POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Pianificazione e Progettazione

Corso di Laurea Magistrale in

Pianificazione Territoriale, Urbanistica e Paesaggistico-Ambientale

Curriculum: Pianificare la Città e il Territorio

Tesi di Laurea Magistrale

"Comunità energetiche e la pianificazione del territorio. Caso studio Regione Piemonte."

Relatore

Prof. Guglielmina Mutani

Candidato

Simone Beltramino

Anno Accademico 2019/2020

Indice

Introduzione

1.1 Oggetto e scopo della ricerca

1.2 Metodologia ed articolazione

Capitolo 1 - **Modelli contrattuali per l'efficienza energetica nei condomini**

1. Introduzione
2. Quadro giuridico di riferimento
3. Energy Service Company ESCO
4. Modelli contrattuali teorici
   4.1 Energy Performance Contract EPC
   4.2 Efficency Services Agreement ESA
   4.3 Chauffage Contracts
   4.4 Managed Energy Service Agreement MESA
   4.5 Contratto Servizio Energia "Plus"
5. Confronto tipologie contrattuali
6. Modello ACEA – Tecnozenith
7. Bibliografia e sitografia

Capitolo 2 - **Modelli territoriali per l'efficienza energetica**

1. Introduzione
2. Quadro giuridico di riferimento

3. Oil free zone
4. Legge Regionale
5. Comunità energetiche
6. Benefici della Comunità energetica
7. Come creare una comunità energetica
8. Tecnologie abilitanti
9. Conclusioni
10. Bibliografia e sitografia

Capitolo 3 – **Modelli business delle Comunità energetiche nei condomini**

1. Introduzione
2. Quadro normativo di riferimento
3. Tendenze del mercato elettrico
4. Tipologie di reti
5. Scambio sul posto
6. Conclusioni
7. Bibliografia e sitografia

Capitolo 4 – **Metodologia GIS: Calcolo dell'energia elettrica producibile da fonti rinnovabili in Piemonte**

1. Inquadramento
2. Consumi
3. Biomassa forestale

4. Biomassa agricola
5. Energia dai rifiuti
6. Energia eolica
7. Energia solare
8. Energia idraulica
9. Vincoli
10. Sintesi finale

Capitolo 5 – **Modelli per il dimensionamento delle comunità energetiche**

1. Modello
2. Dimensionamento comunità energetiche
3. Conclusioni
4. Bibliografia e sitografia

Abstract

Il lavoro di tesi svolto propone un metodo per il dimensionamento delle comunità energetiche applicato sul caso studio della regione Piemonte.

Il lavoro punta a valutare, tenendo in considerazione i consumi energetici e l'energia rinnovabile producibile dai territori, il corretto dimensionamento e l'aggregazione ottimale dei comuni per la formazione delle future comunità energetiche.

Nella prima parte della tesi si pone attenzione al contesto politico e normativo nel quale le comunità energetiche sono inserite, la Legge regionale 3 agosto 2018, n. 12. *Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche.* In questa legge regionale vengono affrontati temi non ancora legiferati a livello statale, fra questi di particolare rilevanza vi è la definizione della *"Oil free zone",* ovvero la volontà della politica locale ad avviare percorsi virtuosi che portino alla riduzione e al successivo abbandono dei combustibili fossili.

Nel lavoro vengono inoltre affrontati possibili modelli contrattuali per l'efficienza energetica nei condomini, è infatti importante che partecipino in maniera attiva alla comunità energetica. La creazione dal basso di un sistema di stakeholders garantisce infatti un funzionamento ottimale della comunità energetica.

Nella seconda parte della tesi è riportato un sintetico studio di pre-fattibilità e valutazione della producibilità di energia rinnovabile in Piemonte. Tramite l'utilizzo dei *software GIS* è stata calcolata l'energia elettrica potenzialmente producibile da biomassa forestale, biomassa agricola, rifiuti, eolico, solare e idraulica, nel rispetto delle ultime normative regionali, per poter osservare il potenziale di energia producibile da ogni comune. Si ricava dunque, una metodologia semplice ed efficace per fornire una stima delle prestazioni ambientali ed energetiche degli impianti ad energia rinnovabile e la loro fattibilità in termini energetici, economici ed ambientali.

In ultima analisi, considerando i modelli di producibilità, i consumi energetici di ogni comune e i limiti imposti dalla normativa regionale per la regolazione delle comunità energetiche, si propone un modello che ottimizza l'aggregazione dei comuni di un possibile dimensionamento delle future comunità energetiche. Questi meccanismi di pre-pianificazione che consentono di tenere in considerazione aspetti normativi, vincoli ambientali e aspetti socioeconomici, potrebbero inoltre contribuire a snellire e velocizzare i procedimenti autorizzativi di impianti da FER.

Abstract

The thesis work performed leads to the definition of a general method for sizing the *energy communities*, in particular the Piedmont region.

The thesis work aims to evaluate the correct sizing and optimal aggregation of municipalities for the formation of future energy communities, taking into account the energy consumption and the renewable energy produced by the territories.

In the first part of the thesis attention is paid to the political and normative context in which the energy communities are inserted, which is described in the law *Legge regionale 3 agosto 2018*, n. 12: *Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche*. In this law themes and issues which have not been legislated nationally yet, as the definition of "Oil-free zone", which is the will of the local politics to start virtuous paths to reduce and then leave the fossil fuels, is addressed.

In the thesis, certain possible contractual models for energy efficiency in condominiums are proposed. Actually, the active participation of condominiums is extremely important to create a bottom to top system of stakeholders, which is the best way to guarantee the optimal functioning of the energetic community.

In the second part of the thesis work, a brief study on the feasibility and an evaluation of the renewable energy production in Piedmont is reported. To this end, the GIS software has been used to calculate the electricity potentially produced by forest and agricultural biomass, waste, wind, solar and hydraulic biomass, in accordance with the latest regional regulations, in order to observe how much energy could be produced by each municipality. Thus, a simple and effective methodology has been derived to provide an estimation on energy and environmental performance for the renewable energy plants and their feasibility in terms of energy, economy and environment.

In the conclusion, considering the models of producibility, the energy consumption of each municipality and the limits imposed by the regional legislation for the regulation of the energy communities, a model to optimally aggregate municipalities for creating the energetic communities is reported. The result is a tool that that speed up the energy planning and help to streamline the authorization procedures.

Elenco delle abbreviazioni

FER	Fonti di Energia Rinnovabile
CSV	Comma - Separated Values
GIS	Geogrphic Information System
MIT	Massachusetts Institute of Technology
OSM	OpenStreetMap
QGIS	Quantum GIS
SIT	Sistema Informatico Territoriale
FTT	Finanziamento Tramite Terzi
CE	Energy Community
ESCo	Energy Service Company
EPC	Energy Performance Contract
ESA	Efficency Services Agreement
CC	Chauffage Contracts
MESA	Managed Energy Service Agreement

Elenco delle figure

Figura 1: ESCO soggetti e relazioni

Figura 2: Modello EPC

Figura 3: Modello ESA

Figura 4: Modello Chauffage

Figura 5: Modello MESA

Figura 6: Contratto servizio energia ‘’Plus’’

Figura 7: Modello ACEA - Tecnozenith

Figura 8: Schema cambiamento di paradigma derivante dalla costituzione di comunità energetiche

Figura 9: Tipologia di reti

Figura10: Modello condominiale nelle Oil Free zone

Figura 11: Metodologia GIS di consumo, produzione e producibilità dell’energia

Figura 12: Modelli energetici: consumo e produzione annuali, mensili, giornalieri

Elenco delle tabelle

Tabella 1: Confronto tipologie contrattuali

Tabella 2: Modello ACEA – Tecnozenith

Tabella 3: Classificazione climatica

Tabella 4: Produzione FER

Tabella 5: Categorie forestali nel territorio della Regione Piemonte (SIFOR)

Tabella 6: Ampiezza delle fasce di area forestale servite dalla viabilità

Tabella 7: Principali assortimenti retraibili per macrocategoria forestale

Tabella 8: Destinazione delle aree agricole

Tabella 9: Valori risaie - Resa e frazione utile

Tabella 10: Valori seminativi in asciutta - Resa e frazione utile

Tabella 11: Valori vigneti - Resa e frazione utile

Tabella 12: Valori frutteti - Resa e frazione utile

Tabella 13: Valori arboricoltura da legno – Resa e frazione utile

Tabella 14: Caratteristiche medie dei Rifiuti Solidi Urbani prodotti in Italia stimata da ISPRA

Tabella 15: Potere Calorifico Inferiore

Tabelle 16:Valori di trasmissività e rapporto radiazione diffusa su globale utilizzati

Tabella 17: Producibilitá tecnologie fotovoltaico

Elenco delle carte

Carta 1: Zona altimetrica

Carta 2: Popolazione residente 1° gennaio 2018

Carta 3: Consumi energia elettrica 2017

Carta 4: suddivisione delle aree forestali Regione Piemonte

Carta 5: Tipologie forestali

Carta 6: Grafo rete stradale

Carta 7: Classi di pendenza

Carta 8: Superfici stradali servite

Carta 9: Foreste servite dalla rete stradale

Carta 1: Energia termica producibile da biomassa forestale

Carta 11: Energia elettrica producibile da biomassa forestale

Carta 12: Tipologia di biomassa agricola

Carta 13: Energia termica producibile da biomassa agricola

Carta 14: Energia elettrica producibile da biomassa agricola

Carta 15: Energia termica producibile da rifiuti

Carta 16: Enrgia elettrica producibile da rifiuti

Carta 17: Velocitá media annua 25 metri

Carta 18: Producibilità complessiva annua 25 metri

Carta 19: Producibilità complessiva annua 50 metri

Carta 20: Producibilità complessiva annua 75 metri

Carta 21: Producibilità complessiva annua 100 metri

Carta 22: Punti di restituzione in corsi d'acqua e prese da acque superficiali

Carta 23: Punti di restituzione in corsi d'acqua e relativa portata

Carta 24: Digital terrain Model 10 metri

Carta 25: Potenziale idroelettcio

Carta 26: Energia solare producibile

Carta 27: Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti eolici

Carta 28: Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti di produzione elettrica alimentati da biomasse

Carta 29: Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti idroelettrici

Carta 3: Potenziale idroelettrcio con vincoli

Carta 31: Potenziale eolio con vincoli

Carta 32: Energia elettrica producibile da solare

Carta 33: Energia elettrica producibile da rifiuti

Carta 34: Energia elettrica producibile da biomassa agricola

Carta 35: Energia elettrica producibile biomassa forestale

Carta 36: Energia elettrica producibile da idroelettrico

Carta 37: Energia elettrica producibile da eolico

Carta 38: Energia elettrica producibile da biomassa agricola

Carta 39: Energia elettrica producibile da eolico

Carta 40: Energia elettrica producibile da biomassa forestale

Carta 41: Energia elettrica producibile da idroelettrico

Carta 42: Energia elettrica producibile da solare

Carta 43: Energia elettrica producibile rifiuti

Carta 44: Consumi energia elettrica totali

Carta 45: Potenziale producibile da FER totale

Carta 46: Differenza % tra consumi elettrici e potenziale da FER

Carta 47: Dimensionamento CE

Carta 48: Nuovo dimensionamento CE

1. Introduzione

Obiettivo comune della maggior parte degli stati è quello di raggiungere le “emissioni zero”, ovvero produrre energia cercando di limitare al minimo le emissioni nell’ambiente.

Attualmente in tutta Europa gruppi di cittadini si stanno mobilitando con l’obiettivo di arrivare ad ottenere l’indipendenza energetica attraverso la produzione locale di energia, che è in grande crescita.

In questo contesto si instaurano le *comunità energetiche*, ovvero aree territoriali in cui le parti interessate, dette *stakeholders*, producono localmente energia da fonti rinnovabili e la scambiano attraverso una rete locale.

Questo processo di scambio di energia generato dalle *comunità* porta una serie di benefici a livello territoriale: la gestione dell’energia è infatti ottimizzata, i consumi e i costi sono ridotti e il risparmio ottenuto può essere usato dalle comunità per investire ulteriormente sull’efficienza energetica.

Nella prima parte di questo lavoro è stata fatta una descrizione dello stato dell'arte, considerando gli aspetti giuridici, energetici e sociali nella quale si trovano le comunità energetiche.

In seguito, viene mostrato passo a passo un metodo, che mette in luce diversi tipi di indicatori energetici, economici, ambientali e sociali, e che può essere dunque usato per valutare uno sviluppo sostenibile per una comunità energetica, considerando come scenario futuro la massima producibilità da FER.

La dimensione energetica della pianificazione territoriale

La sfida al cambiamento climatico è attualmente quella più importante a livello globale. In questo contesto, la gestione delle aree urbane, che sono nodi focali del problema, diventa sempre più importante e, di conseguenza, la pianificazione territoriale è messa al centro del discorso.

L’obiettivo principale delle politiche e del governo del territorio è contrastare le emissioni di gas a effetto serra che il consumo di energia causa.

Le aree urbanizzate, dove ci sono rilevanti addensamenti di popolazione, rappresentano i luoghi maggiormente energivori dei territori, luoghi nei quali la domanda di energia e il suo consumo sono elevati. In particolare, i principali consumi energetici urbani sono dovuti al comfort delle abitazioni, ovvero da consumi come l’illuminazione, il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti interni.

In questo contesto una soluzione è rappresentata dalla *pianificazione energetica* che potenzialmente è uno strumento di governo del territorio adatto a coordinare nello stesso momento diversi aspetti di tipo ambientali, insediativi, climatici, di sviluppo socio-economico, che si presentano nei luoghi ad elevata urbanizzazione.

Al fine di ottenere una transizione progressiva verso la *low-carbon economy*, ovvero verso modelli insediativi e socio-economici meno impattanti per l'ambiente, le politiche relative al settore energetico sono fondamentali. Queste si distinguono per la loro dimensione multisettoriale e multi-scalare, che a differenza delle politiche settoriali, permette di considerare tutti i diversi aspetti di cui il territorio è formato. La pianificazione energetica riguarda infatti la pianificazione degli insediamenti e, pertanto, una netta separazione tra pianificazione energetica e pianificazione territoriale, porterebbe dei risultati poco soddisfacenti. La dimensione energetica inoltre è sempre più rilevante ed inizia ad assumere peso nelle scelte di governo del territorio assumendo sempre più una dimensione multisettoriale e multi scalare.

I cambiamenti climatici sono fortemente influenzati dal settore energetico, nello specifico la produzione ed il consumo di energia incidono per i due terzi delle emissioni mondiali di gas climalteranti (IEA, 2015). La relazione tra l'assetto del territorio e l'energia come abbiamo sottolineato fin qui è evidente nelle aree urbanizzate. La relazione che intercorre tra le parti risulta essere bidirezionale, infatti, anche scelte territoriale hanno degli impatti sui consumi e sulla produzione energetica.

