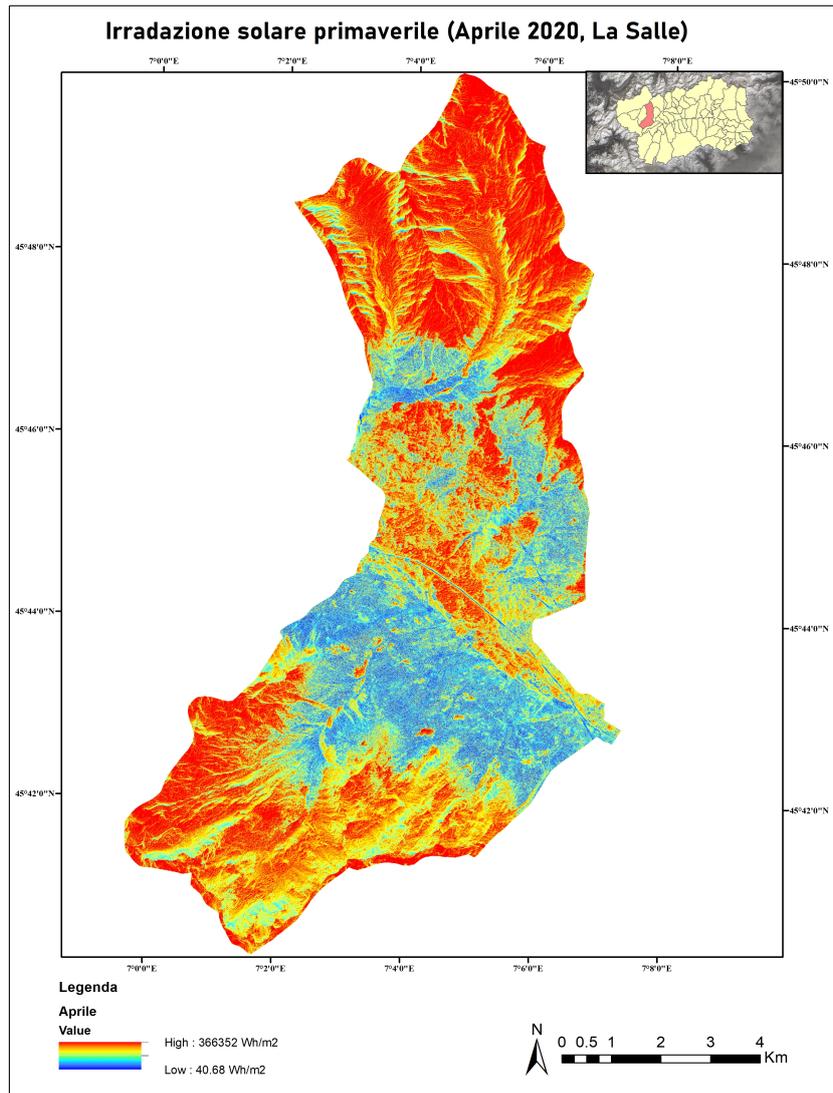


Figura 4.22: Irradiazione solare primaverile a La Salle. Elaborazione personale.

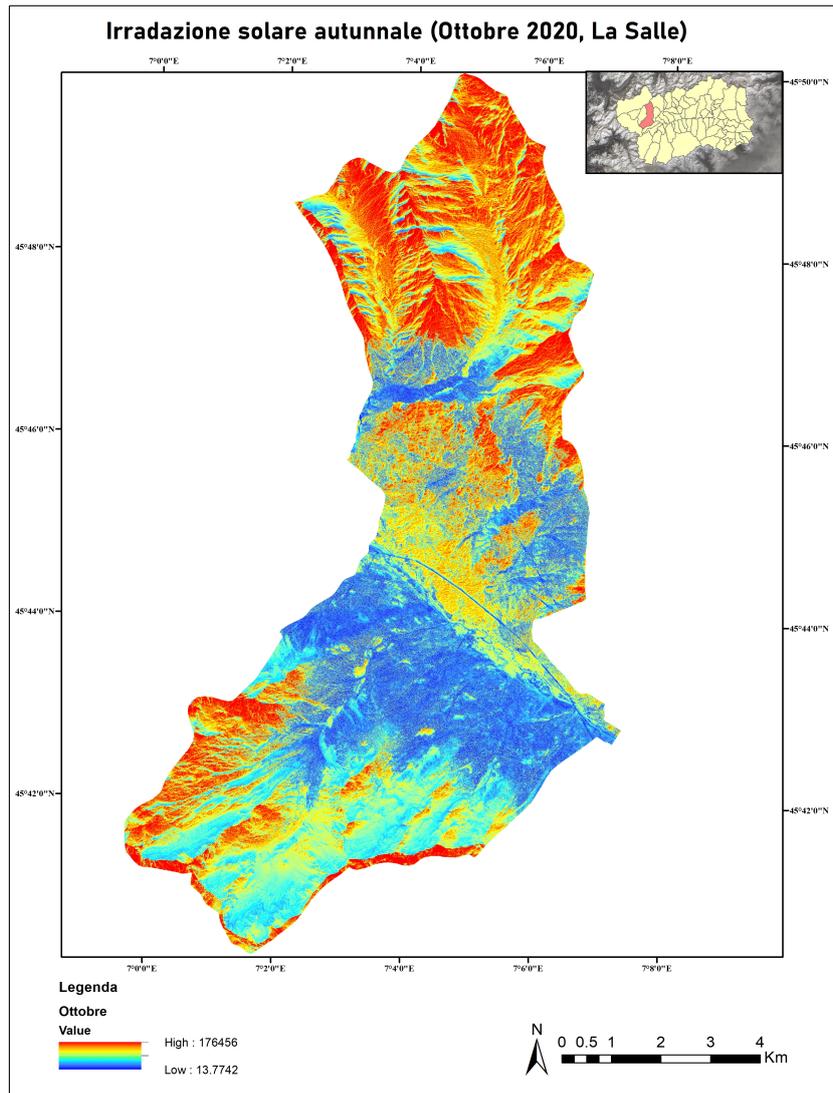


Figura 4.23: *Irradiazione solare autunnale a La Salle. Elaborazione personale.*

Nel capitolo successivo è presente un'analisi dell'energia producibile da biomassa e solare fotovoltaico.

4.2 Chamois

4.2.1 Caratteristiche territoriali, geomorfologiche e climatiche

Chamois (AO) è un comune situato in Valtournenche, un'area situata nella zona nord della Valle d'Aosta. Si trova ad un'altitudine di 1816 m.s.l.m., quota rappresentativa di un territorio montuoso che si estende lungo una superficie di 14.53 km^2 , come è possibile osservare in figura (4.24), la quale mostra il DSM di questa valle con un passo di 2 metri; la figura (4.26) evidenzia i valori puntuali di altitudine di ciascun comune, ovvero Avise, Morgex, Courmayeur, Saint-Rhémy-en-Bosses e la Thuile, mostrandone i limiti amministrativi. Infine la figura (4.25) mappa l'area in 3D. Al confine con la Svizzera sorge il Monte Cervino, che con i suoi 4478 m.s.l.m. rappresenta una delle montagne più alte delle Alpi e tra le più rinomate nel settore turistico. I raster regionali sono scaricabili dal catasto in [42]. L'idrografia è riassunta in figura (4.27); degni di nota sono il Lago di Lod e i torrenti Suisse e Chamois, situati nel territorio della municipalità in esame in questa sezione. Il Comune di Chamois amministra (stando a quanto riportato nel suo sito ufficiale in [43]) 7 frazioni ed una località: Caillà, Corgnolaz, Crepin, La Ville, Lago Lod, Liussel e Suis; Lavoré.

La singolare peculiarità di Chamois è quella di essere l'unico comune in Italia non raggiungibile in auto, ma soltanto a piedi, in bicicletta o tramite la funivia che parte dal comune di Buisson. Essendo quindi promotore di una mobilità leggera e priva di impatto sull'ambiente, è inserito nel consorzio 'Perla delle Alpi', composta da 23 comuni di varie nazionalità che offrono la possibilità di muoversi sfruttando solo mezzi ecologici nel territorio alpino (tabella (4.5)).

Italia	Austria	Svizzera	Slovenia	Germania
Chamois-La Magdaleine	Hinterstoder	Arosa	Bled	Bad Reichenhall
Cogne	Weißensee	Interlaken	Bohinj	-
Funes	Hinterstoder	Disentis/Mustér	-	-
Moso in Passiria	Mallnitz	Les Diablerets	-	-
Malles Venosta	Neukirchen am Großvenediger	-	-	-
Racines	Werfenweng	-	-	-
Moena	-	-	-	-
Ceresole Reale	-	-	-	-
Limone Piemonte	-	-	-	-
Forni di Sopra	-	-	-	-
Pragelato	-	-	-	-

Tabella 4.5: *Le Perle delle Alpi. Fonte: Elaborazione personale*

La figura (4.27) inoltre considera la classificazione climatica della Valtournenche: tutta l'area è in fascia climatica F, ossia con un valore di gradi giorno superiore a 3000; Chamois ha un valore di 4955 GG. Per questo tipo di municipalità, non vi sono limiti nel periodo e nell'orario di accensione degli impianti di riscaldamento, pertanto si considera l'intero anno solare di 365 giorni. I gradi giorno (definiti nella sezione precedente in tabella (4.2)) sono definiti come la somma, in tutti i giorni dell'anno, della differenza in valore assoluto tra la temperatura dell'ambiente interno (fissata convenzionalmente a 20°C) e la temperatura media esterna giornaliera: per il calcolo si veda l'equazione (4.1)).

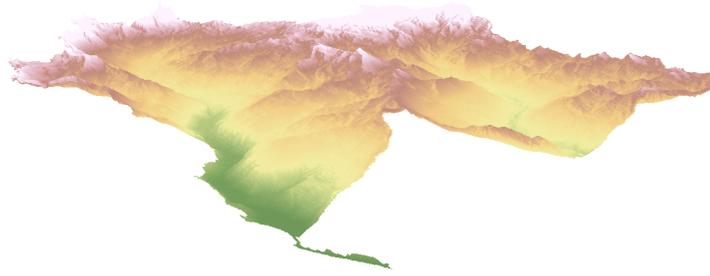


Figura 4.25: *Mappa 3D della Valtournenche. Elaborazione propria con ArcScene.*

Il territorio ha una sismicità molto bassa, in zona 4. La classificazione varia da un valore di 1, indice di elevata sismicità, ad un valore di 4 che rappresenta il rischio minimo.

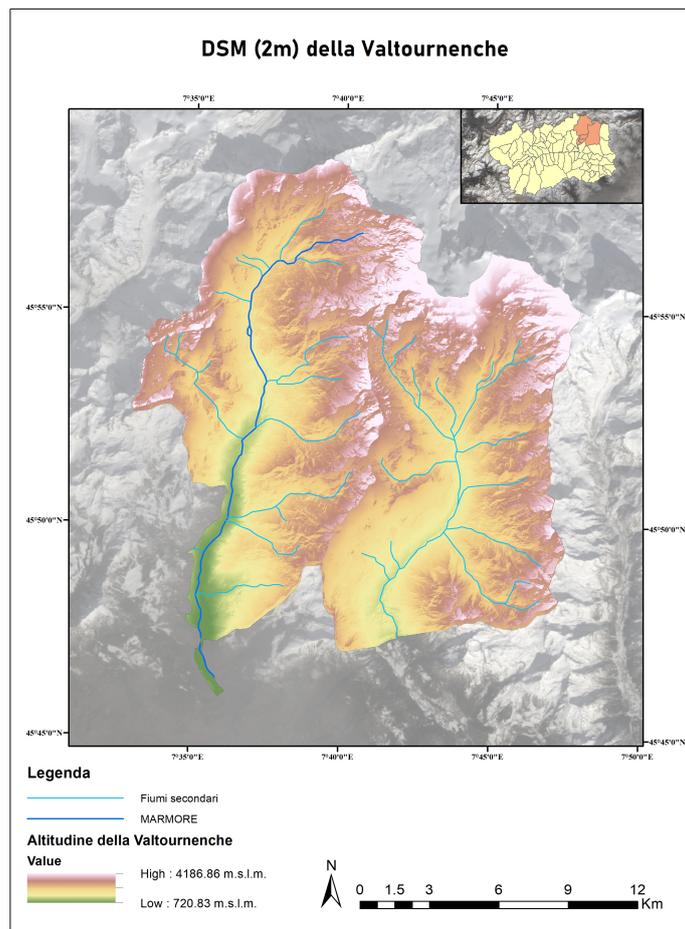


Figura 4.24: *Orografia ed idrografia della Valtournenche. Elaborazione propria con ArcMap*

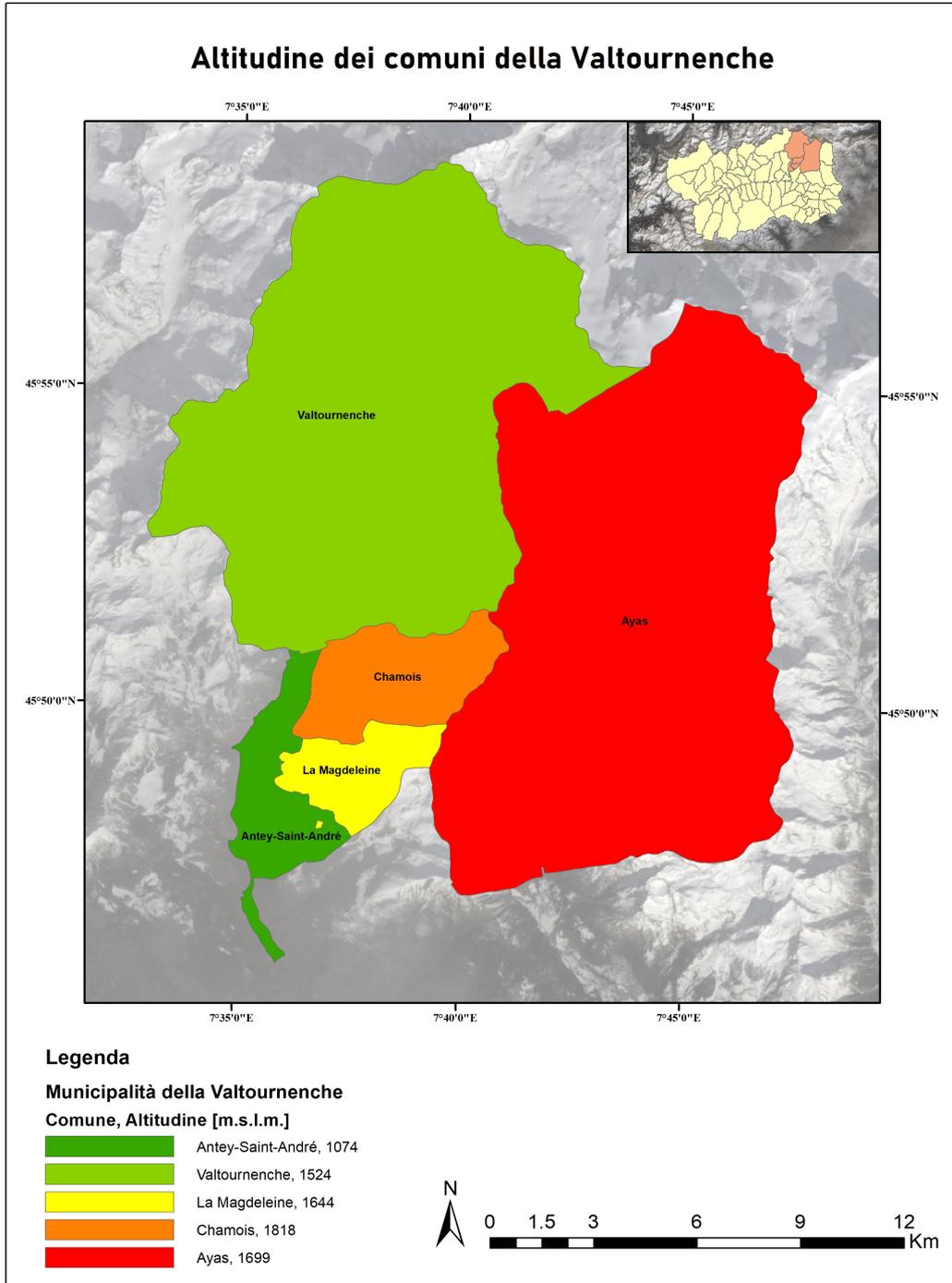


Figura 4.26: *Altitudini dei comuni della Valtournenche. Elaborazione propria con ArcMap*

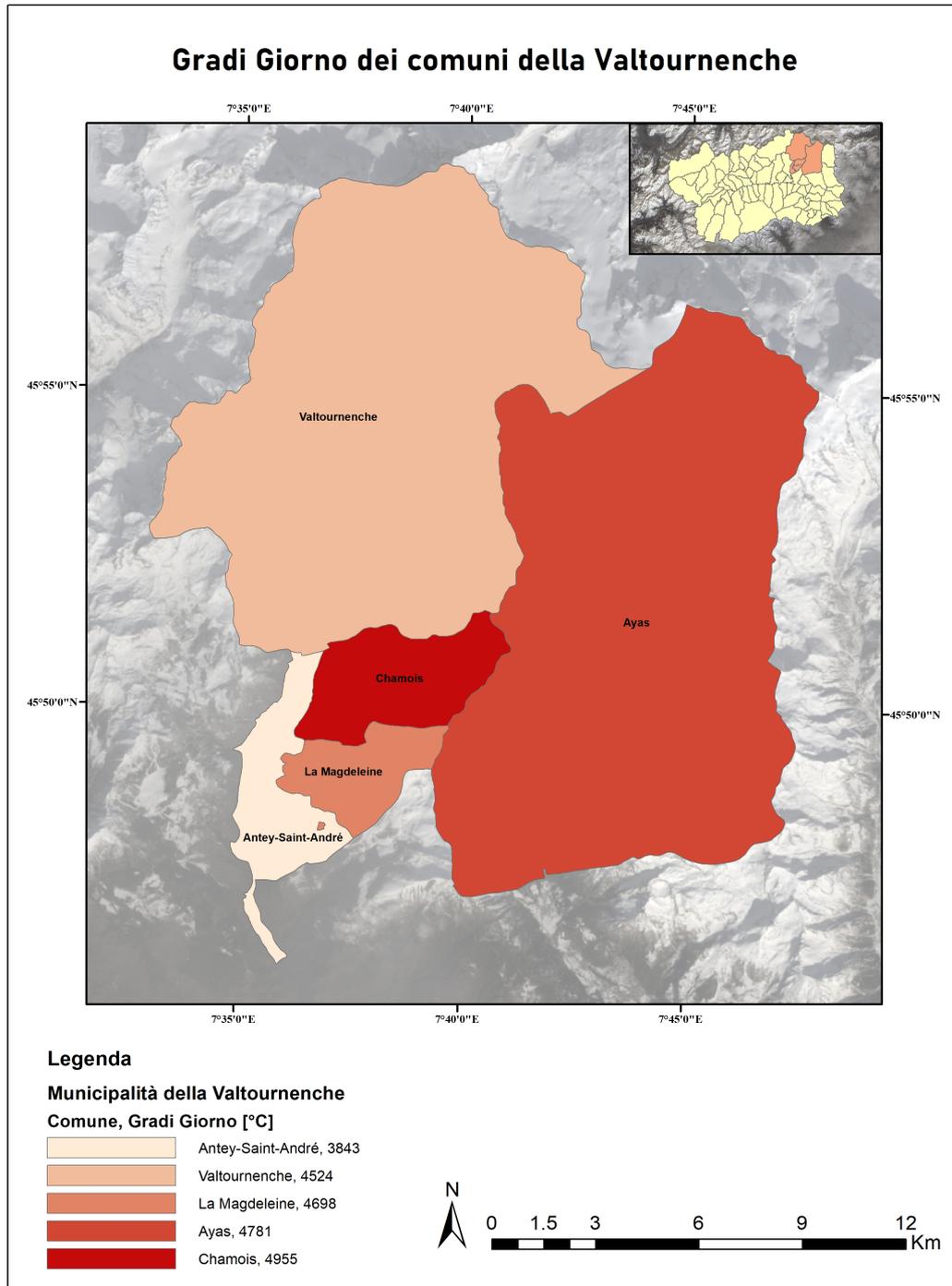


Figura 4.27: *Limiti amministrativi di Chamois con i rispettivi Gradi Giorno. Elaborazione propria con ArcMap*

4.2.2 Caratteristiche demografiche e socio-economiche

Al 1° Gennaio 2020 la popolazione residente a Chamois ammonta a 107 persone (da [43]). Come si nota in figura (4.28), il comune ha mantenuto un numero di abitanti abbastanza costante negli anni anzi, a partire dal 2009 si è verificato un lieve aumento dei residenti. Il grafico (4.29) suddivide la popolazione cittadina in diverse fasce di età: come per La Salle, nel comune vi abitano principalmente adulti mentre i giovani tra i 15 e i 24 anni tendono probabilmente ad uscire e studiare fuori. Tuttavia, è doveroso evidenziare il picco di persone tra i 30-39 anni, indice della presenza di uno stabile comparto lavorativo.

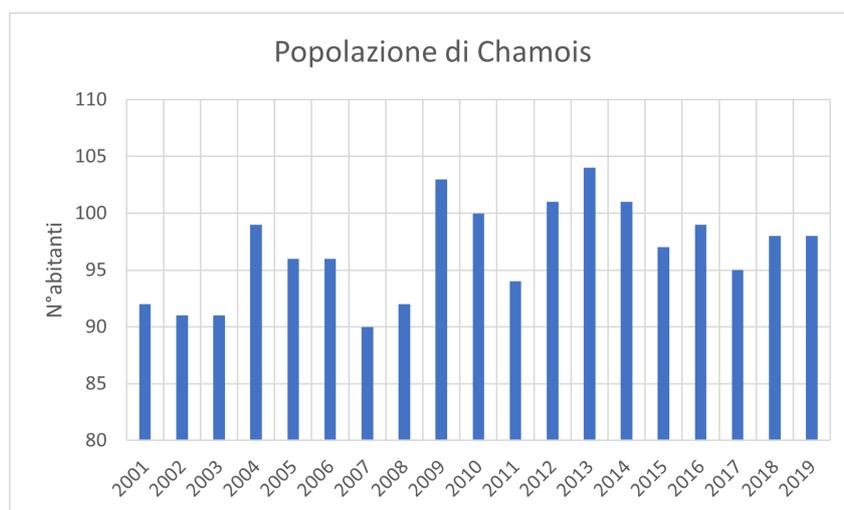


Figura 4.28: *Andamento della popolazione residente a Chamois al 31 dicembre di ogni anno. Fonte: ISTAT.*

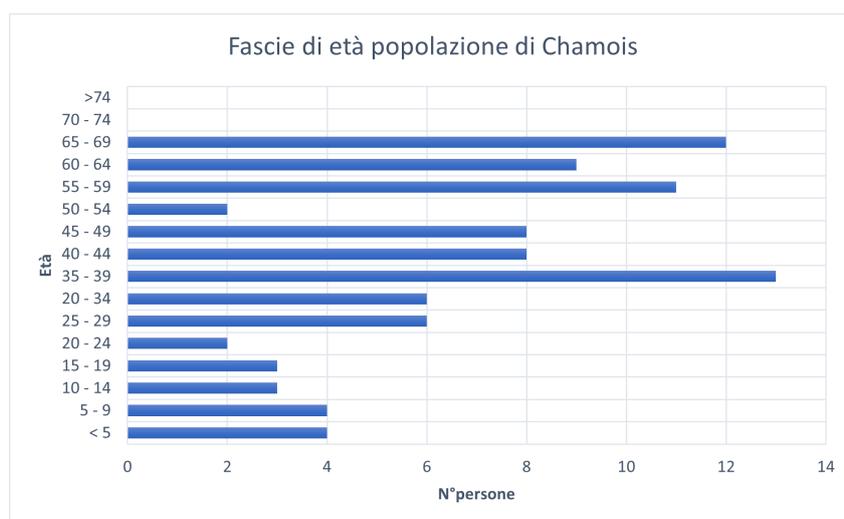


Figura 4.29: *Popolazione di Chamois per fasce di età. Fonte: ISTAT.*

In tabella (4.6) sono riportate informazioni aggiuntive sul comune:

Dato	Corrispondenza
N° abitanti	107
Densità abitativa	23.74 ab/ km^2
N° famiglie	70
Nome abitanti	Chamoisins
Patrono	San Pantaleone
Giorno festivo	27 luglio
Distanza dal capoluogo Aosta (AO)	44 km

Tabella 4.6: *Dati demografici di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Il settore turistico è molto ben sviluppato e incide parecchio sull'economia del territorio; le attrazioni principali sono i laghi di Lod e di Champlong, oltre il paesaggio montano circostante. L'assenza di strade asfaltate, quindi di auto e del traffico, permette di vivere la montagna in modo sano e a stretto contatto con la natura. Vari sono anche gli svaghi per i visitatori e per le famiglie con bambini a seguito: parchi giochi, piste da sci, campi gioco, scuole di parapendio e di alpinismo permettono di vivere Chamois 365 giorni l'anno. La Parrocchia di San Pantaleone, locata nella piazzetta principale, rappresenta un significativo luogo di incontro per i residenti.

Tra i prodotti tipici, si segnala la birra di Chamois, prodotta localmente.

4.2.3 Caratteristiche del patrimonio edilizio e dell'ambiente costruito

L'analisi è stata svolta mediante l'ausilio dei dati del database ISTAT 2011 in [30], in quanto la creazione del successivo censimento aggiornato al 2021 ha subito dei rallentamenti a causa dell'attuale pandemia di COVID-19. La figura (4.30) evidenzia come la maggior parte delle strutture si trovi nei pressi delle vie di comunicazione principali, quali le strade e la ferrovia, posizionati ad un'altitudine più bassa.

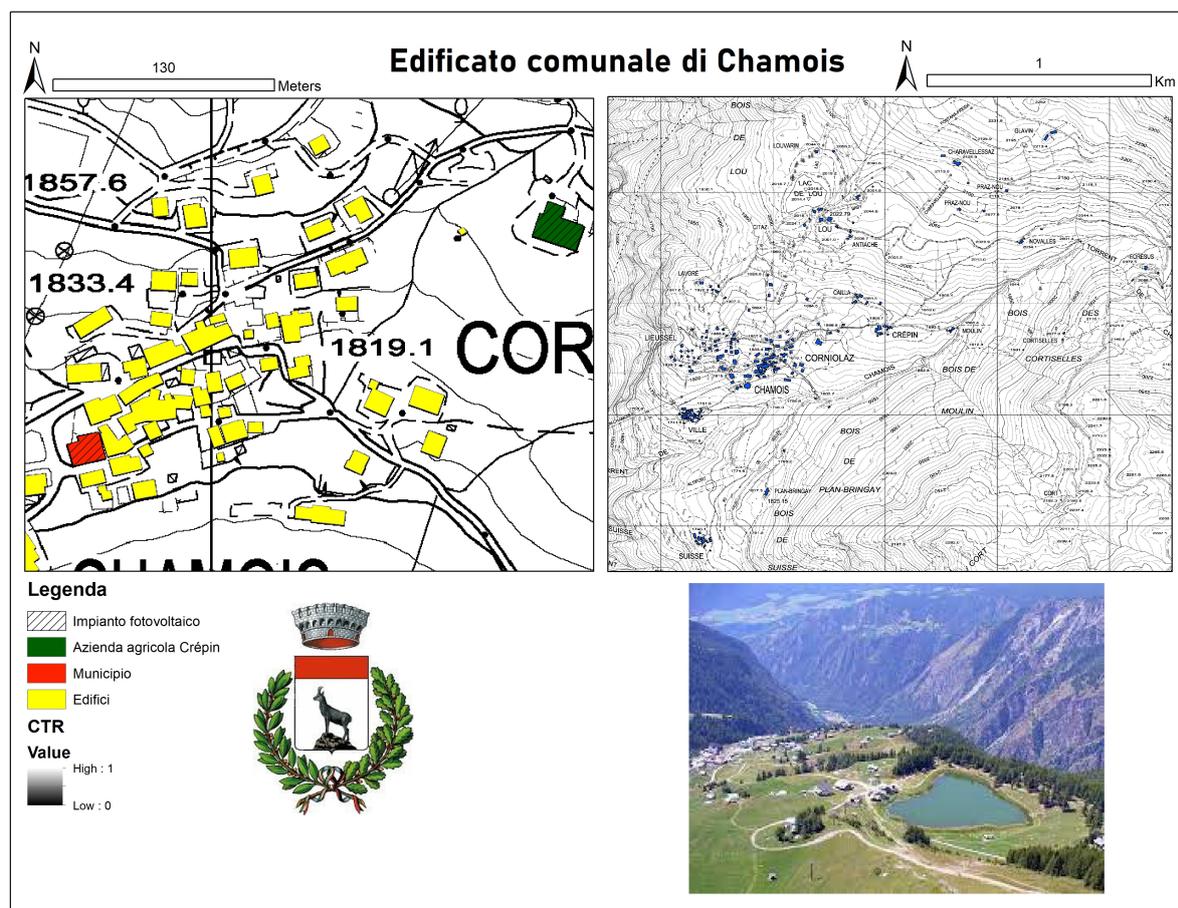


Figura 4.30: Caratteristiche dell'ambiente costruito e della viabilità pedonale a La Salle. Elaborazione propria con ArcGIS

In totale l'edificato conta 3600 strutture, di cui 3224 sono effettivamente utilizzate, come riportato nella tabella (4.7).

Dato	Corrispondenza
Popolazione residente	107 abitanti
Edifici totali	231
Edifici abitati	172
Edifici ad uso residenziale	153
Famiglie residenti	57
Edifici ad uso commerciale/terziario	19

Tabella 4.7: Dati dell'edificato di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

Ben il 44% degli edifici residenziali sono stati costruiti recentemente dopo gli anni 2000 (figura (4.31)), mentre i più datati sono sorti tra gli anni 20 e gli anni 60'. Diverso è il discorso riguardante l'efficienza energetica edilizia, che necessiterebbe di una revisione, in quanto molte strutture non sono caratterizzate da una propria APE malgrado quelle redatte indicano una discreta efficienza energetica per alcune di esse: in figura (4.32) sono raffigurati gli Attestati di Prestazione Energetica (APE) relativi al territorio di Chamois.

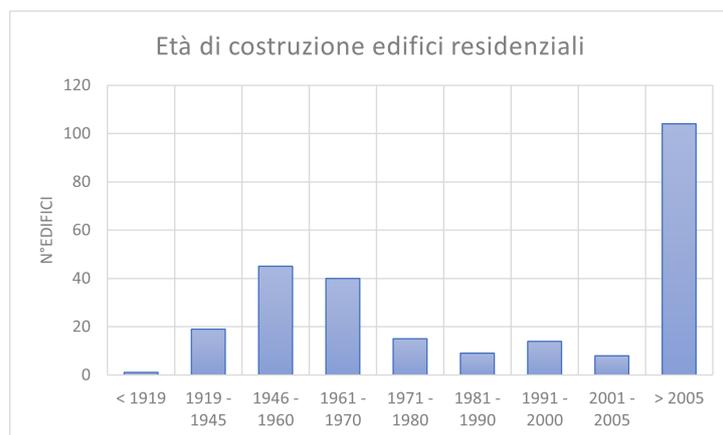


Figura 4.31: *Età di costruzione degli edifici a Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

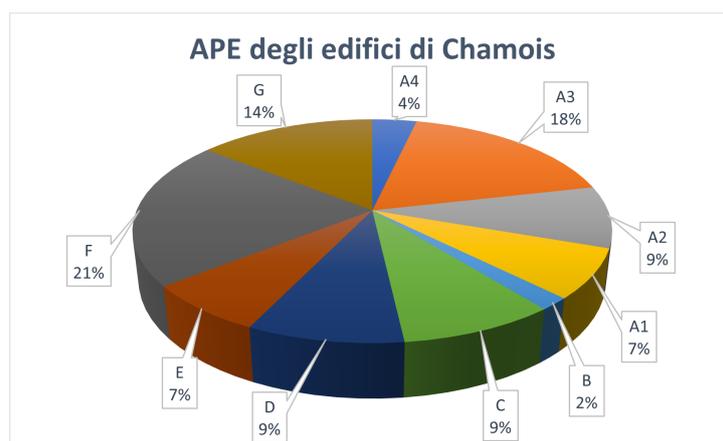


Figura 4.32: *APE degli edifici a Chamois. Fonte: Portale Beauclimat della Regione Valle d'Aosta*

Ottimo è lo stato di conservazione degli edifici, come si nota in figura (4.33).

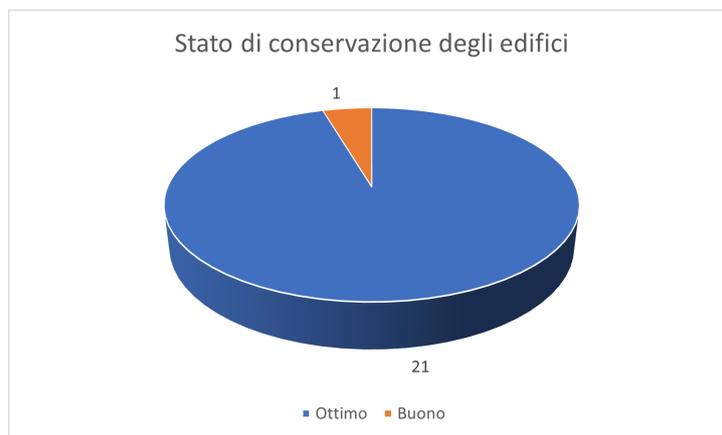


Figura 4.33: *Stato di conservazione dell'edificato di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

4.2.4 Risorse energetiche

In questa sezione sono esaminate le fonti energetiche rinnovabili (si rimanda alla sezione 1.5) disponibili nel territorio di Chamois e che verranno prese successivamente in considerazione per l'analisi della producibilità di energia elettrica.

In prima luogo è conveniente citare le FER non sfruttabili:

- Energia geotermica: non sono presenti sorgenti d'interesse, in base alla valutazione del National Research Council of Italy in [36].
- Energia marina: per ovvi motivi, non disponibile.
- Energia eolica: non tenuta in considerazione a causa del territorio non idoneo per l'uso della tecnologia ad essa associata.
- Energia da biomasse: Chamois si trova ad una altitudine di 1818 m.s.l.m., pertanto non è possibile prelevare alcuna biomassa forestale poiché il vincolo di legge in Italia prevede un'altitudine massima di 1800 m.s.l.m.

Sul territorio è presente un solo impianto idroelettrico, tuttavia a causa della mancanza di informazioni più approfondite relative ad esso (sono note solo posizione e potenza nominale) non è stato possibile proporre una valutazione approfondita della potenza prodotta a scale temporali minore di quella annuale.

L'*energia solare* è stata analizzata con ArcGIS, il quale dispone di un tool chiamato 'Area Solar Radiation' che permette di ricavare i valori di irraggiamento solare su una determinata area noto il raster DSM. Tali valori sono stati calcolati per ogni mese dell'anno 2020. In primo luogo occorre impostare i parametri mensili di trasmissività e coefficiente di diffusione, quest'ultimo ricavabile dal portale PVGIS impostando la località di interesse [17]. Quindi, la trasmissività è calcolata usando la formula seguente:

$$T = \left(\frac{G_{b,h}}{1367} \right)^{\frac{1}{FDL}} \quad (4.3)$$

Dove:

- T è la trasmissività, adimensionale;
- $G_{b,h}$ è la componente diretta di irradiazione solare, in W/m^2 ;
- $1367 W/m^2$ è la costante di irradiazione solare;
- FDL è il Fattore di Turbidità atmosferica di Linke, ottenuto mediante il software Me-teonorm. Una volta ottenuti questi dati di input, sono ricavate le mappe di irradiazione solare, mostrate nelle figure (4.34), (4.35), (4.36) e (4.37). Si è fatta l'ipotesi che i mesi di gennaio, aprile, luglio ed ottobre facciano da riferimento per le quattro stagioni.