È dunque la pianificazione territoriale con i suoi strumenti che per antonomasia può coniugare le trasformazioni urbane con lo sviluppo sostenibile, intervenendo con politiche mirate che tengono in considerazione i diversi aspetti che le città presentano.

Energy trilemma

Il *World Energy Council* definisce la sostenibilità energetica considerando tre aspetti chiave: sicurezza energetica, sostenibilità ambientale e equità energetica. Questi tre aspetti costituiscono un così detto "trilemma", che costituisce complessi intrecci tra attori pubblici e privati, istituzioni, fattori economici e sociali, ecc.

Produrre politiche che vadano a trattare la sicurezza energetica, l'accesso a servizi energetici a prezzi accessibili e la produzione e l'uso dell'energia rispettosi dell'ambiente è una delle sfide più complicate che si presentano oggi.

Il lavoro di tesi svolto propone un metodo per il dimensionamento delle comunità energetiche e, in particolare, il dimensionamento della comunità energetica del Piemonte. Questo lavoro pertanto punta in parte ad offrire un quadro chiaro della situazione piemontese in questo momento sulla produzione e uso di energia. Inoltre, proporrà in maniera chiara e trasparente modelli per il calcolo della producibilità di energia rinnovabile e in seguito per il dimensionamento delle comunità energetiche, lavoro che potrà essere di supporto per scelte di governo del territorio.

1.1 Oggetto e scopo della ricerca

L'oggetto del presente lavoro di tesi si inquadra all'interno di un progetto di ricerca iniziato a LINKS Foundation, rivolto alla pianificazione energetica, i cui principali obiettivi sono: una ricerca approfondita sulle Comunità energetiche e l'ambiente in cui si sviluppano e il dimensionamento di queste comunità in un'ottica ideale di energia prodotta da FER sfruttata al massimo delle potenzialità.

Lo scopo del tirocinio curricolare svolto è stato quello di analizzare i possibili modelli contrattuali per l'efficienza energetica nei condomini, è infatti importante che partecipino in maniera attiva alla comunità energetica. La creazione dal basso di un sistema di stakeholders garantisce infatti un funzionamento ottimale della comunità energetica.

La seconda parte, relativa ai modelli utilizzati per il dimensionamento e la valutazione del potenziale da FER, segue passo a passo le elaborazioni nella maniera più trasparente possibile, in quanto si vogliono mostrare i vantaggi e svantaggi dei modelli utilizzati. Tale lavoro, fornisce inoltre delle basi chiare ed esecutive che saranno utili a chi vorrà approfondire e proseguire questa ricerca.

1.2 Metodologia ed articolazione

La metodologia di stesura utilizzata segue pari passo il procedimento pratico svolto, si ribadisce infatti come questa tesi voglia essere una relazione operativa dei progressi svolti, volta ad un utilizzo futuro come supporto di partenza.

Si inizierà dai fondamenti teorici, per apprendere i metodi e le tecnologie atti a produrre progetti validi, passando a una fase sperimentale di applicazione su quanto appreso e concludendo con la stesura della creazione del progetto finale.

Il presente lavoro di tesi si articola in cinque sezioni principali:

Capitolo 1 - Modelli contrattuali per l'efficienza energetica nei condomini

Nell primo capitolo viene fatta una ricerca riguardante i modelli contrattuali per l'efficienza energetica nei condomini. Molto importante infatti per a creazione di comunità energetiche è la creazione dal basso (bottom-up) di un sistema di stakeholders che partecipano in maniera attiva alle comunità energetiche. La ricerca in oggetto analizza i nuovi modelli esistenti che permettono questi tipi di aggregazione e i soggetti che entrano a farne parte, in particolare le ESCO (Energy Service Company), imprese che realizzano gli interventi, con un contratto di prestazione energetica.

Come si vedrà nel capitolo, i modelli presentati incentivano attraverso la ristrutturazione al miglioramento energetico delle abitazioni e alla creazione di nuovi *producers* che potranno contribuire immettendo in rete l'energia prodotta in eccesso. La creazione dal basso di un sistema di stakeholders garantisce infatti un funzionamento ottimale della comunità energetica.

Capitolo 2 - Modelli territoriali per incentivare l'efficienza energetica

Il seguente capitolo pone attenzione al contesto politico e normativo nel quale le comunità energetiche sono inserite, la Legge regionale 3 agosto 2018, n. 12. Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche. In questa legge regionale vengono affrontati temi non ancora legiferati a livello statale, fra questi di particolare rilevanza vi è la definizione della "Oil free zone", ovvero la volontà della politica locale ad avviare percorsi virtuosi che portino alla riduzione e al successivo abbandono dei combustibili fossili.

Capitolo 3 - Modelli business delle Comunità energetiche nei condomini

Il capitolo affronta il quadro normativo, le tendenze del mercato elettrico e i trend normativi del mercato elettrico italiano. Si andranno ad approfondire, inoltre, le tipologie di reti: alcuni concetti preliminari come le diverse tipologie di reti che vengono definite dall'Autority e altre definizioni, come quelle date da ARERA.

Le conclusioni di questo capitolo affronteranno i problemi alla base dell'avvio delle comunità energetiche.

Capitolo 4 - Metodologia GIS: Calcolo dell'energia elettrica producibile da fonti rinnovabili in Piemonte

Questa seconda parte della tesi riporta un sintetico studio di pre-fattibilità e valutazione della producibilità di energia rinnovabile in Piemonte. Tramite l'utilizzo dei software GIS è stata calcolata l'energia elettrica potenzialmente producibile da biomassa forestale, biomassa agricola, rifiuti, eolico, solare e idraulica, nel rispetto delle ultime normative regionali, per poter osservare il potenziale di energia producibile da ogni comune. Si ricava dunque, una metodologia semplice ed efficace per fornire una stima delle prestazioni ambientali ed energetiche degli impianti ad energia rinnovabile e la loro fattibilità in termini energetici, economici ed ambientali.

Capitolo 5 - Modelli per il dimensionamento delle comunità energetiche

In ultima analisi, considerando i modelli di producibilità, i consumi energetici di ogni comune e i limiti imposti dalla normativa regionale per la regolazione delle comunità energetiche, si

propone un modello che ottimizza l’aggregazione dei comuni con un esempio di un possibile dimensionamento delle future comunità energetiche.

Capitolo 1

Modelli contrattuali per l'efficienza energetica nei condomini

1. Introduzione

Gli edifici rappresentano una parte al quanto rilevante dei consumi di energia, ma nella situazione odierna di difficoltà economica è difficile investire in interventi di efficientamento facendo affidamento solo su risorse proprie. Per far sì che si attui una riqualificazione di qualità e che non si limiti ad effettuare interventi minimi, è importante superare legato al costo dei lavori.

Una soluzione a questo problema può essere rappresentata dalle ESCO (Energy Service Company), imprese specializzate nel realizzare interventi con un contratto di prestazione energetica.

Il contratto di rendimento energetico viene introdotto dall'Art. 3 lett. j della Direttiva 2006/32/CE:

"Energy performance contracting: a contractual arrangement between the beneficiary and the provider (normally an ESCO) of an energy efficiency improvement measure, where investments in that measure are paid for in relation to a contractually agreed level of energy efficiency improvement."

I contratti di rendimento energetico sono un accordo contrattuale tra il beneficiario e il fornitore. Il contratto ha come oggetto principale le **misure relative al miglioramento della prestazione energetica**, dove i pagamenti vengono erogati in funzione del miglioramento dell'efficienza energetica che viene stabilito nel contratto iniziale.

2. Quadro giuridico di riferimento

- Direttiva 2006/32/CE, concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici.

- Direttiva 2012/27/UE, sull'efficienza energetica.

- D.lgs. n. 115/2008, attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici.

- Decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102, attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

3. *Energy Services Company* ESCO

Il termine ESCO (Energy Services Company o Società di Servizi Energetici), viene introdotto dall'art 2 c.1 lett.i del DLgs 115/2008, attuazione della Direttiva 2006/32/CE:

"*Energy service company* (ESCO): *a natural or legal person that delivers energy services and/or other energy efficiency improvement measures in a user's facility or premises, and accepts some degree of financial risk in so doing. The payment for the services delivered is based (either wholly or in part) on the achievement of energy efficiency improvements and on the meeting of the other agreed performance criteria."*

Soggetti e relazioni

Sono parti importanti dell'operazione il soggetto che il D.lgs. n. 115/2008 chiama "fornitore", in generale è la figura dell'**ESCO** e il "beneficiario" dell'intervento, ossia, il **cliente** (*Costumer*) individuale come proprietari di alloggi o Piccole Medie Imprese PMI.

Tra i soggetti, rivestono grande importanza le **autorità pubbliche** (*Public Authority*) che tramite gli incentivi di efficientamento energetico (Titoli di Efficienza Energetica TEE, Conto termico, Sgravi fiscali e Detrazioni fiscali[1]), rivolti alla popolazione e alle P.A., offrono un importante leva finanziaria.

Il **servizio energetico** (*Utility*) rappresenta il soggetto che fornisce energia in cambio di un compenso economico (ACEA). Si annoverano poi **aziende fornitrici di tecnologie** (*Technology supply companies*) di efficientamento energetico e le **aziende di costruzioni** (*Construction companies*), soggetti deputati a installare le tecnologie.

In tale iniziativa possono entrare a farne parte anche altri soggetti da considerarsi parti eventuali, perché possono non esserci quando è la ESCO a ad assumersi tali responsabilità: come le **istituzioni finanziarie** (*Lender*), come istituti di credito, *forfaiting fund*, obbligazioni e *yieldco*, che partecipano al finanziamento dell'intervento di riqualificazione, le **assicurazioni** (*Insurance*) o garanti dell'investimento, che offrono una assicurazione da fallimento legata alla rischiosità dell'intervento. Lo **sviluppatore del progetto** (*Project developer*), il soggetto che si sostituisce alla ESCO implementando un progetto assumendosi su di sé i rischi finanziari.

Tali soggetti sono legati da scambi di beni in cui al centro troviamo la ESCo, soggetto fondamentale di coinvolgimento dei cari soggetti.

[1] **Allegato A**

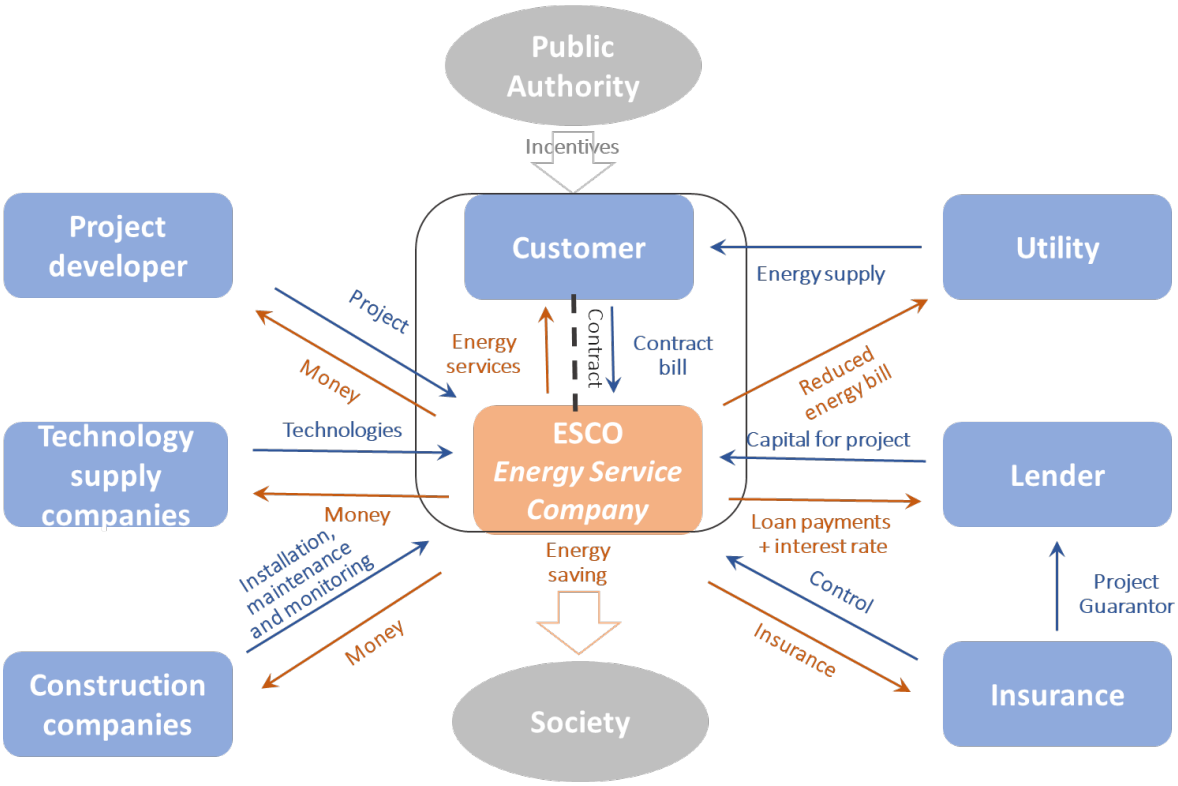


Figura 1: ESCO soggetti e relazioni

4. Modelli contrattuali teorici

Per quanto concerne i rischi d'investimento, al finanziamento ed al guadagno percepito della ESCo variano, infatti, gli interventi di prestazione energetica danno luogo a molteplici tipologie di contratto di rendimento energetico, che si vengono a creare in base alle condizioni contrattuali.

4.1 Contratto di rendimento energetico EPC

Introdotto con il D.Lgsl 115/2008, il Decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102, attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, art.2 c.2, lett. n lo ridefinisce:

"Energy performance contracting means a contractual arrangement between the beneficiary and the provider of an energy efficiency improvement measure, verified and monitored during the whole term of the contract, where investments (work, supply or service) in that measure are paid for in relation to a contractually agreed level of energy efficiency improvement or other agreed energy performance criterion, such as financial savings."

L'oggetto del contratto di efficientamento energetico riguarda principalmente: individuazione, progettazione e realizzazione di un grado di efficienza energetica, che permetta di far ottenere al beneficiario un risparmio relativo nella bolletta energetica. La ESCo individua l'intervento più congruo in base al tipo di situazione fissando un margine di risparmio conseguibile dall'intervento. Il rapporto contrattuale impegna la **ESCo** in attività di

progettazione e **realizzazione** dell'intervento selezionato, assumendosi il rischio tecnico e il rischio finanziario garantendo l'effettivo raggiungimento del livello di risultato preposto in fase di stipula del contratto. Durante questo periodo di norma la ESCo si occupa inoltre della manutenzione e soprattutto della gestione dell'impianto oggetto di contratto. Questa società poi finanzia questa attività, per recuperare l'investimento iniziale nel tempo, tramite i ricavi conseguono dall'attività.

L'EPC normalmente si applica insieme al Finanziamento Tramite Terzi (FTT), meccanismo che prevede la realizzazione di un progetto tramite un finanziamento proveniente da un soggetto terzo, che in genere sono banche o fondi d'investimento. In questo modo non ci si deve occupare di cercare un finanziatore, in quanto solitamente le ESCo hanno degli accordi con questi finanziatori.

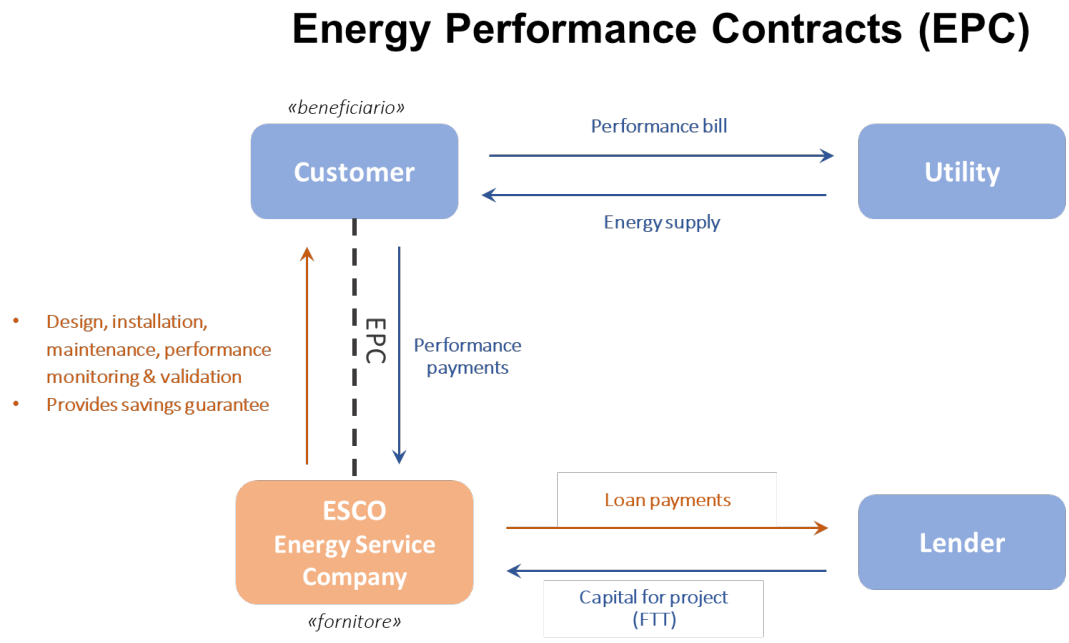


Figura 2: Modello EPC

4.2 Efficency Services Agreement ESA

I contrati ESA sono accordi contrattuali simili agli EPC. Come per l'EPC, infatti:

"Means a contractual arrangement between the beneficiary and the provider of an energy efficiency improvement measure, verified and monitored during the whole term of the contract, where investments (work, supply or service) in that measure are paid for in relation to a contractually agreed level of energy efficiency improvement or other agreed energy performance criterion, such as financial savings."

Il contratto ESA si differenzia dal contratto EPC per il fatto che il fornitore è uno sviluppatore terzo, differente dalle ESCo. In questo caso è infatti lo **sviluppatore del progetto ESA**

(SPE) che si fa carico dei costi di **progettazione** e di **realizzazione** dell'intervento, assumendosi il rischio tecnico e finanziario. Come per il contratto EPC, dopo che un progetto è operativo, il proprietario dell'edificio utilizza una parte dei risparmi associati al ridotto consumo di energia per effettuare pagamenti periodici del servizio allo sviluppatore ESA, che variano in base alla quantità effettiva di risparmi ottenuti.

Lo sviluppatore del progetto ESA può stipulare un contratto separato con una società che offre servizi energetici ESCO, quando l'intervento è operativo, fornisce servizi di **manutenzione e monitoraggio** del progetto in corso sotto contratto al fornitore dell'ESA. Il fornitore ESA effettua i pagamenti alla ESCO per i servizi offerti.

Un cliente ESA gode di bollette più basse per tutta la durata del contratto ma, quando questo si conclude, non ha il possesso delle apparecchiature installate a meno che non acquisti l'attrezzatura al valore di mercato.

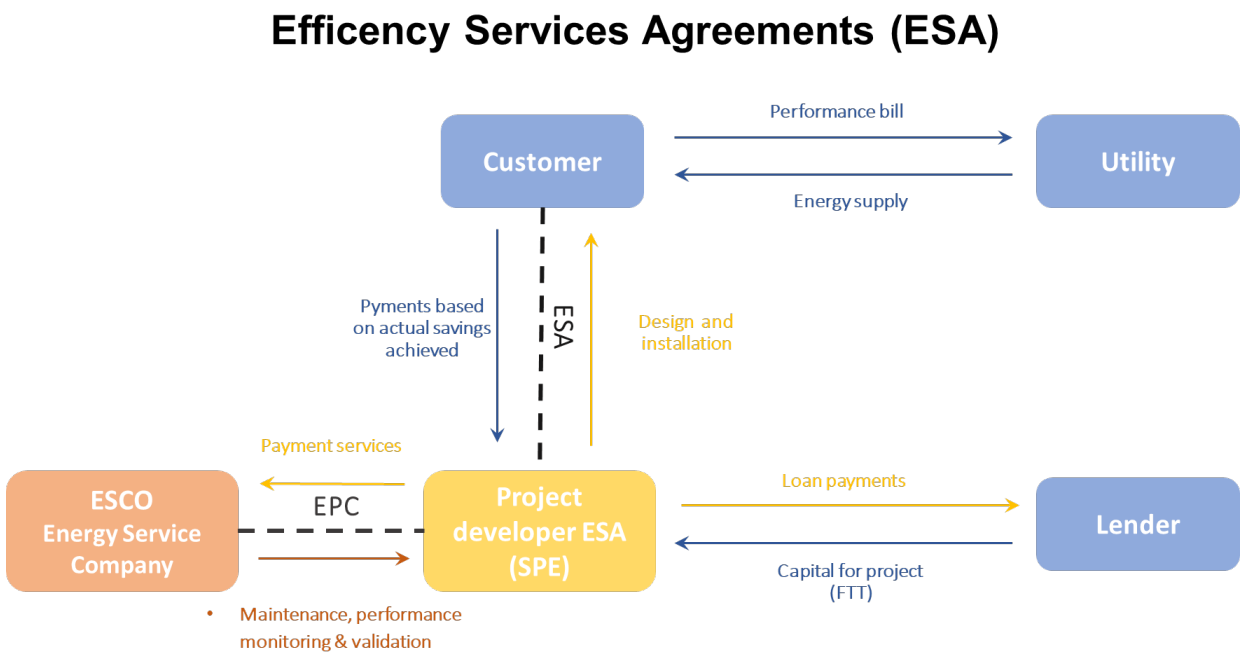


Figura 3: Modello ESA

4.3 Chauffage Contracts

Il contratto Chauffage viene introdotto con il rapporto RT/2017/39/ENEA:

"The customer gives the management of his plants to the ESCO that provides for the payment of energy bills and fuel invoices for the whole duration of the contract, behind the payment of a fee equal to the energy expenditure that the customer faced before the contract entered into force, less an agreed discount."

Secondo lo schema contrattuale dello Chauffage, il cliente affida la **gestione dei propri impianti** alla ESCO, che si assume la completa responsabilità della fornitura di servizi energetici (come: calore, illuminazione, forza motrice, ecc.), a seguito di un canone uguale alla spesa energetica che il beneficiario aveva prima del contratto, meno uno sconto deciso contrattualmente (spesso nel range del 5-10%). Questo fa sì che si garantisca al cliente un risparmio immediato rispetto alla bolletta normalmente pagata.

In sostanza, viene attuato una sorta di *outsourcing*, cioè un'operazione in cui l'utente affida ad un terzo lo svolgimento di un'attività che in passato svolgeva lui stesso. Il rapporto contrattuale che ne consegue poi, obbliga l'**ESCo** alla cura ed al coordinamento di tutte le attività volte alla **progettazione** e **realizzazione** dell'intervento individuato, attraverso l'assunzione su di sé del rischio tecnico e del rischio finanziario, durante il quale l'ESCo cura anche la **gestione** e la **manutenzione** degli impianti.

Questi contratti sono molto utili quando il cliente desidera esternalizzare i servizi e gli investimenti della struttura, adeguato al soddisfacimento delle esigenze della Pubblica Amministrazione.

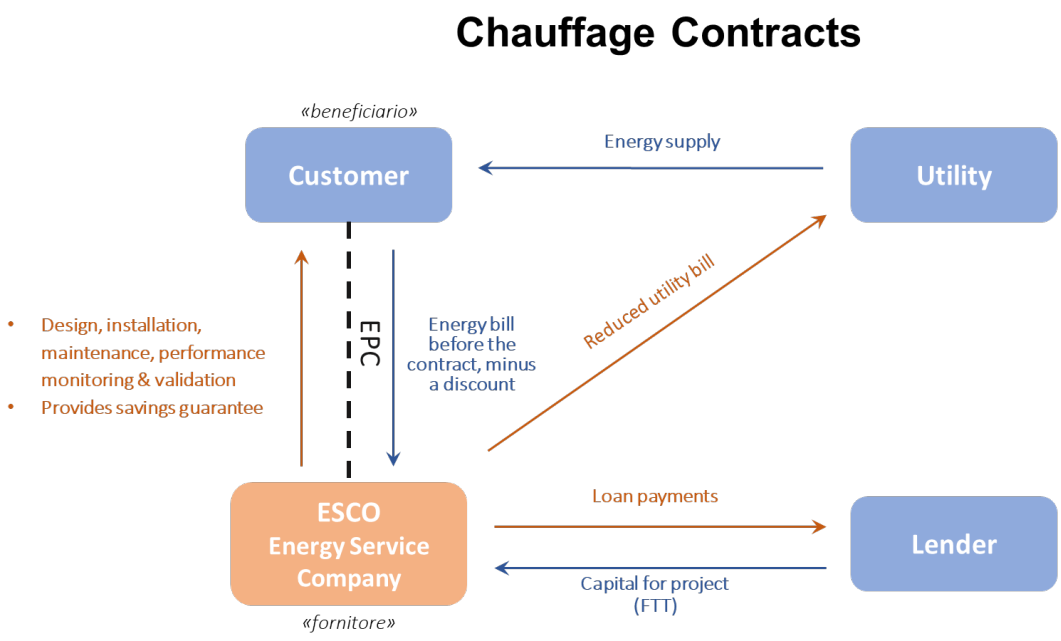


Figura 4: Modello Chauffage

4.4 Managed Energy Service Agreement MESA

I contrati MESA sono accordi contrattuali simili agli Chauffage. Come per lo Chuffage, infatti:

"The customer gives the management of his plants to the ESCO that provides for the payment of energy bills and fuel invoices for the whole duration of the contract, behind the

payment of a fee equal to the energy expenditure that the customer faced before the contract entered into force, less an agreed discount."

Il contratto MESA si differenzia dal contratto Chauffage per il fatto che il fornitore è uno sviluppatore terzo, differente dalle ESCo. In questo caso è infatti, lo **sviluppatore del progetto MESA** che si assume la **gestione della struttura** di un cliente, incluso la **progettazione** e l'**installazione** di aggiornamenti di efficienza energetica e la responsabilità per le bollette, in cambio di a serie di pagamenti in base al consumo energetico storico adeguato alle attuali tariffe energetiche, alle condizioni meteorologiche e all'occupazione dell'edificio, garantendo al cliente una garanzia di pagamento rispetto alla bolletta corrente.

Lo sviluppatore del progetto MESA si carica della responsabilità di fornire il servizio energetico, per cui più efficientemente ed economicamente può farlo maggiori sono i suoi guadagni. Lo sviluppatore del progetto MESA può stipulare un contratto separato con una società ESCo, quando l'intervento è operativo, fornisce servizi di **manutenzione e monitoraggio** del progetto in corso sotto contratto al fornitore del MESA. Il fornitore MESA effettua i pagamenti alla ESCO per i servizi offerti.

Un cliente MESA gode di bollette stabili per tutta la durata del contratto ma, quando questo si conclude, non ha il possesso delle apparecchiature installate a meno che non acquisti l'attrezzatura al valore di mercato.

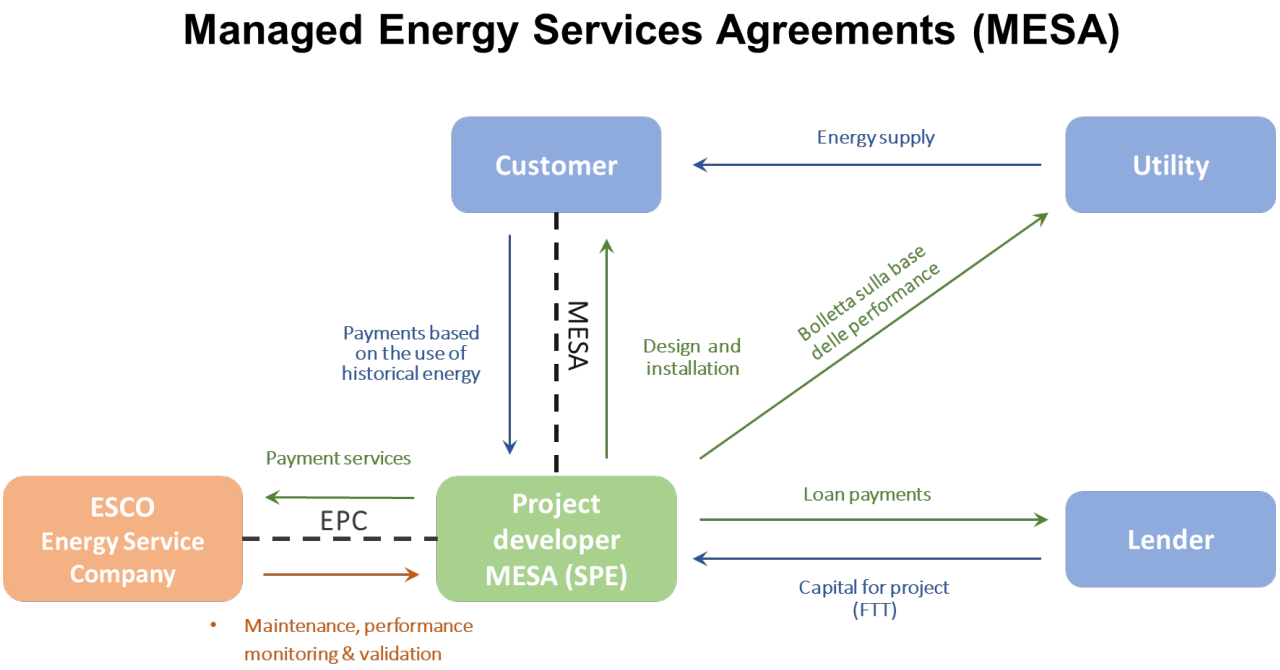


Figura 5: Modello MESA

4.5 Contratto servizio energia "Plus"

Il contratto di servizio energia Plus è definito dal Dlgs 115/2008 (allegato II paragrafo 5) come un contratto di rendimento energetico EPC. A differenza dei contratti già elencati, il suddetto contratto deve ottenere alcuni requisiti energetici, in particolare deve: prevedere la **riduzione di energia per la climatizzazione invernale di almeno il 10%** rispetto a quanto riportato in precedenza sul contratto, tramite interventi strutturali di riqualificazione energetica.