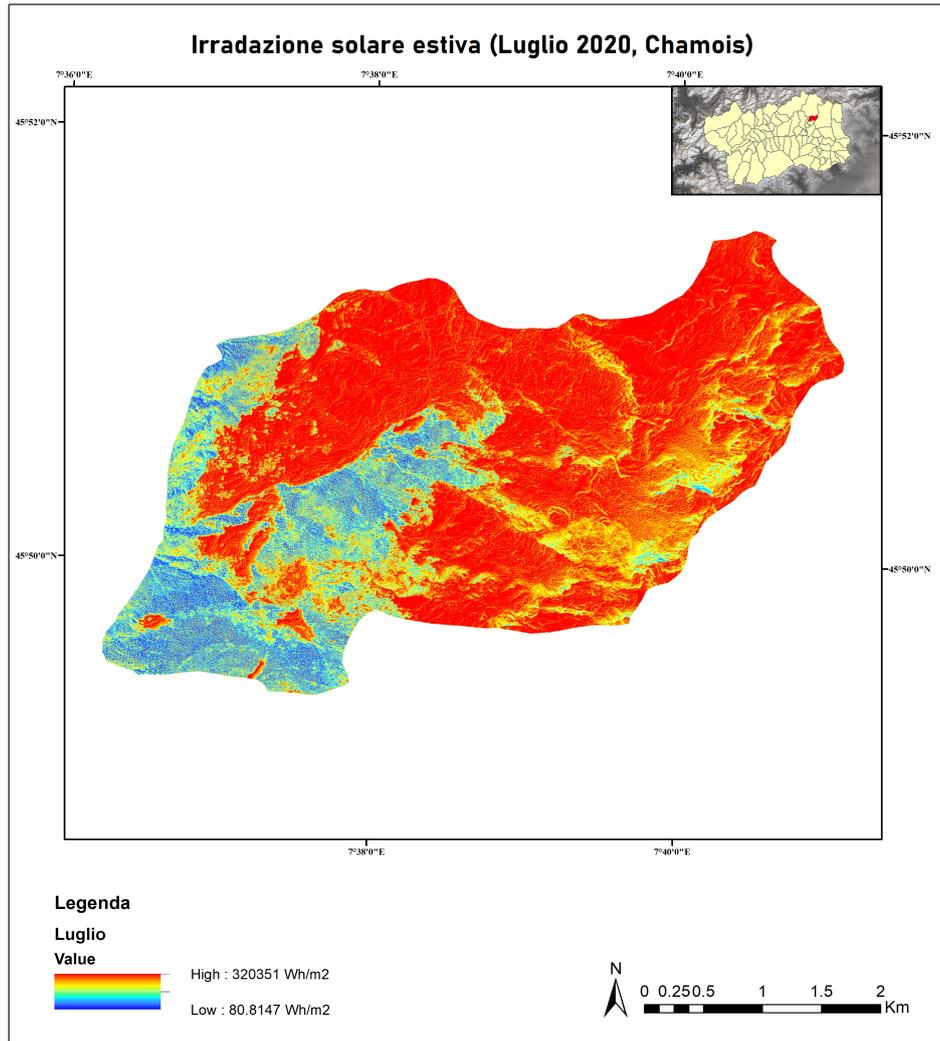


Figura 4.34: *Irradiazione solare estiva a Chamois. Elaborazione personale.*

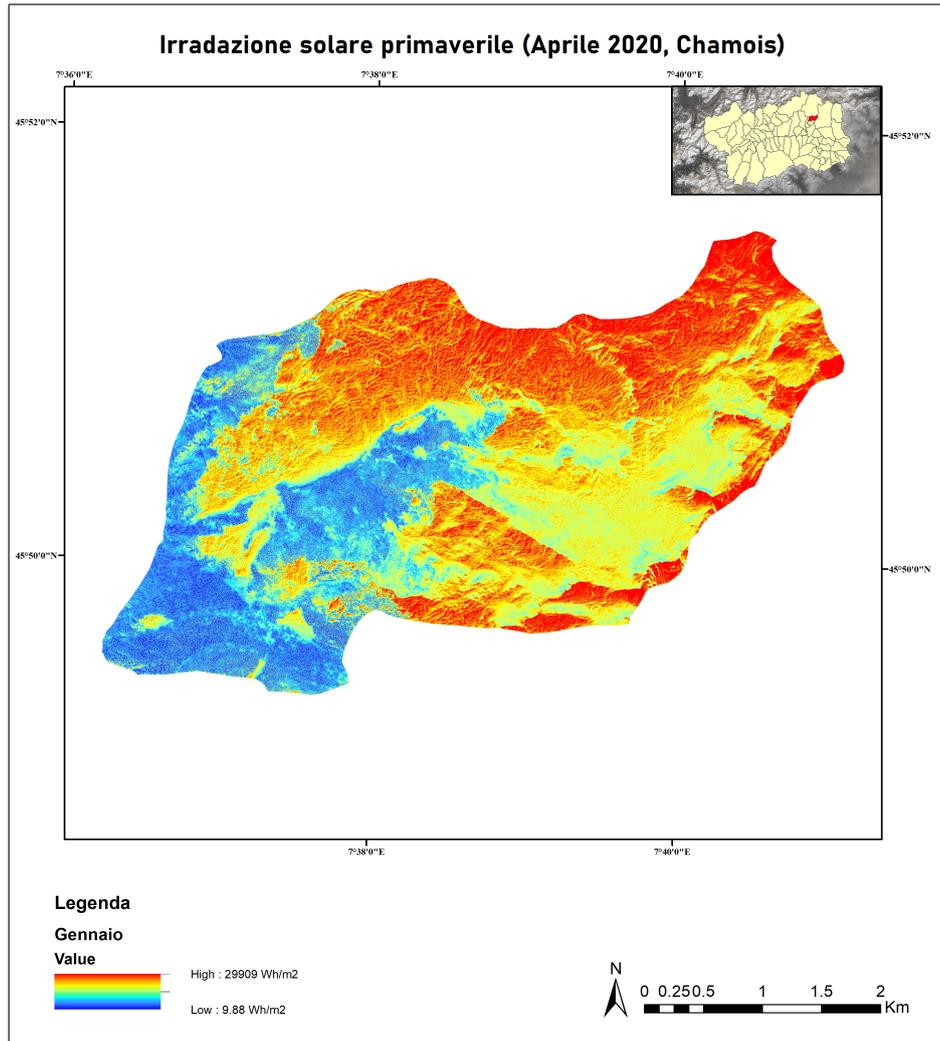


Figura 4.35: *Irradiazione solare invernale a Chamois. Elaborazione personale.*

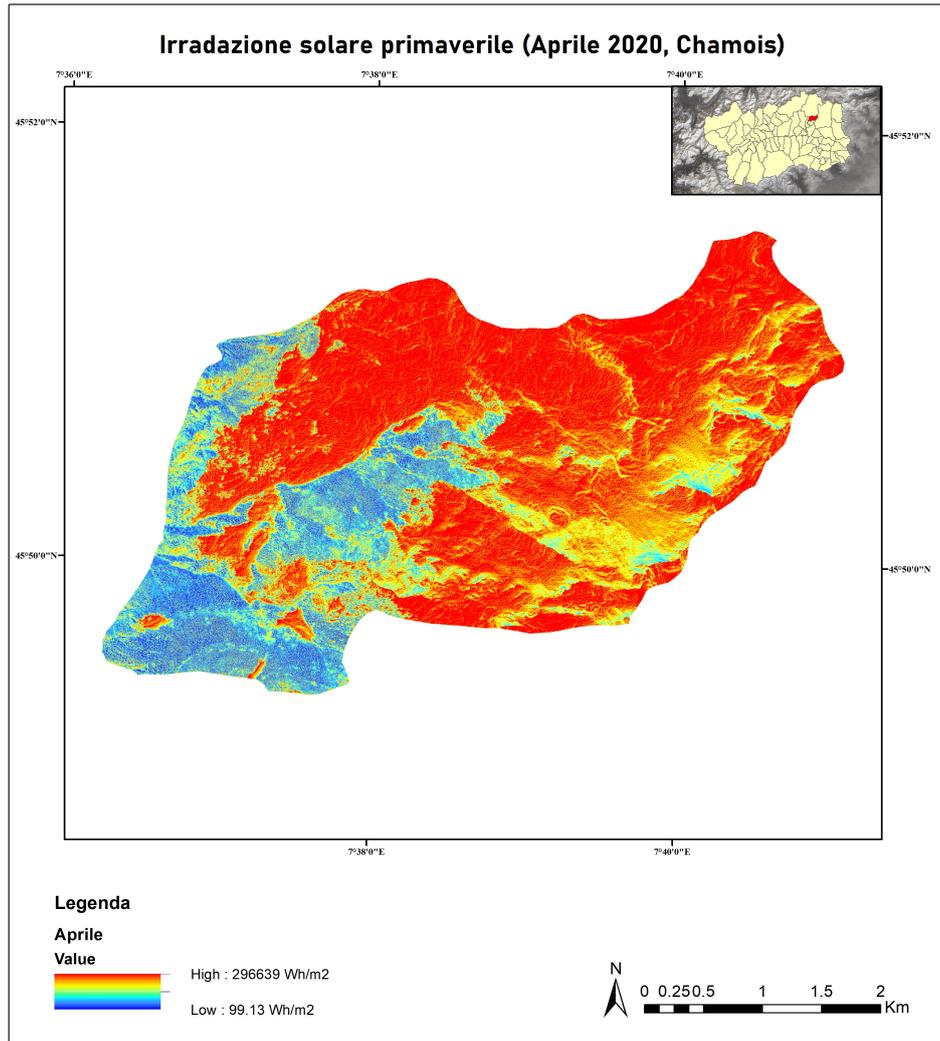


Figura 4.36: *Irradiazione solare primaverile a Chamois. Elaborazione personale.*

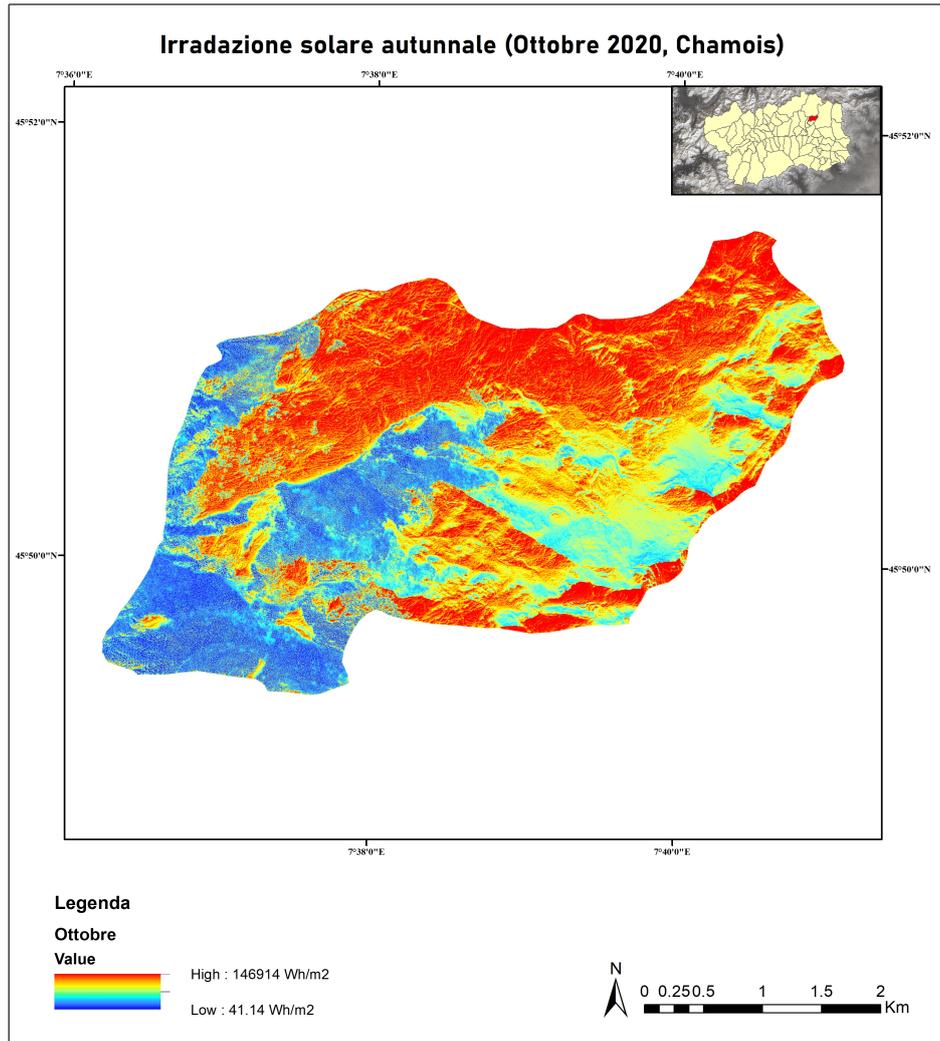


Figura 4.37: Irradiazione solare autunnale a Chamois. Elaborazione personale.

Capitolo 5

Analisi energetica

5.1 La Salle

Come anticipato nell'introduzione, il Comune di La Salle (abbreviato talvolta in LS) ha messo a disposizione alcuni dati relativi ai propri edifici comunali, permettendo così di valutare la loro idoneità per l'installazione di un impianto ad energia rinnovabile. In particolare, verrà ipotizzata l'installazione di impianti fotovoltaici sui tetti di determinate utenze comunali. I dati forniti sono le bollette mensili che descrivono i consumi elettrici di queste ultime utenze e dell'illuminazione nell'anno 2019; inoltre si possiedono i dati dei consumi termici annuali di alcuni stabili comunali dovute all'uso di bombole del gas. Ogni bolletta è strutturata in modo da definire, per ogni utenza ed impianto di illuminazione, le seguenti informazioni:

- Tipo di dato: reale o presunto;
- Ragione sociale: il proprietario dell'edificio;
- Famiglia, ovvero la tipologia di utenza: si distinguono l'illuminazione pubblica e il terziario;
- Indirizzo di fornitura;
- Comune e provincia di riferimento;
- POD: il punto di fornitura, composto da un codice alfanumerico con formato 'IT xxx yyyyyyy', dove IT è il codice della nazione Italia, le successive 3 cifre accertano il distributore locale dell'energia elettrica mentre i restanti 8 numeri identificano il punto di prelievo;
- Fascia oraria, ovvero:
 - F1: lunedì - venerdì dalle 08:00 alle 19:00;
 - F2: lunedì - venerdì dalle 07:00 alle 08:00;
 - F3: lunedì - sabato dalle 23:00 alle 07:00, più la domenica e i giorni festivi 24/24 ore.

- Edificio associato al POD;
- Totale kWh consumati;
- Imponibile, in €;
- IVA sull'importo complessivo, in €;
- Fatturazione totale, in €;
- Mese di riferimento.

In virtù della privacy legata alla pubblicazione di questi dati, si preferisce non inserire un'immagine esemplificativa di una bolletta.

Gli immobili comunali sono elencati in tabella (5.1). per essi sono noti i consumi elettrici e, solo per alcuni, i consumi termici. Il quadratino nero indica la presenza del dato.

Edificio	Indirizzo	Consumi elettrici	Consumi termici
Municipio	Via Col Serena 9	■	■
Scuole del capoluogo	Via Colomba 20	■	■
Maison Plassier	Via Innocenzo V 14	■	■
Maison Grassy	Vicolo della Fiera	■	■
Museo Cheverel	Frazione Cheverel	■	□
Scuole della Frazione Derby	Frazione derby 295	■	□
Vigili del fuoco	Via Col Serena 7	■	□
Garage Cantonieri	Via Col Serena 4	■	□
Parcheggio multipiano	Località Capoluogo	■	□
Parcheggio multipiano	Località Capoluogo	■	□
Casermette di Derby	Frazione Derby 3	■	■

Tabella 5.1: *Edifici del Comune di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Purtroppo non è stato possibile ottenere alcune informazioni reali di utenze aziendali o residenziali. Solo per queste ultime, come si vedrà nel paragrafo seguente, si è fatta una stima dei consumi di un'utenza residenziale tipo.

5.1.1 Profili di consumo

I profili di consumo per la municipalità di La Salle sono stati elaborati esclusivamente per gli edifici comunali e per l'illuminazione pubblica. Come detto precedentemente, gli unici dati reali forniti dal Comune sono:

- Bollette delle utenze elettriche nel triennio 2017-2018-2019;
- Consumi termici annuali per alcune strutture;
- Consumi dell'illuminazione pubblica nel medesimo triennio.

Quantitativamente sono stati considerati le informazioni note più recenti, ossia del 2019. Gli edifici comunali sono elencati in tabella (5.1). Il consumo annuale è mostrato in figura (5.1).

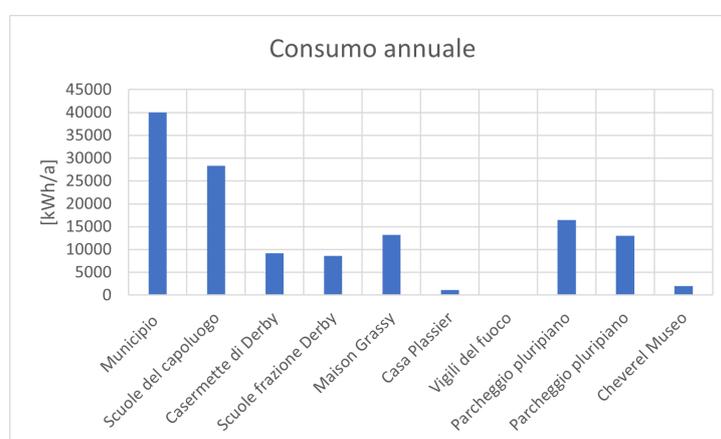


Figura 5.1: *Consumo annuale degli immobili comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

I consumi mensili invece, figura (5.2).

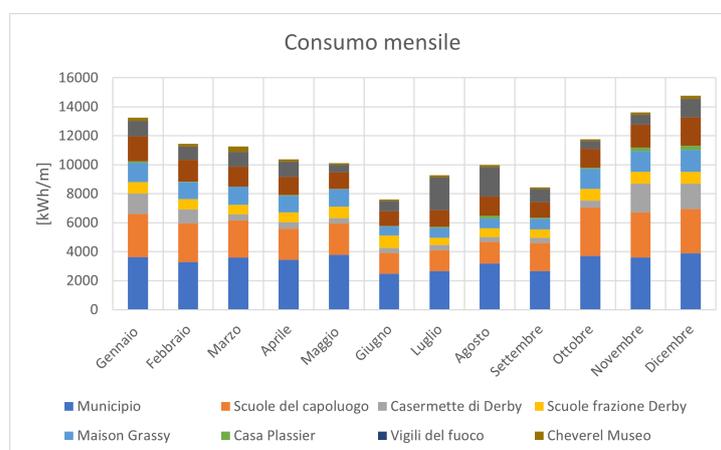


Figura 5.2: *Consumo mensile degli immobili comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Infine, i consumi mensili giornalieri (figura (5.3)).

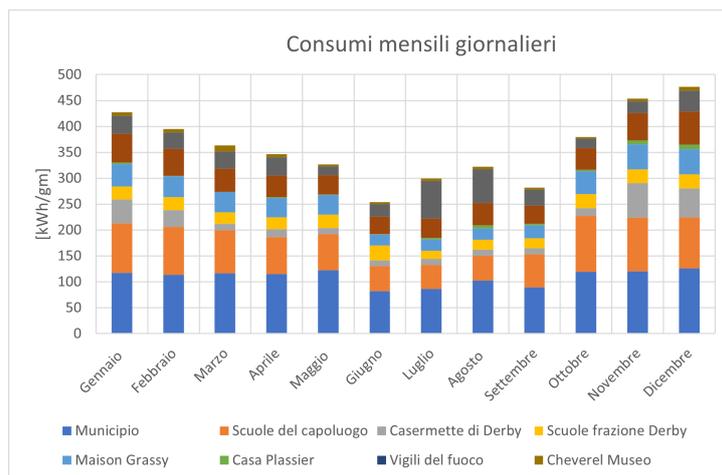


Figura 5.3: Consumo mensile degli immobili comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

1. Creare una tabella con ogni mese, giorno e ora del 2019, sulla base di quella in (5.17)

Anno	Mese	Giorno	Tipo di giorno	Data	Ore [n°colonne 1-24]
2019	Gennaio	Lunedì	Feriale	01/01/2019	[1-24]
2019	Luglio	Domenica	Festivo	01/07/2019	[1-24]

Tabella 5.2: Set-up tabella dei consumi. Fonte: Elaborazione personale

2. A seconda che il giorno sia feriale o festivo, impostare i coefficienti di apporto termico all'interno delle strutture per ogni ora del giorno, elencati in figura (5.4).

Profili temporali degli apporti termici dagli occupanti e dalle apparecchiature (edifici adibiti ad uffici)

Giorni	Ore	Ambienti ufficio (60% della superficie utile di pavimento) $(\phi_{rt,Oc} + \phi_{rt,A}) / A_f$ [W/m ²]	Altre stanze, atri, corridoi (40% della superficie utile di pavimento) $(\phi_{rt,Oc} + \phi_{rt,A}) / A_f$ [W/m ²]
Lunedì - Venerdì	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	20,0	8,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	1,0
	Media	9,50	3,92
Sabato - Domenica	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	2,0	1,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	1,0
	Media	2,0	1,0
Media		7,4	3,1

$(\phi_{rt,Oc} + \phi_{rt,A})$ è il flusso termico dalle persone e dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Figura 5.4: Coefficienti di apporto termico. Fonte: Elaborazione personale

3. Calcolare la somma di tutti i coefficienti per ogni mese.
4. Per ciascun mese, dividere la somma per il valore corrispondente al giorno e all'ora ennesima, ottenendo così i profili percentuali.
5. Calcolare la somma di tutti i profili percentuali per ogni mese.
6. I consumi effettivi sono dati dalla moltiplicazione del totale % mensile per il il valore % corrispondente al giorno e all'ora ennesima.

I consumi termici degli edifici comunali sono riportati in figura (5.5). Non è risultato possibile ottenere informazioni oltre il dato annuale.

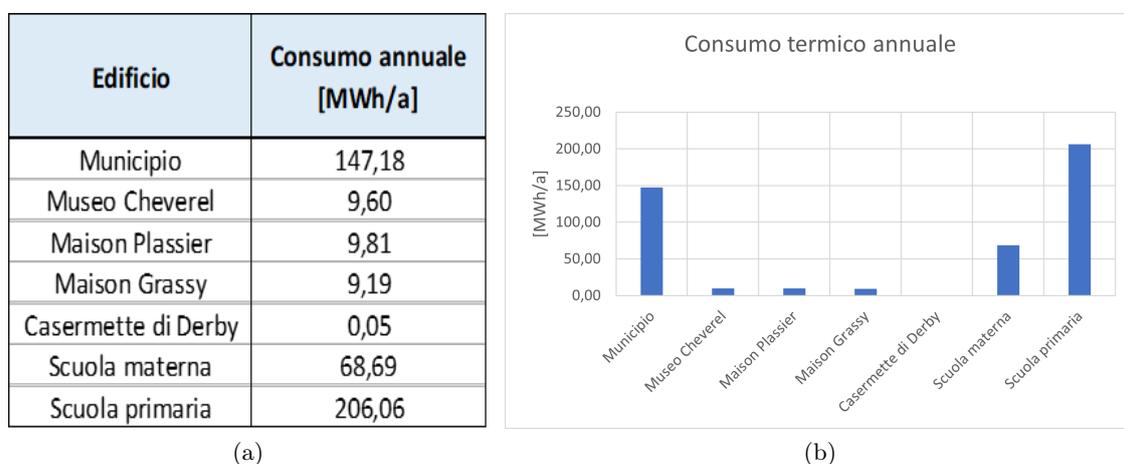


Figura 5.5: Consumi termici degli edifici comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

La modellazione dei profili orari per un'utenza residenziale è stata operata partendo da un profilo residenziale tipo del Comune di Villar Pellice (Piemonte, TO), in quanto non è stato possibile reperire gli stessi dati a La Salle. Malgrado si trovi in una regione differente, Villar Pellice ha alcune similitudini di natura geografica, climatica e altitudine simili con La Salle; per tale motivo si è potuta assumere questa ipotesi. Del comune piemontese, sono note le seguenti informazioni : area geografica, altitudine, zona climatica, numero di famiglie per abitazione, numero di componenti per famiglia, superficie dell'abitazione; vedasi la tabella (5.18).

Dato	Corrispondenza
Comune	Villar Pellice (TO)
Altitudine	518 m.s.l.m.
Zona climatica	E
Gradi Giorno	3734
Superficie abitazione	93.78 m^2
Numero di famiglie per abitazione	1
Componenti per famiglia	2

Tabella 5.3: Utente domestico residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale

Il dato di consumo annuo per un'utenza residenziale di La Salle è stata quindi assunta pari a quella di una di Villar Pellice. Essa è stata scaricata dal portale SIATEL dell'Agenzia delle Entrate.

$$C_{anno}^{DOM} = 2022 \text{ kWh/a}$$

La ripartizione mensile del dato annuo si basa sui dati raccolti dai 3608 APE dell'anno 2019, in tabella (5.19).

Mese	Valore percentuale	Consumo mensile [$\frac{kWh}{m}$]
Gennaio	9.48%	191.7
Febbraio	8.66%	175.1
Marzo	9.06%	183.2
Aprile	7.91%	159.1
Maggio	7.87%	159.1
Giugno	7.43%	150.2
Luglio	7.86%	158.9
Agosto	7.53%	152.3
Settembre	7.36%	148.8
Ottobre	8.26%	167.0
Novembre	8.84%	178.7
Dicembre	9.74%	196.9

Tabella 5.4: Consumo mensile utente residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale

Il calcolo dei consumi residenziali orari è stato svolto con la stessa metodologia adottata per gli edifici comunali, partendo dai dati di consumo dell'anno 2019 forniti da ACEA Industriale S.p.A., che includono un campione di 378 POD. Di seguito in figura (5.40) sono riportati i profili orari feriali e festivi per tutte le stagioni.

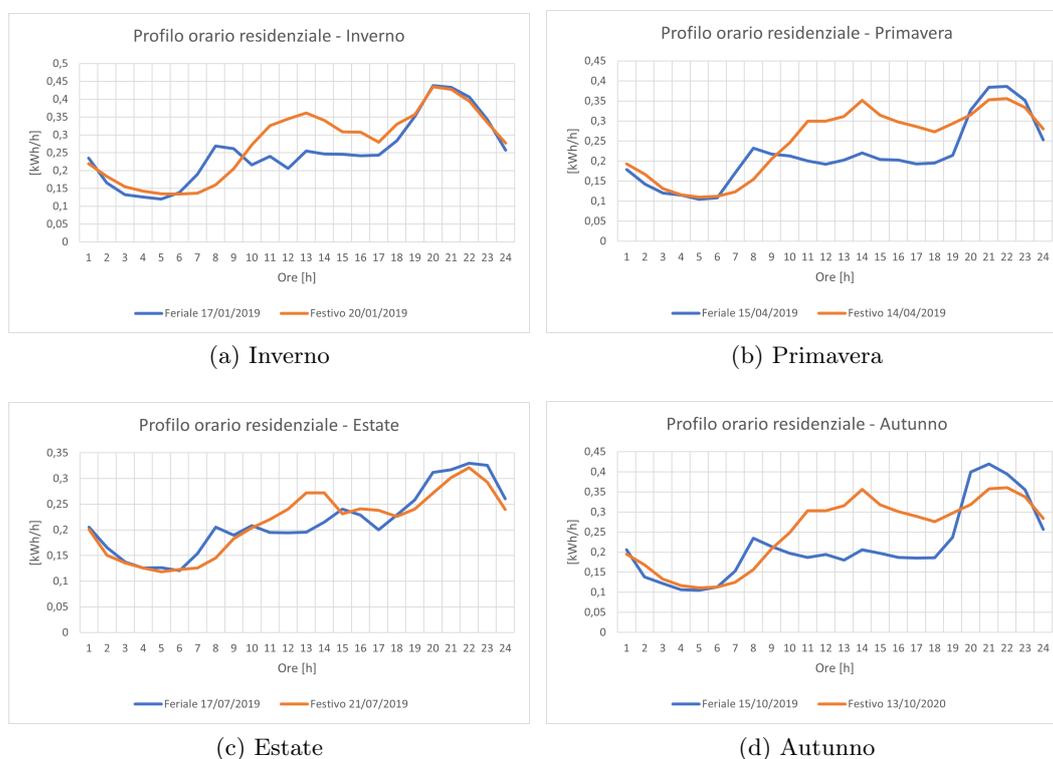


Figura 5.6: Consumi residenziali di un'utente domestica tipo. Fonte: Elaborazione personale

La figura (5.41) confronta tra loro le curve feriali e festive.

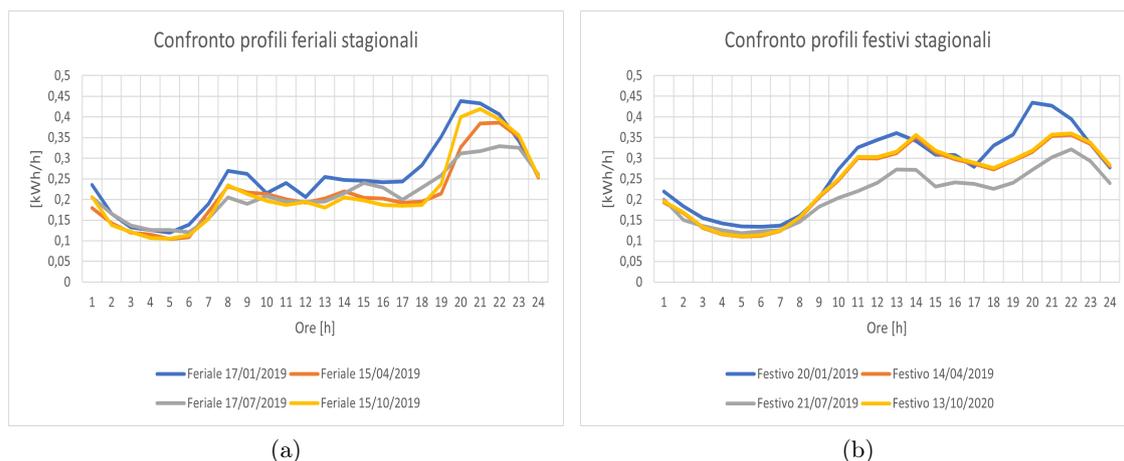


Figura 5.7: Confronto profili di consumo residenziale nei giorni feriali e festivi. Fonte: Elaborazione personale

Il sistema di illuminazione pubblica di La Salle (abbreviato in IP) include 44 impianti, per cui sono noti i consumi elettrici mensili in bolletta di ciascuno di essi dell'anno 2019. Non viene fatta alcuna distinzione tra giorno feriale e festivo. Il consumo annuo è pari a:

$$C_{anno}^{ILL} = 8469.39 \text{ kWh/a}$$

I consumi mensili sono riportati in figura (5.8).

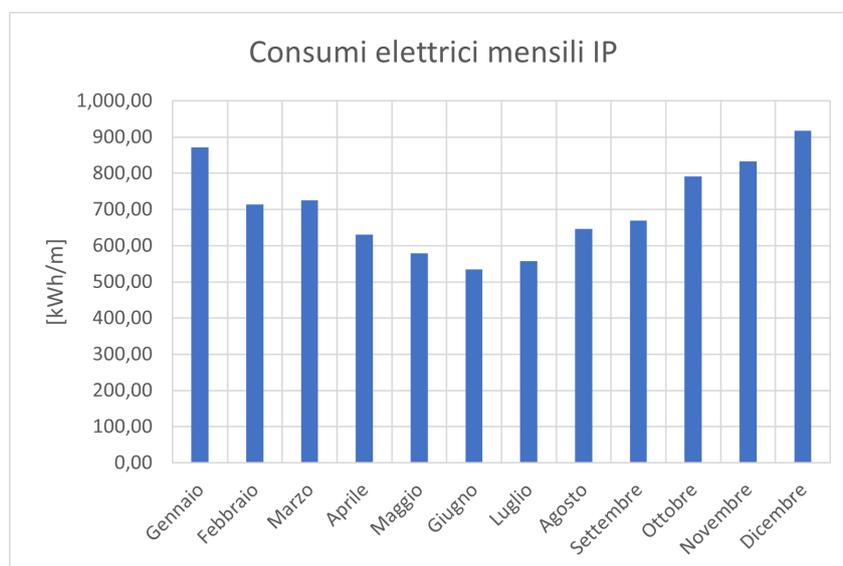


Figura 5.8: Consumo elettrico mensile di illuminazione pubblica a La Salle. Fonte: Elaborazione personale

Dividendo le curve mensili per il numero dei giorni di ogni mese si ottiene il profilo di consumo giornaliero; in figura (5.9).

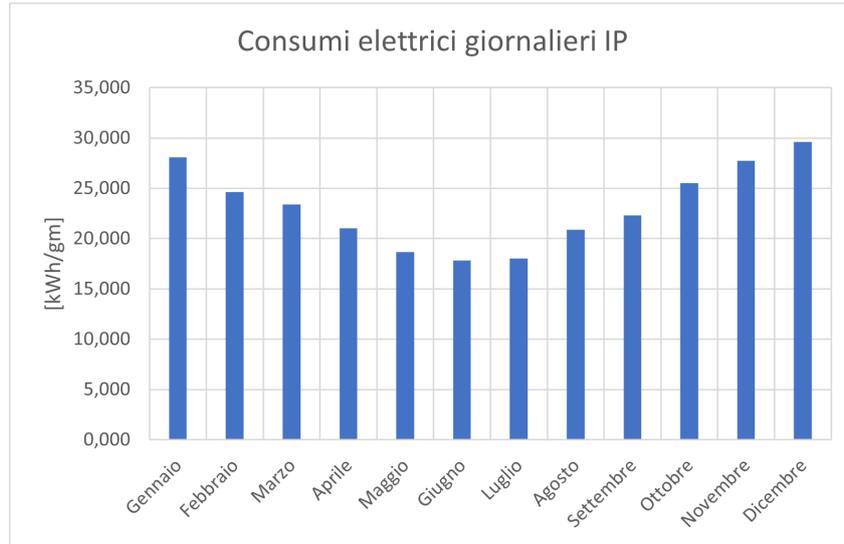


Figura 5.9: Consumo elettrico giornaliero di illuminazione pubblica di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

Il profilo orario è stato trovato impostando le ore di utilizzo degli impianti nelle 4 stagioni, mediante la seguente equazione.

$$C_{orario}^{ILL} = \frac{C_{giornaliero}^{ILL}}{h} \quad (5.1)$$

Dove:

- C_{orario}^{ILL} è il consumo elettrico orario dell'illuminazione pubblica, in $[\frac{kWh}{h}]$;
- $C_{giornaliero}^{ILL}$ è il consumo elettrico giornaliero dell'illuminazione pubblica, in $[\frac{kWh}{g}]$;
- h sono le ore di utilizzo giornaliero, in $[h]$.

La tabella (5.5) e la figura (5.10) riassumono quanto appena detto.

Stagione	Consumo giornaliero $[\frac{kWh}{g}]$	Ore di utilizzo [h]	Consumo orario $[\frac{kWh}{g}]$
Inverno	82.32	14	5.88
Primavera	63.09	9	7.01
Estate	56.66	9	6.30
Autunno	75.59	14	5.40

Tabella 5.5: Calcolo profilo orario di illuminazione pubblica di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

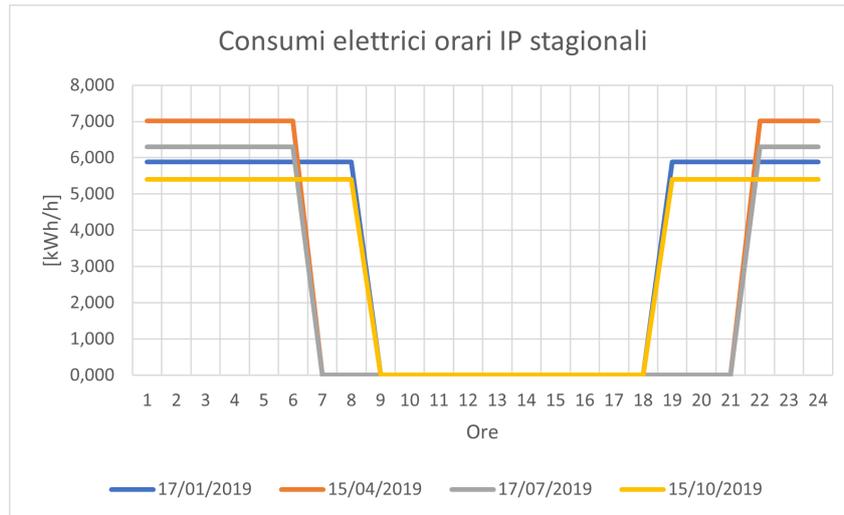


Figura 5.10: Consumo elettrico orario di illuminazione pubblica di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

5.1.2 Profili di produzione da fonti rinnovabili

Gli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili situati nel territorio di La Salle sono stati estratti dal portale del GSE Atlaimpianti in [23]. Complessivamente si trovano:

1. *Impianti di produzione di energia elettrica*, ripartiti in:
 - 4 impianti idroelettrici ad acqua fluente;
 - 2 impianti idroelettrici a bacino;
 - 48 impianti solare fotovoltaico.
2. *Impianti di produzione di energia termica*:
 - 23 impianti a biomassa, di proprietà privata.

Il calcolo dei valori di produzione annuali, mensili e giornalieri è stato eseguito mediante l'applicazione di modelli diversi a seconda della tipologia di impianto.

Impianti idroelettrici ad acqua fluente

La figura (5.11) riporta la produzione elettrica annua di tutti e quattro gli impianti, calcolata mediante la formula seguente:

$$E_{elettrica}^{annua} = P * h_{eq} \quad (5.2)$$

Dove:

- $E_{elettrica}^{annua}$ è la produzione annua di energia elettrica, in $[kWh_{el}/a]$;
- P è la potenza nominale installata, in $[kW]$;
- h_{eq} è il numero di ore equivalenti, che per tale sistema è assunto pari a 3000 h/a.

Non è stato possibile ottenere i valori di produzione elettrica mensile, giornaliera ed oraria, in quanto non sono stati forniti nè dati specifici riguardo essi nè un profilo rappresentativo di un impianto ad acqua fluente esistente nel territorio.

Fonte	Regione	Comune	Potenza nominale [kW]	Indirizzo	N°ore equivalenti [h/a]	Produzione elettrica annua [kWh/a]
Idraulica	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	20	Frazione Grassey	3000	60000
Idraulica	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	36	Località Equilvaz	3000	108000
Idraulica	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	103	Località Equilvaz	3000	309000
Idraulica	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	700	Plassier	3000	2100000

Figura 5.11: *Impianti idroelettrici ad acqua fluente a La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Impianti idroelettrici a bacino

Per questi sistemi tecnologici si è ipotizzato di adottare un modello che consente di calcolare i profili di produzione è applicabile conoscendo la potenza installata dell'impianto (da Atlaimpianti, in [23]) e ipotizzando un uso costante dello stesso nei giorni e nelle ore di ogni mese dell'anno. Come nel caso degli impianti precedenti, la produzione elettrica annua si ottiene moltiplicando il numero di ore equivalenti, pari a 3000 h/a (= 125 giorni d'uso annui), per la potenza installata. Inoltre dividendo il risultato per 125, si ottiene la produzione elettrica giornaliera annua (figura (5.12)).

Fonte	Regione	Comune	Indirizzo	Potenza nominale [kW]	N° ore equivalenti [h/a]	N°giorni annui d'uso [gguso/a]	Produzione elettrica annua [kWh/a]	Produzione elettrica giornaliera [kWh/a]	Produzione elettrica oraria [kWh/h]
Idraulica	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Frazione Morge	920	3000	125	2760000	22080,00	920,00
Idraulica	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Località Chabodey	2754	3000	125	8262000	66096,00	2754,00

Figura 5.12: *Impianti idroelettrici a bacino, produzione elettrica annuale, giornaliera e oraria (LS). Fonte: Elaborazione personale*

La produzione elettrica mensile è stata tratta impostando la seguente equazione (5.3).

$$N_{mese_x}^{giorni} : 365gg/a = N_{mese_x}^{giorni_{uso}} : 125gg_{uso}/a \quad (5.3)$$

Dove l'incognita ricavata è il n° di giorni di utilizzo dell'impianto nel mese considerato. La figura (5.13) mostra il risultato ottenuto per i due impianti presenti.

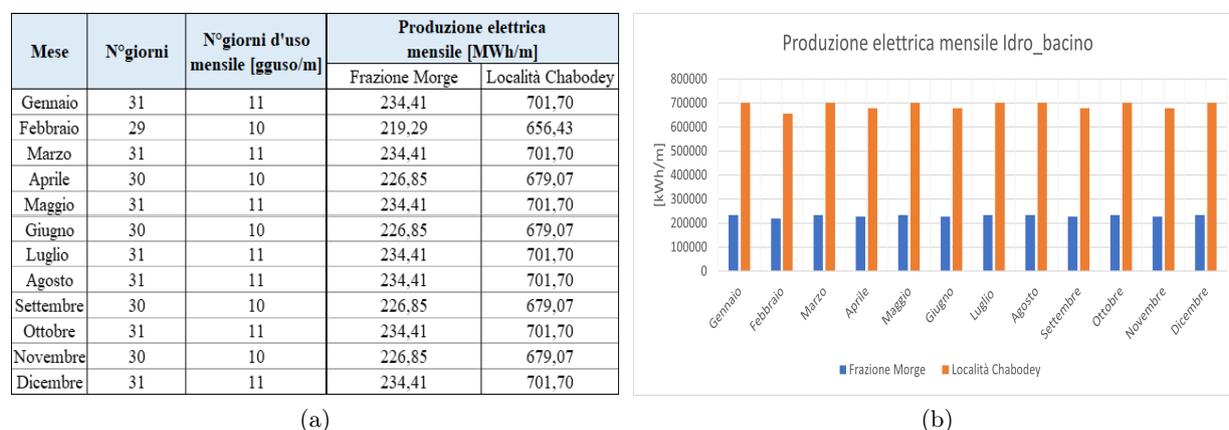


Figura 5.13: *Produzione elettrica mensile da impianti idroelettrici a bacino (LS). Fonte: Elaborazione personale*

La produzione oraria, osservabile nella figura (5.12), si ottiene dividendo la produzione giornaliera per il numero di ore di funzionamento, pari a 24h.

Impianti solare fotovoltaico

In primo luogo si è fatta la distinzione in due classi tra gli impianti domestici, con potenza < 3kW, e quelli non domestici con potenza > 3kW. Nota la potenza nominale di ciascun impianto da Atlaimpianti ([23]), viene calcolata per entrambe le classi, e per ciascun

sistema, la produzione elettrica annua mediante l'equazione (5.12); figura (5.14).

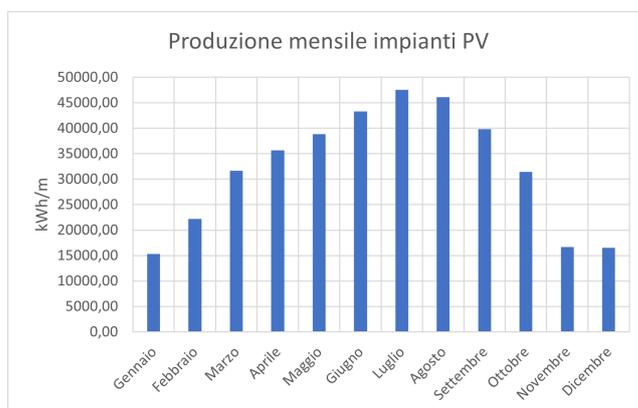
$$E_{elettrica}^{annua} = P_{tot} * h_{eq} \quad (5.4)$$

- $E_{elettrica}^{annua}$ è la produzione annua di energia elettrica, in $[MWh_{el}/a]$;
- P è la somma di tutte le potenze nominali installate, in $[kW]$;
- h_{eq} è il numero di ore equivalenti, che per tale sistema è assunto pari a 1150 h/a.

Successivamente la produzione elettrica mensile è stata ricavata sfruttando il PVGIS europeo in [17] inserendo come input le coordinate geografiche del Comune e la potenza totale derivata da tutti gli impianti presenti. Il sistema informativo fornisce come output la produzione elettrica teorica in ogni mese e dividendo ognuna per la produzione annuale teorica (E_{mt}) si ottiene il loro valore percentuale sul totale (%). Moltiplicando quest'ultimo per i valori teorici mensili si ottiene l'ammontare reale dell'elettricità prodotta mensilmente (E_m). La figura (5.15) mostra quanto detto.

	Energia mensile teorica E _(mt) [kWh/m]	%	Produzione elettrica annua [kWh/a]	Energia mensile E _m [kWh/m]
Gennaio	14915,94	4%	385054,50	15306,79
Febbraio	21599,15	6%		22165,12
Marzo	30857,35	8%		31665,92
Aprile	34789,60	9%		35701,21
Maggio	37822,04	10%		38813,11
Giugno	42191,86	11%		43297,44
Luglio	46308,54	12%		47521,99
Agosto	44913,23	12%		46090,12
Settembre	38813,27	10%		39830,31
Ottobre	30660,64	8%		31464,06
Novembre	16235,27	4%		16660,69
Dicembre	16115,46	4%		16537,74
Totale	375222,35	100%		385054,50

(a)



(b)

Figura 5.15: *Produzione elettrica mensile da impianti fotovoltaici (LS). Fonte: Elaborazione personale*

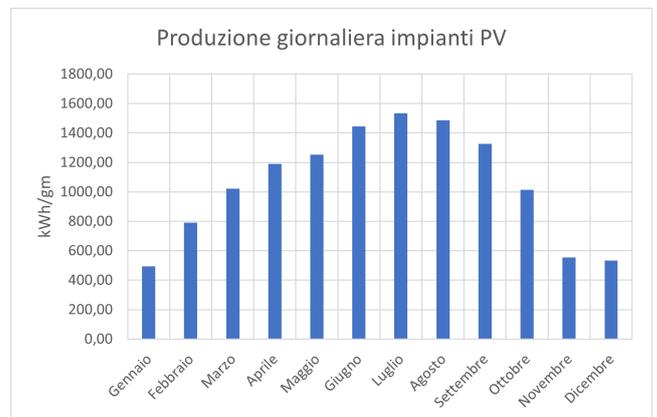
Dividendo i valori mensili per il numero dei giorni di ogni mese si ottiene la produzione elettrica giornaliera, in figura (5.16).

Fonte	Regione	Comune	Potenza nominale [kW]	Indirizzo	N°ore equivalenti [h/a]	Somma potenze [kW]	Produzione elettrica annua [MWh/a]
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	1,1	Frazione Echarlod	1150	334,83	385,05
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2	Rue Grand Rochere 4			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,7	Frazione Derby, 77			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,8	Vicolo della fiera, 6			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,8	Via per Echarlod Superiore, 38			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,82	Località Chaffieron, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,86	NA			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,99	Via Innocenzo V, 49			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,99	Via Grande Rochere, 8			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	2,99	Frazione Derby, 280			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3	Frazione Ecours N°26			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3	Via Innocenzo V, 15			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3	NA			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3	Frazione Challancin, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3	NA			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3	Frazione Challancin, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3,6	NA			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	3,61	Via del Ponte, 6			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4	Frazione Chez les Rosset 117			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4,03	Via Colomba			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4,17	Via Cesar Olliotti, 47			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4,2	Via Corrado Gex, 2			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4,41	Frazione Tour de Favrey, 4			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4,5	Frazione La Clusaz, 24			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	4,5	Via Cesar Olliotti, 21			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	5	Frazione Prou			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	5	Frazione Le Pont, 90			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	5	Frazione Chateau, 39			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	5,17	Via Gerbollier, 17			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	5,64	Località Chaffieron, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	6	Via Col de Bard, 4			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	6	Frazione MORGE, 20			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	6	Frazione Echarlod			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	6	Frazione. Chez Borgne, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	8,82	Frazione Challancin, 120			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	9,89	Frazione. Chez les Rosset 120			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	10,18	Via Gerbollier, 5			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	10,34	Località Morges, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	11	Frazione Chez les Gontier, 312			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	11	Frazione Challancin, 38			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	11,04	Frazione Challancin, 175			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	12	Frazione Le Pont, 12			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	13,26	Frazione Challancin, 31			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	13,92	Frazione Moye, 33			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	15,12	Località Derby, 3			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	16	NA			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	19,8	Frazione Remondey, -			
Solare	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	41,58	Frazione Villaret, 19			

Figura 5.14: Impianti fotovoltaici a La Salle e la produzione elettrica annua. Fonte: Elaborazione personale

	Energia mensile E_m [kWh/m]	N° giorni mese	Energia elettrica giornaliera E_gg [kWh/m]
Gennaio	15306,79	31	493,77
Febbraio	22165,12	28	791,61
Marzo	31665,92	31	1021,48
Aprile	35701,21	30	1190,04
Maggio	38813,11	31	1252,04
Giugno	43297,44	30	1443,25
Luglio	47521,99	31	1532,97
Agosto	46090,12	31	1486,78
Settembre	39830,31	30	1327,68
Ottobre	31464,06	31	1014,97
Novembre	16660,69	30	555,36
Dicembre	16537,74	31	533,48

(a)



(b)

Figura 5.16: *Produzione elettrica giornaliera da impianti fotovoltaici (LS). Fonte: Elaborazione personale*

Impianti termici a biomassa

La potenza installata dell'impianto, ricavabile da Atlaimpianti, in [23] è il dato principale da cui si ottiene la produzione elettrica annua. Poichè il lavoro di tesi si concentra principalmente sul dato elettrico, il profilo di produzione viene tracciato solo su base annuale (figura (5.17)). Come nei casi precedenti si utilizza l'equazione (5.5):

$$E_{termica}^{annua} = P * h_{eq} \quad (5.5)$$

Dove:

- $E_{elettrica}^{annua}$ è la produzione annua di energia termica, in $[MWh_{el}/a]$;
- P è la potenza nominale di ciascun impianto, in $[kW]$;
- h_{eq} è il numero di ore equivalenti, che per tale sistema è assunto pari a 8760 h/a, pari al totale delle ore in un anno. Infatti, poichè La Salle appartiene alla fascia climatica F, non vi sono limiti orari o di periodo alla stagione del riscaldamento.

Fonte	Regione	Comune	Soggetto proprietario	Potenza termica utile [kWh/a]	N°ore equivalenti [h/a]	Produzione termica annua [kWh/a]	Totale produzione termica annua [MWh/a]
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	5,4	8760	47304	3395
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	6,4		56064	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	7		61320	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	7		61320	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	7		61320	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	7,4		64824	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	7,7		67452	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	8,61		75424	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	9		78840	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	9		78840	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	9,6		84096	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	11,1		97236	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	11,9		104244	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	12		105120	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	17,2		150672	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	23,5		205860	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	30		262800	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	30		262800	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	30,8		269808	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	32		280320	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	32		280320	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	35		306600	
Biomassa	Valle d'Aosta	La Salle (AO)	Privato	38		332880	

Figura 5.17: Impianti termici a biomassa e produzione termica annua (LS). Fonte: Elaborazione personale

5.1.3 Profili di producibilità elettrica da fonti rinnovabili

La producibilità da FER è stata valutata considerando la risorsa biomassa e il potenziale solare sul territorio.

L'analisi della producibilità da *biomassa* continua dai risultati ottenuti nel paragrafo 4.1.4. Per ogni categoria forestale sono stati reperiti in [32] i corrispondenti valori annuali di produttività specifica annuale lorda [ton/ha] e il potere calorifico inferiore (PCI) della sostanza secca [kgss/a]. Il modello adottato è descritto in [4] e prevede i seguenti step, implementati in ArcGIS:

1. Calcolo dell'area forestale accessibile e della quantità di massa secca.

$$A = \frac{m_c}{(p * 10^4)} \quad (5.6)$$

$$m_c = A * p * 10^3 \quad (5.7)$$

Dove:

- A: Area della categoria tipo accessibile, in ettari [ha];
- p: Produttività specifica annuale lorda, in $\frac{ton}{ha}$;
- m_c è la quantità di massa secca, in $[\frac{kgss}{a}]$.

2. Calcolo dell'energia termica producibile annualmente dalla biomassa ottenibile.

$$E_{th} = m_c * PCI \quad (5.8)$$

Dove:

- E_{th} : Energia termica annuale producibile, in $[\frac{kWh}{a}]$;
- PCI : potere calorifico inferiore della sostanza secca in $[kWh/kg]$;
- m_c è la quantità di massa secca, in $[\frac{kgss}{a}]$.

3. Calcolo dell'energia elettrica producibile.

$$E_{el} = E_{th} * \eta \quad (5.9)$$

Dove:

- E_{el} : Energia elettrica annuale producibile, in $[\frac{kWh}{a}]$;
- E_{th} : Energia termica annuale producibile, in $[\frac{kWh}{a}]$;
- η : Rendimento di conversione elettrica dell'impianto, ipotizzato del 25%

La stima della producibilità elettrica mensile, giornaliera e oraria è stata ricavata seguendo il metodo che calcola la produzione elettrica valido sia per gli impianti idroelettrici a bacino sia per gli impianti a biomassa esistenti; in 5.1.2.

Si ipotizza un numero di giorni di funzionamento di un ipotetico impianto a biomassa

pari a $250 \frac{\text{giorni}}{\text{a}}$. Le mappe in figura (5.18) confrontano la biomassa forestale accessibile con quella disponibile, mostrando l'energia elettrica producibile da essa nel territorio di La Salle.

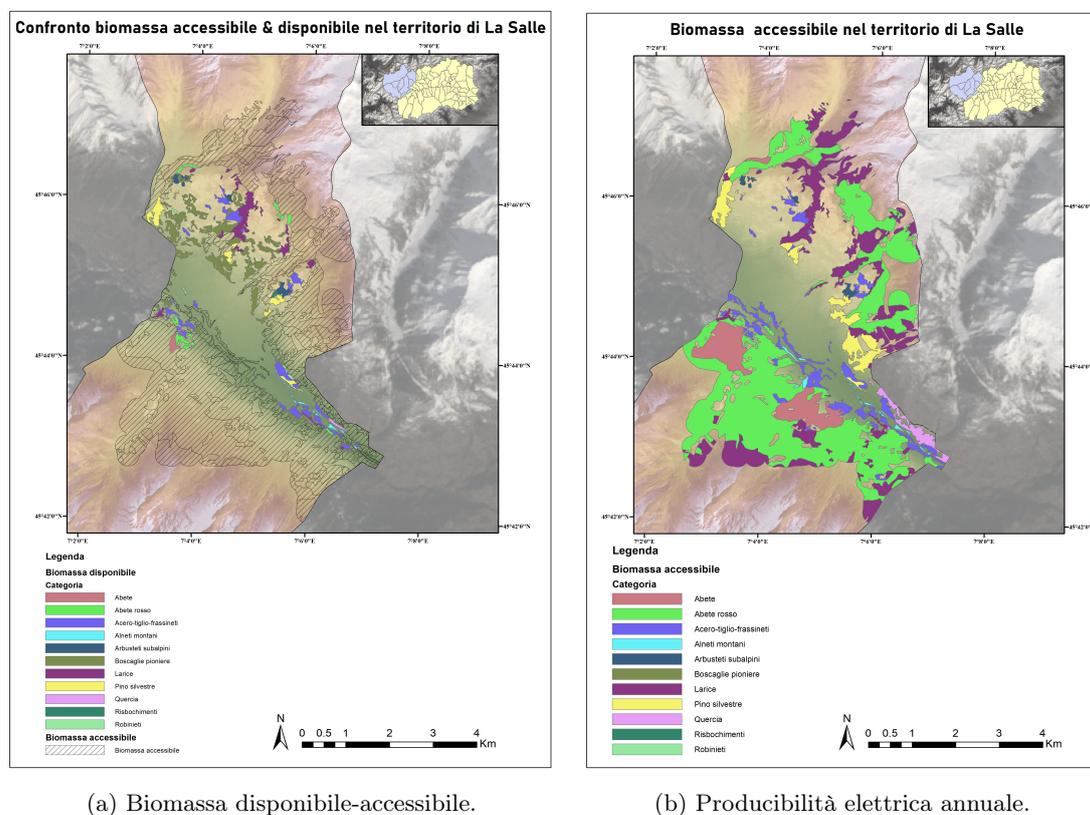


Figura 5.18: *Energia elettrica producibile annualmente dalla biomassa accessibile nel territorio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

La tabella (5.6) caratterizza le classi forestali esaminate.

Categoria	Ettari [ha]	PCI [$\frac{kWh}{kg}$]	p [$\frac{ton}{ha}$]	m_c [$\frac{kg_{ss}}{a}$]
Abete	168.28	5.0	2.38	400509.00
Acero-tiglio-frassineti	138.94	4.1	0.36	50018.80
Alneti montani	13.30	4.1	1.39	18489.60
Arbusteti subalpini	12.22	4.1	0.02	244.34
Boscaglie pioniere	248.01	4.0	0.14	34721.10
Larice	426.30	4.3	0.49	208888.00
Abete rosso	1022.90	4.5	0.76	777404.00
Pino silvestre	109.25	4.4	1.78	194470.00
Quercia	34.92	4.2	0.60	20954.90
Robinieti	11.40	2.5	0.98	11172.70
Rimboschimenti	4.35	4.0	1.48	6437.48

Tabella 5.6: *Categorie forestali accessibili. Fonte: Elaborazione personale*

Seguono le immagini (5.19), (5.20) e (5.21), che completano l'analisi della producibilità elettrica da biomassa forestale.

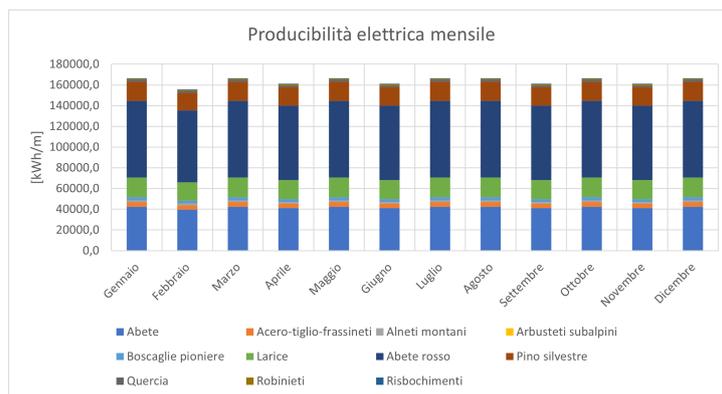


Figura 5.19: *Produttività elettrica mensile da biomassa (LS). Fonte: Elaborazione personale*

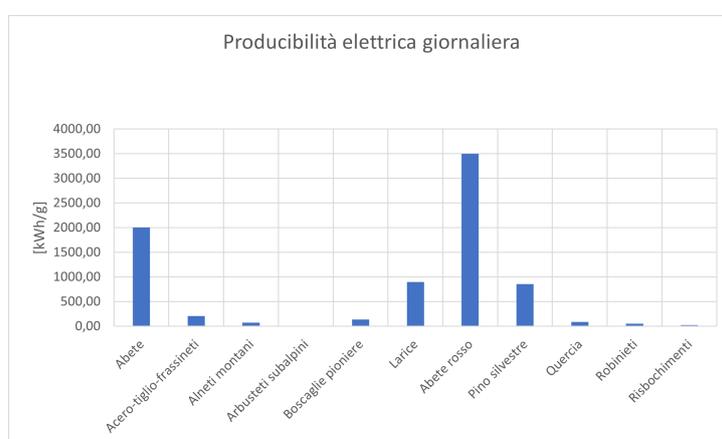


Figura 5.20: *Produttività elettrica giornaliera da biomassa (LS). Fonte: Elaborazione personale*

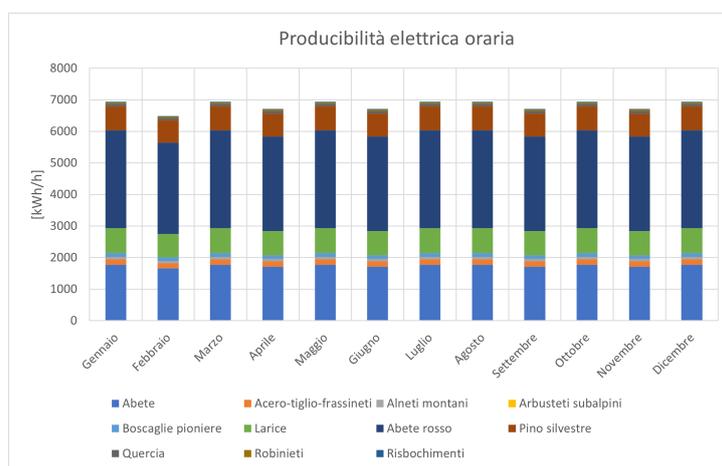


Figura 5.21: *Produttività elettrica oraria da biomassa (LS). Fonte: Elaborazione personale*

La producibilità da *solare fotovoltaico* è stata valutata ipotizzando di installare un impianto fotovoltaico sul tetto di 4 edifici comunali che rispettano i requisiti descritti nel capitolo 4. Riprendendoli, sono stati quindi scelti in base a :

- Area del tetto disponibile $> 50 \text{ m}^2$. A riguardo il Comune di La Salle ha riferito che la legge in Valle d'Aosta prevede la copertura di al massimo il 50% dell'area totale del tetto;
- Altezza dell'edificio $> 3.5\text{m}$;
- Orientamento verso la direzione Sud. Ricavato mediante il comando Aspect di ArcGIS;
- Pendenza dei tetti compresa tra i 20 deg e i 45 deg. Ricavata mediante il comando Slope di ArcGIS;
- Esclusione dei valori di irraggiamento annui $< 1200 \text{ kWh/ m}^2$;
- Assenza di elementi disturbanti sui tetti.

Ecco gli edifici scelti tra quelli inseriti nella tabella (5.1) precedente, sapendo che ognuno di essi hanno tetti a falda:

- Municipio di La Salle;
- Scuole del capoluogo;
- Scuole della Frazione Derby;
- Casermette di Derby.

Ogni impianto presenta una potenza nominale di picco installata, data dalla seguente formula:

$$P_N = N_{\text{pannelli}} * 0.23 \quad (5.10)$$

Dove:

- P_N è la potenza nominale di picco dell'impianto, in kW;
- 0.23 è la potenza del singolo pannello, in kW;
- N_{pannelli} è il numero totale dei pannelli presenti, calcolato dividendo l'area disponibile del tetto per l'area del singolo pannello (di lunghezza 1m e altezza 1.7m).

Di seguito vengono caratterizzati quantitativamente gli impianti progettati per ogni struttura.

Scuole del capoluogo

Si tratta della struttura più idonea per l'installazione di un impianto fotovoltaico (PV), su suggerimento del Comune stesso. In particolare viene considerato il tetto della palestra scolastica; in figura (5.22) e nelle tabelle (5.7) e (5.8).



Figura 5.22: Scuole del capoluogo LS, tetto della palestra. Fonte: Google Earth.

Parametro	Valore	Unità di misura
Lunghezza	12	[m]
Larghezza	29	[m]
Area totale	348	[m ²]
Area disponibile	174	[m ²]
Larghezza disponibile	8	[m]
Lunghezza disponibile	21.75	[m]
Inclinazione del tetto	35°	[deg]
Azimuth	-40°	[deg]

Tabella 5.7: Scuole del capoluogo - tetto della palestra. Fonte: Elaborazione personale

Nota la geometria della copertura per i pannelli, si calcolano i parametri geometrici in figura (??). I pannelli sono così progettati:

Pannelli fotovoltaici	Valore	Unità di misura
Altezza del pannello	1.7	[m]
Larghezza del pannello	1.0	[m]
Area del pannello	1.7	[m ²]
Potenza del singolo pannello	0.23	[kWp]
1 kWp	1.0	[kW]
1 kWp = n pannelli	4.0	[-]
Area totale pannelli	6.8	[m ²]
Totale pannelli	102	[-]
Potenza totale dell'impianto	23.46	[kWp]

Tabella 5.8: Scuole del capoluogo - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale

Municipio

Il dimensionamento è riportato in figura (5.23) e nelle tabelle (5.9) e (5.10).



Figura 5.23: *Municipio di La Salle. Fonte: Google Earth.*

Parametro	Valore	Unità di misura
Lunghezza	9.50	[m]
Larghezza	13	[m]
Area totale	123.50	[m ²]
Area disponibile	61.75	[m ²]
Larghezza disponibile	6.0	[m]
Lunghezza disponibile	10	[m]
Inclinazione del tetto	40°	[deg]
Azimuth	-20°	[deg]

Tabella 5.9: *Tetto del municipio. Fonte: Elaborazione personale*

Nota la geometria della copertura per i pannelli, si calcolano i parametri geometrici in figura (??). I pannelli sono così progettati:

Pannelli fotovoltaici	Valore	Unità di misura
Altezza del pannello	1.7	[m]
Larghezza del pannello	1.0	[m]
Area del pannello	1.7	[m ²]
Potenza del singolo pannello	0.23	[kWp]
1 kWp	1.0	[kW]
1 kWp = n pannelli	4	[-]
Area totale pannelli	6.8	[m ²]
Totale pannelli	36	[-]
Potenza totale dell'impianto	8.28	[kWp]

Tabella 5.10: *Municipio di La Salle - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale*

Scuole della Frazione Derby

Il dimensionamento è riportato in figura (5.24) e nelle tabelle (5.11) e (5.12).



Figura 5.24: Scuole della Frazione Derby. Google Earth.

Parametro	Valore	Unità di misura
Lunghezza	16	[m]
Larghezza	15	[m]
Area totale	240	[m ²]
Area disponibile	120	[m ²]
Larghezza disponibile	12	[m]
Lunghezza disponibile	10	[m]
Inclinazione del tetto	25°	[deg]
Azimuth	40°	[deg]

Tabella 5.11: Scuole della Frazione Derby - tetto. Fonte: Elaborazione personale

Nota la geometria della copertura per i pannelli, si calcolano i parametri geometrici in figura (??). I pannelli sono così progettati:

Pannelli fotovoltaici	Valore	Unità di misura
Altezza del pannello	1.7	[m]
Larghezza del pannello	1.0	[m]
Area del pannello	1.7	[m ²]
Potenza del singolo pannello	0.23	[kWp]
1 kWp	1.0	[kW]
Numero di pannelli	4.0	[-]
Area totale pannelli	6.8	[m ²]
Totale pannelli	70	[-]
Potenza totale dell'impianto	16.1	[kWp]

Tabella 5.12: Scuole della Frazione Derby - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale

Casermette di Derby

Il dimensionamento è riportato in figura (5.25) e nelle tabelle (5.13) e (5.14).



Figura 5.25: Casermette di Derby. Google Earth.

Parametro	Valore	Unità di misura
Lunghezza	4.5	[m]
Larghezza	33	[m]
Area totale	148.5	[m ²]
Area disponibile	74.25	[m ²]
Larghezza disponibile	3	[m]
Lunghezza disponibile	23	[m]
Inclinazione del tetto	30°	[deg]
Azimuth	-50°	[deg]

Tabella 5.13: Casermette di Derby - tetto. Fonte: Elaborazione personale

Nota la geometria della copertura per i pannelli, si calcolano i parametri geometrici in figura (??). I pannelli sono così progettati:

Pannelli fotovoltaici	Valore	Unità di misura
Altezza del pannello	1.7	[m]
Larghezza del pannello	1.0	[m]
Area del pannello	1.7	[m ²]
Potenza del singolo pannello	0.23	[kWp]
1 kWp	1.0	[kW]
Numero di pannelli	4.0	[-]
Area totale pannelli	6.8	[m ²]
Totale pannelli	43	[-]
Potenza totale dell'impianto	9.89	[kWp]

Tabella 5.14: Casermette di Derby - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale

Una volta completato il dimensionamento, nel PVGIS ([17], figura (5.48)) viene effettuata una simulazione che permette di ricavare la producibilità oraria 24/24h dell'impianto designato in ogni giorno dell'anno. I dati di input sono:

- Solar radiation database: PVGIS - Sarah;
- Tecnologia PV: Silicio cristallino;

Figura 5.26: Simulazione della producibilità oraria con PVGIS. Fonte: Elaborazione personale

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10

Figura 5.27: Giorni medi di Duffie - Beckman. Fonte: articolo in [11]

- Potenza di picco installata, in [kWp];
- Perdite del sistema: ipotizzate del 14%;
- Posizione di montaggio: indipendente;
- Pendenza e Azimuth.

L'output è scaricabile direttamente nel formato .csv, pertanto è elaborato con Microsoft Excel. A questo punto, conoscendo il dato orario, è possibile ottenere il dato giornaliero, mensile ed annuale. Per la rappresentazione dei profili di producibilità elettrica oraria sono stati presi valori medi stagionali, ovvero uno ciascuno per l'inverno, la primavera, l'estate e l'autunno. Un altro metodo per rappresentare questi profili è considerare esclusivamente i profili nei giorni medi mensili di Duffie-Beckman ([11]), tuttavia è meno reale e rappresentativo del precedente. Tutti i giorni medi sono in figura (5.49). Si procede con l'illustrazione dei profili per ogni stabile considerato. In tutti i casi il potenziale energetico è massimo nelle ore diurne, ossia in presenza della luce del Sole.

Scuole del capoluogo

- Producibilità totale annua = 8849.65 kWh/a;
- Producibilità mensile e giornaliera (figura (5.28)):

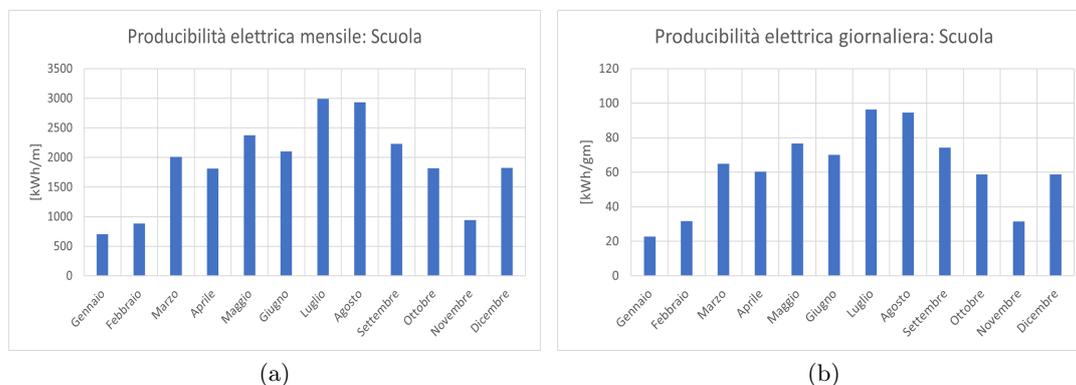


Figura 5.28: *Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Scuole del capoluogo. Fonte: Elaborazione personale*

- Producibilità elettrica oraria (figura (5.29)):

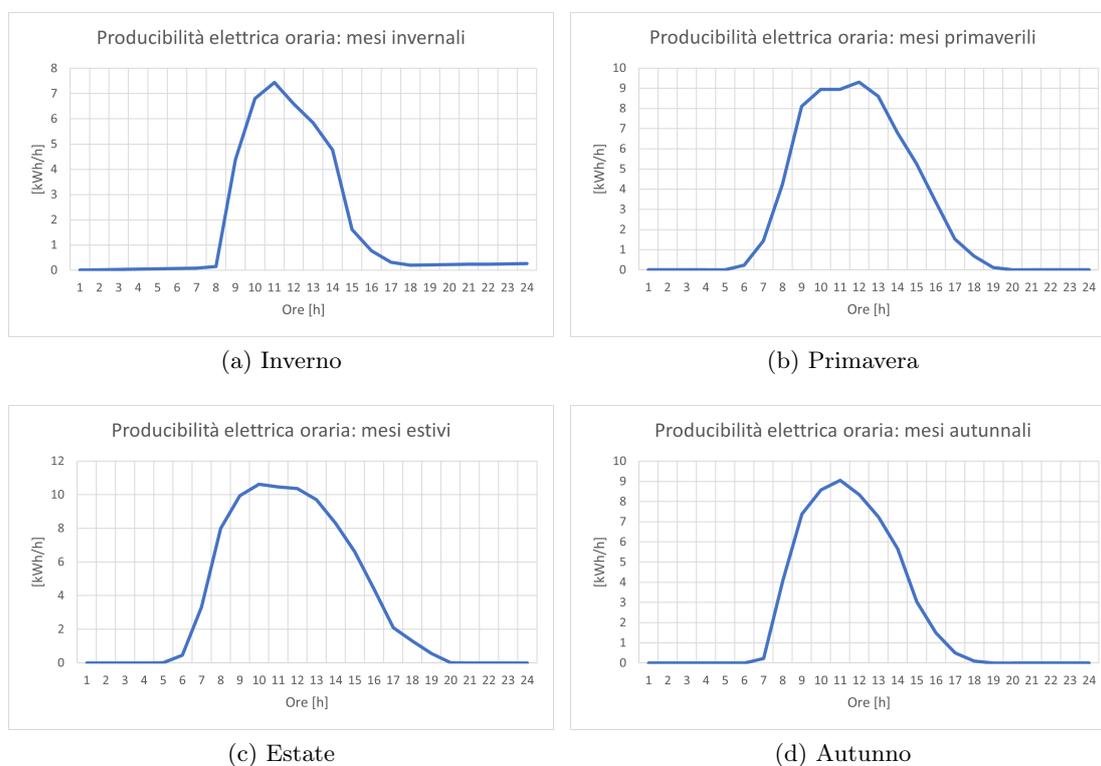


Figura 5.29: *Producibilità elettrica oraria. Scuole del capoluogo. Fonte: Elaborazione personale*

Municipio di La Salle

- Producibilità totale annua = 4034.23 kWh/a;
- Producibilità mensile e giornaliera (figura (5.30)):

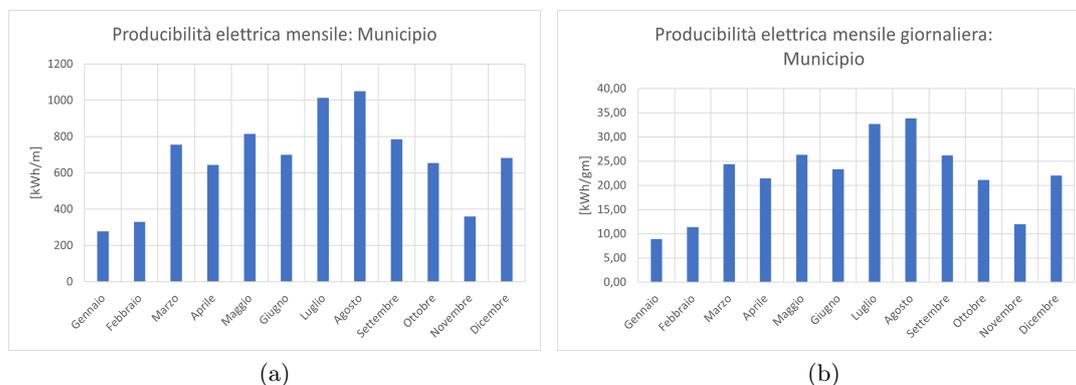


Figura 5.30: *Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Municipio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

- Producibilità elettrica oraria (figura (5.31)):

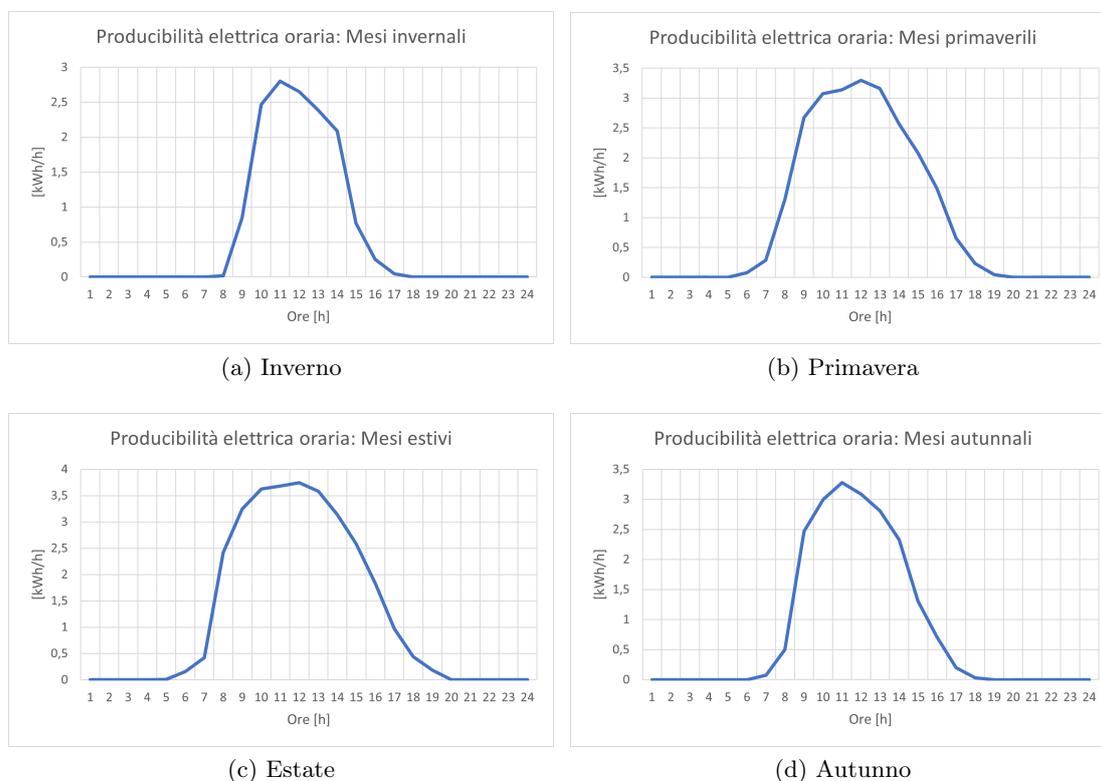


Figura 5.31: *Producibilità elettrica oraria. Municipio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Scuole della Frazione Derby

- Producibilità totale annua = 6151.60 kWh/a;
- Producibilità mensile e giornaliera (figura (5.32)):

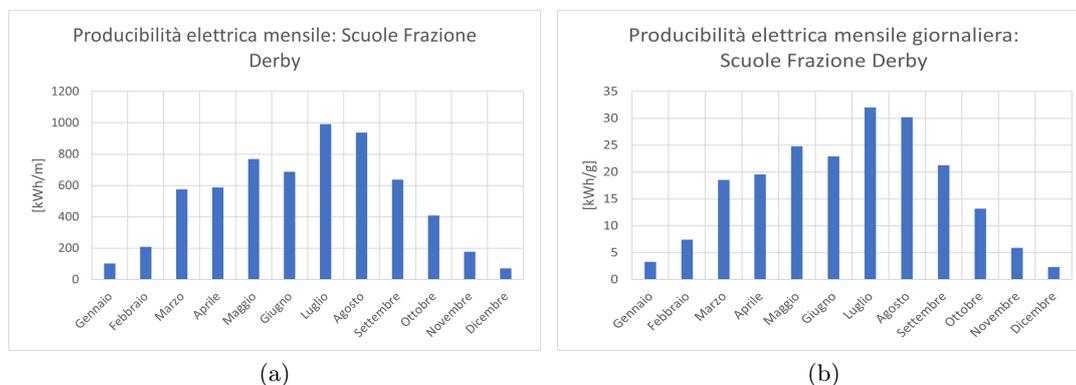


Figura 5.32: *Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Scuole di Derby. Fonte: Elaborazione personale*

- Producibilità elettrica oraria (figura (5.33)):

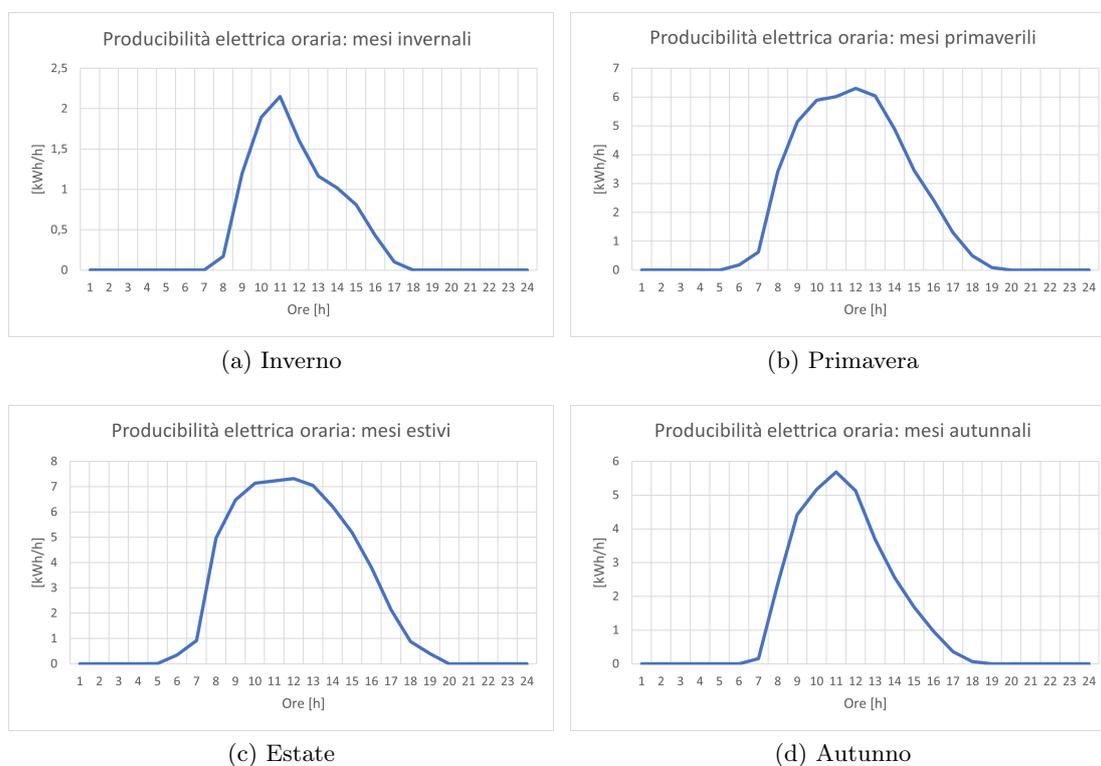


Figura 5.33: *Producibilità elettrica oraria. Scuole di Derby. Fonte: Elaborazione personale*

Casermette di Derby

- Producibilità totale annua = 4405.39 kWh/a;
- Producibilità mensile e giornaliera (figura (5.34)):

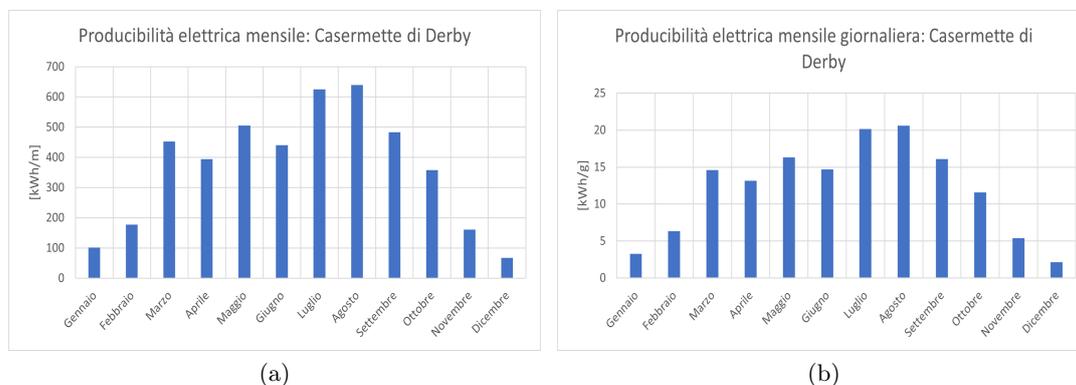


Figura 5.34: *Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Casermette di Derby. Fonte: Elaborazione personale*

- Producibilità elettrica oraria (figura (5.35)):

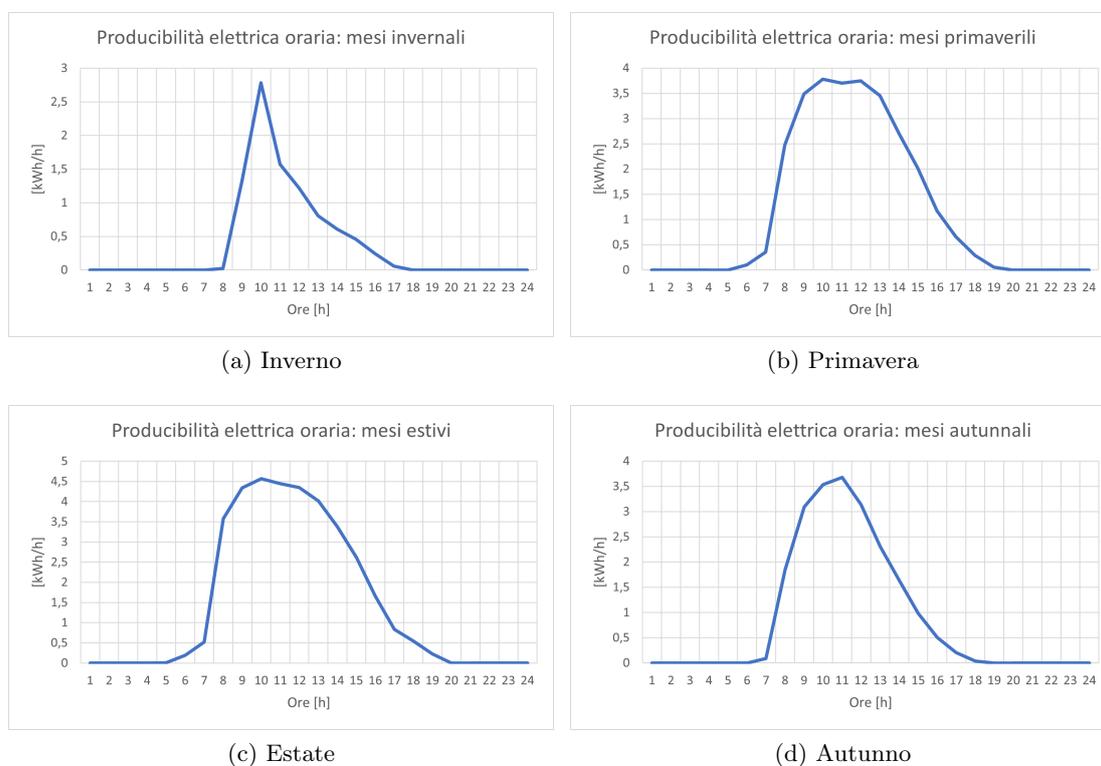


Figura 5.35: *Producibilità elettrica oraria. Casermette di Derby. Fonte: Elaborazione personale*

5.2 Chamois

Come anticipato nell'introduzione, il Comune di Chamois (abbreviato in CH) ha messo a disposizione alcuni dati relativi ai propri edifici comunali, permettendo così di valutare la loro idoneità per l'installazione di un impianto ad energia rinnovabile. In particolare, verrà ipotizzata l'installazione di impianti fotovoltaici sui tetti di determinate utenze comunali. I dati forniti sono le bollette mensili che descrivono i consumi elettrici di tali utenze nell'anno 2019; inoltre si possiedono i dati SIATEL relativi al consumo annuale reso necessario nel medesimo anno. Non sono noti dati in merito all'illuminazione pubblica, nè in merito agli eventuali consumi termici. Ogni bolletta è strutturata in modo da definire, per ogni utenza ed impianto di illuminazione, le seguenti informazioni:

- Tipo di dato: reale o presunto;
- Numero di fatturazione;
- Numero contrattuale;
- Ragione sociale: il proprietario dell'edificio. Purtroppo non sono stati resi noti i proprietari di alcuni edifici comunali;
- Famiglia, ovvero la tipologia di utenza.
- Comune e provincia di riferimento;
- POD: il punto di fornitura, composto da un codice alfanumerico con formato 'IT xxx yyyyyyy', dove IT è il codice della nazione Italia, le successive 3 cifre accertano il distributore locale dell'energia elettrica mentre i restanti 8 numeri identificano il punto di prelievo;
- Fascia oraria, ovvero:
 - F1: lunedì - venerdì dalle 08:00 alle 19:00;
 - F2: lunedì - venerdì dalle 07:00 alle 08:00;
 - F3: lunedì - sabato dalle 23:00 alle 07:00, più la domenica e i giorni festivi 24/24 ore.
- Edificio associato al POD. Tuttavia alcuni POD non hanno associato l'edificio di riferimento;
- Imponibile, in €;
- IVA sull'importo complessivo, in €;
- Fatturazione totale, in €;
- Mese di riferimento.