Per ottenere la qualifica di contratto di servizio energia Plus, occorre inoltre prevedere l'**installazione** di **sistemi di termoregolazione** per quelle zone con caratteristiche simili di uso ed esposizione.

Il vantaggio di questa tipologia contrattuale di ultima generazione aumenta ulteriormente grazie ad alcuni incentivi, in particolare con la **cessione del credito d'imposta**. La cessione del credito aiuta tramite agevolazioni fiscali i soggetti che non dispongono di fondi sufficienti per gli interventi di ristrutturazione, la Legge di Bilancio 2018 (circolare Agenzia delle Entrate 11/E/2018) prevede la cessione dell'Ecobonus e l'Ecobonus e Sismabonus condomini[2], che prevede un rimborso fiscale nel decennio di durata del contratto, consente di ottenere la detrazione in un unico colpo.[3]

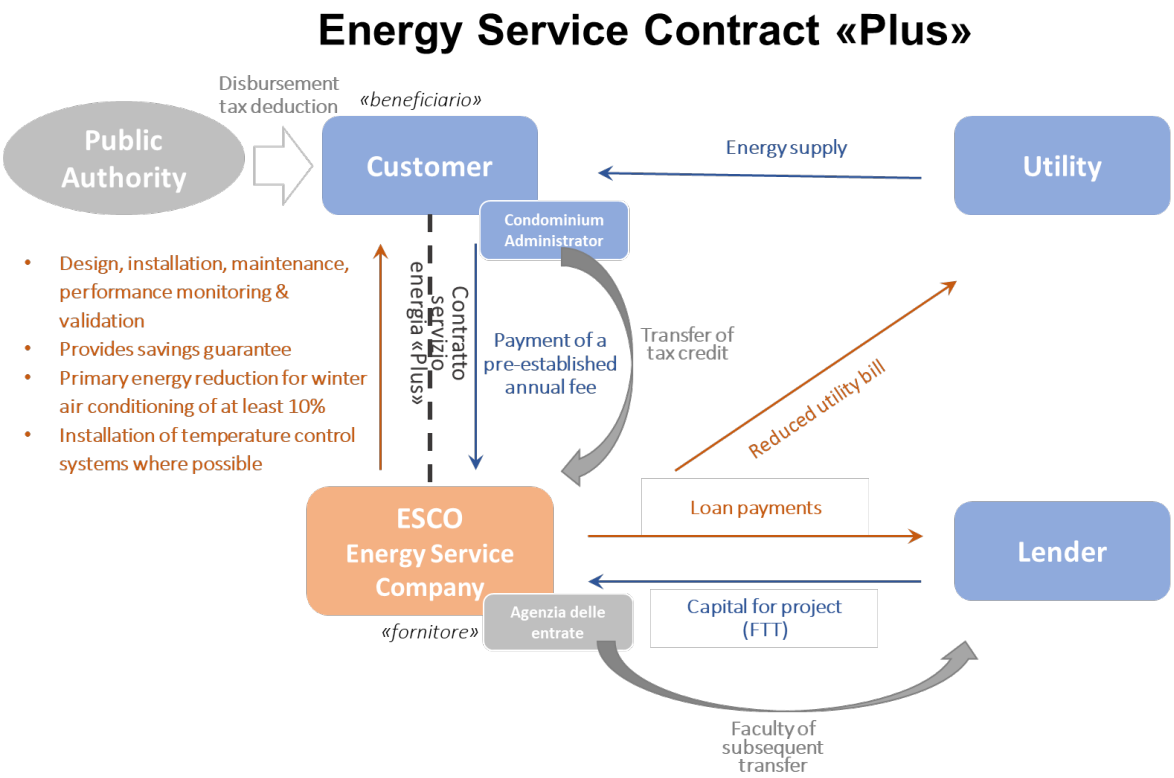


Figura 6: Modello Contratto servizio energia "Plus"

[2] **Allegato A**
[3] https://www.informazionefiscale.it/ecobonus-detrazione-risparmio-energetico-contratto-energia-plus

5. Confronto tipologie contrattuali

Nella tabella sottostante vengono messi a confronto le caratteristiche distintive dei modelli contrattuali per avere un quadro più chiaro delle differenze che li contraddistinguono.

	Energy Service Performance (EPC)	Efficency Services Agreement (ESA)	Chauffage Contracts	Managed Energy Services Agreement (MESA)	Energy Service Contract «Plus»
Responsabile pagamento bolletta	Beneficiario	Beneficiario	ESCO	ESCO	Beneficiario
Proprietà tecnologia fine contratto	Beneficiario	ESA, acquistabile dal beneficiario	Beneficiario	MESA, acquistabile dal beneficiario	Beneficiario
Remunerazione ESCO	Rimborso basato sulle prestazioni	Rimborso basato sulle prestazioni	Spesa energetica prima del contratto, meno uno sconto	Rimborso basato sull'utilizzo dell'energia storica	Pagamenti canone annuo prestabilito
Durata contratto	1 - 10 anni	5 - 20 anni	20 - 30 anni	5 - 30 anni	1 - 10 anni
Rischio tecnico e finanziario	ESCO	ESA	ESCO	MESA	ESCO

Tabella 1: Confronto tipologie contrattuali

6. Modello ACEA - Tecnozenith

Le tipologie contrattuali analizzate fino a qui sono modelli principalmente teorici che rappresentano le relazioni tra i soggetti in gioco. Questi modelli si differenziano dalle relazioni che si vengono a formare nella pratica, in quanto, il modello contrattuale attuato nella pratica è caratterizzato da una logica di massimizzazione economica dei processi che porta delle modifiche nelle relazioni che intercorrono tra i soggetti in gioco.

La logica di massimizzazione economica porta a creare accordi di unione tra soggetti che puntano ad un incremento delle entrate tramite l'**economia di scala**, rendendo più profittevoli gli scambi che intercorrono tra le parti. Si viene a formare quindi raggruppamento tra l'ESCO e il servizio di fornitura di energia. Questo legame, confermato con degli accordi tra le parti, permette una maggiore fattibilità e sicurezza economica dei progetti grazie alla condivisione di credito e delle detrazioni. Come avviene per il **Progetto Energheia** sviluppato da una Joint Venture tra le ESCo Acea Pinerolese Energia e la ESCo Tecnozenith[4]. Il Progetto Energheia prevede 3 STEP progettuali-gestionali:

STEP 1: Interventi previsti sull'involucro del Condominio sono:

- Sostituzione dei serramenti

[4] Energy Service Company ESCo piemontese (sede a Saluzzo) https://www.tecnozenith.it/

- Insuflaggio / cappotto pareti verticali
- Cappotto intradosso soletta piano cantina
- Coibentazione sottotetto

STEP 2: Gli interventi sulla produzione di energetica:

- Installazione fotovoltaico sul tetto
- Installazione impianto Pompa di Calore in funzionamento ibrido con la caldaia condominiale

STEP 3: La gestione energetica: sottoscrizione di un **contratto Servizio Energia Plus** (EPC secondo D.lgs 115/2008) di 10 anni con il condominio, con il quale si garantisce il risultato energetico e l'installazione eseguita.

Il Progetto Energheia prevede la diffusione del modello di efficientamento su tutto il territorio italiano mediante una rete di "Multiutility" territoriale legate con le ESCO madri da contratti di JV. In questo modo è garantita la reperibilità sul territorio potendo usufruire ad un tempo dei contratti commerciali territoriali delle multiutility e della loro capienza fiscale.

Nel Progetto Energheia la Rete Multiutility minimale prevista è formata da 10 contratti di Joint Venture di cui uno è quello principale tra Acea e Tecnozenith e 9 sono i secondari. Ogni JV si stima che sia in grado di produrre almeno 10 contratti EPC da qui al 2021, per un totale di 100 Condomini Contrattualizzati[5]. Il condominio medio della provincia italiana è di circa 30 appartamenti. L'ammontare delle opere di efficientamento energetico necessarie a questo tipo di condominio è normalmente pari a 1.000.000 € IVA compresa. Il pagamento da parte del condominio di tali opere è normalmente eseguito per i 45% mediante cessione di credito fiscale al costruttore e per il 55% mediante un finanziamento bancario.[6]

[5] Al momento il tasso d'interesse richiesto da Tecnozenith è del 3,5%. Con l'ingresso nel processo di istituzioni come il Politecnico di Torino e il centro di ricerca LINKS Foundation, che garantiscono una certa qualità e sicurezza delle stime di calcolo effettuate, il tasso d'interesse richiesto può scendere fino al 1,5 – 2,0%. Questo ulteriore guadagno economico si accumula agli altri che può portare al finanziamento della società no-profit per la creazione della Comunità energetica.

[6] https://www.energheiatecno.com/

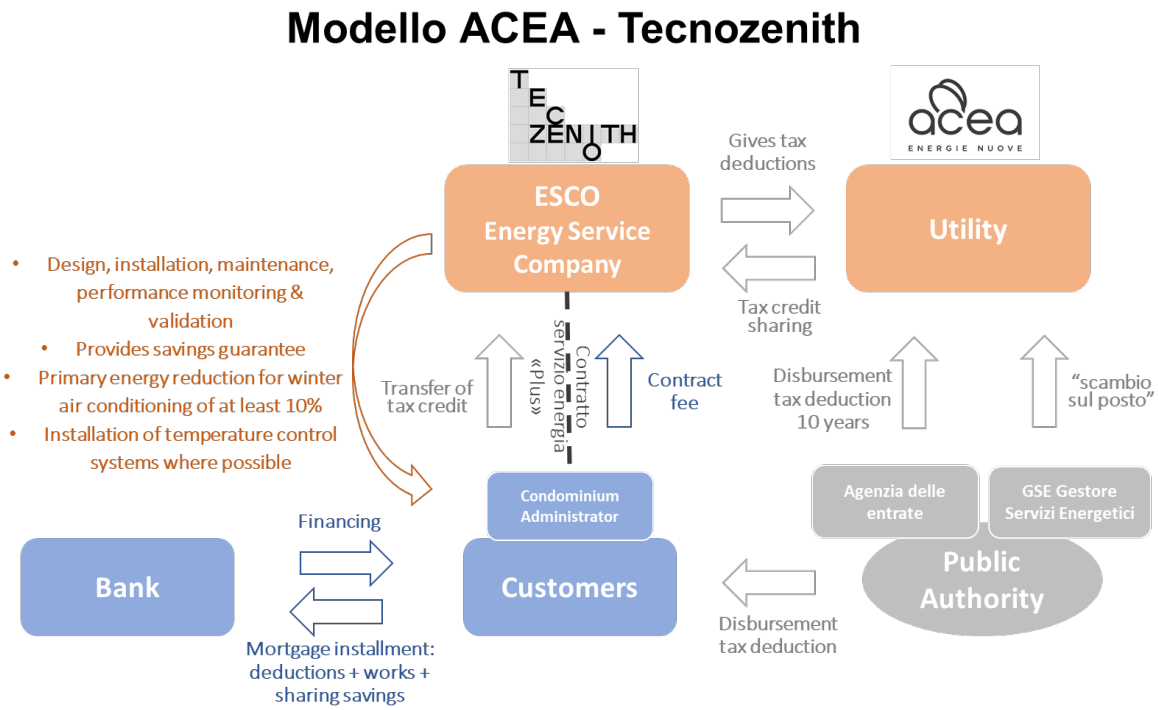


Figura 7: Modello ACEA – Tecnozenith

	Modello Acea – Tecnozenith Contratto Servizio Energia «Plus»
Responsabile pagamento bolletta	Beneficiario (condominio)
Proprietà tecnologia fine contratto	Beneficiario (condominio)
Remunerazione ESCO	Pagamenti canone annuo prestabilito, detrazioni e credito
Durata contratto	10 anni
Rischio tecnico e finanziario	ESCO Tecnozenith

Tabella 2: Modello ACEA - Tecnozenith

7. Bibliografia e sitografia

Agenzia delle entrate

https://www.agenziaentrate.gov.it/wps/wcm/connect/2fa32bf8-0dac-4fa8-adf0-e76e56d1d7d6/Risposta+n.+56+del+2018.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=2fa32bf8-0dac-4fa8-adf0-e76e56d1d7d6

ARERA Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambienti

https://www.arera.it/it/index.htm

The BuildHeat

http://www.buildheat.eu/

Chiurlo Tec servizi finanziari

https://www.chiurlotec.it/soluzioni-finanziarie/contratto-servizio-energia-plus

Comitato Scientifico CETRI-TIRES

http://cetri-tires.org/press/2013/il-contratto-di-rendimento-energetico-epc-di-marco-sambati/

ENEA Linee guida EPC

http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/edifici-pa/2013/rds-par2013-127.pdf

Gazzetta Ufficiale

https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2008/07/03/008G0137/sg

Harley&Dikkinson

http://www.harleydikkinson.com/

Tecnozenith

https://www.tecnozenith.it/

Wilson Sonsini Goodrich & Rosati WSGR

https://www.wsgr.com/publications/PDFSearch/WSGR-EE-Finance-White-Paper-14.pdf

Capitolo 2

Modelli territoriali per incentivare l'efficienza energetica

1. Introduzione

Nel marzo del 2010, la Commissione Europea ha redatto un documento, *Europa 2020,* nel quale ha dichiarato le preoccupazioni degli stati in merito al cambiamento climatico e quelle che potevano essere le possibili soluzioni per la gestione dell'energia. In particolare, nel documento, viene evidenziato come obiettivo comune quello di raggiungere una gestione dell'energia che non è più individuale, ovvero dei singoli stati, ma collettiva, ovvero condivisa tra gli stati membri.

A tal fine, è stato sviluppato un *piano d'azione per il clima*, dove sono stati posti dei limiti sulle emissioni di CO_2, per poter raggiungere, entro il 2050, un'economia sostenibile. Le limitazioni sulle emissioni di anidride carbonica sono fondamentali per contrastare il continuo innalzamento della temperatura, che nel 2050 potrebbe raggiungere i 2.6°C in più rispetto al periodo preindustriale, causando gravissime e irreversibili conseguenze all'ambiente.