In virtù della privacy legata alla pubblicazione di questi dati, si preferisce non inserire un'immagine esemplificativa di una bolletta.

Dall'elenco si evince come le informazioni fornite siano frammentate, specialmente quelle in merito agli indirizzi di fatturazione e agli edifici associati ai POD. Di conseguenza, per la successiva analisi sul fotovoltaico, si è proceduto tenendo in conto solo le strutture per cui il dato è completo. Inoltre per tutti gli immobili non sono noti i consumi elettrici in kWh: per ovviare a questa mancanza, è stata fatta una stima dei loro valori conoscendo il costo in bolletta e il prezzo medio dell'energia in €/kWh.

Gli immobili comunali sono elencati in tabella (5.15).

Edificio	Indirizzo
Municipio	Frazione Corgnolaz 11
Azienda Agricola Crépin	Frazione Crépin 1
<Edificio comunale>	Frazione Suisse
<Edificio comunale>	Frazione Corgnolaz SN
<Edificio comunale>	Frazione Lago Lod 52
<Edificio comunale>	Frazione Liussel 53
<Edificio comunale>	Frazione Liussel SN
<Edificio comunale>	Frazione Corgnolaz SN
<Edificio comunale>	Frazione Corgnolaz 1
<Edificio comunale>	Frazione Corgnolaz 5

Tabella 5.15: *Edifici del Comune di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Purtroppo non è stato possibile ottenere alcune informazioni reali di utenze aziendali o residenziali. Solo per queste ultime, come si vedrà nel paragrafo seguente, si è fatta una stima dei consumi di un'utenza residenziale tipo.

5.2.1 Profili di consumo

I profili di consumo per la municipalità di Chamois sono stati elaborati esclusivamente per gli edifici comunali. Come detto precedentemente, gli unici dati reali forniti dal Comune sono:

- Bollette delle utenze elettriche nel triennio 2017-2018-2019;

Quantitativamente sono stati considerati le informazioni note più recenti, ossia del 2019. Gli edifici comunali sono elencati in tabella (5.15).

Essendo stati forniti i dati SIATEL relativi a tutti gli edifici (municipali e domestici) è noto il consumo elettrico totale annuale:

$$C_{anno}^{TOT} = 1585,79 \text{ MWh/a}$$

Il consumo annuale dei soli edifici comunali è mostrato in figura (5.36).

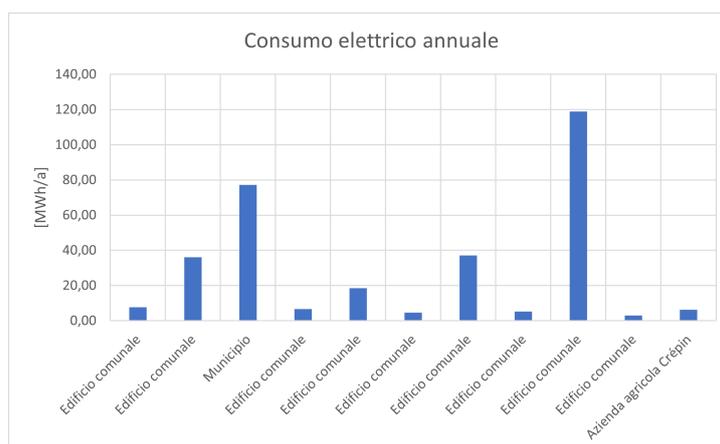


Figura 5.36: *Consumo annuale degli immobili comunali di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

I consumi mensili sono stati stimati in base alla fattura in bolletta e al prezzo medio annuale dell'energia elettrica, calcolato approssimando i dati del GME in [21] ed elencati in tabella (5.16).

Utenza	Prezzo [€/kWh]
Municipale	0.18
Domestica	0.22
Aziendale	0.15

Tabella 5.16: *Prezzo medio dell'energia elettrica per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale*

In figura sono presentati i risultati ottenuti (5.37).

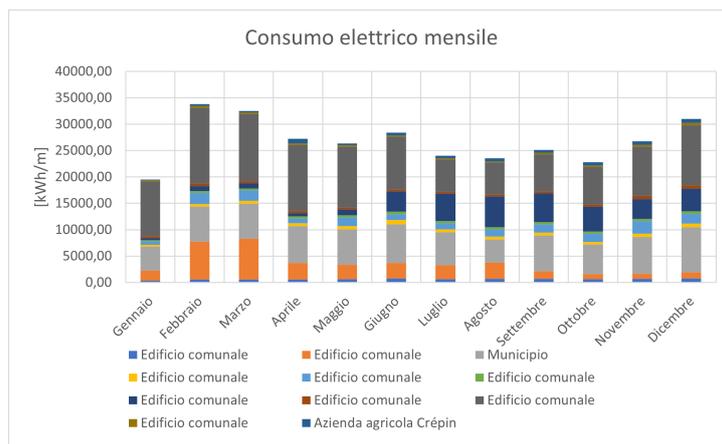


Figura 5.37: *Consumo mensile degli immobili comunali di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Infine, i consumi mensili giornalieri (figura (5.38)).

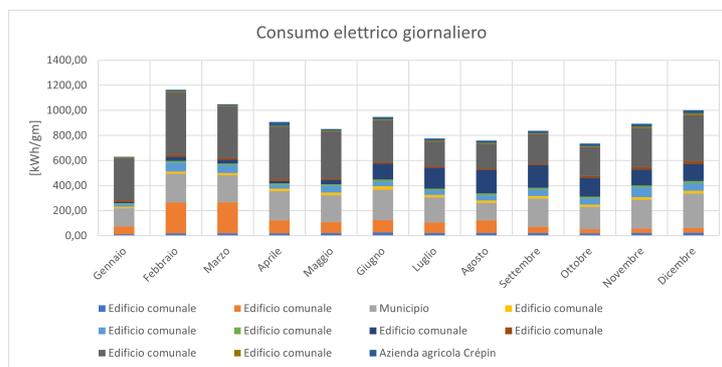


Figura 5.38: *Consumo mensile degli immobili comunali di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Il calcolo dei consumi orari merita un discorso a parte. Per migliorare la leggibilità della tesi, questi sono illustrati soltanto nel capitolo relativo al bilancio energetico, dove vengono confrontati con la producibilità da fotovoltaico. L'obiettivo in questa sezione è descrivere la metodologia di calcolo dei consumi orari per ciascun edificio.

1. Creare una tabella con ogni mese, giorno e ora del 2019, sulla base di quella in (5.17)

Anno	Mese	Giorno	Tipo di giorno	Data	Ore [n°colonne 1-24]
2019	Gennaio	Lunedì	Feriale	01/01/2019	[1-24]
2019	Luglio	Domenica	Festivo	01/07/2019	[1-24]

Tabella 5.17: *Set-up tabella dei consumi. Fonte: Elaborazione personale*

2. A seconda che il giorno sia feriale o festivo, impostare i coefficienti di apporto termico all'interno delle strutture per ogni ora del giorno, elencati in figura (5.39).

Profili temporali degli apporti termici dagli occupanti e dalle apparecchiature (edifici adibiti ad uffici)

Giorni	Ore	Ambienti ufficio (60% della superficie utile di pavimento) $(\phi_{int,oc} + \phi_{int,A}) / A_f$ [W/m ²]	Altre stanze, atri, corridoi (40% della superficie utile di pavimento) $(\phi_{int,oc} + \phi_{int,A}) / A_f$ [W/m ²]
Lunedì - Venerdì	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	20,0	8,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	1,0
	Media	9,50	3,92
Sabato - Domenica	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	2,0	1,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	1,0
	Media	2,0	1,0
Media	7,4	3,1	

$(\phi_{int,oc} + \phi_{int,A})$ è il flusso termico dalle persone e dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Figura 5.39: Coefficienti di apporto termico. Fonte: Elaborazione personale

3. Calcolare la somma di tutti i coefficienti per ogni mese.
4. Per ciascun mese, dividere la somma per il valore corrispondente al giorno e all'ora ennesima, ottenendo così i profili percentuali.
5. Calcolare la somma di tutti i profili percentuali per ogni mese.
6. I consumi effettivi sono dati dalla moltiplicazione del totale % mensile per il il valore % corrispondente al giorno e all'ora ennesima.

Non sono note informazioni in merito ai consumi termici nel territorio di Chamois. Non vi è inoltre una rete per il teleriscaldamento.

Allo stesso modo per La Salle, il tracciamento dei profili orari per un'utenza residenziale è stata operata partendo da un profilo residenziale tipo del Comune di Villar Pellice (Piemonte, TO), in quanto non è stato possibile reperire gli stessi dati a Chamois. Malgrado si trovi in una regione differente, Villar Pellice ha alcune similitudini di natura geografica, climatica e di altitudine con Chamois; per tale motivo si è potuta assumere questa ipotesi. Del comune piemontese, sono note le seguenti informazioni: area geografica, altitudine, zona climatica, numero di famiglie per abitazione, numero di componenti per famiglia, superficie dell'abitazione; vedasi la tabella (5.18).

Dato	Corrispondenza
Comune	Villar Pellice (TO)
Altitudine	518 m.s.l.m.
Zona climatica	E
Gradi Giorno	4955
Superficie abitazione	93.78 m ²
Numero di famiglie per abitazione	1
Componenti per famiglia	2

Tabella 5.18: Utente domestico residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale

Il dato di consumo annuo per un'utenza residenziale di Chamois è stata quindi assunta pari a quella di una di Villar Pellice. Essa è stata scaricata dal portale SIATEL

dell'Agenzia delle Entrate.

$$C_{\text{anno}}^{DOM} = 2022 \text{ kWh/a}$$

La ripartizione mensile del dato annuo si basa sui dati raccolti dai 3608 APE dell'anno 2019, in tabella (5.19).

Mese	Valore percentuale	Consumo mensile [$\frac{kWh}{m}$]
Gennaio	9.48%	191.7
Febbraio	8.66%	175.1
Marzo	9.06%	183.2
Aprile	7.91%	159.1
Maggio	7.87%	159.1
Giugno	7.43%	150.2
Luglio	7.86%	158.9
Agosto	7.53%	152.3
Settembre	7.36%	148.8
Ottobre	8.26%	167.0
Novembre	8.84%	178.7
Dicembre	9.74%	196.9

Tabella 5.19: *Consumo mensile utente residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale*

Il calcolo dei consumi residenziali orari è stato svolto con la stessa metodologia adottata per gli edifici comunali, partendo dai dati di consumo dell'anno 2019 forniti da ACEA Industriale S.p.A., che includono un campione di 378 POD. Di seguito in figura (5.40) sono riportati i profili orari feriali e festivi per tutte le stagioni.

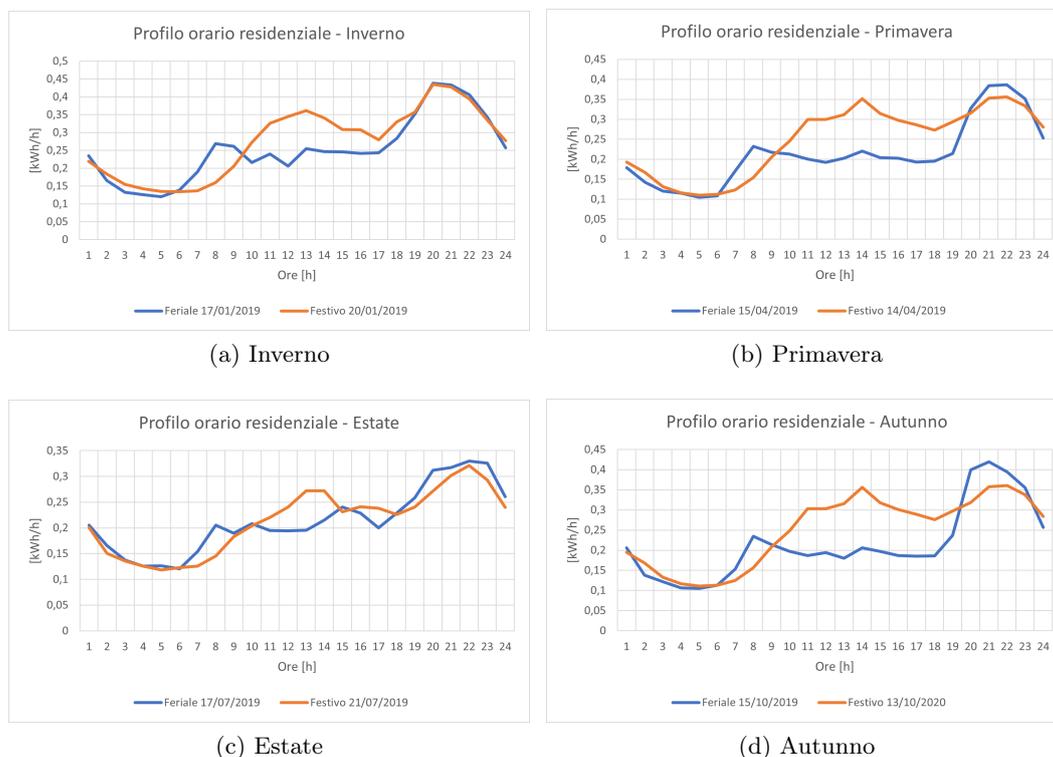


Figura 5.40: *Consumi residenziali di un'utenza domestica tipo. Fonte: Elaborazione personale*

La figura (5.41) confronta tra loro le curve feriali e festive.

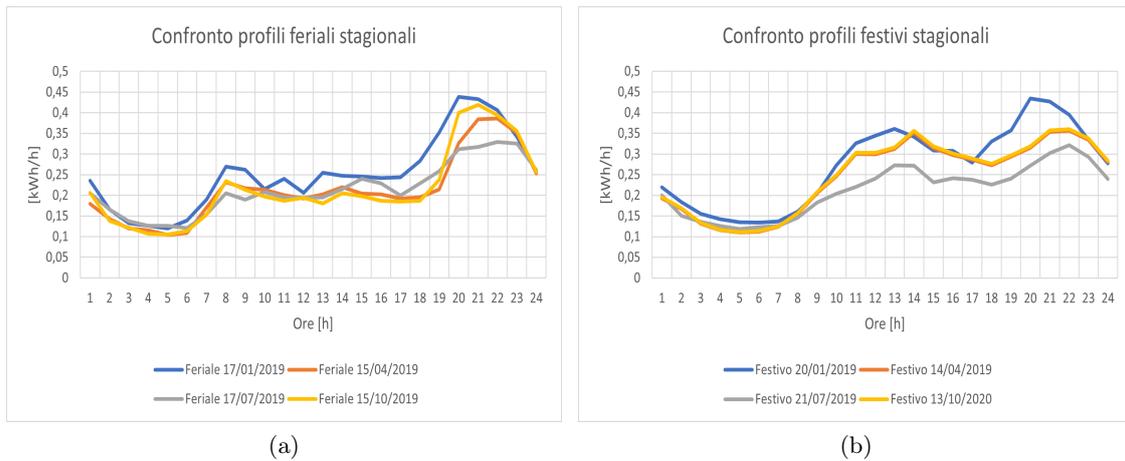


Figura 5.41: *Confronto profili di consumo residenziale nei giorni feriali e festivi. Fonte: Elaborazione personale*

Non sono noti dati riguardo l'illuminazione pubblica nel territorio di Chamois.

5.2.2 Profili di produzione da fonti rinnovabili

Gli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili situati nel territorio di Chamois sono stati estratti dal portale del GSE Atlaimpianti in [23]. Complessivamente si trovano:

1. *Impianto di produzione di energia elettrica*, ripartiti in:
 - 1 impianto idroelettrici ad acqua fluente;
 - 4 impianti solare fotovoltaico.

Il calcolo dei valori di produzione annuali, mensili e giornalieri è stato eseguito mediante l'applicazione di modelli diversi a seconda della tipologia di impianto.

Impianti idroelettrici ad acqua fluente

La figura (5.42) riporta la produzione elettrica annua dell'unico impianto idroelettrico presente, ed è stata calcolata mediante la formula seguente:

$$E_{elettrica}^{annua} = P * h_{eq} \quad (5.11)$$

Dove:

- $E_{elettrica}^{annua}$ è la produzione annua di energia elettrica, in $[kWh_{el}/a]$;
- P è la potenza nominale installata, in $[kW]$;
- h_{eq} è il numero di ore equivalenti, che per tale sistema è assunto pari a 1150 h/a.

Non è stato possibile ottenere i valori di produzione elettrica mensile, giornaliera ed oraria, in quanto non sono stati forniti né dati specifici riguardo esso né un profilo rappresentativo di un impianto ad acqua fluente esistente nel territorio.

Fonte	Regione	Comune	Indirizzo	Potenza nominale [kW]	N° ore equivalenti [h/a]	Produzione elettrica annua [MWh/a]
Idraulica	Valle d'Aosta	Chamois	Frazione Corgnolaz	65	3000	195

Figura 5.42: L'impianto idroelettrici ad acqua fluente a Chamois. Fonte: Elaborazione personale

Impianti solare fotovoltaico

In primo luogo si è fatta la distinzione in due classi tra gli impianti domestici, con potenza

< 3kW, e quelli non domestici con potenza > 3kW. Nota la potenza nominale di ciascun impianto da Atlaimpianti ([23]), viene calcolata per entrambe le classi, e per ciascun sistema, la produzione elettrica annua mediante l'equazione (5.12); figura (5.43).

$$E_{elettrica}^{annua} = P_{tot} * h_{eq} \quad (5.12)$$

- $E_{elettrica}^{annua}$ è la produzione annua di energia elettrica, in $[MWh_{el}/a]$;
- P è la somma di tutte le potenze nominali installate, in $[kW]$;
- h_{eq} è il numero di ore equivalenti, che per tale sistema è assunto pari a 1150 h/a.

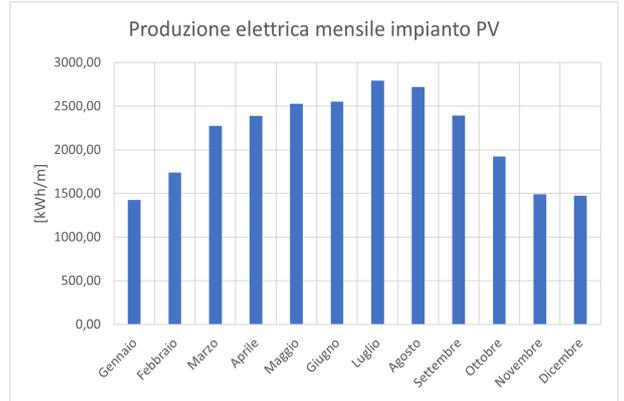
Fonte	Regione	Comune	Potenza nominale [kW]	Indirizzo	N°ore equivalenti [h/a]	Somma potenze [kW]	Produzione elettrica annua [MWh/a]
Solare	Valle d'Aosta	Chamois	1,32	NA	1150	22,35	25,70
Solare	Valle d'Aosta	Chamois	2,15	Frazione Corgnolaz			
Solare	Valle d'Aosta	Chamois	6	Frazione Liusse 18			
Solare	Valle d'Aosta	Chamois	12,88	Frazione Liusse 2			

Figura 5.43: *L'impianto fotovoltaico di Chamois e la sua produzione elettrica annua. Fonte: Elaborazione personale*

Successivamente la produzione elettrica mensile è stata ricavata sfruttando il PVGIS europeo in [17] inserendo come input le coordinate geografiche del Comune e la potenza totale derivata dall'impianto. Il sistema informativo fornisce come output la produzione elettrica teorica in ogni mese e dividendo ognuna per la produzione annuale teorica E_{mt} si ottiene il loro valore percentuale sul totale (%). Moltiplicando quest'ultimo per i valori teorici mensili si ottiene l'ammontare reale dell'elettricità prodotta mensilmente E_m . La figura (5.44) mostra quanto detto.

	Energia mensile teorica E _m [kWh/m]	%	Produzione elettrica annua [kWh/a]	Energia mensile E _m [kWh/m]
Gennaio	1722,28	6%	25702,50	1424,39
Febbraio	2104,37	7%		1740,39
Marzo	2748,66	9%		2273,24
Aprile	2890,17	9%		2390,27
Maggio	3057,76	10%		2528,87
Giugno	3083,81	10%		2550,42
Luglio	3379,52	11%		2794,98
Agosto	3286,63	11%		2718,16
Settembre	2892,68	9%		2392,35
Ottobre	2324,93	7%		1922,80
Novembre	1804,56	6%		1492,43
Dicembre	1782,53	6%		1474,21
Totale	31077,9	100%		25702,50

(a)



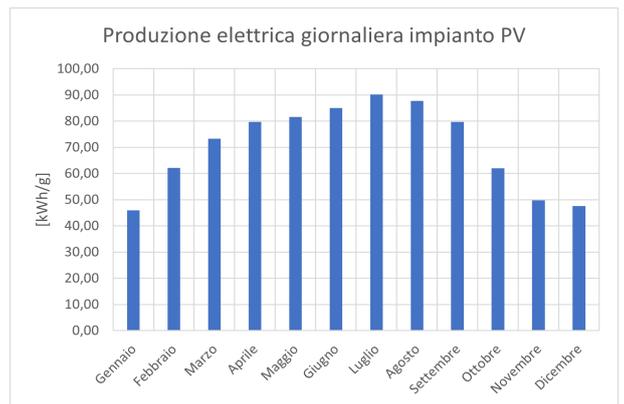
(b)

Figura 5.44: Produzione elettrica mensile dell'impianto fotovoltaico (CH). Fonte: Elaborazione personale

Dividendo i valori mensili per il numero dei giorni di ogni mese si ottiene la produzione elettrica giornaliera, in figura (5.45).

	Energia mensile E _m [kWh/m]	N° giorni mese	Energia elettrica giornaliera E _{gg} [kWh/m]
Gennaio	1424,39	31	45,95
Febbraio	1740,39	28	62,16
Marzo	2273,24	31	73,33
Aprile	2390,27	30	79,68
Maggio	2528,87	31	81,58
Giugno	2550,42	30	85,01
Luglio	2794,98	31	90,16
Agosto	2718,16	31	87,68
Settembre	2392,35	30	79,74
Ottobre	1922,80	31	62,03
Novembre	1492,43	30	49,75
Dicembre	1474,21	31	47,56

(a)



(b)

Figura 5.45: Produzione elettrica giornaliera dell'impianto fotovoltaico (CH). Fonte: Elaborazione personale

5.2.3 Profili di producibilità elettrica da fonti rinnovabili

La producibilità da *solare fotovoltaico* è stata valutata ipotizzando di installare un impianto fotovoltaico sul tetto di 2 edifici comunali che rispettano i requisiti descritti nel capitolo 4. Riprendendoli, sono stati quindi scelti in base a :

- Area del tetto disponibile $> 50 \text{ m}^2$. A riguardo il Comune di La Salle ha riferito che la legge in Valle d'Aosta prevede la copertura di al massimo il 50% dell'area totale del tetto;
- Altezza dell'edificio $> 3.5\text{m}$;
- Orientamento verso la direzione Sud. Ricavato mediante il comando Aspect di ArcGIS;
- Pendenza dei tetti compresa tra i 20 deg e i 45 deg. Ricavata mediante il comando Slope di ArcGIS;
- Esclusione dei valori di irraggiamento annui $< 1200 \text{ kWh/ m}^2$;
- Assenza di elementi disturbanti sui tetti.

Gli immobili che possiedono queste caratteristiche e al tempo stesso appartengono al Comune non sono molti. I tetti sono a falda. Gli unici idonei sono:

- Municipio di Chamois;
- Azienda agricola Crépin.

Ogni impianto presenta una potenza nominale di picco installata, data dalla seguente formula:

$$P_N = N_{\text{pannelli}} * 0.23 \quad (5.13)$$

Dove:

- P_N è la potenza nominale di picco dell'impianto, in kW;
- 0.23 è la potenza del singolo pannello, in kW;
- N_{pannelli} è il numero totale dei pannelli presenti, calcolato dividendo l'area disponibile del tetto per l'area del singolo pannello (di lunghezza 1m e altezza 1.7m).

Di seguito vengono caratterizzati quantitativamente gli impianti progettati per ogni struttura.

Municipio di Chamois

Situato nel centro del paese, ha i requisiti necessari per un sistema fotovoltaico, malgrado il suo orientamento ad est non sia ottimale; viene comunque considerata questa porzione di tetto; in figura (5.46) e nelle tabelle (5.20) e (5.21).



Figura 5.46: *Municipio di Chamois. Google Earth.*

Parametro	Valore	Unità di misura
Lunghezza	5	[m]
Larghezza	11	[m]
Area totale	124	[m ²]
Area disponibile	62	[m ²]
Larghezza disponibile	5	[m]
Lunghezza disponibile	11	[m]
Inclinazione del tetto	35°	[deg]
Azimuth	-15°	[deg]

Tabella 5.20: *Municipio di Chamois - tetto. Fonte: Elaborazione personale*

Nota la geometria della copertura per i pannelli, si calcolano i parametri geometrici in figura (??). I pannelli sono così progettati:

Pannelli PV	Valore	Unità di misura
Altezza del pannello	1.7	[m]
Larghezza del pannello	1.0	[m]
Area del pannello	1.7	[m ²]
Potenza del singolo pannello	0.23	[kWp]
1 kWp	1.0	[kW]
1 kWp = n pannelli	4.0	[-]
Area totale pannelli	6.8	[m ²]
Totale pannelli	36	[-]
Potenza totale dell'impianto	8.28	[kWp]

Tabella 5.21: *Municipio di Chamois - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale*

Azienda agricola Crépin

Il dimensionamento è riportato in figura (5.47) e nelle tabelle (5.22) e (5.23).

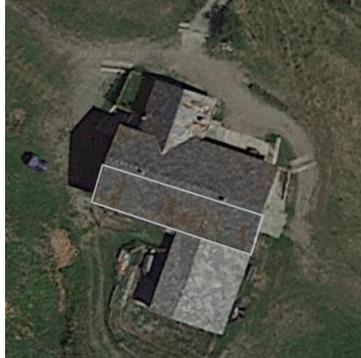


Figura 5.47: Azienda agricola Crépin. Google Earth.

Parametro	Valore	Unità di misura
Lunghezza	5.50	[m]
Larghezza	25.5	[m]
Area totale	140	[m ²]
Area disponibile	70	[m ²]
Larghezza disponibile	4	[m]
Lunghezza disponibile	17	[m]
Inclinazione del tetto	25°	[deg]
Azimuth	-40°	[deg]

Tabella 5.22: Azienda agricola Crépin - tetto. Fonte: Elaborazione personale

Nota la geometria della copertura per i pannelli, si calcolano i parametri geometrici in figura (??). I pannelli sono così progettati:

Pannelli PV	Valore	Unità di misura
Altezza del pannello	1.7	[m]
Larghezza del pannello	1.0	[m]
Area del pannello	1.7	[m ²]
Potenza del singolo pannello	0.23	[kWp]
1 kWp	1.0	[kW]
1 kWp = n pannelli	4	[-]
Area totale pannelli	6.8	[m ²]
Totale pannelli	41	[-]
Potenza totale dell'impianto	9.43	[kWp]

Tabella 5.23: Azienda agricola Crépin - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale

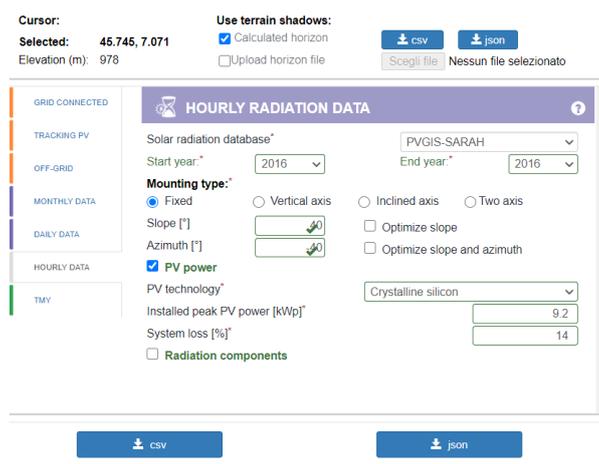


Figura 5.48: Simulazione della producibilità oraria con PVGIS. Fonte: Elaborazione personale

Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10

Figura 5.49: Giorni medi di Duffie - Beckman. Fonte: articolo in [11]

Una volta completato il dimensionamento, nel PVGIS ([17], figura (5.48)) viene effettuata una simulazione che permette di ricavare la producibilità oraria 24/24h dell'impianto designato in ogni giorno dell'anno. I dati di input sono:

- Solar radiation database: PVGIS - Sarah;
- Tecnologia PV: Silicio cristallino;
- Potenza di picco installata, in [kWp];
- Perdite del sistema: ipotizzate del 14%;
- Posizione di montaggio: indipendente;
- Pendenza e Azimuth.

L'output è scaricabile direttamente nel formato .csv, pertanto è lavorabile con Microsoft Excel. A questo punto, conoscendo il dato orario, è possibile ottenere il dato giornaliero, mensile ed annuale. Per la rappresentazione dei profili di producibilità elettrica oraria sono stati presi valori medi stagionali, ovvero uno ciascuno per l'inverno, la primavera, l'estate e l'autunno. Un altro metodo per rappresentare questi profili è considerare esclusivamente i profili nei giorni medi mensili di Duffie-Beckman ([11]), tuttavia è meno reale e rappresentativo del precedente. Tutti i giorni medi sono in figura (5.49). Si procede con l'illustrazione dei profili per ogni stabile considerato. In tutti i casi il potenziale energetico è massimo nelle ore diurne, ossia in presenza della luce del Sole.

Municipio di Chamois

- Producibilità totale annua = 2395.15 kWh/a;
- Producibilità mensile e giornaliera (figura (5.50)):

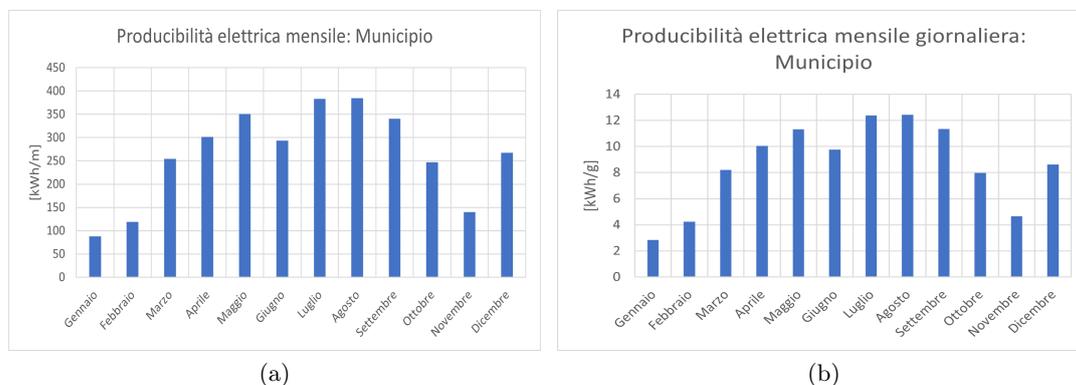


Figura 5.50: *Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Municipio di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

- Producibilità elettrica oraria (figura (5.51)):

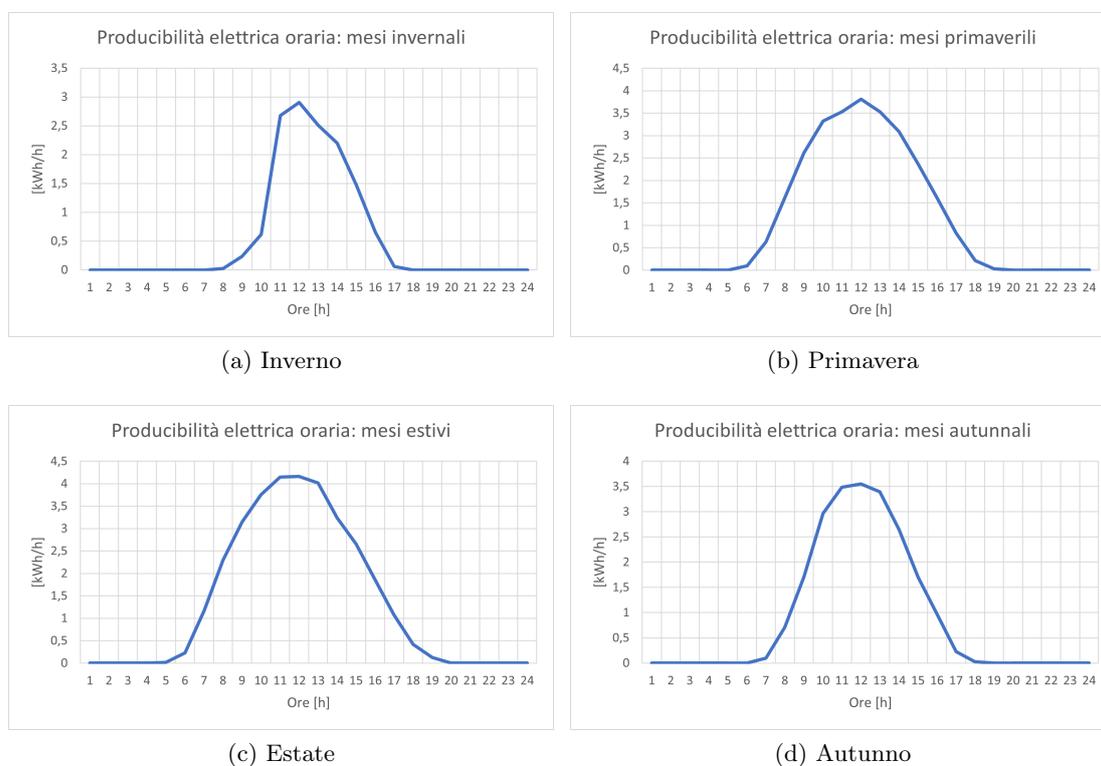


Figura 5.51: *Producibilità elettrica oraria. Municipio di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Azienda agricola Crépin

- Producibilità totale annua = 3800 kWh/a;
- Producibilità mensile e giornaliera (figura (5.52)):

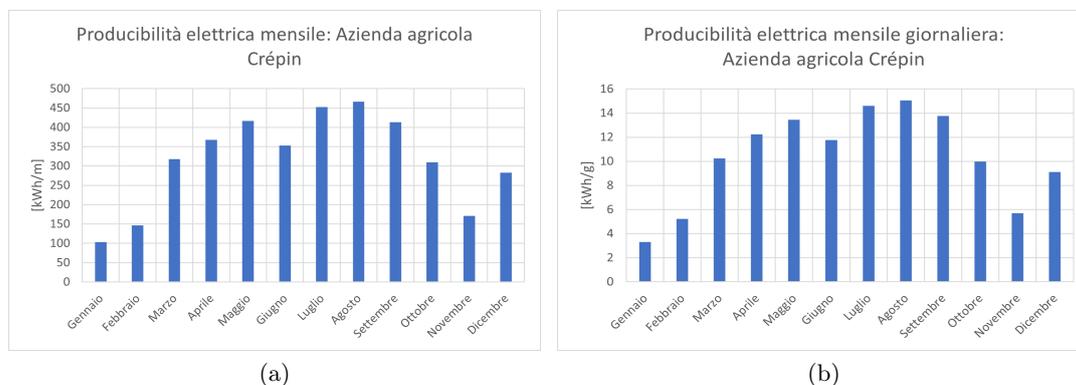


Figura 5.52: *Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Azienda agricola Crépin. Fonte: Elaborazione personale*

- Producibilità elettrica oraria (figura (5.53)):

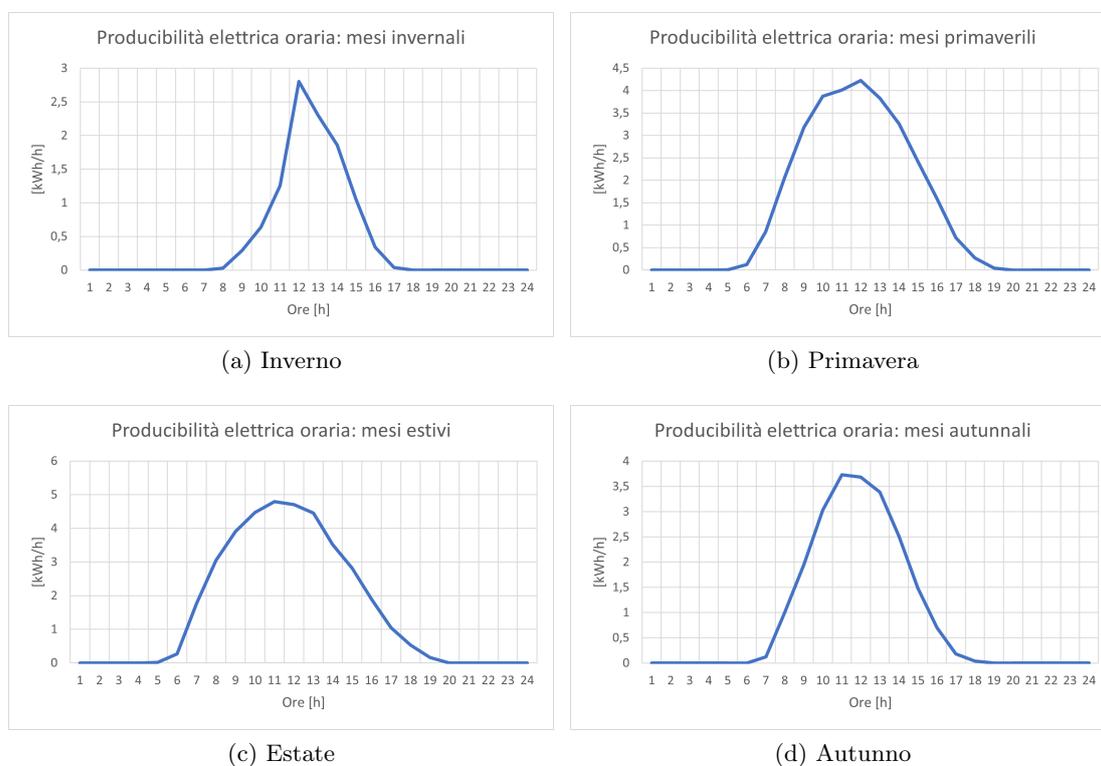


Figura 5.53: *Producibilità elettrica oraria. Azienda agricola Crépin. Fonte: Elaborazione personale*

Capitolo 6

Bilancio energetico

Il bilancio energetico, riferito esclusivamente alla componente elettrica dell'energia, ha lo scopo di confrontare i consumi con la producibilità elettrica ed è stato fatto mediante l'uso di Microsoft Excel. I soggetti coinvolti nel bilancio sono i seguenti:

- Prosumer: sia consumatori che produttori di energia, ovvero le utenze per cui è stata ipotizzata anche l'installazione di un impianto fotovoltaico;
- Consumer: utenze per cui sono noti solo i consumi di elettricità. Tra queste si individuano alcuni edifici comunali, un'utenza domestica tipo valida per tutti gli edifici residenziali e il dato relativo all'illuminazione pubblica, qualora presente.

Per ciascuna entità viene redatto un proprio bilancio in modo da poterle raggruppare al fine di fornire una visione d'insieme del territorio analizzato a scale temporali differenti: annuale, mensile e oraria.

Unitamente ai grafici che rappresentano quanto detto, sono stati calcolati alcuni parametri utili per definire una comunità energetica.

1. *Producibilità elettrica da solare fotovoltaico (P)*;
2. *Consumo elettrico (C)*;
3. *Consumo totale (TC)*: la somma dei consumi;
4. *Producibilità totale (TP)*: la somma della producibilità elettrica;
5. *Autoconsumo (S)*: Il GSE in [24] definisce l'autoconsumo, calcolato su base oraria, come la possibilità di consumare in loco, ad esempio nella propria abitazione, in ufficio o in uno stabilimento produttivo, l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico per far fronte ai propri fabbisogni energetici. Analiticamente è ricavato imponendo alla base un'ipotesi :

$$\text{if } P - C \leq 0 \text{ then } S = P \text{ else } S = C \quad (6.1)$$

In alternativa, si può dedurre come la differenza tra il consumo e la domanda di energia non coperta UD, sempre su base oraria.

6. *Over-production (OP)*: secondo l'articolo [39], è un parametro che indica l'eccesso di produzione rispetto al fabbisogno energetico del soggetto, calcolabile con un costrutto 'if-then-else':

$$\text{if } P - C \leq 0 \text{ then } OP = 0 \text{ else } OP = P - C \quad (6.2)$$

7. *Uncovered-demand (UD)*: secondo l'articolo [39], rappresenta la quota di energia non coperta dalla produzione elettrica. Come è nei due casi precedenti si adopera la condizionale:

$$\text{if } P - C \leq 0 \text{ then } UD = C - P \quad (6.3)$$

8. *Autoconsumo collettivo (CSC)*: secondo l'articolo [39], è definito come il minimo tra la somma dell'energia elettrica effettivamente immessa e la somma dell'energia elettrica prelevata dalla rete, misurato in [kWh]: In formule si ha:

$$CSC = \min(OP : UD) \quad (6.4)$$

9. *Indice di autosufficienza (SSI)*: è il rapporto tra l'energia prodotta e autoconsumata dagli utenti sul totale della domanda di energia di tutti i membri della REC. Adimensionale, ha un valore compreso tra [0:1].

$$SSI = \frac{S + CSC}{TC} \quad (6.5)$$

10. *Indice di autoconsumo (SCI)*: è definito come il rapporto tra l'energia prodotta e autoconsumata dagli utenti sul totale della produzione di energia di tutti gli impianti a fonte rinnovabili. Adimensionale, ha un valore compreso tra [0:1].

$$SCI = \frac{S + CSC}{TP} \quad (6.6)$$

Tutti i parametri sopra citati sono stati calcolati su base oraria, per ogni giorno dell'anno, e successivamente si sono ricavati i corrispondenti valori giornalieri, mensili e annuali. Inoltre talvolta è utilizzato il termine produzione ma va sempre inteso come producibilità elettrica da solare fotovoltaico.

6.1 La Salle

Il punto di partenza per definire il bilancio è confrontare i dati annuali di consumo e producibilità elettrica da solare fotovoltaico, come mostrato in figura (6.1): le utenze esaminate sono gli edifici comunali, l'illuminazione pubblica (IP) e i soggetti residenziali, i cui consumi sono stati descritti nel capitolo 5. Tale approccio è stato usato anche per i bilanci su scala mensile e oraria.

	[MWh/y]		[MWh/y]
Consumi elettrici totale municipale	159,61	Consumi elettrici sole utenze prosumer	86,12
Consumi elettrici residenziali (1 utente)	2,02	Producibilità energia elettrica	52,93
Producibilità energia elettrica	52,93		

(a)

Figura 6.1: *Bilancio energetico annuale di La Salle: utenze municipali, IP, utenze residenziali e soli prosumer. Fonte: Elaborazione personale*

I soggetti prosumer si ricordano essere:

- Scuole del Capoluogo; in Via Colomba 20 (La Salle);
- Municipio; in Via Col Serene 9 (La Salle);
- Scuole Frazione Derby; in Frazione Derby 295 (La Salle);
- Casermette di Derby; in Frazione Derby 3 (La Salle).

Dai risultati ottenuti si nota come i consumi elettrici siano maggiori rispetto ai valori di producibilità elettrica principalmente nei mesi invernali, e possono anche crescere a seconda del numero di utenze domestiche che decidono di entrare nella REC. Tuttavia è nei mesi primaverili ed estivi che la producibilità elettrica da solare fotovoltaico ha un grande potenziale. Il bilancio energetico mensile è raffigurato in figura (6.2), mentre il bilancio per i soli prosumer è in figura (6.3).

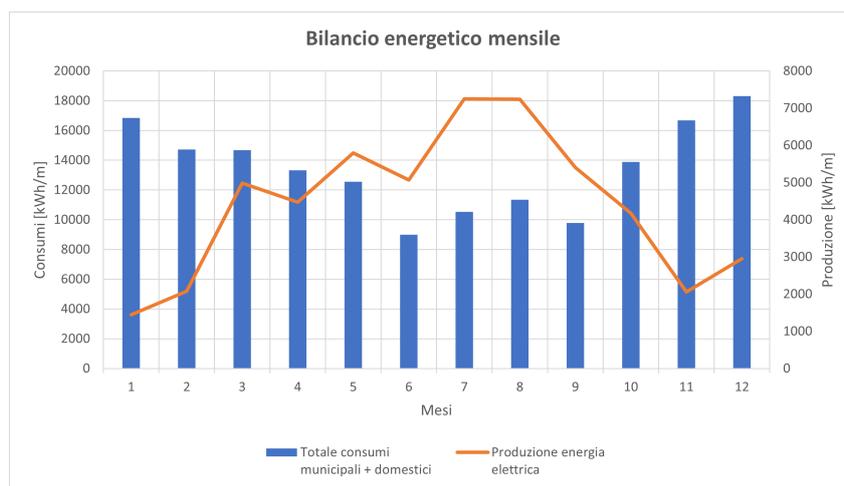


Figura 6.2: *Bilancio energetico mensile di La Salle: utenze municipali, IP, utenze residenziali.*
 Fonte: *Elaborazione personale*

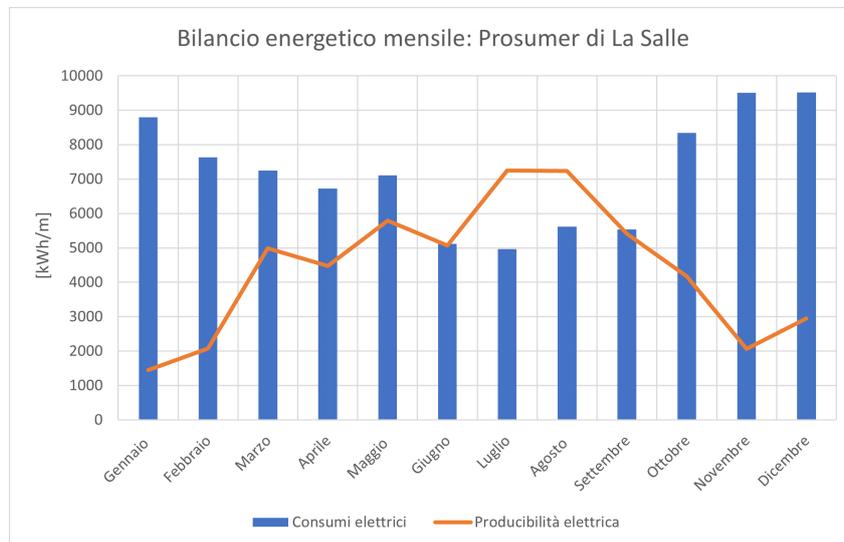
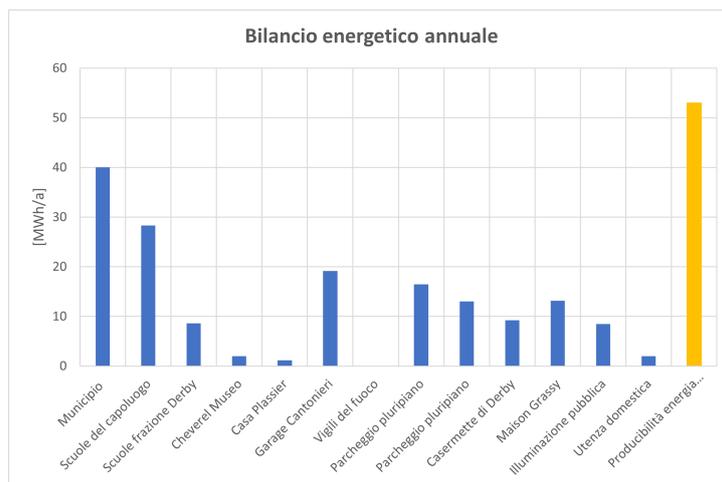
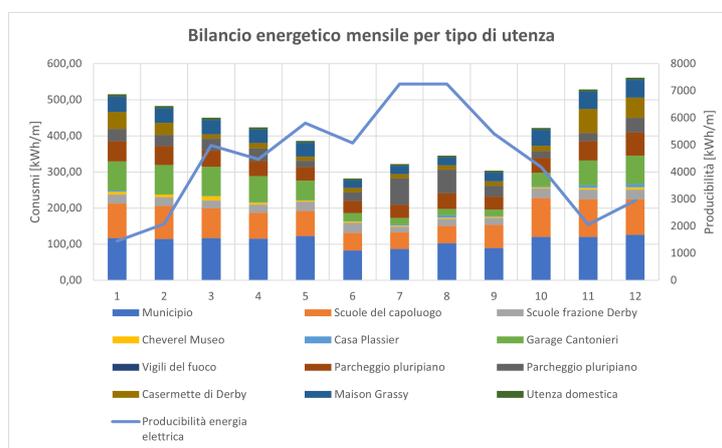


Figura 6.3: *Bilancio energetico mensile di La Salle: utenze prosumer.* Fonte: *Elaborazione personale*

Per completezza, si riportano i bilanci raggruppati per tipo di utenza in figura (6.4).



(a) Bilancio annuale



(b) Bilancio mensile

Figura 6.4: *Bilancio energetico per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale*

6.1.1 Bilancio energetico: singoli prosumer

La trattazione del bilancio energetico esamina i risultati ottenuti per i singoli utenti su scala oraria, con il fine di caratterizzare i successivi scenari di comunità energetica scelti per l'analisi. Il confronto consumi/produzione per i soggetti prosumer viene illustrato su scala mensile in figura (6.5) e per i giorni tipo caratteristici per le stagioni, nelle figure (6.6), (6.7), (6.8) e (6.9).

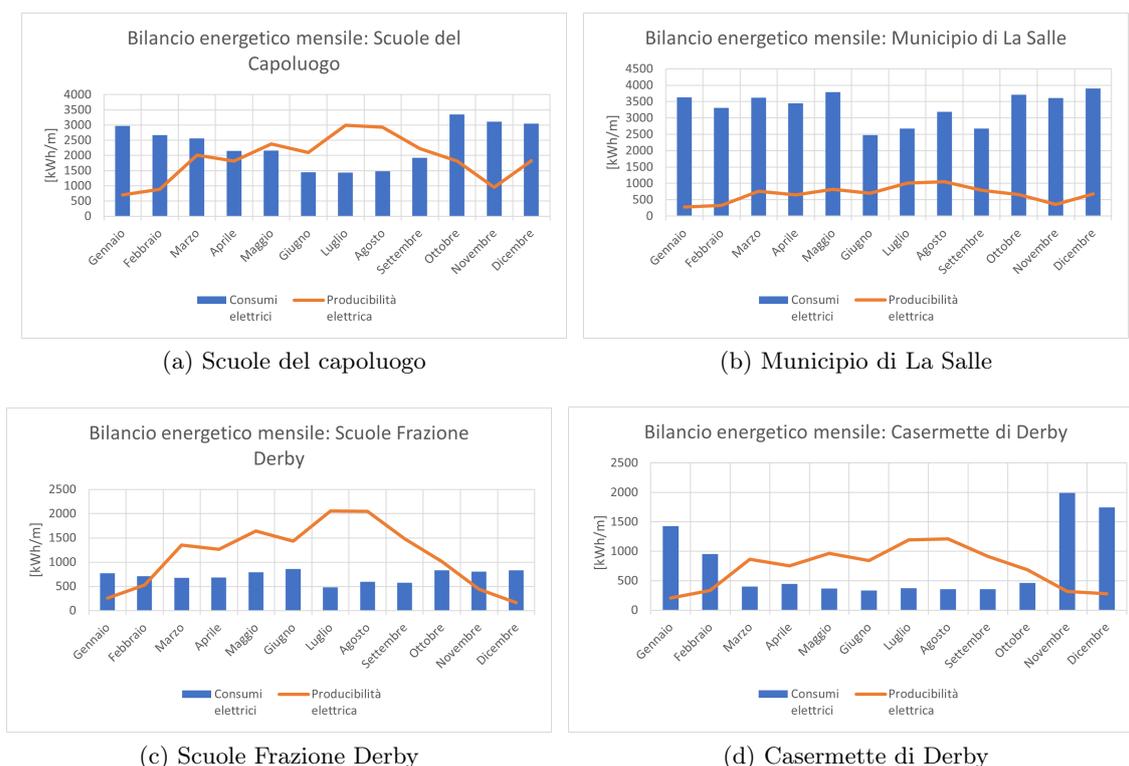


Figura 6.5: *Bilancio energetico mensile delle utenze prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Dai tali grafici si ha la conferma di quanto precedentemente detto riguardo il maggior potenziale da solare fotovoltaico nei mesi estivi, mentre il periodo invernale è il più critico per ciò che ne concerne la copertura del fabbisogno. Il Municipio rappresenta l'unica utenza per cui i consumi elettrici risultano sempre maggiori della producibilità elettrica durante tutto l'anno. Per comprendere in quali momenti si ha un eccesso di produzione, o viceversa, di energia elettrica, si prendono in esame i coefficienti di autoconsumo S , di eccesso di produzione OP e di domanda di energia non coperta UD , descritti nell'introduzione di questo capitolo (figura (6.10)). Il risultato è una maggiore quota di energia in extra produzione nei mesi estivi, correlata ai ridotti consumi e all'irradiazione solare superiore proprio in questo periodo. Questa energia in eccesso viene direttamente incentivata mediante il ritiro dedicato, come si approfondirà nel capitolo 7. Gli indicatori di performance SSI e SCI subiscono una forte cambiamento se si considera il singolo utente. Infatti, è nullo il termine relativo all'autoconsumo collettivo CSC , che assume un valore positivo solo in presenza di un'aggregato di membri quale una comunità energetica. Le

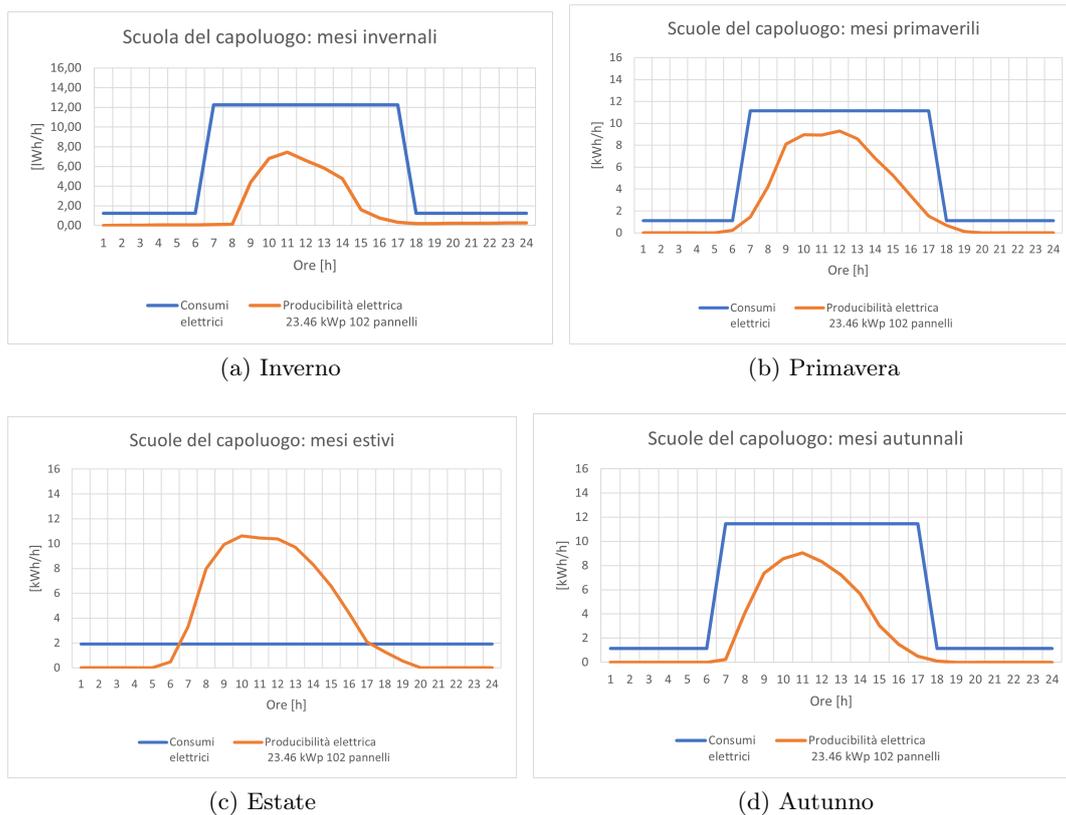


Figura 6.6: Bilancio energetico orario. Scuole del capoluogo. Fonte: Elaborazione personale

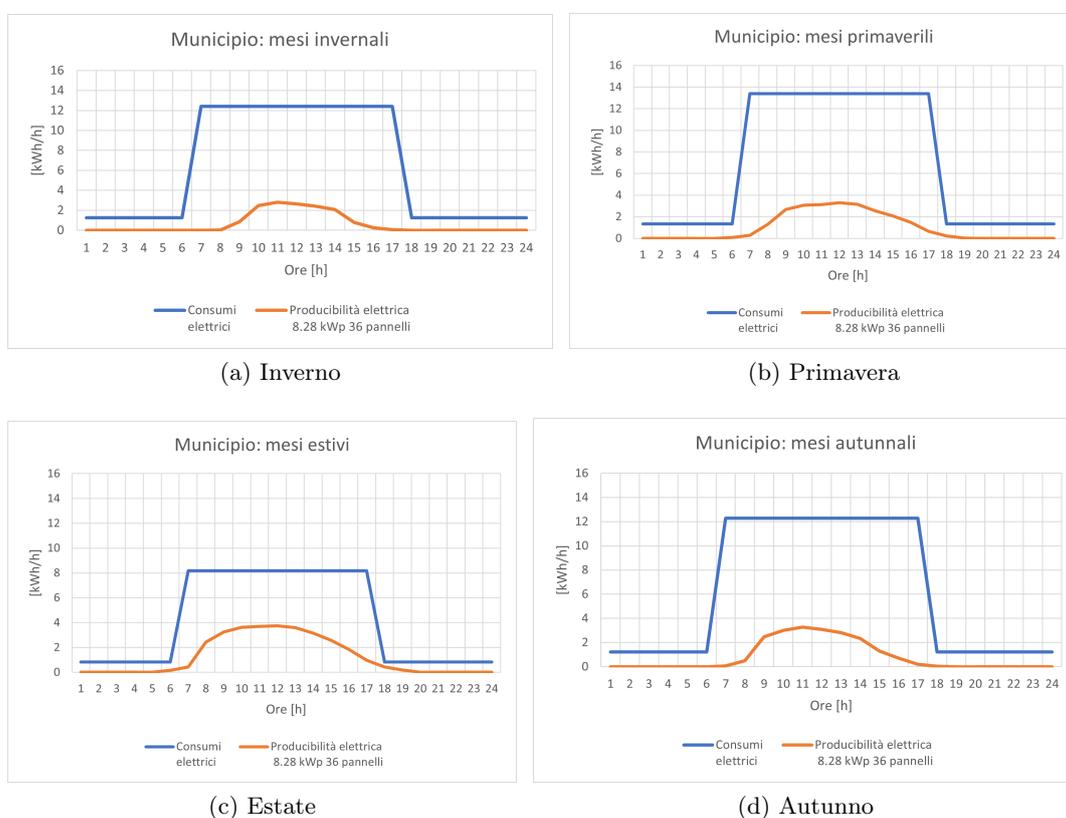


Figura 6.7: Bilancio energetico orario. Municipio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

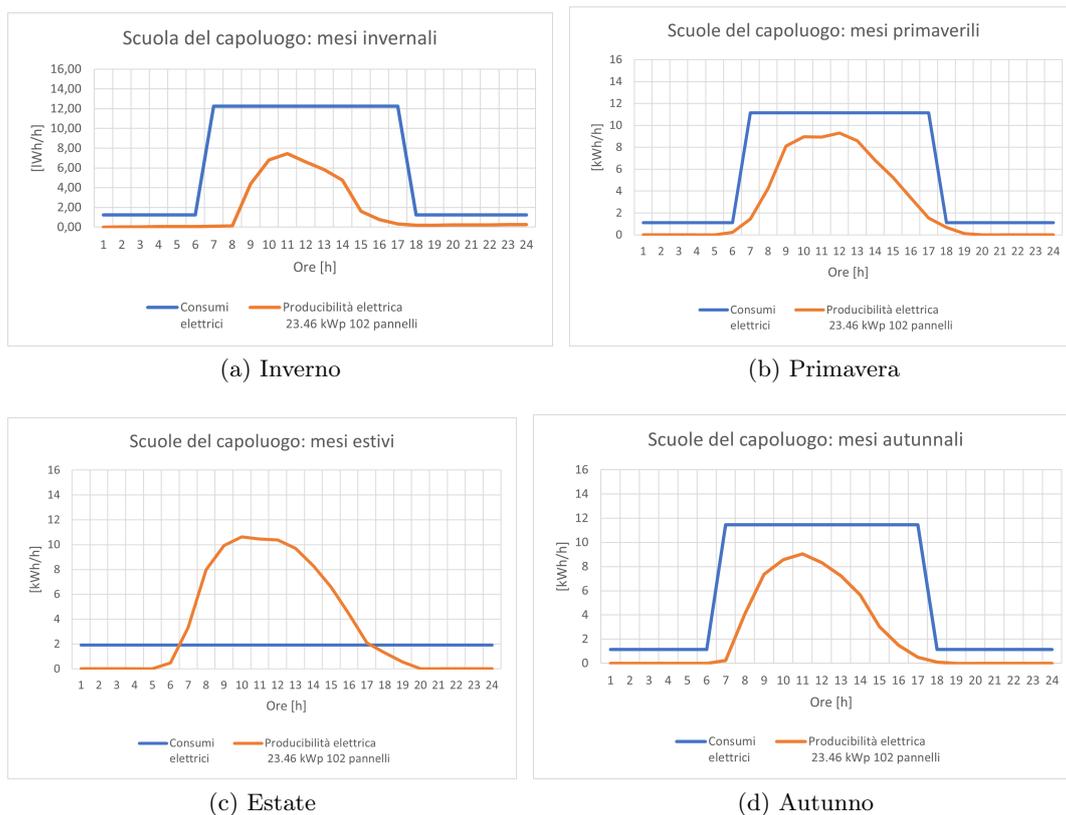


Figura 6.8: *Bilancio energetico orario. Casermette di Derby. Fonte: Elaborazione personale*

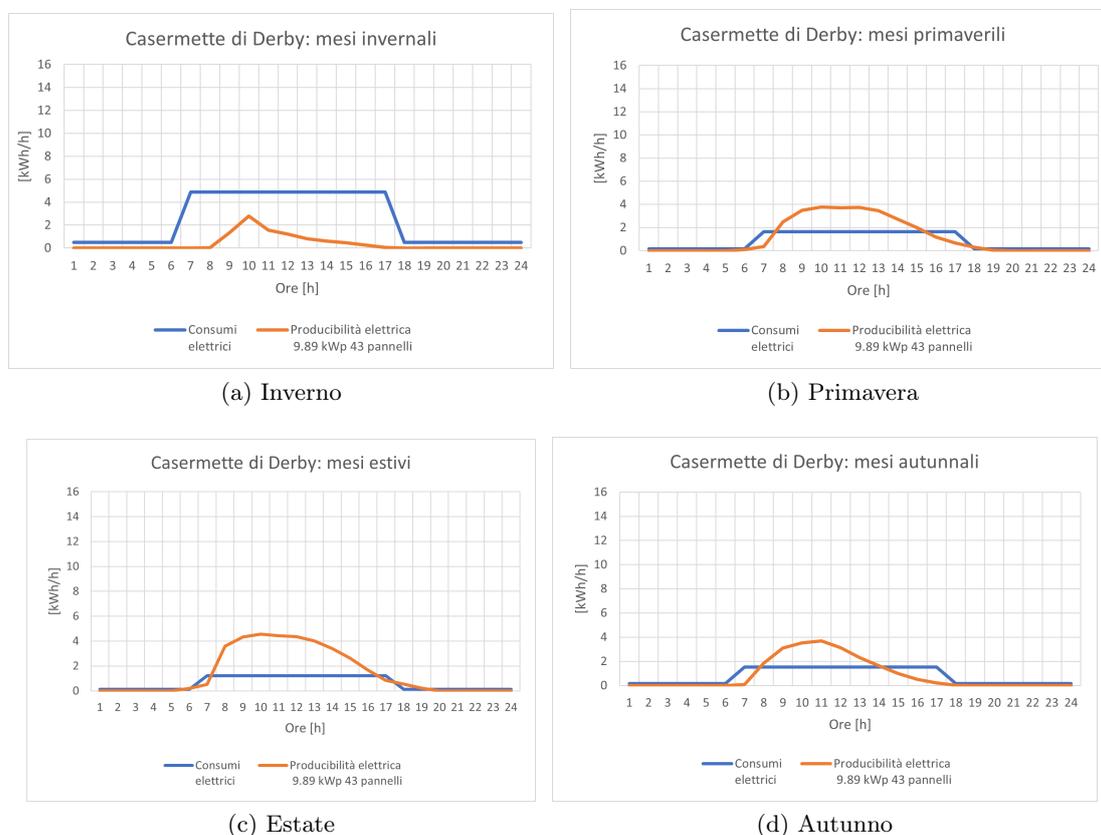


Figura 6.9: *Bilancio energetico orario. Scuole Frazione Derby. Fonte: Elaborazione personale*

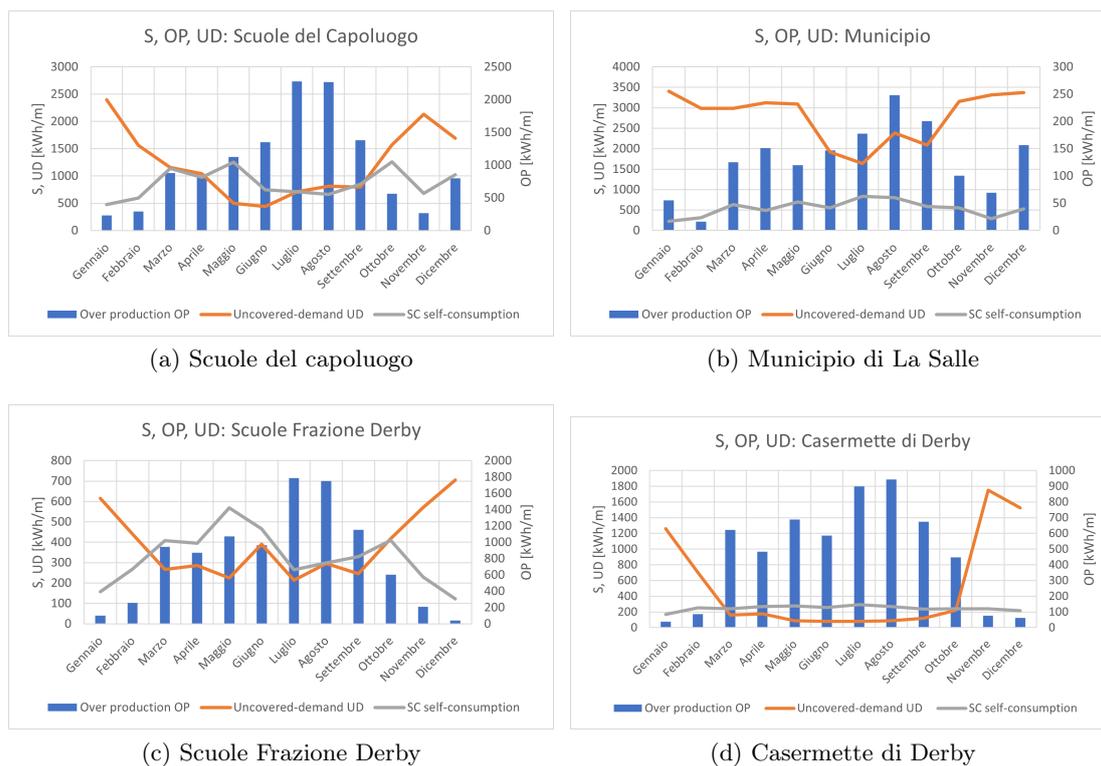


Figura 6.10: *Indici di bilancio energetico S, OP, UD per i prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

equazioni per l'indicatore di autosufficienza SSI e di autoconsumo SCI avranno quindi la seguente forma:

$$SSI = \frac{S}{TC} \quad (6.7)$$

$$SCI = \frac{S}{TP} \quad (6.8)$$

In figura (6.11) sono mostrati i valori annuali di questi indicatori per ogni utenza. Come è possibile dedurre dal grafico, prese singolarmente le utenze non mostrano valori accettabili di autoconsumo e autosufficienza, pertanto si rende necessario ipotizzare uno scenario di comunità energetica che migliori questa situazione. Il paragrafo seguente analizza quindi le stesse tipologie di dati ma nel contesto di una REC, al fine di evidenziare le differenze dallo scenario dei singoli prosumer. Per dovere di cronaca, a riguardo delle utenze che si comportano da soli consumatori, tutti i parametri ricavati per i prosumer sono nulli a causa dell'assenza di un'impianto di produzione di energia elettrica associato alla loro utenza.

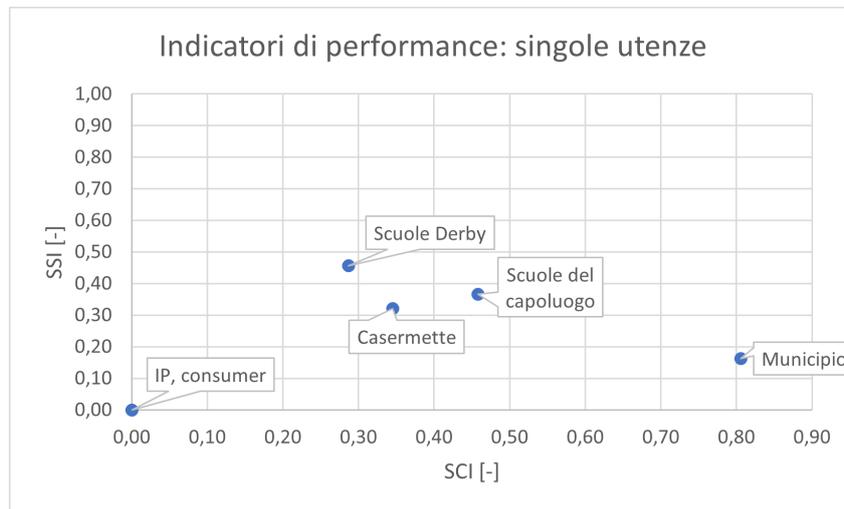
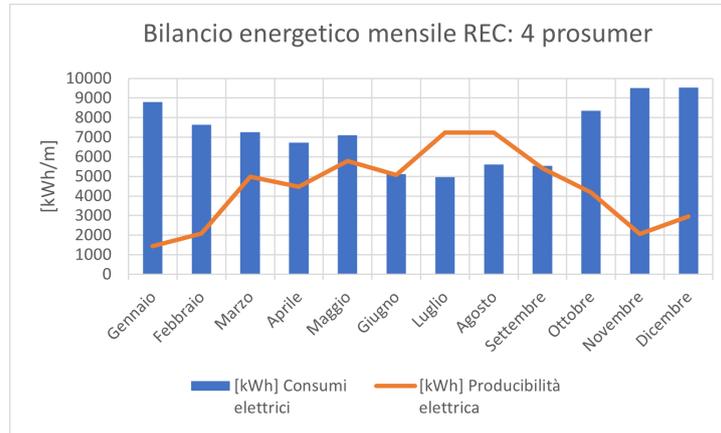


Figura 6.11: Indicatori SSI e SCI per le utenze di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

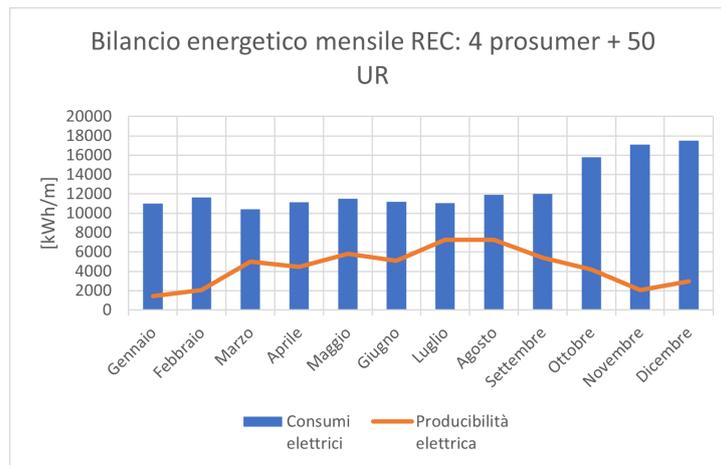
6.1.2 Bilancio energetico: comunità energetica

Gli scenari di comunità energetica scelti sono essenzialmente due (figura (6.12)):

- *REC dei soli utenti prosumer;*
- *REC composta dagli utenti prosumer più un certo numero di utenze residenziali.*



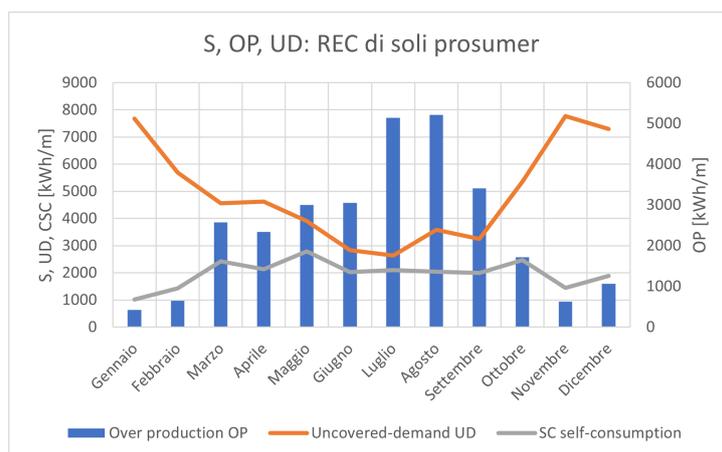
(a) REC: 4 prosumer



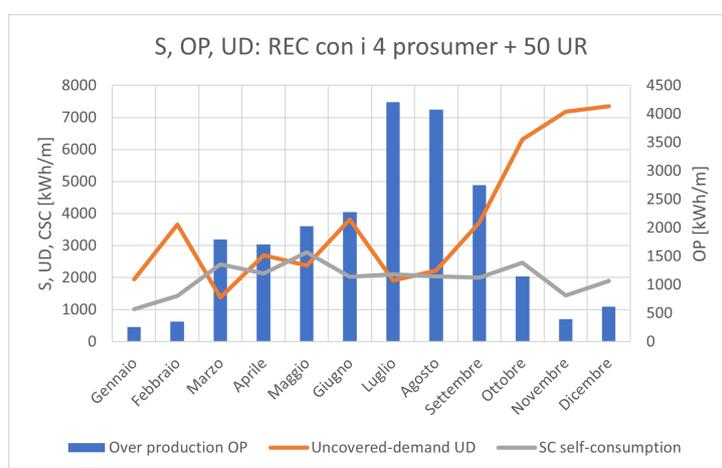
(b) REC: 4 prosumer + 50 UR

Figura 6.12: *Bilancio energetico dei due scenari REC per La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Partendo dal primo caso, dal grafico (6.13) si nota come aggregando più utenze tra loro aumenta la quota di energia condivisa, con una diretta implicazione per quanto riguarda gli indicatori di performance SSI e SCI, i quali assumono valori piuttosto elevati. In particolare, un indice di autoconsumo pari a 0.81 significa che quasi tutta l'energia prodotta all'interno della REC è utilizzata dagli stessi membri; inoltre se si tiene in esame, a titolo esemplificativo, la legislazione piemontese che prevede un SCI per una comunità energetica almeno del 70%, questo requisito è ampiamente superato. L'indice di autosufficienza al 49% dimostra come la REC sia in grado di soddisfare ben la metà del suo fabbisogno.