A livello nazionale si applicano gli accordi internazionali. In Italia, nel 2017, è stato redatto Il *Piano Energetico Nazionale*[7], dove viene posto come obiettivo prioritario, entro il 2030, l'uso di fonti rinnovabili di energia, secondo gli accordi presi in sede europea.

In questo documento, si favorisce l'autoconsumo, si consigliano fonti di energia rinnovabile come l'eolico e l'idroelettrico, si raccomanda l'uso di pompe di calore per riscaldare edifici e abitazioni, si incentiva la distribuzione del teleriscaldamento e si promuovere la transizione verso carburanti a bassa emissione di gas serra, oltre a sostenere il trasporto pubblico e la mobilità intelligente (sharing, pooling, parking).

2. Quadro giuridico di riferimento

–Direttiva europea P8_TA-PROV(2018)0009 che invita a riconoscere e promuovere le comunità produttrici/consumatrici di energia da fonti rinnovabili.

–Legge 221/2015 entrata in vigore il 2/2/2016, art. 71, che istituisce le «Oil Free Zone» e dà alle regioni il compito di promuoverle e regolarle.

–Legge regionale n. 12/2018 che promuove in Piemonte la nascita di comunità energetiche quali enti senza finalità di lucro, cui possono partecipare comuni, imprese e privati.

3. Oil Free Zone

[7] https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Proposta_di_Piano_Nazionale_Integrato_per_Energia_e_il_Clima_Italiano.pdf

La Legge 221/2015, art. 71 istituisce e promuove le «**Oil free zone**», ovvero **aree territoriali nelle quale si prevede la progressiva sostituzione del petrolio e dei suoi derivati con energie prodotte da fonti rinnovabili.** In queste aree, vengono avviate sperimentazioni, concernenti la realizzazione di prototipi e l'applicazione sul piano industriale di nuove ipotesi di utilizzo dei beni comuni.

A tal fine, gli enti locali, che hanno aderito a tale protocollo, devono valutare le risorse energetiche presenti sul loro territorio e monitorarne il consumo, in modo tale da calcolare il *bilancio energetico della comunità*, ovvero quanta energia viene prodotta e quanta viene consumata.

Tali enti, si impegnano a collaborare al fine di elaborare un piano atto a conseguire l'autosufficienza energetica nella *oil-free zone,* o almeno in alcuni dei suoi territori, verificando le condizioni di fattibilità di comunità energetiche nel territorio medesimo.

È inoltre necessario che tali enti promuovano iniziative sul territorio, come convegni e presentazioni, al fine di sensibilizzare e istruire le proprie comunità sul suddetto tema. In questo modo i produttori energetici verranno a conoscenza di quelle che sono le ultime avanguardie del settore e la comunità sarà educata ad un uso più responsabile delle risorse naturali e a quelle che sono le pratiche da seguire per un valido risparmio energetico.

Gli enti, in fine, si impegnano a incentivare i processi di sviluppo sostenibile delle imprese, creando un circolo di risparmio e incentivazione che permetterebbe un passaggio rapido verso una società sostenibile.

In conclusione, nelle *Oil Free Zone*, è possibile sperimentare metodi organizzativi per la gestione delle risorse energetiche completamente innovativi, che se avranno successo porteranno ad una riduzione ed a un successivo abbandono dei combustibili fossili.

4. Legge Regionale

Considerando queste nuove politiche nazionali ed europee, la Regione Piemonte ha approvato, nel 2019, la prima legge regionale in Italia che costituisce le *comunità energetiche*. Queste sono definite come territori nei quali differenti soggetti come la municipalità, le aziende pubbliche e private, ma anche e soprattutto i singoli cittadini, producono energia grazie a fonti rinnovabili e la scambiano tramite una rete locale, riducendo così i costi e i consumi e ottenendo una piena autonomia in campo energetico, riducendo inoltre l'uso dei combustibili fossili.

La piena autonomia in campo energetico è descritta nel *Piano energetico per l'autosufficienza*, che fa parte della *Legge regionale 3 agosto 2018, n. 12. Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche*, dove in 8 articoli vengono descritte le competenze necessarie alla creazione delle comunità, ma anche i finanziamenti e gli obiettivi finali.

In sintesi, la legge affronta quattro punti fondamentali per la costituzione delle comunità energetiche:

1. La Regione promuove l'istituzione di comunità energetiche, **enti senza finalità di lucro**, per superare l'utilizzo dei combustibili fossili;
2. I **comuni** che intendono proporre la costituzione di una comunità energetica devono **adottare uno specifico protocollo d'intesa;**
3. Alle comunità energetiche possono partecipare sia **soggetti pubblici** che **privati**;
4. Le comunità energetiche acquisiscono e mantengono la qualifica di **soggetti produttori di energia**, solo quando soddisfino il **70 per cento del totale** dei consumi tramite energia autoprodotta.

Ed è proprio su questo ultimo punto che il lavoro sul modello di dimensionamento delle comunità farà riferimento.

5. Comunità energetica

Per *comunità energetica* (*Energy Community)*, si intende una gestione collegiale e non più individuale dell'energia, dove utenti pubblici e privati effettuano scelte comuni da un punto di vista energetico, in modo tale da soddisfare il proprio fabbisogno energetico.

Possono aderire alle comunità energetiche diverse tipologie di utenti, quali utenti pubblici, come ospedali e uffici comunali, ma anche privati, come singoli cittadini, condomini e negozi. Questi si aggregano per formare consorzi e cooperative al fine di raggiungere l'autosufficienza energetica.

Il passaggio da gestione individuale a gestione collegiale richiede però l'uso di tecnologie all'avanguardia per garantire la corretta distribuzione dell'energia tra i membri della comunità. A tal proposito all'interno della Comunità energetica si possono distingure tre categorie di utenti:

- **Consumatori**, gli utenti che non hanno nessun impianto di produzione energetica e che necessitano dunque dell'energia prodotta da altri utenti della comunità;
- **Produttori**, gli utenti che posseggono impianti energetici e che quindi forniscono energia alla rete locale senza prelevarne;
- **Prosumers**, quelle aziende o quegli stabilimenti, che posseggono impianti per la produzione locale e scambiano energia con il sistema nazionale.

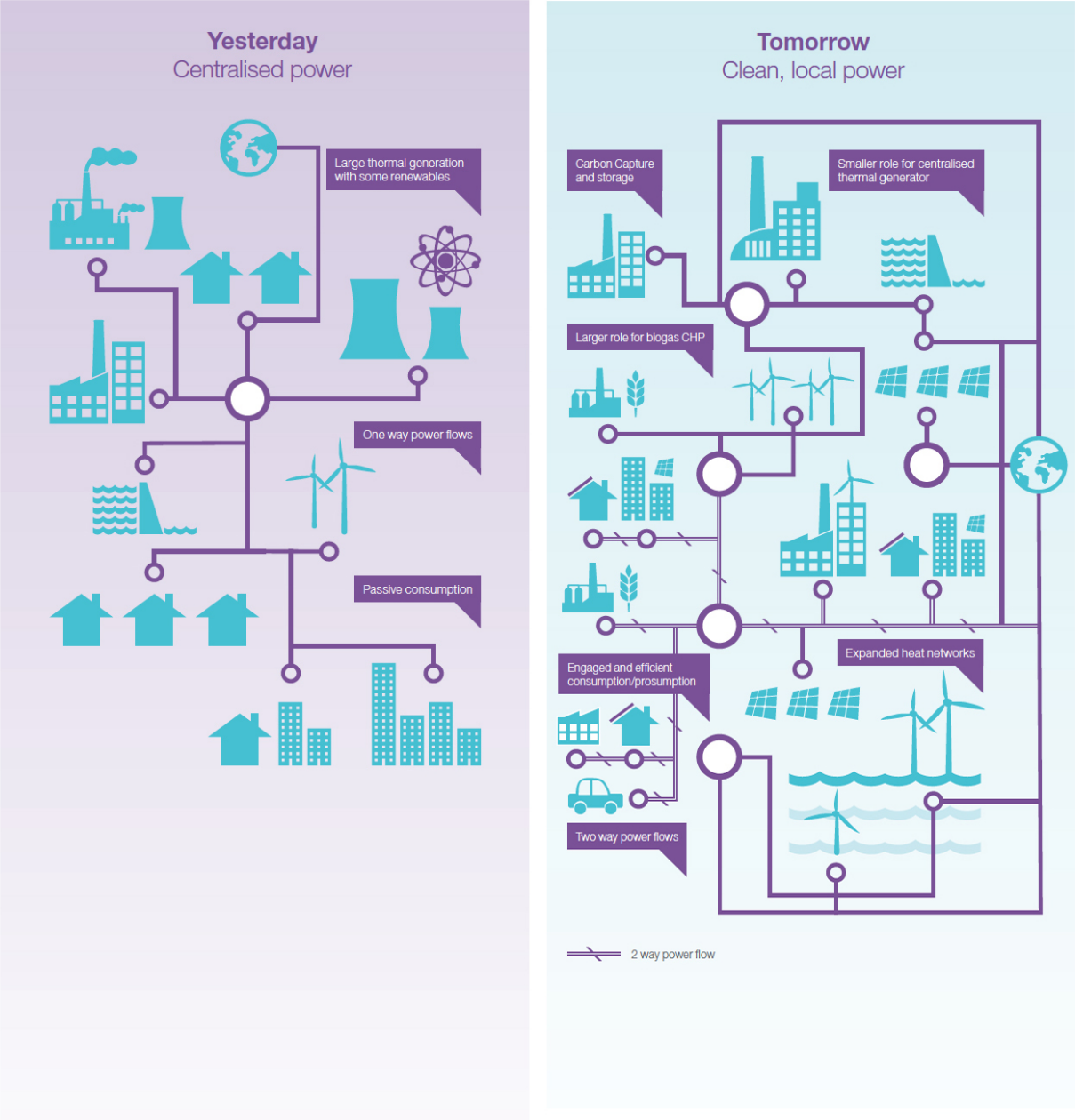


Figura 8: Schema cambiamento di paradigma derivante dalla costituzione di comunità energetiche (Realising Transition Pathways, 2015).

5.2 Energy citizens

Nel 2016, Greenpeace ha definito gli *energy citizens*, come tutti quegli individui o famiglie che producono e gestiscono autonomamente l'energia di cui hanno bisogno. Tale definizione può essere valida anche per gli edifici pubblici e commerciali.

In questo contesto, è quindi possibile definire le comunità energetiche come l'aggregazione di energy citizens.

Sempre nel 2016 Greenpeace ha stimato che, entro il 2050, due italiani su cinque autoprodurranno la propria energia (diventando quindi *energy citizens*), portando così al

34% l'ammontare di elettricità prodotta da singoli cittadini grazie a fonti rinnovabili. La autoproduzione da parte delle piccole e medie imprese salirà invece al 25%, mentre i condomini e le cooperative avranno un impatto del 37%.[8]

5.3 Nuova logistica delle reti

A differenza dei tradizionali centri di produzione centralizzati, dove viene prodotta una quantità elevata di energia e viene successivamente distribuita alle varie utenze, nelle comunità energetiche, la produzione tramite FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) da parte di singole utenze o cooperative, richiede un tipo di distribuzione diversa.

In questo caso infatti, la produzione non è sempre costante, ma soggetta, ad esempio, da condizioni atmosferiche. Si consideri un impianto fotovoltaico di un'abitazione: questo, come noto, produce un quantitativo di energia che dipende strettamente dalla presenza o meno del sole. Gli impianti di distribuzione dell'energia in questo caso devono tenere conto di questi fattori, in modo tale che ciascun utente della comunità possa soddisfare il proprio fabbisogno energetico, a prescindere dal quantitativo di energia prodotta. A tal fine è inoltre necessario che i vari impianti siano dotati di sistemi d'accumulo energetico.

6. Benefici delle Comunità energetiche

Tra i principali benefici delle comunità energetiche vi è sicuramente la riduzione dei costi e delle spese di gestione relative al trasporto dell'energia, ma anche il miglioramento del servizio con una riduzione di interruzioni e il dispacciamento in tempo reale delle risorse locali, massimizzando l'autoconsumo.

Inoltre, anche il sistema energetico nazionale trae dei vantaggi: la distribuzione di energia tra le regioni è ridotta, e sono dunque anche ridotte le perdite legate al trasporto. In secondo luogo, lo stato non è più dipendente energicamente da altri stati esteri, come i paesi extra-eu.

Inoltre, il modello della Comunità energetica permette di eliminare le criticità tipiche dell'energia rinnovabile: con il quale si riescono a gestire meglio i picchi di domanda di energia, mantenendo costante la fornitura, ottimizzando la spesa e garantendo un costo di approvvigionamento inferiore rispetto alle modalità tradizionali. (SmartGrid 2014)

La realizzazione di un sistema di questo tipo, mi permette di conseguire una serie di benefici, il più rilevante è quello di essere **esentati dal pagamento degli oneri di sistema** che corrispondono ad un **30 – 40% della bolletta energetica**.

[8] https://www.infobuildenergia.it/notizie/perche-le-comunita-energetiche-rivoluzioneranno-il-settore-dell-energia-5699.html

7. Tecnologie abilitanti

La creazione e il successivo avvio di una comunità energetica si può attuare in due modi:

1. Innescando un *progetto pilota,* che crea la comunità energetica e ne definisce i produttori, i consumatori e i distributori.
2. Oppure, nel caso in cui sul territorio vi siano già presenti figure come produttori, consumatori e distributori, mettendoli in comunicazione tra loro, creando e definendo i compiti all'interno della comunità.

Per istituire ed avviare una comunità energetica è quindi necessario adottare alcune tecnologie, che si possono distinguere in tre categorie:

- Tecnologie che consentono di produrre localmente energia e di consumarla;
- Tecnologie che consentono di controllare e gestire la produzione, la distribuzione, l'accumulo e il consumo di energia, con il fine ultimo di gestire questi flussi energetici;
- Tecnologie che consentono di distribuire i flussi energetici ed informativi tra gli asset prima elencati.

9. Conclusioni

È importante evidenziare, che il quadro normativo è contraddittorio e confuso, mentre la variabile tecnologica non rappresenta invece un aspetto critico per la diffusione delle Energy Communities, ma anzi risulta essere all'avanguardia, con un grado di maturità medio-alto.

Ad oggi, esistono comunità energetiche prevalentemente in zone alpine, qualificate come cooperative o consorzi storici. Questi enti hanno però la qualifica di autoproduttori e non di distributori, anche se gestiscono le connessioni fra i loro associati. Questo deriva dal fatto che il quadro-normativo incentiva le soluzioni individuali e trascura le aggregazioni di tecnologie/utenti, infatti non vi prevista alcuna definizione di Comunità Energetica.