(a) REC: 4 prosumer



(b) REC: 4 prosumer + 50 UR

 Figura 6.13: S , OP , UD dei due scenari REC per La Salle. Fonte: Elaborazione personale

Si potrebbe aumentare ancora di più l'SCI ad esempio inserendo nella comunità un certo numero di utenze residenziale, tuttavia questo comporta anche una riduzione dell'autosufficienza. Il grafico a dispersione (6.14) illustra quanto detto, mentre la figura (6.15) confronta tali valori con quelli ottenuti nel caso dei singoli prosumer. La soluzione in questo caso ottimale è rappresentata dalla configurazione con i 4 prosumer più le 50 utenze residenziali: gli indici di autoconsumo e autosufficienza sono massimi, rispettivamente pari ad 1.00 e 0.35. Esaminando la REC fatta dai soli prosumer si ha un valore di SCI basso ($=0.59$) mentre con le 200 utenze residenziali diminuisce fortemente l'indice di autosufficienza.

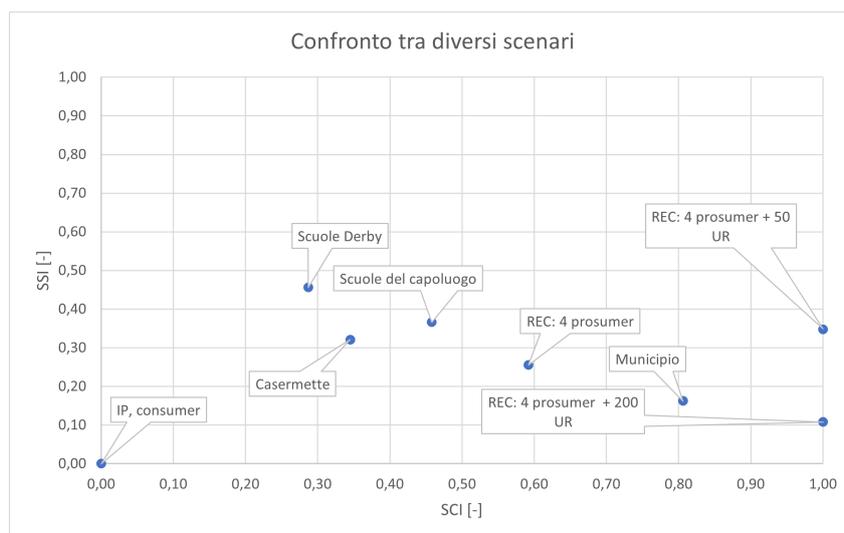


Figura 6.15: Confronto tra gli indicatori di performance per i diversi scenari di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

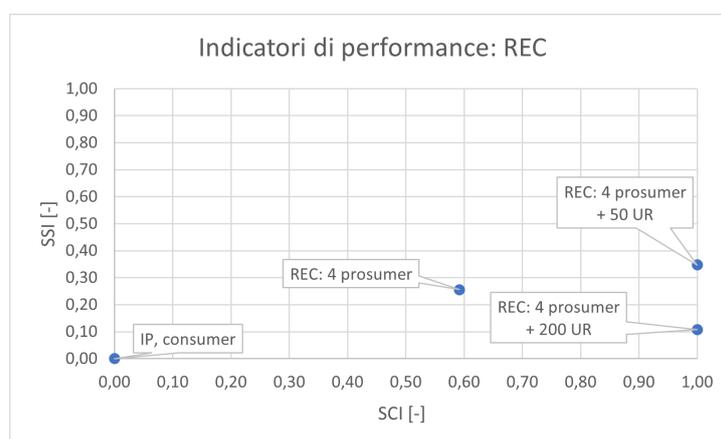


Figura 6.14: Indicatori di performance per gli scenari di REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

Il parametro che fa realmente differenza nell'ambito delle REC è la cosiddetta energia scambiata tra i membri CSC: si tratta della grandezza che viene incentivata dal GSE con la tariffa di 110 €/MWh + 8.22 €/MWh dovuti ai costi di trasmissione e trasmissione. In figura (6.16) si evidenzia come l'autoconsumo collettivo sia maggiore proprio nei mesi in cui c'è una maggior presenza di luce solare. Il CSC aumenta all'aumentare di membri della comunità, comportando una maggior incentivazione del progetto che però verrà studiata più approfonditamente nel capitolo successivo. In ogni caso l'autoconsumo collettivo potrà raggiungere al massimo un valore limite al di sopra del quale non può crescere poichè, per definizione, l'eccesso di produzione risulterà sempre inferiore alla domanda non coperta in ogni mese dell'anno.

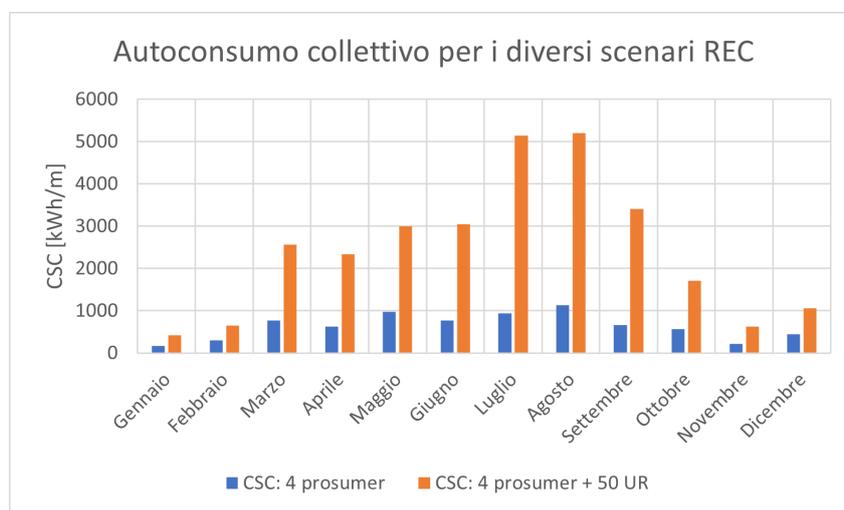


Figura 6.16: *Autoconsumo collettivo per i diversi scenari di REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

6.2 Chamois

Seguendo la metodologia utilizzata per il bilancio del comune di La Salle, anche per il paese di Chamois il punto di partenza è rappresentato dai dati annuali di consumo e producibilità elettrica da solare fotovoltaico, come mostrato in figura (6.17): le utenze esaminate sono gli edifici comunali, l'illuminazione pubblica (IP) e i soggetti residenziali, i cui consumi sono stati descritti nel capitolo 5. Tale approccio è stato usato anche per i bilanci su scala mensile e oraria.

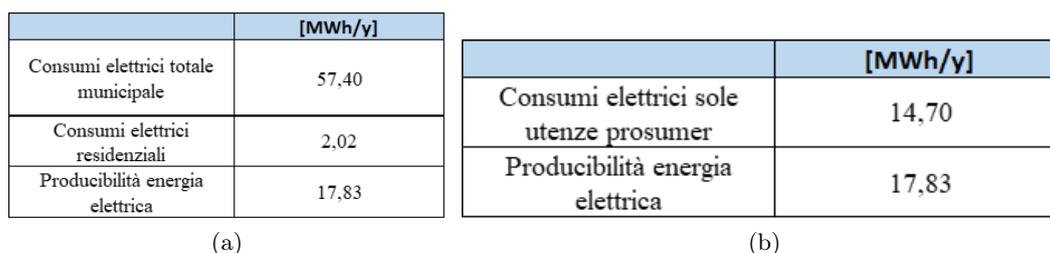


Figura 6.17: *Bilancio energetico annuale di Chamois: utenze municipali, IP, utenze residenziali e soli prosumer. Fonte: Elaborazione personale*

I soggetti prosumer si ricordano essere:

- Municipio; in Via Corgnolaz 11 (Chamois);
- Azienda agricola Crèpin, in Frazione Crèpin 1 (Chamois);

Dai risultati ottenuti si nota come i consumi elettrici sono molto maggiori rispetto ai valori di producibilità elettrica, e possono anche crescere a seconda del numero di utenze domestiche che decidono di entrare nella REC. La variabilità è deducibile dal bilancio energetico mensile, in cui si osservano i valori più elevati di consumo e di basso valore di producibilità durante i mesi invernali a causa di una minore disponibilità di luce solare; figura (6.18). Il bilancio per i soli prosumer è in figura (6.19).

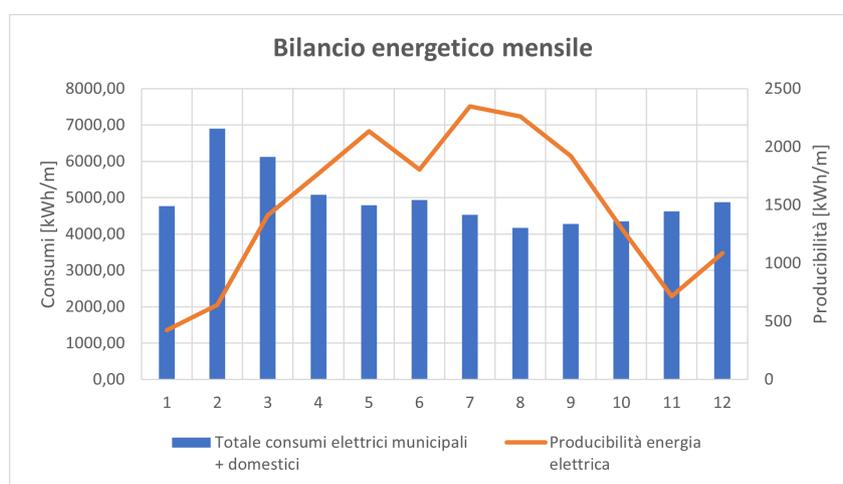


Figura 6.18: *Bilancio energetico mensile di Chamois: utenze municipali, IP, utenze residenziali. Fonte: Elaborazione personale*

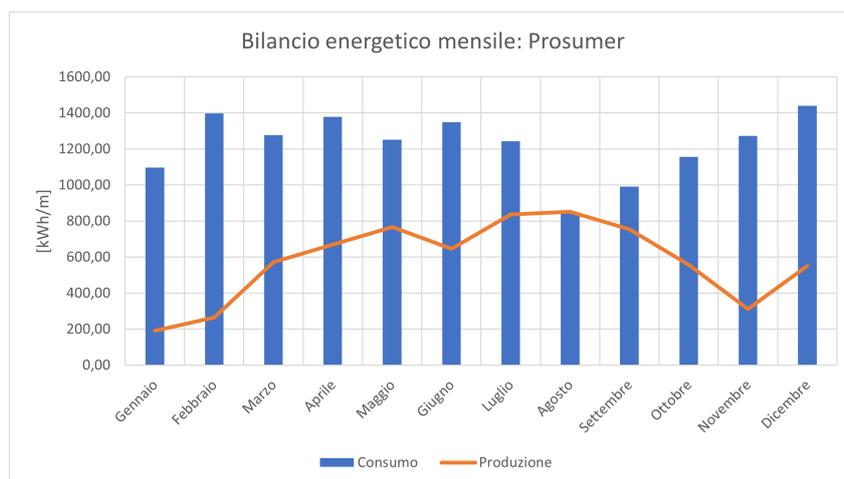
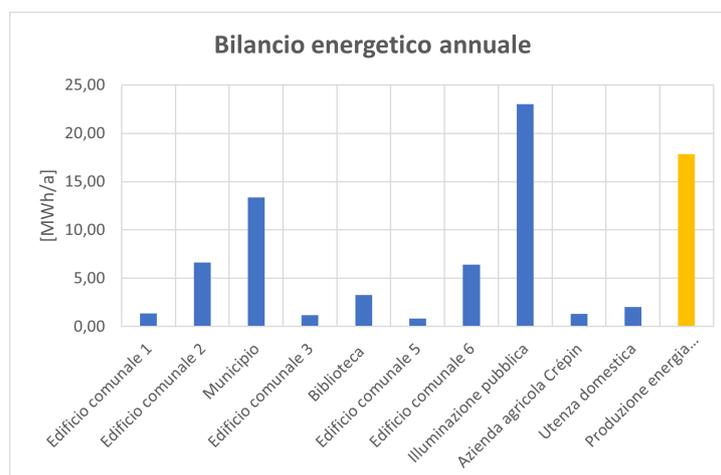
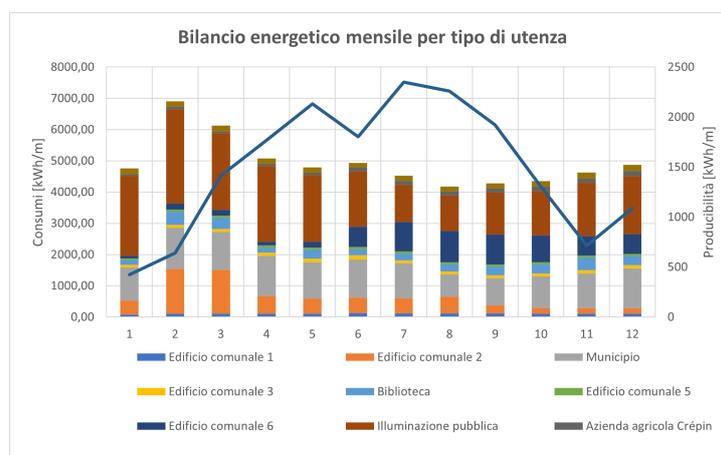


Figura 6.19: *Bilancio energetico mensile di Chamois: utenze prosumer. Fonte: Elaborazione personale*

Per completezza, si riportano i bilanci raggruppati per tipo di utenza in figura (6.20).



(a) Bilancio annuale



(b) Bilancio mensile

Figura 6.20: *Bilancio energetico per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale*

6.2.1 Bilancio energetico: singoli prosumer

La trattazione del bilancio energetico esamina i risultati ottenuti per i singoli utenti su scala oraria, con il fine di caratterizzare i successivi scenari di comunità energetica scelti per l'analisi. Il confronto consumi/produzione per i soggetti prosumer viene illustrato su scala mensile in figura (6.21) e per i giorni tipo caratteristici per le stagioni, nelle figure (6.22) e (6.23).

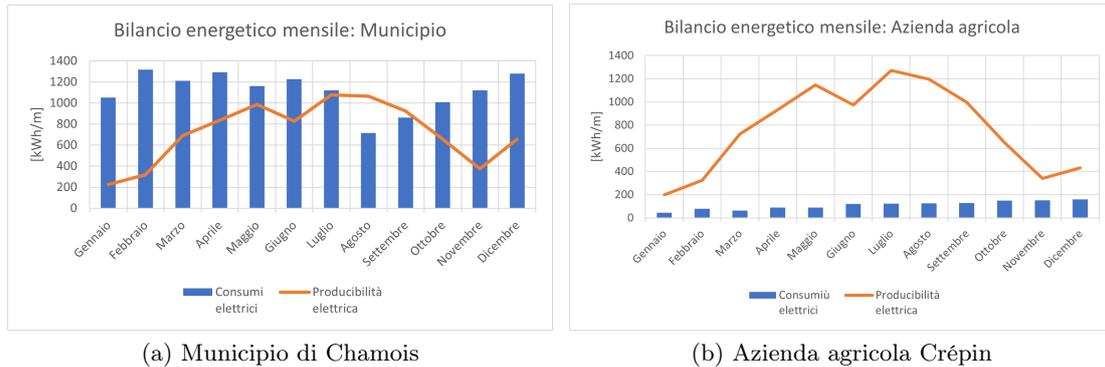


Figura 6.21: Bilancio energetico mensile delle utenze prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

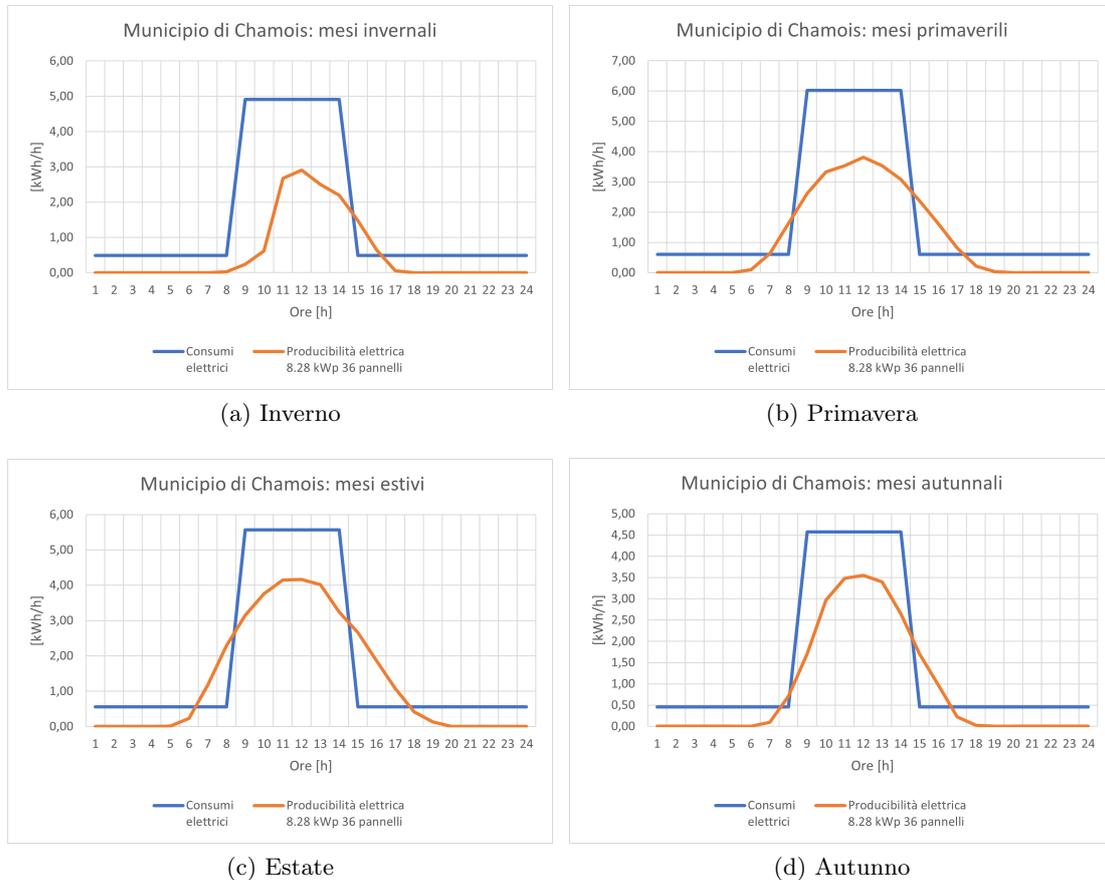


Figura 6.22: Bilancio energetico orario. Municipality di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

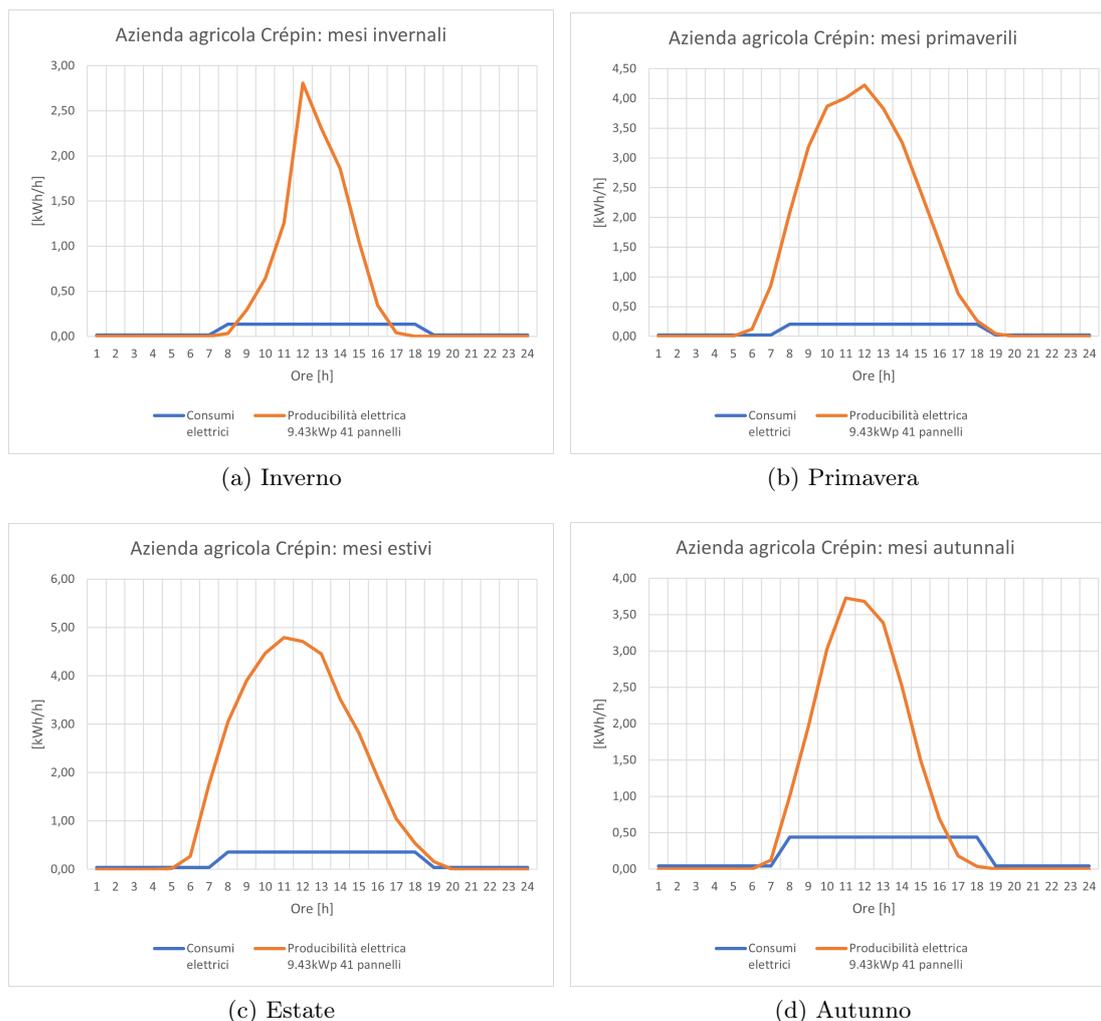


Figura 6.23: *Bilancio energetico orario. Azienda agricola Crépin. Fonte: Elaborazione personale*

Dai tali grafici si ha la conferma di quanto precedentemente detto riguardo il maggior potenziale da solare fotovoltaico nei mesi estivi, mentre il periodo invernale è il più critico per ciò che ne concerne la copertura del fabbisogno. Sfortunatamente nel caso del municipio, in ogni mese si ha una produzione elettrica inferiore al fabbisogno energetico. Per comprendere in quali momenti si ha un eccesso di produzione, o viceversa, di energia elettrica, si prendono in esame i coefficienti di autoconsumo S , di eccesso di produzione OP e di domanda di energia non coperta UD , descritti nell'introduzione di questo capitolo (figura (6.24)).

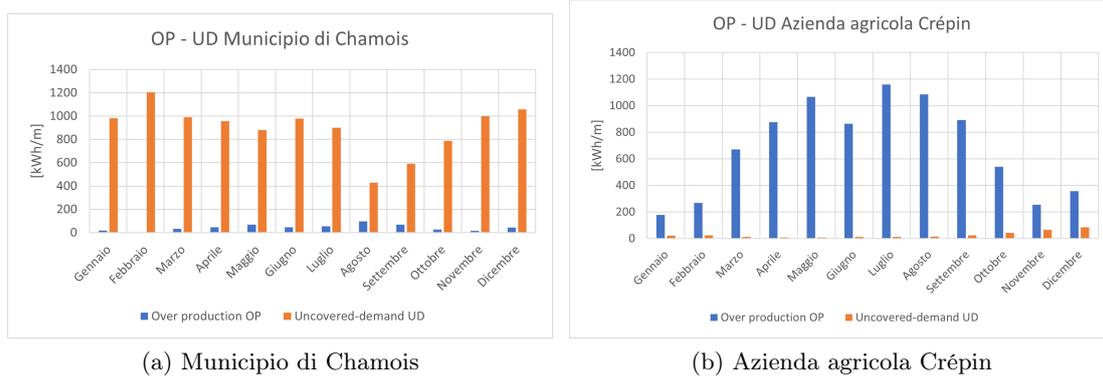


Figura 6.24: *Indici di bilancio energetico S, OP, UD per i prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Gli indicatori di performance SSI e SCI subiscono una forte cambiamento se si considera il singolo utente. Infatti, è nullo il termine relativo all'autoconsumo collettivo CSC, che assume un valore positivo solo in presenza di un'aggregato di membri quale una comunità energetica. Le equazioni per l'indicatore di autosufficienza SSI e di autoconsumo SCI avranno quindi la seguente forma:

$$SSI = \frac{S}{TC} \quad (6.9)$$

$$SCI = \frac{S}{TP} \quad (6.10)$$

In figura (6.25) sono mostrati i valori annuali degli indicatori per ogni utenza. Da questi si evince come le due utenze prosumer scelte siano profondamente diverse in termini di consumo. Nel caso dell'azienda infatti, i suoi valori relativamente bassi di consumo rispetto alla produzione comportano alti valori di autosufficienza ma allo stesso tempo una quota bassa di autoconsumo.

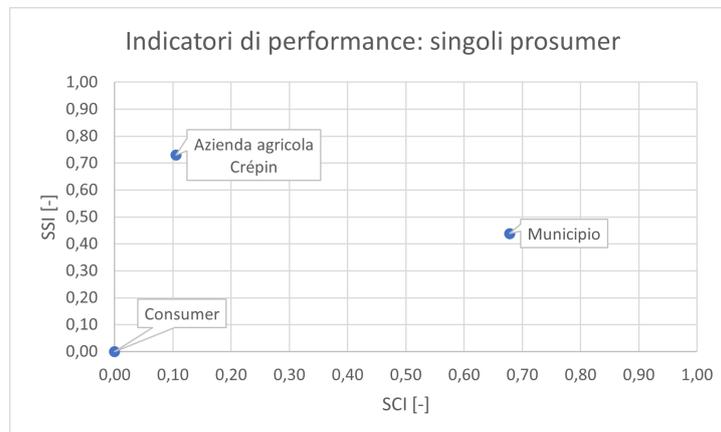


Figura 6.25: *Indicatori SSI e SCI per le utenze di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Circa le utenze che si comportano da soli consumatori, tutti i parametri ricavati per i prosumer sono nulli a causa dell'assenza di un'impianto di produzione di energia elettrica

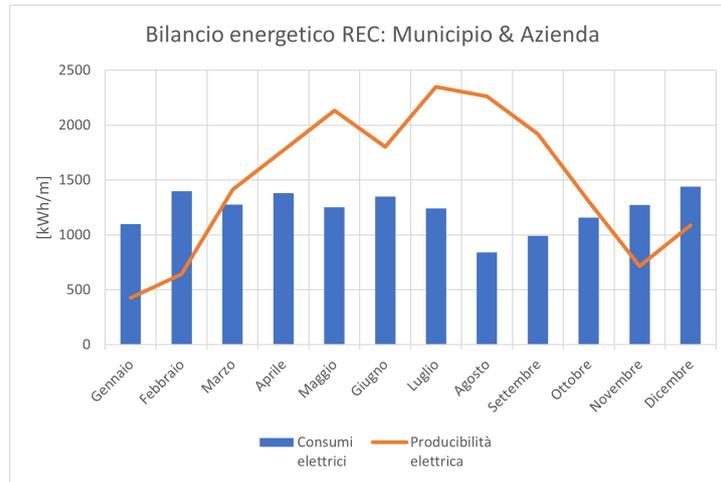
associato alla loro utenza.

Il paragrafo seguente analizza le stesse tipologie di dati ma nel contesto di una REC, al fine di evidenziare le differenze dallo scenario dei singoli prosumer.

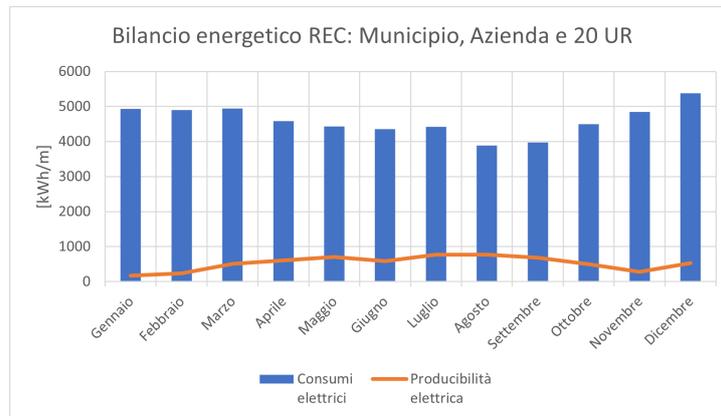
6.2.2 Bilancio energetico: comunità energetica

Gli scenari di comunità energetica scelti sono essenzialmente due (figura (6.26)):

- *REC dei soli utenti prosumer;*
- *REC composta dagli utenti prosumer più un certo numero di utenze residenziali.*



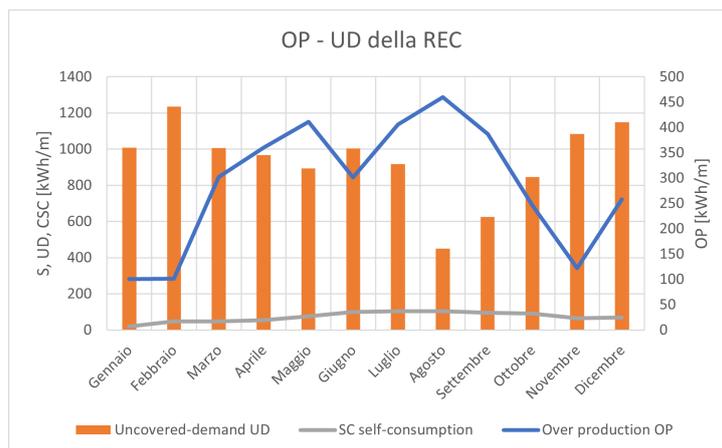
(a) REC: 4 prosumer



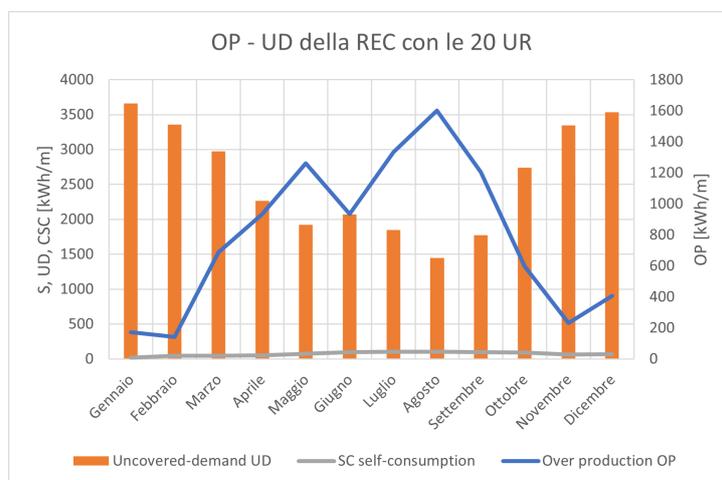
(b) REC: 4 prosumer + 20 UR

Figura 6.26: *Bilancio energetico dei due scenari REC per La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Partendo dal primo caso, dal grafico (6.27) si nota come aggregando le due due utenze si hanno indici di SSI e SCI comunque bassi: ciò è dovuto alla diversità 'energetica' tra le strutture, spiegata precedentemente. Invece, se si aggiungono 20 utenze residenziali, la quota di autoconsumo aumenta fino a raggiungere quasi il 70% a scapito di una diminuzione dell'autosufficienza. Tenendo fede ad esempio alla quota limite espressa dalla Regione Piemonte di un $SCI = 0.70$, questa è raggiunta solo dalla configurazione formata dai prosumer e i residenziali. Una REC composta dalle sole due utenze prosumer si è dimostrata sconveniente, ma è doveroso ricordare la lacuna di dati messi a disposizione. Ulteriori dettagli verranno trattati nelle conclusioni della tesi nel capitolo 8.



(a) REC: 4 prosumer



(b) REC: 4 prosumer + 50 UR

Figura 6.27: S , OP , UD dei due scenari REC per Chamois. Fonte: Elaborazione personale

La problematica maggiore che consegue all'aggiunta delle utenze domestiche è una forte diminuzione dell'eccesso di produzione, influenzando la quota di ricavo dovuti ai mancati prelievi dalla rete pubblica (nel capitolo analisi economica in 7.2). Il grafico a dispersione (6.28) illustra i valori degli indicatori di performance per questa tipologia di comunità, mentre la figura (6.29) confronta tali valori con quelli ottenuti nel caso dei singoli prosumer.

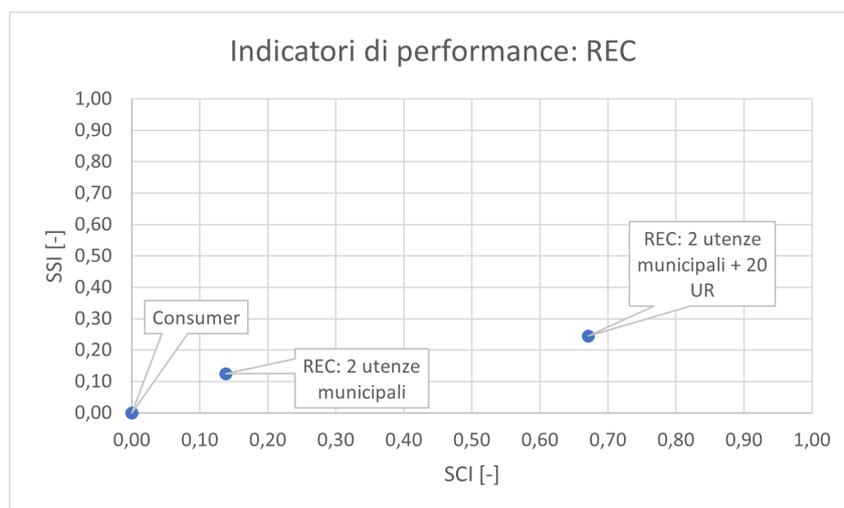


Figura 6.28: Indicatori di performance per gli scenari di REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

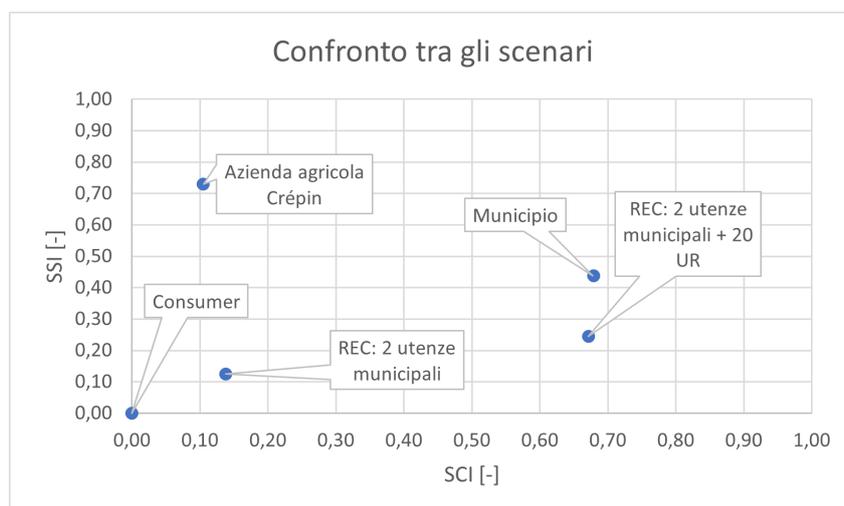


Figura 6.29: Confronto tra gli indicatori di performance per i diversi scenari di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

Il parametro che fa realmente differenza nell'ambito delle REC è la cosiddetta energia scambiata tra i membri CSC: si tratta della grandezza che viene incentivata dal GSE con la tariffa di 110 €/MWh + 8.22 €/MWh dovuti ai costi di trasmissione e trasmissione. In figura (6.30) si evidenzia come l'autoconsumo collettivo sia maggiore proprio nei mesi in cui c'è una maggior presenza di luce solare. Il CSC aumenta all'aumentare di membri della comunità, comportando una maggior incentivazione del progetto che però verrà studiata più approfonditamente nel capitolo successivo. In ogni caso l'autoconsumo collettivo raggiunge al massimo un valore limite al di sopra del quale non può crescere poichè, per definizione, l'eccesso di produzione risulterà sempre inferiore alla domanda non coperta in ogni mese dell'anno.

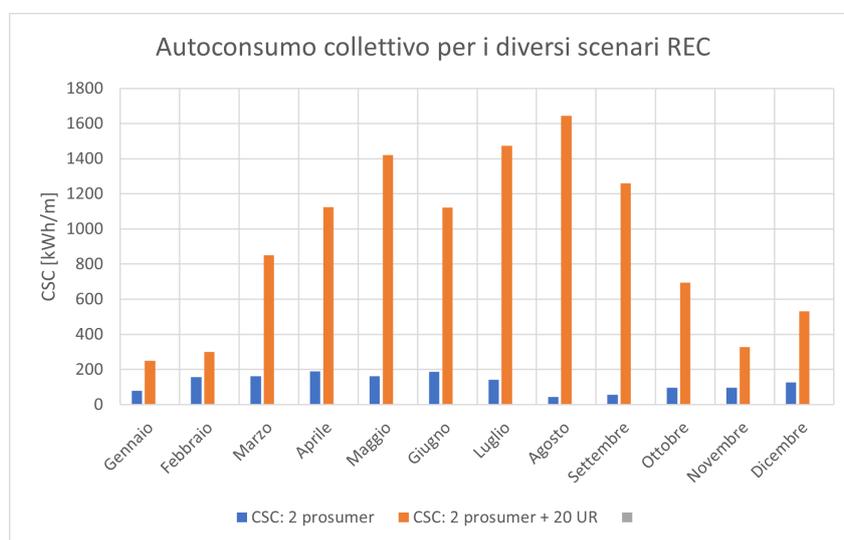


Figura 6.30: *Autoconsumo collettivo per i diversi scenari di REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Capitolo 7

Analisi economica

Una volta completato il bilancio energetico, l'ultima fase operativa dello studio espone un rendiconto economico che ha lo scopo di valutare il progetto di creazione delle due comunità energetiche in termini di fattibilità lungo un periodo di tempo pari a 20 anni, ossia la durata degli incentivi esistenti come descritto nelle sezioni relative alle normative nazionali vigenti in 2.2 e in 2.4.

Gli scenari identificati sono:

- 1) Bilancio economico per la comunità energetica composta dai soli edifici comunali dotati di impianto fotovoltaico;
- 2) Bilancio economico per la comunità energetica composta dalle strutture comunali con l'impianto fotovoltaico e da un certo numero di utenze domestiche residenziali.

In primo luogo si verifica il soddisfacimento dei requisiti di accesso agli incentivi.

1. Impianti nuovi alimentati con fonti energetiche rinnovabili: sia per il Comune di La Salle che per quello di Chamois sono stati ipotizzati impianti fotovoltaici alimentati grazie all'energia solare, di conseguenza il requisito è soddisfatto;
2. Potenza degli impianti < 200 kW: ciascun impianto previsto ha una potenza inferiore a tale soglia;
3. Possibilità di installazione di sistemi di accumulo addizionali. Per uno dei due scenari scelti è stata analizzata l'integrazione di un sistema di batterie;
4. POD sottesi alla stessa cabina MT/BT. Tale requisito è l'unico soddisfatto solo per ipotesi, in quanto non sono stati forniti dati riguardo ai collegamenti delle utenze con la rete elettrica e quindi alle cabine di media e bassa tensione.

Successivamente si distinguono i ricavi e i costi.

1. Ricavi

- *Remunerazione dell'energia elettrica immessa dagli impianti di produzione.* La quota di energia in eccesso rispetto a quella utilizzata per coprire i consumi è immessa in rete ed è quindi vendibile al GSE mediante il meccanismo del ritiro dedicato, che remunera gli utenti mediante il prezzo zonale orario (PZO).

Quest'ultimo varia mensilmente e a seconda della fascia oraria per le tre macro-regioni italiane, ovvero Nord, Centro e Sud. La seguente figura (7.1) illustra il valore del PZO per le regioni del Nord, mentre la figura (7.2) classifica le fasce orarie considerate.

[€/kWh]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
F1	0,051	0,042	0,032	0,024	0,023	0,030	0,042	0,041	0,053	0,047	0,054	0,067
F2	0,047	0,038	0,033	0,024	0,021	0,025	0,032	0,038	0,045	0,042	0,048	0,057
F3	0,039	0,032	0,023	0,016	0,015	0,021	0,026	0,030	0,037	0,032	0,039	0,042

Figura 7.1: Corrispettivo del prezzo zonale orario, in €/kWh. Fonte: Elaborazione personale

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
lunedì-venerdì	F3						F2	F1						F2						F3					
sabato	F3						F2																		F3
domenica/festivi	F3																								

Figura 7.2: Fasce orarie giornaliere. Fonte: Elaborazione personale

Esiste anche un altro modo per valorizzare economicamente l'energia immessa in rete, ossia l'applicazione dei prezzi minimi garantiti (figura (7.3)), che differenziano in base alla fonte energetica rinnovabile sfruttata dall'impianto. Dato che il prosumer è sempre remunerato con la tariffa più vantaggiosa, si confronteranno i valori annuali ottenuti applicando i due metodi stabilendo quale risulta più conveniente.

Fonte	Quantità di energia elettrica ritirata su base annua	Prezzo minimo garantito [€/MWh]
Biogas e biomasse, esclusi i biocombustibili liquidi a eccezione degli oli vegetali puri tracciabili ex regolamento europeo CE n. 73/09	fino a 2.000.000 kWh	94,5
Gas da discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biocombustibili liquidi a eccezione degli oli vegetali puri tracciabili ex regolamento europeo CE n. 73/09	fino a 1.500.000 kWh	50,1
Eolica	fino a 1.500.000 kWh	50,1
Solare fotovoltaica	fino a 1.500.000 kWh	39,9
Geotermica	fino a 1.500.000 kWh	52,4
Idrica	fino a 250.000 kWh	156,4
	oltre 250.000 kWh e fino a 500.000 kWh	107,4
	oltre 500.000 kWh e fino a 1.000.000 kWh	67,7
	oltre 1.000.000 kWh e fino a 1.500.000 kWh	58,6
Fonti rinnovabili diverse dalle fonti sopra elencate	fino a 1.500.000 kWh	39,9

Figura 7.3: Prezzi minimi garantiti dell'anno 2020. Fonte: ARERA in [1]

- *Mancato prelievo di energia dalla rete pubblica.* I prosumer per coprire i propri consumi utilizzano l'energia da essi stessa prodotta invece di prelevarla dalla

rete nazionale, pertanto quando ciò si verifica si ha un risparmio in bolletta. Per tipologia di utenza, il prezzo medio dell'energia è in tabella (7.1):

Utenza	Prezzo [€/kWh]
Municipale	0.18
Domestica	0.22
Aziendale	0.15

Tabella 7.1: *Prezzo medio dell'energia elettrica per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale*

- *Incentivo economico previsto dal GSE (I)*. Per le configurazioni di comunità energetiche è di 110.00 €/MWh a cui va aggiunto un corrispettivo di 8.22 €/MWh dovuto da ARERA per il mancato uso della rete elettrica nazionale. In totale, 118.22 €/MWh.

2. Costi

- *Energia prelevata dalla rete pubblica*. Si veda la tabella (7.1).
- *Acquisto degli impianti fotovoltaici*. In [39] sono definiti i costi di un impianto fotovoltaico in base alla potenza nominale installata, riportati in tabella (7.2).

Potenza [kWp]	Costo [€/kWp]
$P \leq 6$	2000
$6 < P \leq 20$	1600
$P > 20$	1000

Tabella 7.2: *Costi degli impianti solare fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale*

Si ricorda che al 2021 è possibile accedere allo sconto del 50% sull'acquisto di un sistema a fonti rinnovabili (in [10]). Di seguito sono riportati alcuni esempi reali di impianti fotovoltaici di aziende importanti nel settore (in [16]):

- 'Impianto fotovoltaico da 6 kW - Enel X Edition', dal costo di 3.995,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. L'acquisto include 18 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp Canadian Solar; un inverter Enel X con sistema di monitoraggio integrato e le strutture di sostegno di alluminio Würth;
- 'Impianto fotovoltaico da 4 kW - Enel X Edition ', dal costo di 3.195,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. L'acquisto include 12 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp Canadian Solar; un inverter Enel X con sistema di monitoraggio integrato e le strutture di sostegno di alluminio Würth;
- 'Impianto fotovoltaico da 3 kW - Classic Enel X Edition ', dal costo di 2.495,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. L'acquisto include 9 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp Canadian Solar; un inverter Enel X con sistema di monitoraggio integrato e le strutture di sostegno di alluminio Würth;
- 'Impianto fotovoltaico da 8 kW', dal costo di 6.400,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. Si tratta di un impianto non presente sul listino

quindi, sulla base dei precedenti, si è ipotizzato anche l'inclusione di 20 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp Canadian Solar; un inverter Enel X con sistema di monitoraggio integrato e le strutture di sostegno di alluminio Würth;

- 'Impianto fotovoltaico da 9 kW', dal costo di 7.200,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. Si tratta di un impianto non presente sul listino quindi, sulla base dei due precedenti, si è ipotizzato anche l'inclusione di 22 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp Canadian Solar; un inverter Enel X con sistema di monitoraggio integrato e le strutture di sostegno di alluminio Würth.

- *Manutenzione degli impianti fotovoltaici.* Variabile fissa dal costo contenuto nel tempo, in quanto è sufficiente la pulizia periodica dei moduli. Viene assunto un costo pari a 300 €/intervento (da [50]);
- *Inverter.* Si tratta di un dispositivo elettronico in grado di convertire una corrente continua in ingresso in una corrente alternata in uscita variandone i parametri di ampiezza e frequenza in modo da utilizzarla in ambito domestico o immettendola sulla rete elettrica di distribuzione. Solitamente viene sostituito almeno una volta per la durata dell'impianto fotovoltaico; per convenzione dopo 10 anni. Il prezzo varia a seconda della potenza dell'impianto: sullo store della società Enel in [16] e sul sito dell'azienda SolarEdge in possibile visionare alcuni di essi, per cui viene riportato il costo, comprensivo di sopralluogo, installazione ed IVA:
 - 'SolarEdge SE7K - 7 kW triphase Inverter', dal costo di 1.500,00 €;
 - 'SolarEdge SE8K - triphase Inverter 8 KW', dal costo di 1.600 €;
 - 'ABB monophase Inverter UNO DM PLUS 6kW', dal costo di 1.400,00 €;
 - 'ABB monophase Inverter UNO DM PLUS 5kW', dal costo di 1.300,00 €.
 - 'ABB monophase Inverter UNO DM PLUS 4kW', dal costo di 1.210,00 €.
 - 'ABB monophase nverter UNO DM PLUS 2kW', dal costo di 990,00 €.

L'inserimento nei costi di un inverter è avvenuto qualora nel pacchetto che include l'acquisto di un impianto esso non risulta incluso.

- *Acquisto di un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo.* L'acquisto in coppia dei due sistemi risulta conveniente in termini di denaro. Nello store di Enel in [16] è possibile acquistare.
 - 'Impianto fotovoltaico da 4 kW e sistema di accumulo da 4.8 kWh - Enel X Edition', dal costo di 5.345,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. Nel prezzo sono inclusi 12 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp Canadian Solar, una batteria Enel X Storage Ibrido comprensivo di inverter ibrido da 3 kW e 2 moduli batteria da 2.4 kWh e le strutture di sostegno di alluminio Würth;
 - 'Impianto fotovoltaico da 5 kW e sistema di accumulo da 7.2 kWh - Enel X Edition', dal costo di 6.745,00 € al netto della Cessione del Credito del 50% vista in [9]. Nel prezzo sono inclusi 16 moduli fotovoltaici di potenza 345 Wp

Canadian Solar, una batteria Enel X Storage Ibrido comprensivo di inverter ibrido da 3 kW e 3 moduli batteria da 2.4 kWh e le strutture di sostegno di alluminio Würth.

- *Spese legali per la costituzione della REC.* Seguendo l'articolo [39], vengono impostate a 5.000,00 €.

Si rammenta che tutti i dati appena elencati vogliono fornire solo indicazioni dei prezzi di ciascuna voce delle spese da affrontare ed ovviamente sono soggetti a periodiche variazioni a seconda del venditore.

La valutazione dell'investimento per la creazione di queste comunità energetiche è stata effettuata esaminando due criteri: il Valore Attuale Netto e il Payback Period.

- *Valore Attuale Netto (VAN).* Si tratta di un criterio finanziario che permette di tracciare un profilo di rischio e di rendimento del progetto mediante un tasso di attualizzazione; esprime la ricchezza creata o distrutta in termini di denaro. Numericamente il VAN è la somma di tutti i flussi di cassa attualizzati generati, sia positivi che negativi: un $VAN > 0$ indica che il progetto ha ripagato l'investimento e ciò che resta è ricchezza immediatamente disponibile per i membri. L'equazione per il calcolo è la seguente:

$$VAN = F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1-r)^t} \quad (7.1)$$

Dove:

- t, n rappresentano l'inizio e la fine del periodo esaminato (= 20 anni). In altre parole t è l'indice che indica l'anno specifico;
- F_t è il flusso di cassa all'anno t , in [€];
- F_0 è il flusso di cassa all'anno 0, corrispondenti agli investimenti immessi da subito nel progetto, in [€];
- r è il tasso di rendimento o attualizzazione, in [%]. Nella trattazione è assunto un tasso pari al 2%.

I flussi di cassa (F), in €/anno, sono calcolati come segue:

$$F = \sum Ricavi - \sum Costi \quad (7.2)$$

- *Payback-Period attualizzato (PBP).* In italiano Tempo di Ritorno, è un criterio tradizionale che esprime il tempo necessario affinché i flussi di cassa cumulati eguagliano l'investimento di partenza (equazione (7.3)). Da questa definizione si deduce come maggiore è il PBP, maggiore è il rischio del progetto.

$$\sum_{t=1}^{PBP} \frac{F_t}{(1+k)^t} - F_0 \quad (7.3)$$

7.1 La Salle

In tabella (7.3) sono descritti i costi di investimento che il Comune deve approntare. Per ipotesi, tutti i costi sono dovuti al primo anno di inizio della comunità energetica.

Edificio	Potenza dell'impianto [kWp]	Costo [€]
Municipio	8	8.000,00
Scuole del capoluogo	23	18.400,00
Casermette di Derby	16	12.800,00
Scuole Frazione Derby	9	9.000,00
Spese legali	[-]	5.000,00

Tabella 7.3: *Investimenti REC del Comune di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

Come detto nell'introduzione di questo capitolo, i flussi di cassa cumulati sono stati calcolati conoscendo le spese e i ricavi per ciascun scenario; quest'ultimi sono dati dalle seguenti formule:

$$Spese = UD * C_{energia} \quad (7.4)$$

$$Ricavi = OP * PZO + CSC * I + S * C_{energia} \quad (7.5)$$

Dove:

- UD è l'uncovered-demand, in [kWh];
 - OP è l'over-production, in [kWh];
 - CSC è l'autoconsumo collettivo, in [kWh];
 - PZO sono i prezzi zionali orari, [€];
 - I è l'incentivo del GSE, pari a 0.11822 €/kWh;
 - $C_{energia}$ è il prezzo medio dell'energia, in [€/kWh], varia a seconda del tipo di utenza.
- Nelle immagini (7.4) e (7.5) sono illustrati i costi e ricavi nel caso delle singole utenze e degli scenari REC.

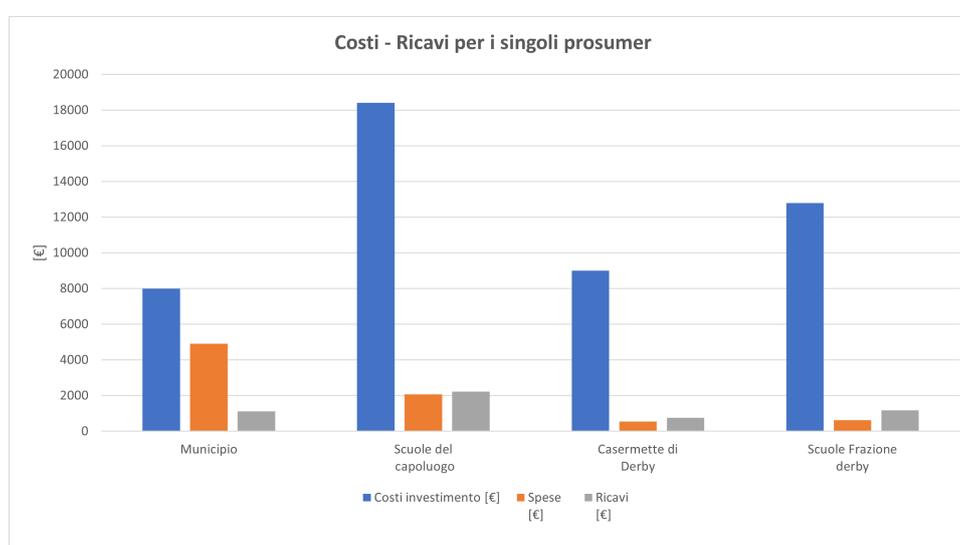


Figura 7.4: *Costi e Ricavi per i prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

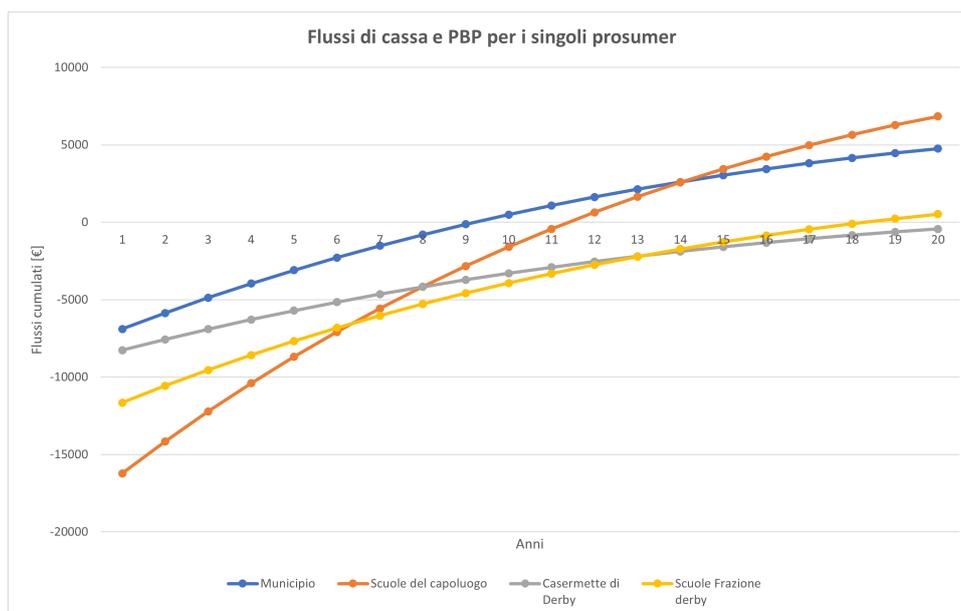


Figura 7.6: Valore Attuale Netto e PBP per i prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

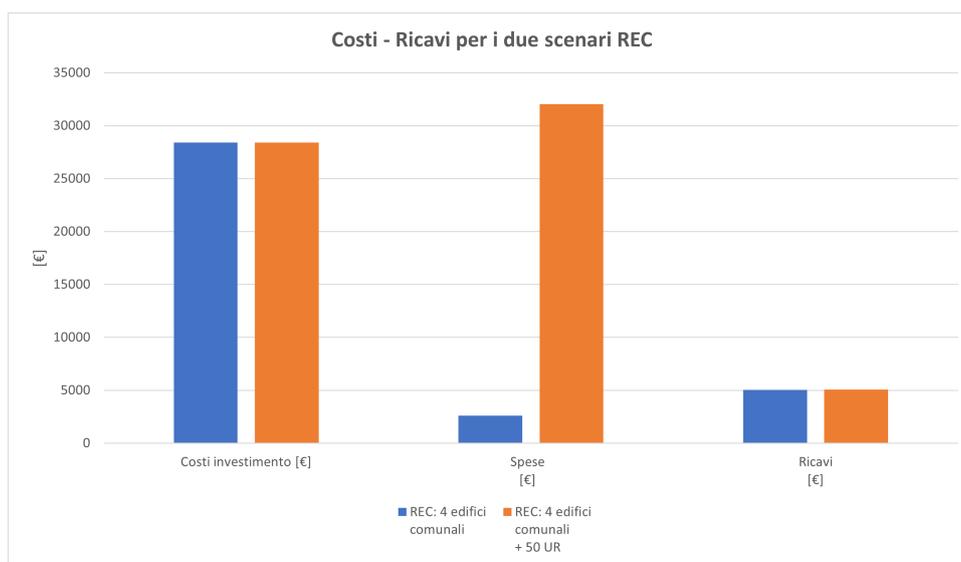


Figura 7.5: Costi e Ricavi per le REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale

L'ultimo passaggio è la valutazione del Valore Attuale Netto (VAN) e del Tempo di Ritorno (PBP). Si tratta dell'aspetto più importante dell'analisi economica, in quanto permettono di distinguere, a grandi linee, quale progetto è più conveniente. Come viene mostrato in figura (7.6) considerando le singole utenze non si hanno ritorni degli investimenti nel breve termine e inoltre sono caratterizzati da VAN più bassi rispetto a quelli che si otterrebbero creando una comunità energetica. Esaminando le aggregazioni in comunità di energia rinnovabili, si hanno VAN molto più elevati, garantendo una maggiore convenienza rispetto ai singoli consumatori: essi assumono valori positivi dopo un certo numero di anni, crescendo di valore di anno in anno. Aggiungendo nella comunità altri 50 utenti residenziali si evince come il tempo di ritorno dell'investimento diminuisce. Ciò

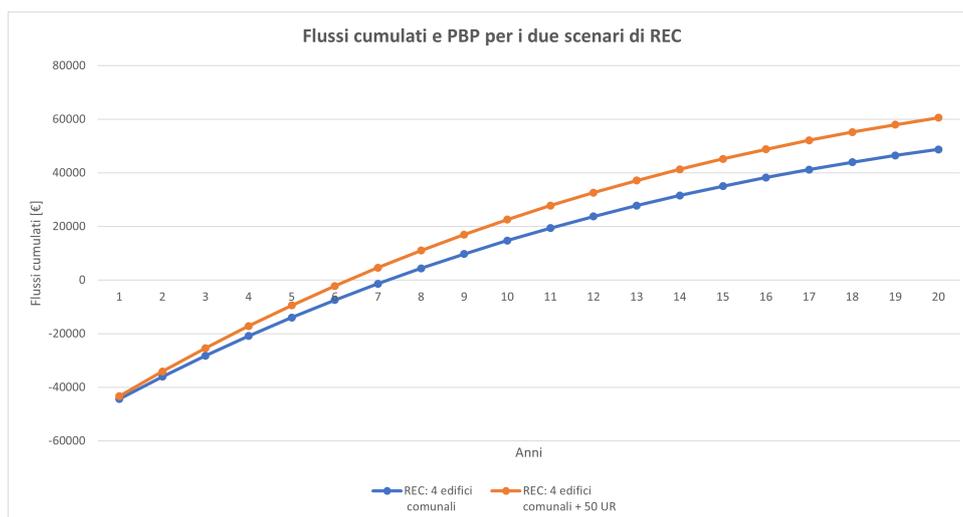


Figura 7.7: *Flussi di cassa cumulati per le REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

è dovuto a un aumento dell'energia elettrica condivisa CSC tra i membri, di conseguenza si ha un innalzamento del premio dato dalla presenza dell'incentivo. Il tempo di ritorno per la configurazione dei quattro prosumer è 7 anni, mentre nel secondo caso poco più di 6 anni: si tratta di tempi piuttosto bassi e quindi sostenibili. In figura (7.7) sono illustrati il VAN e il PBP mentre in figura (7.8) sono elencati i flussi di cassa cumulati per ognuno dei vent'anni.

<i>Anno di esercizio</i>	REC: 4 edifici comunali	REC: 4 edifici comunali + 50 UR
1	-44390	-43373
2	-36085	-34109
3	-28263	-25383
4	-20901	-17171
5	-13980	-9451
6	-7479	-2199
7	-1379	4605
8	4337	10981
9	9688	16950
10	14689	22529
11	19358	27737
12	23710	32591
13	27759	37108
14	31520	41303
15	35006	45191
16	38230	48788
17	41204	52106
18	43941	55159
19	46452	57959
20	48748	60520

Figura 7.8: *Flussi di cassa cumulati per le REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale*

7.2 Chamois

In tabella (7.4) sono descritti i costi di investimento che il Comune deve approntare. Per ipotesi, tutti i costi sono dovuti al primo anno di inizio della comunità energetica.

Edificio	Potenza dell'impianto [kWp]	Costo con detrazione [€]
Municipio di Chamois	8	8.280,00
Azienda agricola Crépin	9	9.430,00
Spese legali	-]	5.000,00

Tabella 7.4: *Investimenti REC del Comune di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Come detto nell'introduzione di questo capitolo, i flussi di cassa cumulati sono stati calcolati conoscendo le spese e i ricavi per ciascun scenario; quest'ultimi sono dati dalle seguenti formule:

$$Spese = UD * C_{energia} \quad (7.6)$$

$$Ricavi = OP * PZO + CSC * I + S * C_{energia} \quad (7.7)$$

Dove:

- UD è l'uncovered-demand, in [kWh];
 - OP è l'over-production, in [kWh];
 - CSC è l'autoconsumo collettivo, in [kWh];
 - PZO sono i prezzi zonali orari, [€];
 - I è l'incentivo del GSE, pari a 0.11822 €/kWh;
 - $C_{energia}$ è il prezzo medio dell'energia, in [€/kWh], varia a seconda del tipo di utenza.
- Nelle immagini (7.9) e (7.10) sono illustrati i costi e ricavi nel caso delle singole utenze e degli scenari REC. L'ultimo passaggio è la valutazione del Valore Attuale Netto (VAN) e del Tempo di Ritorno (PBP). Si tratta dell'aspetto più importante dell'analisi economica, in quanto permettono di distinguere, a grandi linee, quale progetto è più conveniente. Come viene mostrato in figura (7.11) considerando le singole utenze non si hanno ritorni degli investimenti nel breve termine e inoltre sono caratterizzati da flussi di cassa alti e negativi per molti anni, pertanto occorre proporre una soluzione diversa, ad esempio creando uno scenario di comunità energetica costituita dai due prosumer. Esaminando le aggregazioni in comunità di energia rinnovabili, si hanno flussi di cassa positivi in tempi inferiori rispetto al precedente caso, garantendo una maggiore convenienza rispetto ai singoli consumatori. I valori del VAN per le configurazioni di comunità energetica di Chamois sono risultati negativi soprattutto a causa degli alti flussi cumulati nei primi anni. Va comunque ricordato che la forte mancanza di dati su ulteriori strutture e sui consumi elettrici ha reso più difficoltosa la ricerca di scenari più idonei e accettabili non solo per quanto concerne il bilancio energetico, ma anche per l'analisi economica. I risultati ottenuti mostrano, come per il caso di La Salle, che aggiungendo alcune utenze residenziali si ha una maggiore convenienza, dovuto ad un incremento dell'energia condivisa. Il tempo di ritorno si attesta sui 9 anni per la configurazione con i prosumer e le utenze

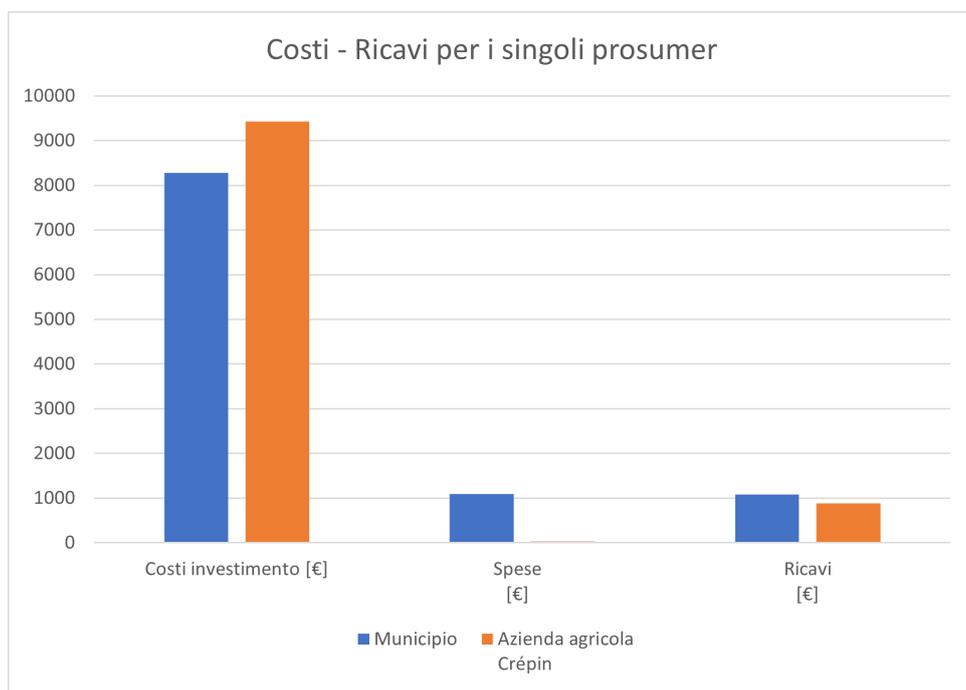


Figura 7.9: Costi e Ricavi per i prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

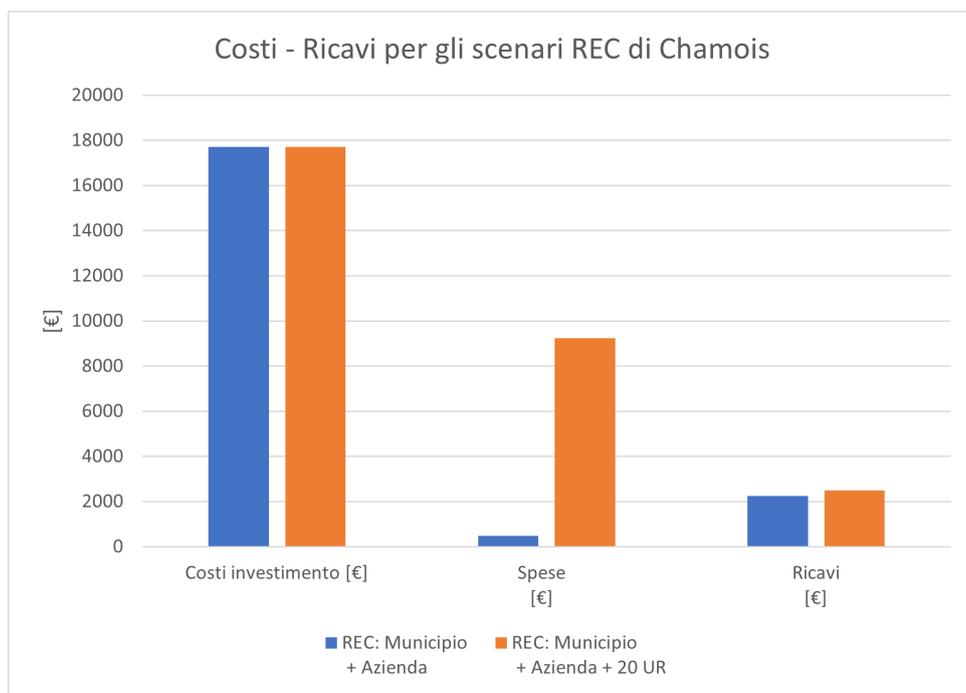


Figura 7.10: Costi e Ricavi per le REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale

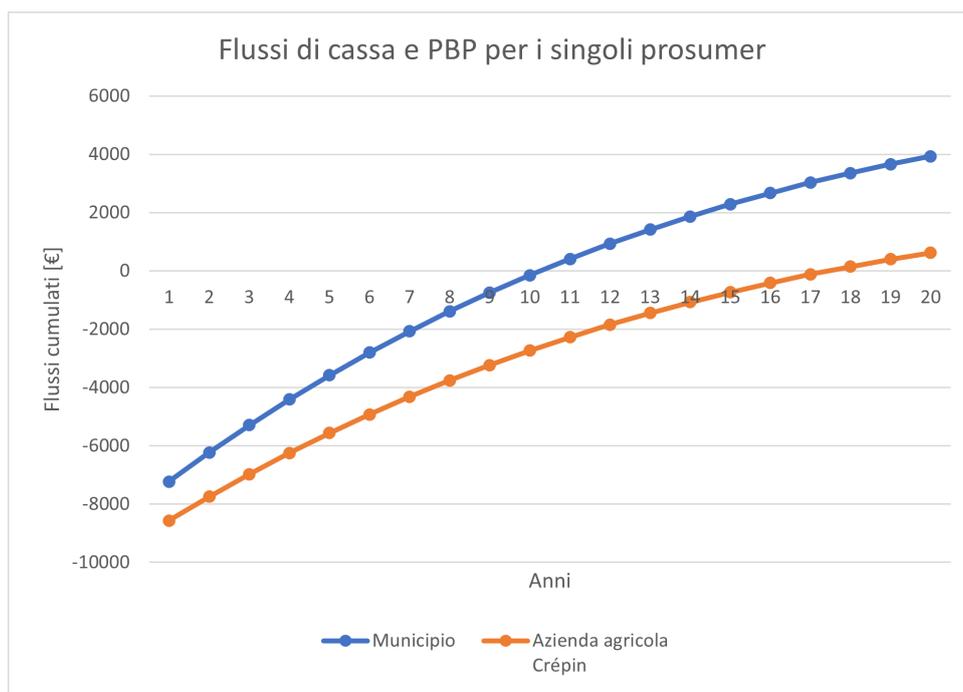


Figura 7.11: *Valore Attuale Netto e PBP per i prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

residenziali, 10 anni nell'altro caso. In figura (7.12) sono illustrati il VAN e il PBP mentre nella tabella (??) e in figura (7.13) sono descritti rispettivamente i VAN e i flussi di cassa cumulati.

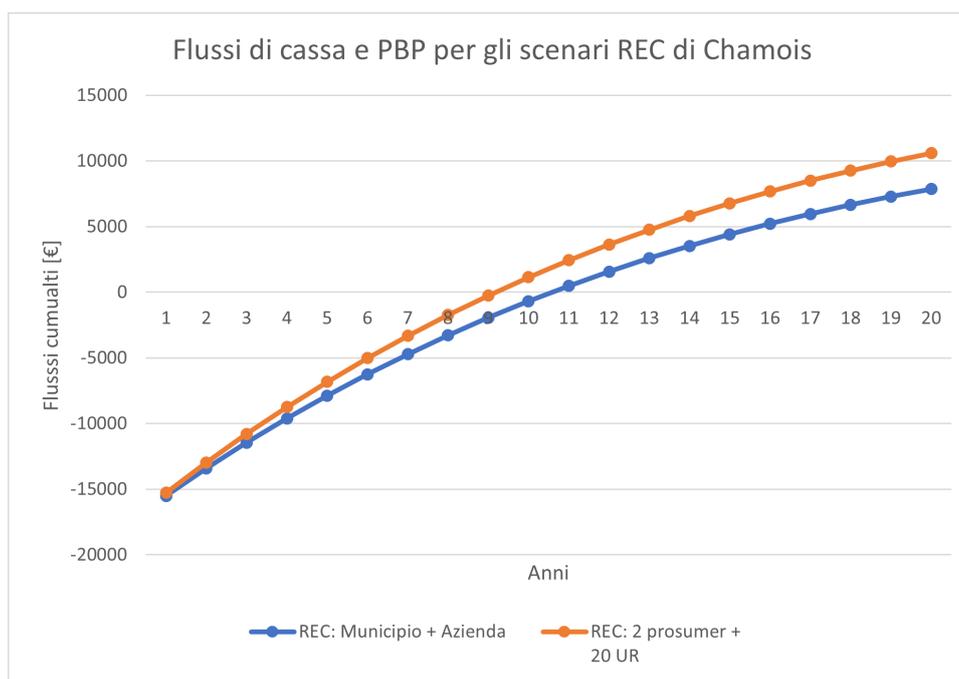


Figura 7.12: *Flussi di cassa cumuaiti per le REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

<i>Anno di esercizio</i>	<i>REC: Municipio + Azienda</i>	<i>REC: 2 prosumer + 20 UR</i>
1	-15501	-15264
2	-13418	-12958
3	-11456	-10786
4	-9610	-8742
5	-7874	-6820
6	-6244	-5015
7	-4714	-3322
8	-3280	-1735
9	-1938	-249
10	-684	1140
11	487	2436
12	1578	3645
13	2594	4769
14	3537	5813
15	4411	6781
16	5220	7676
17	5966	8502
18	6652	9262
19	7282	9959
20	7857	10596

Figura 7.13: *Flussi di cassa cumuaiti per le REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale*

Capitolo 8

Conclusioni e scenari futuri

I risultati delle analisi tecniche ed economiche hanno rilevato la convenienza della creazione di comunità energetiche nei Comuni esaminati, confermando quanto viene riportato nelle normative di riferimento e le ipotesi alla base di questo studio. Nell'ambito della pianificazione territoriale, l'utilizzo di Sistemi Informativi Territoriali (GIS) in grado di elaborare tra loro dati di origine differente e rappresentarli su mappe e grafici di vario tipo, si è dimostrata fondamentale per proporre delle soluzioni atte a creare comunità energetiche nei Comuni di La Salle e Chamois.

La riduzione dell'impatto del carbonio sui comparti ambientali, quali il suolo, l'acqua e l'atmosfera mediante l'utilizzo di impianti alimentati a energia rinnovabile, incontra positivamente le necessità della società odierna in tema di sviluppo sostenibile. I territori oggetto di studio evidenziano un grande potenziale di risorse energetiche rinnovabili, soprattutto il solare, grazie alla sua semplicità di applicazione, oltre che l'idroelettrico e la biomassa. Di seguito viene riportato un confronto tra gli scenari di comunità energetica ipotizzati per i Comuni di La Salle e Chamois sulla base dei risultati energetici ed economici, concentrandosi su alcuni parametri presi in considerazione nei due capitoli precedenti.

- *Indice di autoconsumo (SCI)*. Il Comune di La Salle ha evidenziato valori molto buoni e superiori rispetto a quelli ottenuti per il Comune di Chamois specialmente considerando una comunità energetica costituita dalle utenze prosumer e le utenze residenziali. Il valore massimo di SCI pari ad 1.00 ed ottenuto per La Salle per lo scenario composto dai prosumer più 50 utenze residenziali indica come l'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici è interamente autoconsumata dai membri della comunità rispetto al totale di energia prodotta. Per avere un'idea del dato, a titolo esemplificativo, se si esamina la Regione Piemonte questa richiede almeno un valore di $SCI = 70\%$ rispetto alla produzione totale di energia elettrica per creare una comunità energetica. Nel suo scenario migliore, composto dai due prosumer e le 20 utenze residenziali, Chamois presenta un SCI pari al 67%.
- *Indice di autosufficienza (SSI)*. Esso descrive quanta energia elettrica prodotta e

autoconsumata dai membri è in grado di coprire i fabbisogni della comunità. La Salle per lo scenario composto dai prosumer più 50 utenze residenziali presenta un valore massimo del 35% oltre il quale l'SSI diminuisce. Ciò è dovuto all'aumento dei consumi elettrici delle utenze residenziali che si inseriscono nella comunità. Per Chamois il discorso è il medesimo: infatti, esaminando lo scenario composto dai due prosumer e le 20 utenze residenziali, Chamois presenta un SSI solo del 24%.

- *Autoconsumo collettivo (CSC)*. Aumentando il numero di membri della comunità energetica si ha un aumento dell'energia condivisa tra i membri tuttavia, per definizione, esso raggiunge un valore limite al di sopra del quale non può crescere in quanto l'eccesso di produzione risulterà sempre inferiore alla domanda non coperta in ogni mese dell'anno. Questa considerazione è valida per entrambi i Comuni.
- *Extra produzione (OP) e domanda di energia elettrica non coperta (UD)*. Per entrambe le municipalità, si ha una maggiore disponibilità di luce solare nei mesi primaverili ed estivi, pertanto il potenziale da solare fotovoltaico, e quindi l'eccesso di produzione elettrica, si ha in questi mesi. Al contrario, in autunno e in inverno, il fabbisogno di energia elettrica non è mai coperto dalla produzione e di conseguenza si rende necessario l'acquisto di energia dalla rete pubblica nazionale influenzando così il bilancio economico appesantendo i costi.
- *Flussi di cassa e tempo di ritorno dell'investimento (PBP)*. Considerando le configurazioni comunità energetica composte sia dai soli prosumer comunali che dai consumer residenziali, La Salle ha evidenziato tempi di ritorno rispettivamente dopo 7 e 6 anni, mentre Chamois dopo 10 e 9 anni. Avere un breve tempo di ritorno rende economicamente il progetto favorevoli e sostenibili e il Comune di La Salle ha grandi opportunità per creare delle comunità energetiche dal punto di vista economico.