10. Bibliografia e sitografia

Angelo Tartaglia

"Presentazione Oil Free Zone"

Gaetano Scardino

Tesi di Laurea "Studio di fattibilità della comunità energetica di Pinerolo"

Dario Peloso

"Logiche ottimizzate per la gestione di sistemi di accumulo in comunità energetiche: il caso studio REGALGRID presso H-FARM

Wikipedia scambio sul posto”

Interreg europe

www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/plp_uploads/policy_briefs/2018-08-30_Policy_brief_Renewable_Energy_Communities_PB_TO4_final.pdf

Energy e Strategy Group - Smart GRID Report 2014

http://www.energystrategy.it/report/smart-grid.html

Hicks J., Ison N.

“An exploration of the boundaries of ‘community’ in community renewable energy projects: Navigating between motivations and context.” Energy Policy, vol. 113, pp. 523-534, 2018.

Mutani G., Todeschi V.,Tartaglia A., Nuvoli G.,

Energy Communities in Piedmont Region (IT). The case study in Pinerolo territory, INTELEC® 2018 - International Telecommunications Energy Conference Proceedings, ISSN: 0275-0473, Torino, Italy 7-11th October 2018, doi: 10.1109/INTLEC.2018.8612427.

ARIANNA - Banca Dati Normativa Regione Piemonte

http://arianna.cr.piemonte.it/iterlegcoordweb/dettaglioLegge.do?urnLegge=urn:nir:regione.piemonte:legge:2018;12@2019-03-28&tornaIndietro=true

ENEA - Deliberazione della Giunta Regionale 8 marzo 2019, n. 18-8520, Assessore De Santis

DISPOSIZIONI PER L’ATTUAZIONE DELLA LEGGE REGIONALE 3 AGOSTO 2018, n. 12 “PROMOZIONE ED ISTITUZIONE DELLE COMUNITÀ ENERGETICHE”

Riccardo Tassone – Altre prospettive energetiche, le Comunità energetiche

http://www.riccardotassone.it/news/prospettive-energetiche-le-comunita-energetiche-2/

Capitolo 3

Modelli business delle Comunità energetiche nei condomini

1. Introduzione

Come abbiamo potuto analizzare nel capitolo precedente, la Oil Free zone è un **modello sociale ideologico** in quanto la CE deve essere un **soggetto no-profit**, aperto a comuni e privati. A differenza del modello OFZ il modello Acea-Tecnozenith è modello di **business**, in quanto punta ad un ritorno economico dell'investimento sui condomini.

La comunità energetica formatasi nel Pinerolese non è ancora avviata, un contributo per il suo avvio lo può dare la JV Acea Tecnozenith permettendo la creazione di soggetti necessari alla formazione di una CE e di un capitale da investire. Pertanto, essendo necessario un intervento di un modello business come quello Acea-Tecnozenith per l'avvio della Comunità energetica, si punta ad andare a **proporre una serie di condomini e considerarli come comunità fisica**. Infatti, in città, una CE potrebbe manifestarsi come un condominio o un gruppo di condomini che decidono di produrre, immagazzinare e gestire al proprio interno la propria energia.

Viene quindi analizzata la normativa di riferimento italiana. Come visto nel capitolo precedente, in Italia non esiste ancora una definizione di comunità energetica. Vi sono però delle configurazioni impiantistiche attualmente normate che possono essere considerate affini alla definizione di *Energy Community* data dall'Unione Europea. Queste configurazioni sono i Sistemi Semplici di Produzione e Consumo (SSPC) e i Sistemi di Distribuzione Chiusa (SDC), entrambi soggetti a vincoli e criticità che ne limitano la diffusione.

2. Quadro normativo

- Delibera AEEG 578/2013/R/eel (Sistemi Efficienti di Utenza)
- DCO AEEG 183/2013/R/eel (Sistemi di Distribuzione Chiusi)

La delibera AEEG 578/2013/R/eel del 2013 definisce le **modalità per la regolazione dei servizi di connessione**, nel caso di configurazioni impiantistiche che rientrano nella categoria dei **Sistemi Semplici di Produzione e Consumo** (SSPC).

Gli SSPC sono configurazioni impiantistiche che, connessi alla rete pubblica, possono trasportare energia elettrica alle unità di consumo, non presentandosi come attività d distribuzione, ma come **auto-approvvigionamento energetico**.

Queste tipologie di impianto pertanto si avvicinano al caso particolare delle Energy Communities, caratterizzate però da tutta una serie di limitazioni.

3. Tendenze del mercato elettrico

Tra i maggiori Trend del mercato elettrico italiano vengono registrati e valutati dal gruppo di studio del Politecnico di Milano[9]:

- L'aumento della diffusione dei *prosumer*. Con l'incremento delle energie rinnovabili si è venuto a creare un nuovo soggetto, un utente caratterizzato dall'essere di piccola taglia che è contemporaneamente produttore e consumatore di energia elettrica.
- L'apertura del mercato dei servizi di dispacciamento. L'apertura del mercato dei servizi di dispacciamento (MSD) tende a includere soggetti differenti come le centrali di produzione tradizionali.
- L'abilitazione SDC (Sistemi di Distribuzione Chiusi). Gli SDC sono reti elettriche private che distribuiscono energia elettrica all'interno di un sito di dimensioni specifiche (come ad esempio: industrie, servizi commerciali).

4. Tipologie di reti

In questa sezione si vogliono anche introdurre ulteriori concetti preliminari come le diverse tipologie di reti che vengono definite dall'Autority e altre definizioni:

• Gestore del sistema elettrico: è il soggetto responsabile della gestione, della manutenzione, con il compito di garantire la sicurezza degli approvvigionamenti.

I gestori del sistema elettrico hanno i seguenti obblighi:

• La connessione a terzi: l'obbligo di connettere alla propria rete tutti i soggetti che ne fanno richiesta, senza compromettere la continuità di servizio e rispettando le regole tecniche in materia;

• Il libero accesso al sistema elettrico: ossia il diritto di un soggetto connesso ad una rete privata di accedere alla rete pubblica, a garanzia della libertà di scelta del proprio fornitore di energia elettrica a cui sono sottoposti i gestori di rete private.

Il decreto ministeriale 10 dicembre 2010 distingue poi le Reti Elettriche in:

• Reti Pubbliche, le reti elettriche gestite da soggetti titolari di una concessione di trasmissione o di distribuzione di energia elettrica hanno l'obbligo di connettere alla propria rete tutti i soggetti che ne fanno richiesta, senza compromettere la continuità di servizio e rispettando le regole tecniche in materia;

• Reti Private, le reti elettriche che si differenziano dalle reti pubbliche. Le reti private sono reti con obbligo di libero accesso al sistema elettrico: questo obbliga il soggetto gestore l'obbligo di garantire la possibilità di accedere liberamente al sistema elettrico.

L'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente) definisce anche le seguenti tipologie di reti che risultano essere importanti in quanto configurazioni affini alle Comunità energetiche:

[9] Energy e Strategy Group - Smart GRID Report 2014 http://www.energystrategy.it/report/smart-grid.html

• SDC: Sistemi di Distribuzione Chiusi, reti elettriche private che distribuiscono energia elettrica all'interno di un sito di dimensioni specifiche (come ad esempio: industrie, servizi commerciali). Esse si possono dividere in:

a) RIU (Reti Interne d'Utenza)

b) ASDC (Altri Sistemi di distribuzione Chiusi)

• SAAE: Sistemi di Auto-Approvvigionamento Energetico, configurazioni impiantistiche in cui impianti di produzione di energia elettrica, direttamente connessi tramite un collegamento privato ad una unità di consumo, e vengono implementati all'interno di un'area privata;

• SEU: Sistemi Efficienti d'Utenza, sono sistemi in cui un impianto di produzione di energia elettrica, con potenza massima di 20 MWh, installata sullo stesso sito e deve essere alimentato da FER, anch'esse sono direttamente connessi tramite un collegamento privato ad una unità di consumo, e vengono implementati all'interno di un'area privata

• SEESEU: Sistemi equivalenti ai SEU

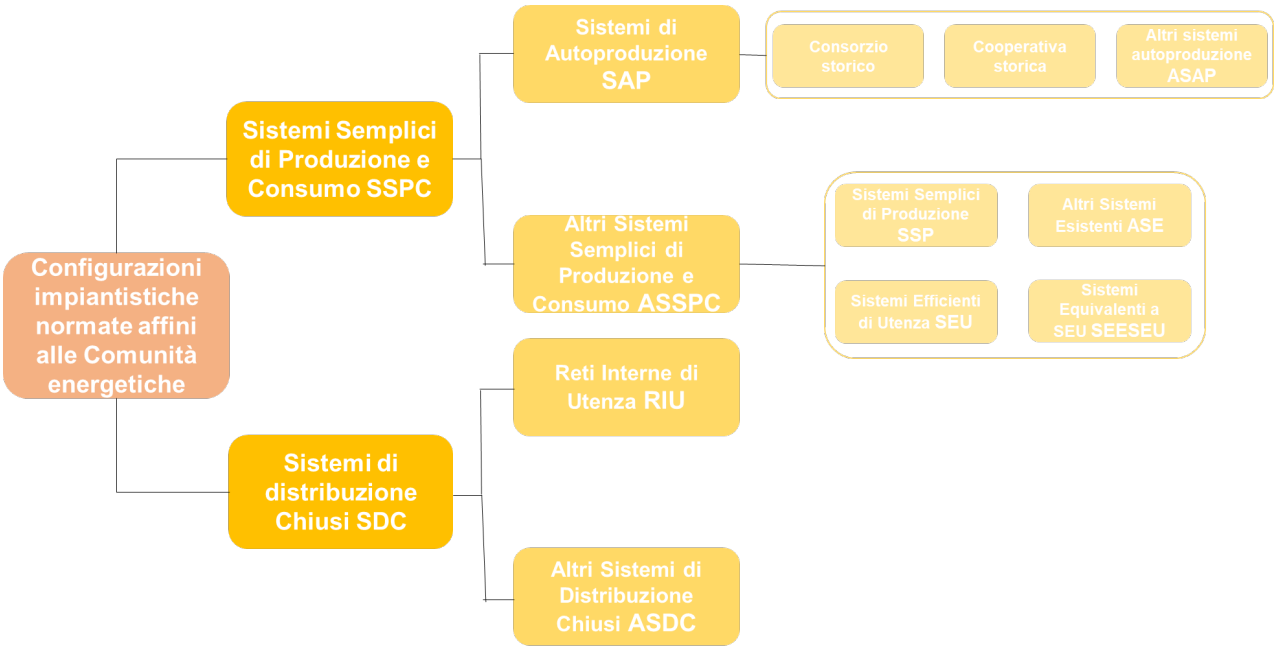


Figura 9: Tipologia di reti

5. Scambio Sul Posto

Occorre poi considerare la possibilità offerta dall' "autoconsumo sul posto altrove" o scambio sul posto[10], ammesso per:

- Ministero della Difesa
- Comuni con meno di 20.000 abitanti (comunità di valle)

Elemento molto importante da considerare è che questa opzione può essere allargata dal singolo comune ad ambiti territoriali integrati di cui fanno parte più comuni, se facenti parte

[10] **Allegato A**

di una comunità energetica. Inoltre, occorrerebbe estenderlo anche ai cittadini che vivono nelle comunità energetiche, così facendo la popolazione non dovrebbero più pagare gli oneri di sistema che corrispondono ad un 30 – 40% della bolletta energetica.

Il servizio di Scambio sul Posto (SSP) è una forma di autoconsumo in sito che **permette di compensare l'energia elettrica prodotta e immessa in rete in un certo momento con quella prelevata e consumata in un altro momento**.

Nello Scambio sul Posto si utilizza quindi la rete di distribuzione come immagazzinamento virtuale dell'energia prodotta. La condizione per cui si può attuare lo scambio sul posto prevede la presenza di impianti per il consumo e per la produzione che fanno capo ad unico punto di connessione pubblico, ossia la rete di distribuzione.

6. Conclusioni

Confrontando i modelli relativi alle Energy Communities e le configurazioni esistenti normate da ARERA emerge come le tipologie industriale e terziario siano le più vicine ad una fattibilità normativa, poiché possono rientrare nella definizione dei Sistemi di Distribuzione Chiusa. Il problema principale è che rappresentano un insieme chiuso, senza prospettive di ampliamento futuro.

Ipotizzando di eliminare il vincolo degli SDC che non permette di servire le utenze civili, anche il condominio potrebbe essere ricompresa in questi sistemi. Infatti, il modello condominiale non presenta una configurazione impiantistica normata che sia compatibile al 100%, ma si avvicina molto ai SSPC.

L'ostacolo principale dei SSPC è che non ammettono configurazioni multiutenza, ciò impedisce agli impianti di produzione di energia elettrica di proprietà condominiale di servire le utenze private. Un ulteriore problema della normativa vigente è che si focalizza su incentivi di soluzioni "singole" piuttosto che su configurazioni multi-tecnologie o multi-utente.

Per aumentare la fattibilità delle comunità energetiche sarebbe importante incentivare questi modelli bottom-up che introdurrebbero un miglioramento dell'efficienza energetica sui territori, in particolare a livello condominiale, unità abitativa tipica.

Come abbiamo potuto osservare in questi primi capitoli, per pesare a modelli di sviluppo sostenibile, il problema non risiede nella tecnologia, che come abbiamo visto è molto sviluppata e ci permette molte scelte e possibilità di manovra. Il problema alla base dell'avvio delle comunità energetiche risiede principalmente in: *governance*, in quanto, il legislatore non legifera in materia e pianificazione territoriale, che non attua politiche concrete in ambito energetico.

Figura10: Modello condominiale nelle Oil Free zone

7. Bibliografia e sitografia

Riccardo Tassone – Altre prospettive energetiche, le Comunità energetiche

http://www.riccardotassone.it/news/prospettive-energetiche-le-comunita-energetiche-2/

Energy e Strategy Group - Smart GRID Report 2014

http://www.energystrategy.it/report/smart-grid.html

Dipartimento di Ingegneria Gestionale - Politecnico di Milano

«ENERGY STORAGE REPORT - Le applicazioni ed il potenziale di mercato delle soluzioni di storage in Italia: dall'accumulo di energia alla fornitura di servizi di rete» Collana Quaderni AIP, Milano, novembre 2016

Dipartimento di Ingegneria Gestionale - Politecnico di Milano

«ELECTRICITY MARKET REPORT - Scenari strategici dopo la fine del mercato regolato» Collana Quaderni AIP, Milano, ottobre 2017.

Ministero dello Sviluppo Economico

«Criteri per definire i rapporti intercorrenti fra i gestori delle reti elettriche, le società di distribuzione in concessione, i proprietari di reti private ed i clienti finali collegati a tali reti» in DM 10/12/2010, Roma, dicembre 2010.

Capitolo 4

Metodologia GIS: Calcolo dell'energia elettrica producibile da fonti rinnovabili in Piemonte

1. Inquadramento

L'energia producibile da fonti rinnovabili su un territorio dipende principalmente dalla disponibilità delle fonti, dalla loro accessibilità tecnica e dai vincoli presenti sul territorio che possono ostacolarne lo sfruttamento. Si definiscono energie rinnovabili quelle fonti considerate inesauribili, ossia che il loro ciclo di formazione ha una durata compatibile con il loro consumo. In questo capitolo verranno trattate le alcune conoscenze base ed informazioni sull'impiego dell'energia solare, eolica e dell'energia potenziale ricavabile dalle biomasse che potrebbero costituire un mix energetico ottimale per soddisfare la domanda energetica dei territori in analisi.

L'energia da fonti rinnovabili è oggi giorno in forte espansione. È quindi utile disporre di un quadro conoscitivo a scala geografica che aiuti a localizzare le aree più indicate su cui situare nuovi impianti.

Il documento proposto individua le zone potenzialmente idonee nella Regione Piemonte nel rispetto delle ultime normative regionali, dando risalto alle aree marginali. In questo modo si avrebbe una visione più chiara su quali sono le aree più adatte al tipo di energia rinnovabile.

Il lavoro svolto propone un sintetico studio di pre-fattibilità valutazione della producibilità di energia rinnovabile in Piemonte. Tramite l'utilizzo del *software ArcGIS* è stata calcolata l'energia elettrica potenzialmente producibile da biomassa forestale, biomassa agricola, rifiuti, eolico, solare e idraulica per poter osservare quanto incidono sulla quantità di energia producibile le caratteristiche morfologiche del territorio.

Si presenta, pertanto, una metodologia semplice ed efficace che fornisce una stima delle prestazioni ambientali ed energetiche di impianti di energia rinnovabile.

Occorre fare anche un cenno teorico relativo alle due tipologie di energia che sono state valutate.

L'energia termica è posseduta da qualunque corpo con una temperatura superiore a zero, la quantità posseduta di tale energia corrisponde alla sua temperatura. Viene considerata degradata (secondo principio della termodinamica) in quanto non tutta l'energia termica può essere convertita in energia meccanica, presentando pertanto applicazioni limitate.

L'energia elettrica al contrario è estremamente duttile e flessibile nel suo utilizzo. Non essendo una fonte primaria come l'energia termica necessità di essere convertita, procurando una perdita di efficienza.

1. Inquadramento territoriale caso studio

Il Piemonte è la seconda regione italiana per superficie, sesta per numero di abitanti e seconda per numero di comuni.

Come si può vedere dalla **Carta 1**, il territorio della regione è suddivisibile in tre fasce di cui la prevalente e più esterna è quella alpina ed appenninica (43%). Al suo interno vi è la zona collinare (31%), la quale racchiude la zona pianeggiante (26%).

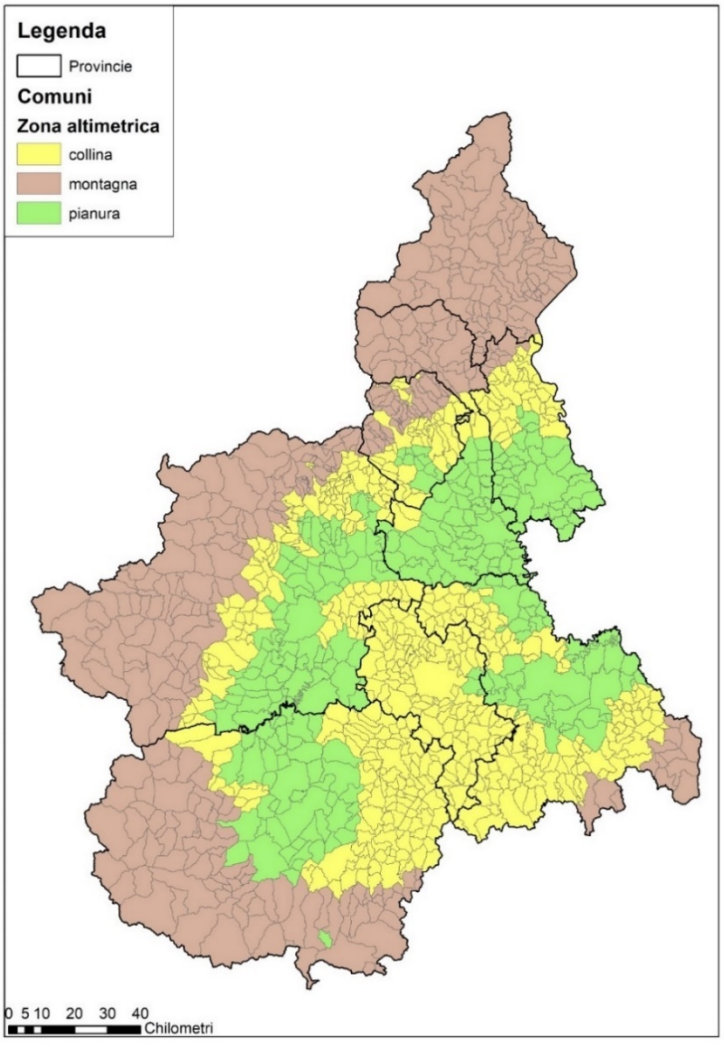
Il Piemonte è ricco di corsi d'acqua come fiumi e torrenti, tutti affluenti del fiume Po che nasce ai piedi del Monviso. È inoltre caratterizzato da diverse catene montuose: le Alpi e gli Appennini, che occupano la regione ad ovest e nord.

La Regione è caratterizzata da un clima temperato a carattere continentale. Spostandosi verso le Alpi diventa progressivamente freddo salendo di quota.

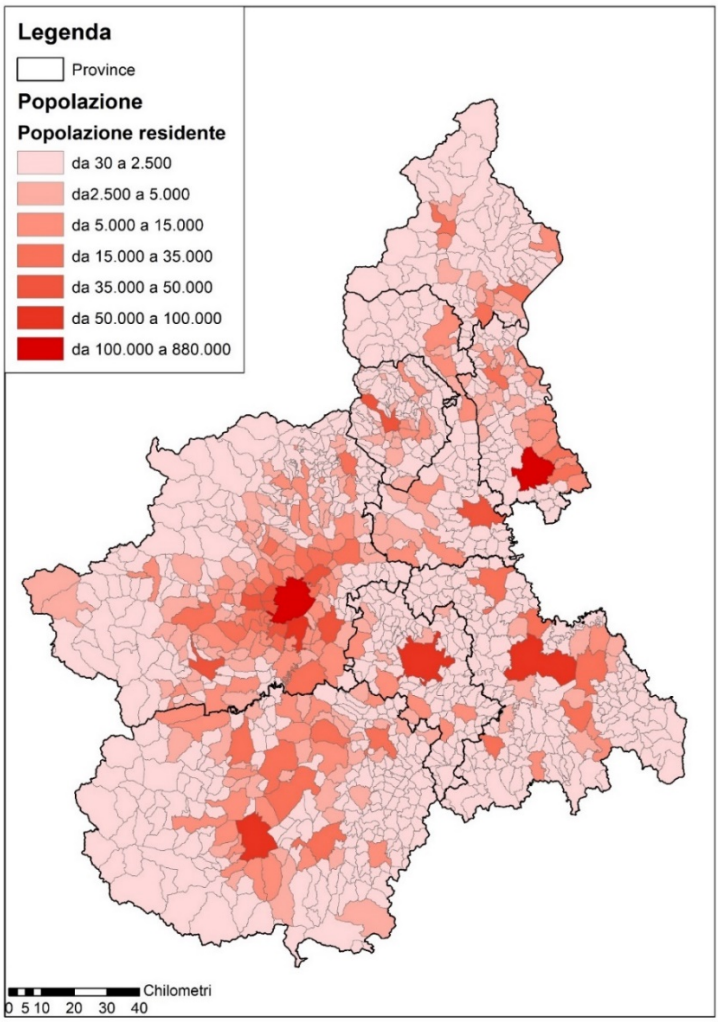
Quasi l'80% dei comuni ha meno di 2.500 abitanti e il 90% di essi ne registra meno di 7.000.

Come si evince dalla **Carta 2**, la maggior parte dei comuni meno abitati si concentra nelle zone montane e collinari, mentre è evidente un aumento della popolosità dei comuni nella fascia pianeggiante.

I comuni più popolati sono i capoluoghi delle Province e della Città metropolitana: Torino, Novara, Alessandria e Asti.



Carta 1: Zona altimetrica (Istat)



Carta 2: Popolazione residente 1° gennaio 2018 (Istat)

Il Piemonte, regione a del nord d'Italia, presenta caratteristiche simili a queste regioni: un clima temperato, che man mano che si prosegue verso le Alpi diventa sempre più freddo con l'aumentare della quota.

Le aree pianeggianti sono caratterizzate da inverni freddi e umidi (spesso con fitte nebbie). Calde ed afose invece le estati, con locali possibilità di temporali.

Le precipitazioni sono abbondanti principalmente in primavera ed autunno, mentre in estate nelle zone alpine più elevate ed interne: le quantità annue sono spesso notevoli sui versanti montani e pedemontani del nord della regione, scarse sulle pianure a sud del Po, in particolare nell'alessandrino.

Zona climatica	*Gradi-giorno*	*Periodo*	*Numero di ore*
A	comuni con GG ≤ 600	1° dicembre - 15 marzo	6 ore giornaliere
B	600 < comuni con GG ≤ 900	1° dicembre - 31 marzo	8 ore giornaliere
C	900 < comuni con GG ≤ 1.400	15 novembre - 31 marzo	10 ore giornaliere
D	1.400 < comuni con GG ≤ 2.100	1° novembre - 15 aprile	12 ore giornaliere
E	2.100 < comuni con GG ≤ 3.000	15 ottobre - 15 aprile	14 ore giornaliere
F	comuni con GG > 3.000	tutto l'anno	nessuna limitazione

Table 3: Classificazione climatica

La classificazione climatica dei comuni italiani regolamenta il funzionamento e l'esercizio degli impianti termici degli edifici con l'obiettivo di contenere i consumi di energia.

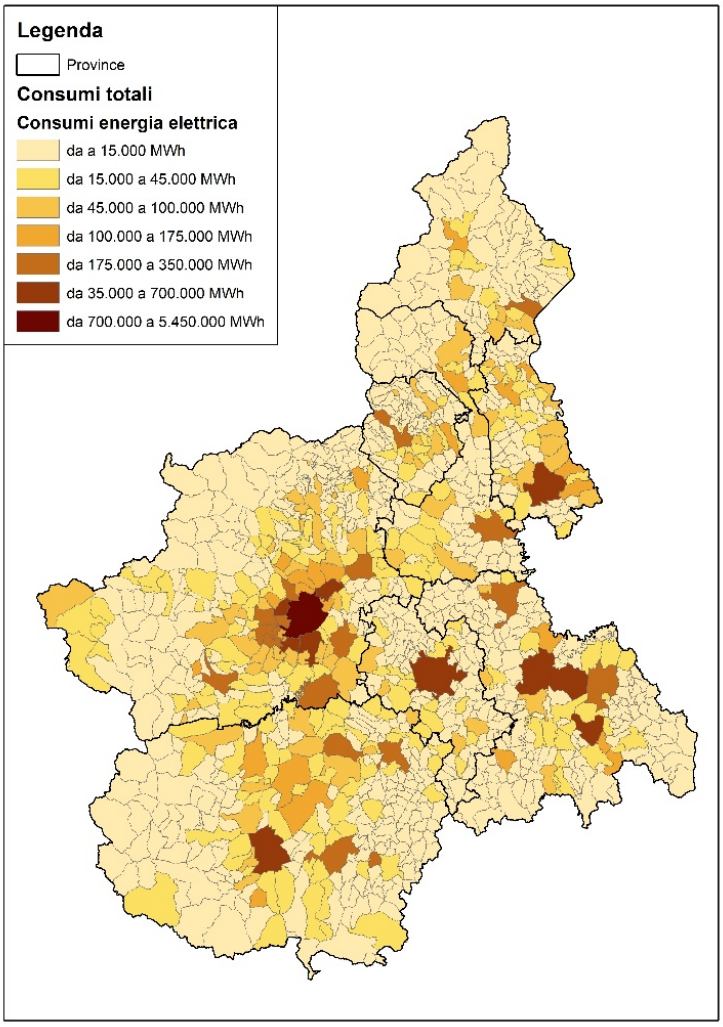
2. Consumi energetici

La valutazione dei consumi è stata fatta tramite dati forniti direttamente dai distributori di energia per i vari Comuni del Piemonte, relativi all'anno 2017. Pertanto, i dati utilizzati rappresentano nel modo più veritiero possibile la situazione dei consumi in Piemonte.

I dati sono stati elaborati e georiferiti in un'unica carta sul consumo elettrico, **Carte 3**, per permettere una consultazione di essi in maniera più rapida e chiara. Questi consumi rappresentano la somma dei consumi elettrici derivanti dai settori: domestico, industriale, agricoltura e servizi.

Riguardo alla distribuzione spaziale dei consumi elettrici, essi sono di seguito riportate nelle mappe descrittive dei consumi di Energia Elettrica al 2017.

La distribuzione dei consumi totali di energia elettrica (**Carta 3**) rispecchia quella della popolazione totale residente (**Carta 2**); i comuni più energivori risultano essere, infatti, anche quelli maggiormente popolati come Torino, Cuneo, Asti o Novara.



Carta 3: Consumi energia elettrica 2017(Fonte: Strumenti e Metodi per la Pianificazione Energetica a scala territoriale, Il caso studio della Regione Piemonte. Anna Forte)

3. Produzione di energia da FER

Per quanto riguarda l'analisi dei dati relativi ai consumi energetici del Piemonte sono stati utilizzati i dati appena descritti. Mentre i dati relativi alla di produzione di energia di FER, sono stati utilizzati i dati del portale geografico on-line di Atlaimpianti del Gestore dei Servizi Energetici (GSE), che considera gli impianti di produzione di energia termica ed elettrica per la Regione Piemonte registrati dal GSE al luglio 2019. La **Tabella N** rappresenta i quantitativi attualmente prodotti in Regione Piemonte, questi dati saranno utili da confrontare alla fine della tesi con i dati di producibilità massima.

Tabella 4: Produzione FER (Atlaimpianti 2019)

5. Modelli per la valutazione di energia potenziale da FER

Per quanto riguarda i modelli di produzione di energia rinnovabile in Regione Piemonte sono state utilizzate delle metodologie di valutazione, utilizzando i sistemi di valutazione territoriale *Geographic Information System* GIS, che verranno descritti nei capitoli seguenti.