Le possibili aggregazioni istituibili a La Salle e Chamois sono in grado di portare benefici anche alla popolazione cittadina rendendoli attivi alla gestione dei flussi di energia. Inoltre, il non indifferente guadagno economico che ne scaturisce è in grado di permettere ai membri di trarre profitto: ad esempio, se uno dei membri è il Comune questo potrà sfruttare il denaro accumulato per migliorare molti dei servizi a disposizione dei propri abitanti, come le infrastrutture edilizie, di trasporto e distribuzione di energia, dandone anche un'adeguata informazione. Inoltre, occorre ricordare che per il Comune di Chamois non sono stati resi disponibili alcuni dati importanti, come i consumi elettrici delle utenze comunali, disponibili invece per La Salle. Integrare questi permetterebbe di garantire probabilmente risultati migliori per il piccolo Comune della Valtournenche.

La tesi si conclude andando a esporre alcune possibili idee e accorgimenti in grado di condurre alle condizioni ottimali per la creazione delle due comunità.

- *Redazione di una normativa specifica in materia di comunità energetica*. La Valle d'Aosta non presenta leggi che regolamentano i requisiti per la creazione di una

comunità energetica. Per quanto possa essere utile confrontarsi con le normative esistenti in altre regioni, un piano specifico ad-hoc sarebbe in grado di garantire le condizioni ideali sulla quale basare la loro formazione e diffusione.

- *Considerazione dell'energia termica.* Attualmente le normative italiane riguardo le comunità energetiche tengono in esame esclusivamente la componente elettrica per lo scambio di energia. Includere la componente termica aiuterebbe a diffondere queste associazioni che, si ricorda, risultano essere eccezionali in tema di impatto (zero) sull'ambiente.
- *Installazione di sistemi di accumulo.* La normativa nazionale incentiva l'utilizzo di tecnologie per lo stoccaggio di energia, da sfruttare nei periodi orari più critici. Tuttavia è necessario valutare il loro impatto, sia sull'ambiente sia in termini economici.
- *Disponibilità dei dati.* Soprattutto nel caso di Chamois, la mancanza di alcuni dati necessari ha influenzato negativamente alcuni risultati. Ad esempio, l'assenza dei valori di consumo in kWh e delle informazioni catastali ha limitato l'analisi degli edifici più idonei per l'installazione di impianti. Una volta ottenuti questi dati, l'analisi svolta potrà sicuramente condurre a risultati persino migliori.

Il presente studio effettuato con l'integrazione di dati territoriali ed energetici ha permesso di dimostrare che le comunità energetiche sono un'ottima proposta per contribuire al raggiungimento della neutralità climatica, prevista per il 2020. I Comuni di La Salle e Chamois hanno le caratteristiche per fare da promotori in questa direzione in tutto il panorama italiano, che solo di recente (Magliano Alpi, Marzo 2021) ha visto la nascita della prima comunità energetica sul suo territorio. La tesi ha mostrato inoltre chiari risultati sulla sostenibilità dei progetti, ponendo le basi per studi più specifici e approfonditi.

Appendice A

Il portale PVGIS

Sulla base di quanto riportato nel capitolo 5, la valutazione della producibilità energetica da solare fotovoltaico è stata svolta mediante l'applicativo web PVGIS in [17] dell'Unione Europea. Lo scopo di questa è descrivere dettagliatamente il modo con cui il suddetto sistema informativo opera, in particolare per i passaggi svolti nel lavoro.

1. Scelta del luogo da analizzare, mediante l'immissione delle sue coordinate latitudinali e longitudinali nel formato DD:MM:SSA o con i valori decimali (figura (A.1)). Inoltre è possibile dedurre informazioni riguardo gli effetti topografici che influenzano montagne e colline premendo il pulsante 'Calculated horizon'.

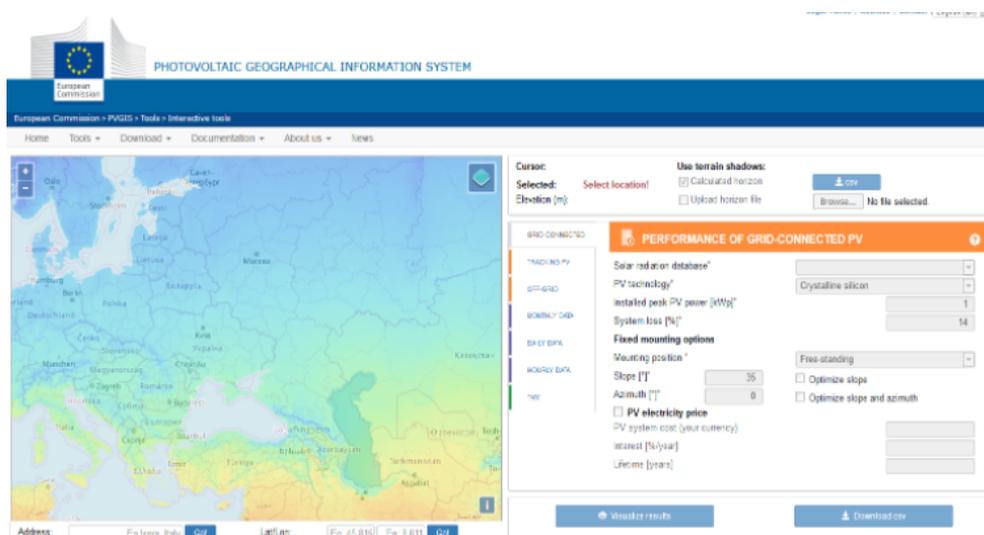


Figura A.1: Schermata iniziale del tool. Fonte: PVGIS.

2. Scelta del database della radiazione solare tra i seguenti; figura (A.2):
 - PVGIS-NSRDB, fornito dalla National Renewable Energy Laboratory;
 - PVGIS-CMSAF, fornito dalla Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF);
 - PVGIS-ERA5;
 - PVGIS-COSMO;

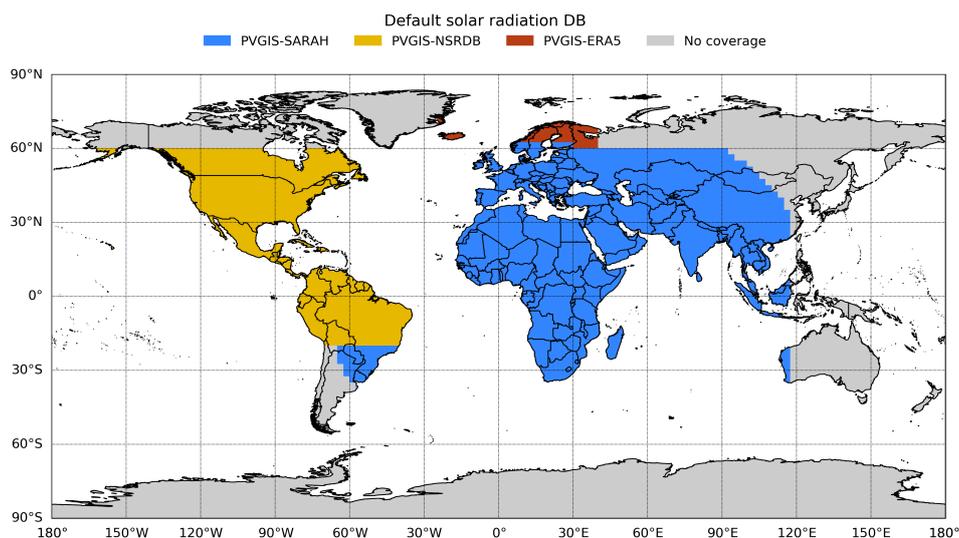


Figura A.2: *Datasets della radiazione solare. Fonte: PVGIS.*

- *PVGIS-SARAH*: calcolato dalla Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF), ha una copertura di dati su tutta l'Europa, l'Africa e parte del Sud America e dell'Asia. E' quello utilizzato nella tesi.
3. Calcolo delle prestazioni del sistema fotovoltaico connesso alla rete, per la stima della producibilità elettrica. I parametri da inserire sono i seguenti:
- *Tecnologia del fotovoltaico*. Il portale garantisce un'operativa per tre sistemi: a) moduli con celle al silicio cristallino; b) moduli con celle al tellurio di cadmio (cdTe); c) moduli con celle al rame, indio e selenio (CIS). Si è tenuto in considerazione *moduli con celle al silicio cristallino*. Il valore di producibilità dipende inoltre dallo spettro della radiazione solare.
 - *Potenza nominale installata*, ossia la potenza che il sistema può produrre sotto determinate condizioni standard, quali un valore costante di 1000 W/m^2 di irradiazione solare ad una temperatura di 25°C . La potenza è espressa in termini di kW_{picco} .
 - *Perdite del sistema*, dovute a perdite di potenza a causa delle connessioni tra cavi, inverter e residui sporchi sui materiali. Il valore di default utilizzato è 14%, ma può essere modificato a piacimento.
 - *Posizioni di montaggio*; sono selezionabili due tipi:
 - Free-standing, in cui i moduli sono montati su un rack con l'aria che scorre liberamente dietro di essi. E' la tipologia scelta.
 - Building-integrated, in cui i moduli sono completamente integrati nella struttura della parete o del tetto di un edificio, senza alcun movimento d'aria dietro di essi.

- *Pendenza dei moduli fotovoltaici*, ossia l'angolo tra i moduli e il piano orizzontale. Ipotizzando di montarli sui tetti, in Valle d'Aosta l'angolo è stato assunto pari a 40° ; figura (A.3).
- *Azimuth dei moduli*, ossia l'angolo tra i moduli e la direzione Sud, $[-90^\circ; 90^\circ]$; figura (A.3).

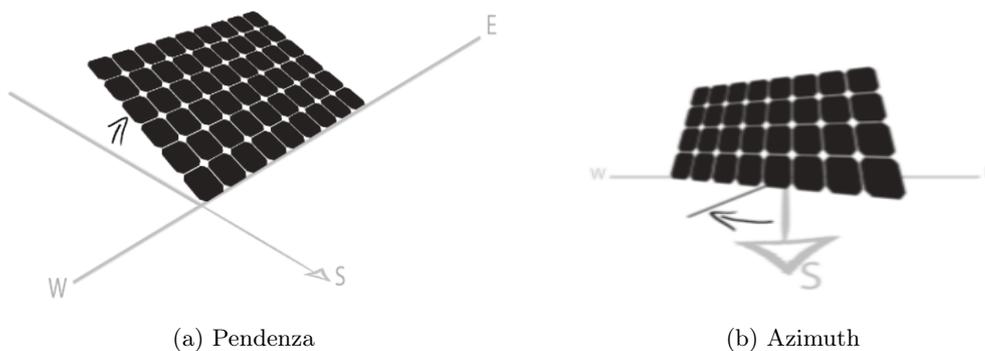


Figura A.3: *Pendenza ed Azimuth dei moduli fotovoltaici. Fonte:PVGIS.*

Bibliografia e Sitografia

- [1] ARERA. Prezzi minimi garantiti 2021. <https://www.arera.it/it/comunicati/21/210119.htm>. Online, 2021.
- [2] ARERA. Prezzi Riconosciuti. <https://www.arera.it/it/elettricitaprezziminimi.htm#prezzimin>. Online, 2021.
- [3] ARERA. Regolamentazione economica. <https://www.arera.it/it/docs/20/318-20.htm>. Online, 2021.
- [4] Andrea Bartolazzi. *Le energie rinnovabili*. Hoepli Editore, 2005.
- [5] Aura Caramizaru and Andreas Uihlein. *Energy communities: an overview of energy and social innovation*. Publications Office of the European Union, 2020.
- [6] Centro Funzionale RAVDA. Stazioni meteo in Valle d'Aosta. https://presidi2.regione.vda.it/str_dataview. Online, 2021.
- [7] Comune di La Salle. Sito ufficiale del Comune di La Salle. <https://www.comune.lasalle.ao.it/>. Online, 2021.
- [8] Comune di Magliano Alpi. CE Magliano Alpi. <http://www.comune.maglianoalpi.cn.it/Home/Pagine-del-Comune?ID=8417>. Online, 2021.
- [9] Consiglio dei Ministri. DECRETO-LEGGE 22 giugno 2012, n. 83 . <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/08/11/12A08941/sg>. Online, 2021.
- [10] Consiglio dei Ministri. Decreto Rilancio 20/05/2020. https://www.governo.it/sites/new.governo.it/files/DL_20200520.pdf. Online, 2021.
- [11] John A Duffie and William A Beckman. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, 2013.
- [12] Dumbiedykes. Community Energy Scotland, Tower Power. <https://www.localenergy.scot/funding/local-energy-challenge-fund/capital-demonstration-projects/round-2-2016/tower-power/>. Online, 2021.
- [13] ENEA. Atlante Solare ENEA. <http://www.solaritaly.enea.it/index.php>. Online, 2021.

- [14] ENEA. Le comunità energetiche in Italia. https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2020/guida_comunita-energetiche.pdf. Enea, Online, 2020.
- [15] ENEA, N.Colonna, M.Marani, R.Roberto. La pianificazione energetica territoriale. <https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-eai/speciale-eneaxexpo/pianificazione-energetica-territoriale.pdf>. Online, 2021.
- [16] Enel. Store Enel X. <https://www.enelxstore.com/it/it/prodotti/energia-solare/generazione-stoccaggio-energia/inverter>. Online, 2021.
- [17] EU. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>. Online, 2021.
- [18] European Space Agency. Copernicus Open Access Hub. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Online, 2021.
- [19] European Union. Policies and strategies for climate. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it. EU, Online, 2020.
- [20] Gazzetta Ufficiale. Electricity Directive 2019/944. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/29/20A01353/sg>. Online, 2021.
- [21] Gestore dei Mercati Energetici GME. Mercato dell'energia. 2021, Online.
- [22] GSE. Contributi REC. <https://www.gse.it/servizi-per-te/autoconsumo/gruppi-di-autoconsumatori-e-comunita-di-energia-rinnovabile/contributi-spettanti>. Online, 2021.
- [23] GSE. Portale Atlaimpanti. https://atla.gse.it/atlaimpanti/project/Atlaimpanti_Internet.html. Online, 2021.
- [24] GSE. Regole tecniche per incentivare l'energia elettrica condivisa. <https://www.gse.it/servizi-per-te/news/pubblicate-le-regole-tecniche-e-il-portale-informatico-per-le-istanze-preliminari>. Online, 2021.
- [25] Heiko Lorengel. Jühnde Bio-Energy Village in Germany. https://www.eesc.europa.eu/resources/docs/un_climate_conference_2013_11_11lohrengel.pdf. Online, 2021.
- [26] IEA. Total global energy investment. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-global-energy-investment-2017-2020>. IEA,Paris; 2017-2020.
- [27] IEA. Total global energy investment. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-global-energy-investment-2017-2020>. IEA,Paris; 2017-2020.

- [28] Infobuild. I Sistemi Informativi Territoriali. <https://www.infobuild.it/approfondimenti/gis-cose-e-a-cosa-serve/>. Online, 2021.
- [29] International Energy Agency. Impact on energy of Covid-19. <https://www.iea.org/topics/covid-19>. Online; 2020.
- [30] ISTAT. Censimento 2011. <https://www.istat.it/it/censimenti-permanenti/censimenti-precedenti/popolazione-e-abitazioni/popolazione-2011>. Online, 2021.
- [31] Jens HM Larsen, Hans Christian Soerensen, Erik Christiansen, Stefan Naef, and Per Vølund. Experiences from middelgrunden 40 mw offshore wind farm. In *Copenhagen offshore wind conference*, pages 1–8. Copenhagen Denmark, 2005.
- [32] Guglielmo Gianni Lione, A Ebone, F Petrella, P Terzuolo, Giovanni Nicolotti, Paolo Gonthier, et al. Decline of quercus robur forests in northwestern italy: current situation and tentative aetiology. 2012.
- [33] Ministero dell’Ambiente. Legge 221/2015. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/legge_28_12_2015_221.pdf. Online, 2015.
- [34] Ministero dello Sviluppo Economico. Incentivi economici per le REC. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/11/16/20A06224/sg>. Online, 2021.
- [35] Ministero dello Sviluppo Economico. PNIEC per l’italia. https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf. Online, 2021.
- [36] F Mongelli, G Zito, Bruno Della Vedova, G Pellis, P Squarci, and L Taffi. Geothermal regime of italy and surrounding seas. In *Terrestrial heat flow and the lithosphere structure*, pages 381–394. Springer, 1991.
- [37] G. Mutani, V. Todeschi, A. Tartaglia, and G. Nuvoli. Energy communities in piedmont region (it). the case study in pinerolo territory. In *2018 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, pages 1–8, 2018.
- [38] Guglielmina Mutani, Simone Beltramino, and Anna Forte. A clean energy atlas for energy communities in piedmont region (italy). *Int. J. Des. Nat. Ecodyn*, 15:343–353, 2020.
- [39] Guglielmina Mutani, Silvia Santantonio, Simone Beltramino, Valeria Todeschi, Ahmed Mohammed Sayed Mohammed, Yasuyuki Hirai, Peter Uchenna Okoye, Sarah Nicholls, José A López-Sánchez, Beltrán Roca, et al. Indicators and representation tools to measure the technical-economic feasibility of a renewable energy community. the case study of villar pellice (italy). *Planning*, 16(1):1–11, 2021.
- [40] Regione Autonoma della Valle d’Aosta. Geoportale SCT. <https://mappe.regione.vda.it/pub/geosentieri/>. Online, 2021.

- [41] Regione Autonoma Valle d'Aosta. PEAR Valle d'Aosta. https://www.regione.vda.it/energia/pianificazione_energetica_regionale/piano_energetico_ambientale_regionale-pear_i.aspx. Online, 2021.
- [42] Regione Autonoma Valle d'Aosta. SCT Geoportale Valle d'Aosta. <https://mappe.partout.it/pub/geonavitg/geodownload.asp?carta=DTM0508>. Online, 2021.
- [43] Regione Autonoma Valle d'Aosta. SCT Geoportale Valle d'Aosta. <https://mappe.partout.it/pub/geonavitg/geodownload.asp?carta=DTM0508>. Online, 2021.
- [44] Regione Autonoma Valle d'Aosta. Sito ufficiale della Regione Autonoma Valle d'Aosta. <https://www.regione.vda.it/>. Online, 2021.
- [45] Regione Lombardia. I Sistemi Informativi Territoriali. <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioRedazionale/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/territorio/sistema-informativo-territoriale-sit/sistema-informativo-territoriale-sit/sistema-informativo-territoriale-sit>. Online, 2021.
- [46] Regione Piemonte. D.D. n°547 del 08/10/2019. https://bandi.regione.piemonte.it/system/files/DD547_8_10_2019.pdf. Online, 2021.
- [47] Regione Piemonte. D.G.R. n.18-8520 dell'8 marzo 2019. http://www.regione.piemonte.it/governo/bollettino/abbonati/2019/11/attach/dgr_08520_990_08032019.pdf. Online, 2021.
- [48] Regione Piemonte. L.R. n.12 del 03/08/2018. <https://www.gazzettaufficiale.it/atto/regioni/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2019-02-09&atto.codiceRedazionale=18R00390>. Online, 2021.
- [49] Ricerca Sistema Energetico RSE. Atlante eolico. 2021, Online.
- [50] Sorgenia S.p.A. Costi di installazione di un impianto fotovoltaico. <https://www.sorgenia.it/guida-energia/costo-impianto-fotovoltaico#:~:text=Il%20prezzo%20varia%20dai%201.500,costa%20un%20impianto%20fotovoltaico%20mediamente>. Online, 2021.
- [51] Terna S.p.A. Curve di carico giornaliera. <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/dispacciamento/dati-esercizio#datiGiornalieri>. Terna S.p.A, Online, 2021.
- [52] Valeria Todeschi, Guglielmina Mutani, Lucia Baima, Marianna Nigra, and Matteo Robiglio. Smart solutions for sustainable cities—the re-coding experience for harnessing the potential of urban rooftops. *Applied Sciences*, 10(20):7112, 2020.

- [53] UNEP, UN Environment Programme. Improvement of the global rate of energy efficiency. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26309Ms._Djaheezah_Subratty_UN_Environment.pdf. UNEP, Online, 2020.
- [54] Europäische Union. Directive 2009/28/ec of the european parliament and of the council of 23 april 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/ec and 2003/30/ec. *Official Journal of the European Union*, 5:2009, 2009.
- [55] Unione Europea. Electricity Directive 2019/944. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944>. Online, 2021.
- [56] Unione Europea. Renewable Directive 2001/2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=fr>. Online, 2021.
- [57] United Nations Organizations. Sustainable Development Goals. <https://www.un.org/sustainabledevelopment>. Online; 2020.
- [58] United States Geological Survey. EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Online, 2021.
- [59] T. Zhu, Z. Huang, A. Sharma, J. Su, D. Irwin, A. Mishra, D. Menasche, and P. Shenoy. Sharing renewable energy in smart microgrids. In *2013 ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems (ICCPS)*, pages 219–228, 2013.

Elenco delle figure

1.1	<i>I 17 obiettivi dello Sviluppo Sostenibile. Fonte: United Nations</i>	2
1.3	<i>Fluttuazione della domanda di energia elettrica settimanale durante i lockdown in alcuni Stati. Fonte: International Energy Agency</i>	2
1.2	<i>Diminuzione degli investimenti nel settore energetico, nel 2020, causa Covid-19. Fonte: International Energy Agency</i>	3
1.4	<i>Quota di energia prodotta da FER e previsioni di riduzione dei gas serra. Fonte: International Energy Agency</i>	4
1.5	<i>Consumatore vs Prosumer. Fonte: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile</i>	5
1.6	<i>Tipologie di autoconsumo. Fonte: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile</i>	6
1.7	<i>N° di comunità energetiche in Europa. Fonte: Joint Research Centre in Ispra</i>	7
1.8	<i>FER sfruttate in Europa. Fonte: Joint Research Centre in Ispra</i>	7
1.9	<i>REC - Impianto eolico Middlegrunden. Fonte: articolo in [31] e Google Earth</i>	8
1.10	<i>REC - Bioenergy Village Jühnde. Fonte: articolo [25]</i>	9
1.11	<i>Rete elettrica. Fonte: elaborazione personale</i>	10
1.12	<i>Esempio di di curva di carico prevista e reale. Fonte: Terna S.p.A.</i>	11
1.13	<i>Rappresentazione di una Smart Grid. Fonte: elaborazione personale</i>	11
1.14	<i>Esempio di impianto fotovoltaico e struttura di una cella al silicio cristallino. Fonte: elaborazione personale</i>	15
1.15	<i>Esempi di impianti idroelettrici. Fonte: elaborazione personale</i>	15
1.16	<i>Energia eolica. Fonte: Atlante Eolico in [49]</i>	16
1.17	<i>Biomassa. Fonte: elaborazione personale</i>	16
1.18	<i>Impianto geotermoelettrico. Fonte: elaborazione personale</i>	17
2.1	<i>Requisiti REC piemontesi. Fonte: Decreto Legge in [46]</i>	21
3.1	<i>Metodologia per l'analisi energetica.(Fonte: Gruppo di Ricerca costituito dalla Prof.ssa Guglielmina Mutani, Prof.ssa Cristina Bertani e i dottorandi Valeria Todeschi, Simone Beltramino, Silvia Santantonio.)</i>	25

3.2	<i>Metodologia per la valutazione dei tetti di edifici urbani. Fonte: articolo in [52]</i>	26
3.3	<i>Integrazione dei dati nei GIS. (Fonte: Infobuild.it)</i>	29
4.1	<i>Stazioni meteo. In blu le stazioni ARPA; in arancione le stazioni del Centro Funzionali. Fonte: Centro Funzionale RAVDA in [6]</i>	31
4.2	<i>Contesto territoriale della Valle d'Aosta. Elaborazione propria con ArcGIS Pro</i>	32
4.3	<i>Mappa geomorfologica ed urbana della Valle d'Aosta. A) Aggregazioni di punti bianchi indicano i centri urbani, evidenziando anche le principali vie di comunicazione. B) La vista del sensore montato sul satellite è deducibile dal colore giallo, ossia W-E. C) La vegetazione è rappresentata con un colore giallo scuro, ocre. 4)Le aree montane sono indicate con diverse tonalità di blu e in risalto grazie ai rilievi in 3D Elaborazione propria con SNAP e pubblicazione in Google Earth</i>	33
4.6	<i>Spettro elettromagnetico solare. Fonte: Osservatorio Astrofisico di Torino</i>	34
4.7	<i>Impronta urbana della Valle d'Aosta. Elaborazione propria con ArcGIS</i>	34
4.4	<i>NDVI. Elaborazione propria con ArcGIS</i>	35
4.5	<i>NDSI. Elaborazione propria con ArcGIS</i>	36
4.8	<i>Orografia ed idrografia del Nord-Ovest valdostano. Elaborazione propria con ArcMap.</i>	37
4.9	<i>Altitudine delle municipalità della Valldigne. Elaborazione propria con ArcMap.</i>	38
4.10	<i>Mappa 3D della Valldigne. Elaborazione propria con ArcScene.</i>	38
4.11	<i>Limiti amministrativi di La Salle con i rispettivi Gradi Giorno. Elaborazione propria con ArcGIS.</i>	40
4.12	<i>Andamento della popolazione residente a La Salle al 31 dicembre di ogni anno. Fonte: ISTAT</i>	41
4.13	<i>Popolazione di La Salle per fasce di età. Fonte: ISTAT.</i>	41
4.14	<i>Caratteristiche dell'ambiente costruito e della viabilità a La Salle. Elaborazione propria con ArcGIS.</i>	43
4.15	<i>Età di costruzione degli edifici a La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	44
4.16	<i>APE degli edifici a La Salle. Fonte: Portale Beauclimat della Regione Valle d'Aosta</i>	44
4.17	<i>Stato di conservazione dell'edificato di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	45
4.18	<i>Carta della pendenza del territorio di La Salle. Elaborazione propria con ArcMap</i>	47
4.19	<i>Biomassa forestale. Elaborazione propria con ArcMap</i>	47
4.20	<i>Irradiazione solare estiva a La Salle. Elaborazione personale.</i>	49
4.21	<i>Irradiazione solare invernale a La Salle. Elaborazione personale.</i>	50
4.22	<i>Irradiazione solare primaverile a La Salle. Elaborazione personale.</i>	51

4.23	<i>Irradiazione solare autunnale a La Salle. Elaborazione personale.</i>	52
4.25	<i>Mappa 3D della Valtournenche. Elaborazione propria con ArcScene.</i>	54
4.24	<i>Orografia ed idrografia della Valtournenche. Elaborazione propria con Arc- Map</i>	54
4.26	<i>Altitudine dei comuni della Valtournenche. Elaborazione propria con ArcMap</i>	55
4.27	<i>Limiti amministrativi di Chamois con i rispettivi Gradi Giorno. Elabora- zione propria con ArcMap</i>	56
4.28	<i>Andamento della popolazione residente a Chamois al 31 dicembre di ogni anno. Fonte: ISTAT.</i>	57
4.29	<i>Popolazione di Chamois per fasce di età. Fonte: ISTAT.</i>	57
4.30	<i>Caratteristiche dell'ambiente costruito e della viabilità pedonale a La Salle. Elaborazione propria con ArcGIS</i>	59
4.31	<i>Età di costruzione degli edifici a Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	60
4.32	<i>APE degli edifici a Chamois. Fonte: Portale Beauclimat della Regione Valle d'Aosta</i>	60
4.33	<i>Stato di conservazione dell'edificato di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	61
4.34	<i>Irradiazione solare estiva a Chamois. Elaborazione personale.</i>	63
4.35	<i>Irradiazione solare invernale a Chamois. Elaborazione personale.</i>	64
4.36	<i>Irradiazione solare primaverile a Chamois. Elaborazione personale.</i>	65
4.37	<i>Irradiazione solare autunnale a Chamois. Elaborazione personale.</i>	66
5.1	<i>Consumo annuale degli immobili comunali di La Salle. Fonte: Elaborazio- ne personale</i>	69
5.2	<i>Consumo mensile degli immobili comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	69
5.3	<i>Consumo mensile degli immobili comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	70
5.4	<i>Coefficienti di apporto termico. Fonte: Elaborazione personale</i>	70
5.5	<i>Consumi termici degli edifici comunali di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	71
5.6	<i>Consumi residenziali di un'utenza domestica tipo. Fonte: Elaborazione personale</i>	72
5.7	<i>Confronto profili di consumo residenziale nei giorni feriali e festivi. Fonte: Elaborazione personale</i>	73
5.8	<i>Consumo elettrico mensile di illuminazione pubblica a La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	73
5.9	<i>Consumo elettrico giornaliero di illuminazione pubblica di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	74
5.10	<i>Consumo elettrico orario di illuminazione pubblica di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	75

5.11	<i>Impianti idroelettrici ad acqua fluente a La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	76
5.12	<i>Impianti idroelettrici a bacino, produzione elettrica annuale, giornaliera e oraria (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	77
5.13	<i>Produzione elettrica mensile da impianti idroelettrici a bacino (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	77
5.15	<i>Produzione elettrica mensile da impianti fotovoltaici (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	78
5.14	<i>Impianti fotovoltaici a La Salle e la produzione elettrica annua. Fonte: Elaborazione personale</i>	79
5.16	<i>Produzione elettrica giornaliera da impianti fotovoltaici (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	80
5.17	<i>Impianti termici a biomassa e produzione termica annua (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	81
5.18	<i>Energia elettrica producibile annualmente dalla biomassa accessibile nel territorio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	83
5.19	<i>Producibilità elettrica mensile da biomassa (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	84
5.20	<i>Producibilità elettrica giornaliera da biomassa (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	84
5.21	<i>Producibilità elettrica oraria da biomassa (LS). Fonte: Elaborazione personale</i>	84
5.22	<i>Scuole del capoluogo LS, tetto della palestra. Fonte: Google Earth.</i>	86
5.23	<i>Municipio di La Salle. Fonte: Google Earth.</i>	87
5.24	<i>Scuole della Frazione Derby. Google Earth.</i>	88
5.25	<i>Casermette di Derby. Google Earth.</i>	89
5.26	<i>Simulazione della producibilità oraria con PVGIS. Fonte: Elaborazione personale</i>	90
5.27	<i>Giorni medi di Duffie - Beckman. Fonte: articolo in [11]</i>	90
5.28	<i>Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Scuole del capoluogo. Fonte: Elaborazione personale</i>	91
5.29	<i>Producibilità elettrica oraria. Scuole del capoluogo. Fonte: Elaborazione personale</i>	91
5.30	<i>Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Municipio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	92
5.31	<i>Producibilità elettrica oraria. Municipio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	92
5.32	<i>Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Scuole di Derby. Fonte: Elaborazione personale</i>	93
5.33	<i>Producibilità elettrica oraria. Scuole di Derby. Fonte: Elaborazione personale</i>	93

5.34	<i>Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Casermette di Derby. Fonte: Elaborazione personale</i>	94
5.35	<i>Producibilità elettrica oraria. Casermette di Derby. Fonte: Elaborazione personale</i>	94
5.36	<i>Consumo annuale degli immobili comunali di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	97
5.37	<i>Consumo mensile degli immobili comunali di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	98
5.38	<i>Consumo mensile degli immobili comunali di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	98
5.39	<i>Coefficienti di apporto termico. Fonte: Elaborazione personale</i>	99
5.40	<i>Consumi residenziali di un'utenza domestica tipo. Fonte: Elaborazione personale</i>	100
5.41	<i>Confronto profili di consumo residenziale nei giorni feriali e festivi. Fonte: Elaborazione personale</i>	101
5.42	<i>L'impianto idroelettrici ad acqua fluente a Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	102
5.43	<i>L'impianto fotovoltaico di Chamois e la sua produzione elettrica annua. Fonte: Elaborazione personale</i>	103
5.44	<i>Produzione elettrica mensile dell'impianto fotovoltaico (CH). Fonte: Elaborazione personale</i>	104
5.45	<i>Produzione elettrica giornaliera dell'impianto fotovoltaico (CH). Fonte: Elaborazione personale</i>	104
5.46	<i>Municipio di Chamois. Google Earth.</i>	106
5.47	<i>Azienda agricola Crépin. Google Earth.</i>	107
5.48	<i>Simulazione della producibilità oraria con PVGIS. Fonte: Elaborazione personale</i>	108
5.49	<i>Giorni medi di Duffie - Beckman. Fonte: articolo in [11]</i>	108
5.50	<i>Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Municipio di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	109
5.51	<i>Producibilità elettrica oraria. Municipio di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	109
5.52	<i>Producibilità elettrica mensile e giornaliera. Azienda agricola Crépin. Fonte: Elaborazione personale</i>	110
5.53	<i>Producibilità elettrica oraria. Azienda agricola Crépin. Fonte: Elaborazione personale</i>	110
6.1	<i>Bilancio energetico annuale di La Salle: utenze municipali, IP, utenze residenziali e soli prosumer. Fonte: Elaborazione personale</i>	113
6.2	<i>Bilancio energetico mensile di La Salle: utenze municipali, IP, utenze residenziali. Fonte: Elaborazione personale</i>	114

6.3	<i>Bilancio energetico mensile di La Salle: utenze prosumer. Fonte: Elaborazione personale</i>	114
6.4	<i>Bilancio energetico per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale</i>	115
6.5	<i>Bilancio energetico mensile delle utenze prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	116
6.6	<i>Bilancio energetico orario. Scuole del capoluogo. Fonte: Elaborazione personale</i>	117
6.7	<i>Bilancio energetico orario. Municipio di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	117
6.8	<i>Bilancio energetico orario. Casermette di Derby. Fonte: Elaborazione personale</i>	118
6.9	<i>Bilancio energetico orario. Scuole Frazione Derby. Fonte: Elaborazione personale</i>	118
6.10	<i>Indici di bilancio energetico S, OP, UD per i prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	119
6.11	<i>Indicatori SSI e SCI per le utenze di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	120
6.12	<i>Bilancio energetico dei due scenari REC per La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	121
6.13	<i>S, OP, UD dei due scenari REC per La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	122
6.15	<i>Confronto tra gli indicatori di performance per i diversi scenari di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	123
6.14	<i>Indicatori di performance per gli scenari di REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	123
6.16	<i>Autoconsumo collettivo per i diversi scenari di REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	124
6.17	<i>Bilancio energetico annuale di Chamois: utenze municipali, IP, utenze residenziali e soli prosumer. Fonte: Elaborazione personale</i>	125
6.18	<i>Bilancio energetico mensile di Chamois: utenze municipali, IP, utenze residenziali. Fonte: Elaborazione personale</i>	125
6.19	<i>Bilancio energetico mensile di Chamois: utenze prosumer. Fonte: Elaborazione personale</i>	126
6.20	<i>Bilancio energetico per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale</i>	126
6.21	<i>Bilancio energetico mensile delle utenze prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	127
6.22	<i>Bilancio energetico orario. Municipio di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	127
6.23	<i>Bilancio energetico orario. Azienda agricola Crépin. Fonte: Elaborazione personale</i>	128
6.24	<i>Indici di bilancio energetico S, OP, UD per i prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	129
6.25	<i>Indicatori SSI e SCI per le utenze di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	129

6.26	<i>Bilancio energetico dei due scenari REC per La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	131
6.27	<i>S, OP, UD dei due scenari REC per Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	132
6.28	<i>Indicatori di performance per gli scenari di REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	133
6.29	<i>Confronto tra gli indicatori di performance per i diversi scenari di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	133
6.30	<i>Autoconsumo collettivo per i diversi scenari di REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	134
7.1	<i>Corrispettivo del prezzo zonale orario, in €/kWh. Fonte: Elaborazione personale</i>	136
7.2	<i>Fascie orarie giornaliere. Fonte: Elaborazione personale</i>	136
7.3	<i>Prezzi minimi garantiti dell'anno 2020. Fonte: ARERA in [1]</i>	136
7.4	<i>Costi e Ricavi per i prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	140
7.6	<i>Valore Attuale Netto e PBP per i prosumer di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	141
7.5	<i>Costi e Ricavi per le REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	141
7.7	<i>Flussi di cassa cumulati per le REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	142
7.8	<i>Flussi di cassa cumulati per le REC di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	143
7.9	<i>Costi e Ricavi per i prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	145
7.10	<i>Costi e Ricavi per le REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	145
7.11	<i>Valore Attuale Netto e PBP per i prosumer di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	146
7.12	<i>Flussi di cassa cumulati per le REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	147
7.13	<i>Flussi di cassa cumulati per le REC di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	147
A.1	<i>Schermata iniziale del tool. Fonte: PVGIS.</i>	150
A.2	<i>Datasets della radiazione solare. Fonte: PVGIS.</i>	151
A.3	<i>Pendenza ed Azimuth dei moduli fotovoltaici. Fonte:PVGIS.</i>	152

Elenco delle tabelle

1.1	<i>REC in Europa. Fonte: elaborazione personale</i>	8
2.1	<i>Requisiti REC piemontesi.</i>	20
2.2	<i>Incentivi per le Comunità Energetiche.</i>	22
2.3	<i>Costi amministrativi.</i>	23
3.1	<i>Criteri di valutazione dei tetti per l'uso della tecnologia basata sul solare. Fonte: elaborazione personale</i>	27
4.1	<i>Dati geomorfologici e socio-economiche della Valle d'Aosta. Fonte: elabo- razione personale</i>	31
4.2	<i>Gradi Giorno [°C]. Fonte: Elaborazione personale</i>	39
4.3	<i>Dati demografici di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	42
4.4	<i>Dati dell'edificato di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	44
4.5	<i>Le Perle delle Alpi. Fonte: Elaborazione personale</i>	53
4.6	<i>Dati demografici di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	58
4.7	<i>Dati dell'edificato di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	59
5.1	<i>Edifici del Comune di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	68
5.2	<i>Set-up tabella dei consumi. Fonte: Elaborazione personale</i>	70
5.3	<i>Utente domestico residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale</i>	71
5.4	<i>Consumo mensile utente residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale</i>	72
5.5	<i>Calcolo profilo orario di illuminazione pubblica di La Salle. Fonte: Elabo- razione personale</i>	74
5.6	<i>Categorie forestali accessibili. Fonte: Elaborazione personale</i>	83
5.7	<i>Scuole del capoluogo - tetto della palestra. Fonte: Elaborazione personale</i>	86
5.8	<i>Scuole del capoluogo - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale</i>	86
5.9	<i>Tetto del municipio. Fonte: Elaborazione personale</i>	87
5.10	<i>Municipio di La Salle - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale</i>	87
5.11	<i>Scuole della Frazione Derby - tetto. Fonte: Elaborazione personale</i>	88
5.12	<i>Scuole della Frazione Derby - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale</i>	88
5.13	<i>Casermette di Derby - tetto. Fonte: Elaborazione personale</i>	89
5.14	<i>Casermette di Derby - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale</i>	89

5.15	<i>Edifici del Comune di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	96
5.16	<i>Prezzo medio dell'energia elettrica per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale</i>	97
5.17	<i>Set-up tabella dei consumi. Fonte: Elaborazione personale</i>	98
5.18	<i>Utente domestico residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale</i>	99
5.19	<i>Consumo mensile utente residenziale tipo. Fonte: Elaborazione personale</i>	100
5.20	<i>Municipio di Chamois - tetto. Fonte: Elaborazione personale</i>	106
5.21	<i>Municipio di Chamois - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale</i>	106
5.22	<i>Azienda agricola Crépin - tetto. Fonte: Elaborazione personale</i>	107
5.23	<i>Azienda agricola Crépin - impianto fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale</i>	107
7.1	<i>Prezzo medio dell'energia elettrica per tipo di utenza. Fonte: Elaborazione personale</i>	137
7.2	<i>Costi degli impianti solare fotovoltaico. Fonte: Elaborazione personale . .</i>	137
7.3	<i>Investimenti REC del Comune di La Salle. Fonte: Elaborazione personale</i>	140
7.4	<i>Investimenti REC del Comune di Chamois. Fonte: Elaborazione personale</i>	144