La valutazione di tali energie rinnovabili e limitata dai dati disponibili in rete, in particolare dai Sistemi Informativi territoriali, e dalle macchine di calcolo a disposizione. Inoltre, verranno chiaramente utilizzati delle semplificazioni di calcolo che comunque puntano ad una valutazione il più precise e dettagliate possibile.

6. Biomassa forestale

6.1 Introduzione

Il crescente interesse nei confronti dello sviluppo sostenibile degli ultimi anni ha fatto si che l'uso delle energie rinnovabili acquisisse sempre più importanza, anche a causa dei problemi all'inquinamento ambientale derivanti dallo sfruttamento dei derivanti del petrolio, risorsa limitata che potrà soddisfare il fabbisogno di energia globale solamente per i prossimi 40 anni.

Una soluzione per raggiungere gli obiettivi per limitare l'uso dei fossili e migliorare la sicurezza energetica è rappresentata dall'utilizzo di biomassa locale per la produzione di energia.

La "biomassa" viene definita dalla **Direttiva Europea 2009/28/CE** come la frazione biodegradabile dei prodotti residui e rifiuti di origine biologica provenienti dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali urbani.

Se ben sfruttata soprattutto a scala locale, la biomassa è considerata come una delle fonti energetiche rinnovabili più promettenti: potrebbe coprire una considerevole parte del fabbisogno con energia "pulita" a discapito dell'utilizzo dei combustibili fossili dato che la produzione di anidride carbonica in atmosfera a seguito di questi processi sarebbe pari a zero, inoltre è una risorsa altamente economica e disponibile.

Il settore agricolo assume un importante ruolo in questo nuovo frangente del settore energetico poiché dedica parte di risorse e scarti alla produzione di biomasse senza contribuire al degrado ambientale; di rilevante importanza il fatto che possa anche creare nuovi posti di lavoro in modo particolare nei comuni montani in cui, ad oggi, il tasso di disoccupazione è molto elevato. La possibilità di realizzare nuove centrali di cogenerazione a biomassa infatti, offre nuove opportunità di lavoro che si distribuiscono su tutto il processo energetico: dal prelievo del materiale, alla combustione, alla distribuzione.

Tuttavia, la biomassa è una risorsa limitata e il suo potenziale utilizzo è strettamente correlato alla disponibilità locale.

La biomassa è considerata una delle fonti energetiche rinnovabili più promettenti insieme al solare e all'eolico perché sfrutta anche gli scarti delle attività antropiche che comunque andrebbero smaltiti. Inoltre, la combustione delle biomasse agricole e forestali rilascia una quantità di CO2 in atmosfera uguale a quella assorbita dalle piante nel corso della loro vita e quindi si dice che sia a zero emissioni di CO2 (se si considera uno sfruttamento locale delle risorse compatibile con i tempi di ricrescita delle piante).

Esistono due metodi di conversione della biomassa in energia:

1. Metodi biologici (decomposizione aerobica o anaerobica).

2. Metodi termici (combustione diretta, pirolisi e gassificazione).

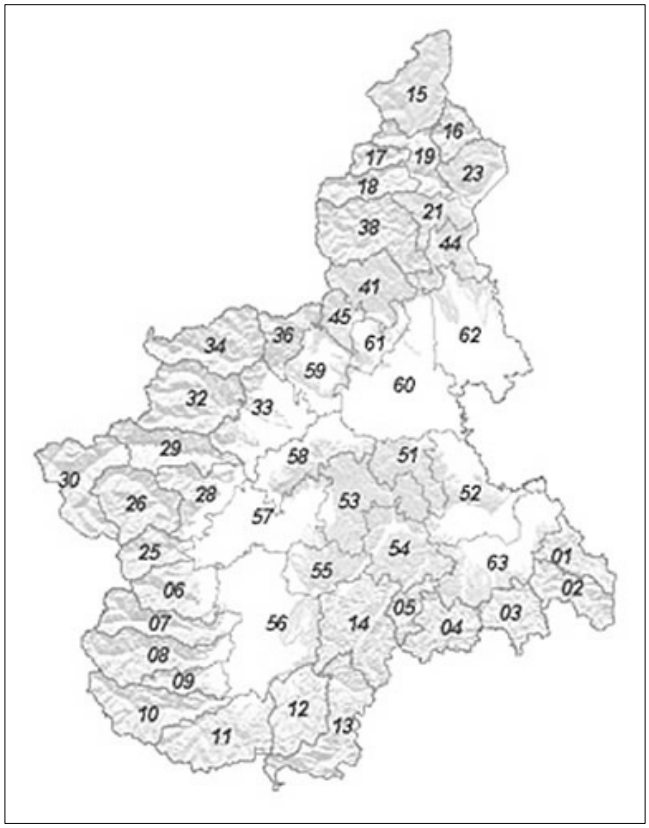
I principali processi di conversione termochimica sono: Gassificazione, Produzione di metanolo, Pirolisi, Carbonizzazione e Combustione diretta.

6.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile da biomassa forestale: svolgimento e analisi dei risultati

6.2.1 Reperimento dei dati

In primo luogo, sono stati reperiti gli *shp* necessari allo svolgimento del lavoro sul sito del *SIFOR Sistema informativo Forestale Regionale del Piemonte*, settore "Montagna e Foreste", il quale gestisce le banche dati relative al patrimonio forestale piemontese. E' stata considerata la banca dati della Carta Forestale Regionale la quale fa riferimento alle indagini svolte tra il 1996 e il 2004 in funzione della redazione del *Piano Forestale Territoriale*; occorre, quindi, tenere conto di questo fattore nelle conclusioni finali in quanto sono dati risalenti a 14 anni fa.

Suddetta carta risulta utile poiché permette di individuare nel loro insieme tutte le categorie forestali presenti sul territorio regionale. La **Carta 4** mostra la suddivisione del territorio regionale nelle 63 aree forestali.



Carta 4: suddivisione delle aree forestali Regione Piemonte

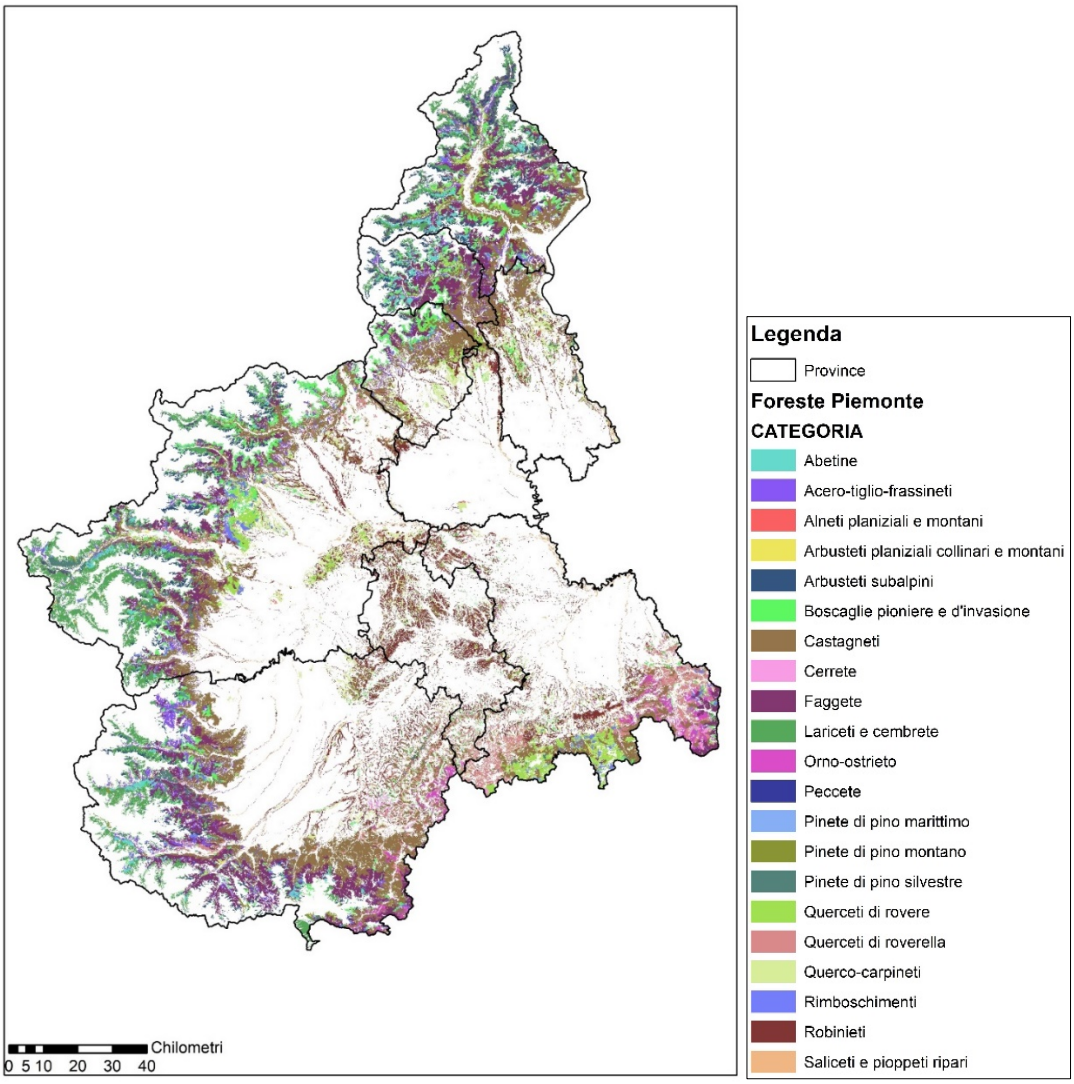
6.2.2 Calcolo dell'area delle superfici boscate

In seguito, sono state calcolate le aree delle principali destinazioni d'uso presenti nei due comuni presi in analisi per mezzo della tool di *ArcGIS* "*Dissolve*".

Tale strumento ha permesso di aggregare degli elementi in base ad alcuni attributi specifici in modo tale da poter trovare l'estensione in ettari (ha) di tutte le categorie forestali presenti sul territorio.

In alcuni comuni il campo "ETTARI" non era presente pertanto è stato creato un nuovo campo appositamente in cui è stata calcolata manualmente l'area.

Nella **Carta 5** è possibile osservare la suddivisione per categorie forestali derivante dal "*Dissolve*" svolto relativo al Piemonte.



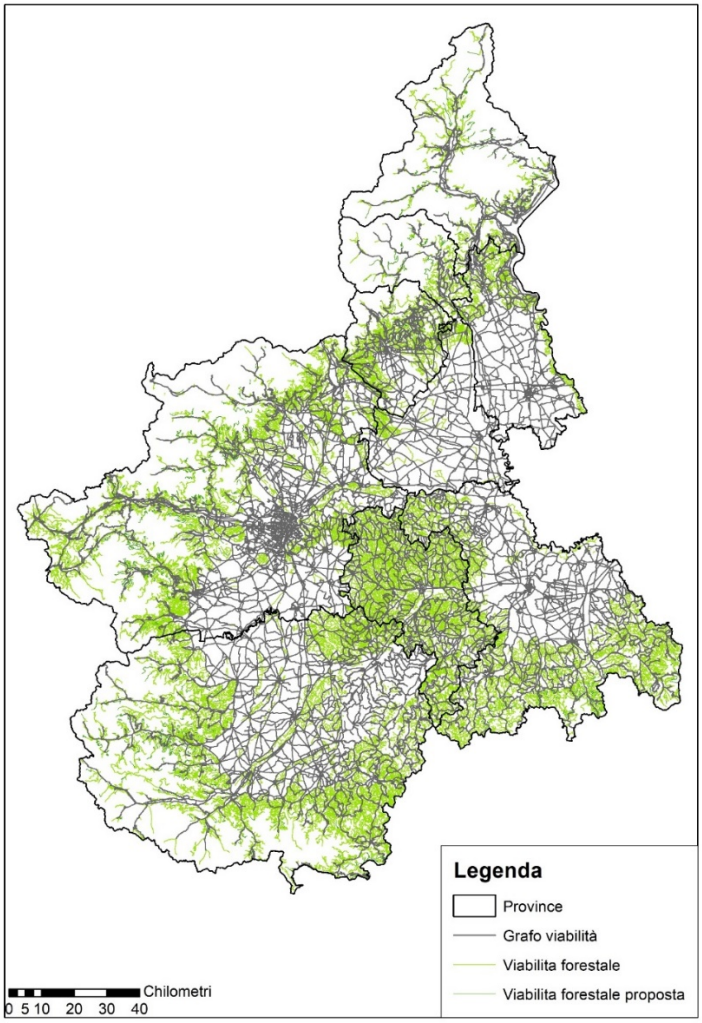
Carta 5: Categorie forestali

La **Tabella 5** mette in luce numericamente l'incidenza della copertura forestale sul territorio regionale: la superficie boschiva copre circa il 874.660 ettari della superficie della regione, corrispondente ad un indice di boscosità di 34,4%, quindi una parte assai rilevante e caratterizzante del territorio.

Descrizione	Superficie (ha)	%
Abetine	15.221	1,7
Acero-tiglio-frassineti	40.845	4,7
Alneti planiziali e montani	5.200	0,6
Arbusteti planiziali collinari e montani	2.547	0,3
Arbusteti subalpini	31.770	3,6
Boscaglie pioniere e d'invasione	59.932	6,9
Castagneti	204.364	23,4
Cerrete	3.967	0,5
Faggete	135.768	15,5
Lariceti e cembrete	79.537	9,1
Orno-ostrieto	12.897	1,5
Peccete	8.825	1
Pinete di pino marittimo	806	0,1
Pinete di pino montano	2.669	0,3
Pinete di pino silvestre	14.326	1,6
Querceti di rovere	38.579	4,4
Querceti di roverella	42.762	4,9
Querco-carpineti	35.039	4
Rimboschimenti	18.989	2,2
Robinieti	108.136	12,4
Saliceti e pioppeti ripari	12.475	1,4

Tabella 5: Categorie forestali nel territorio della Regione Piemonte (SIFOR)

Valutato in tal modo il totale della copertura forestale è stato necessario, ai fini dello scopo del lavoro, considerare solo quelle porzioni accessibili alla rete stradale, ovvero: la viabilità comunale, quella provinciale e statale, quella forestale esistente e quella proposta (**Carta 6**). Gli *shp* che vengono utilizzati per questo passaggio sono: il grafo della viabilità del *Geoportale Piemonte*, la viabilità forestale esistente e proposta che fornisce *Sistemapiemonte*.



Carta 6: Grafo rete stradale

Ora bisogna prendere in considerazione la conformazione del terreno. Per questo proposito si introduce il concetto di "area servita" che non è altro che l'area entro cui può accedere un operaio. Esistono vari modelli per tener conto di ciò, qui si utilizzerà il modello utilizzato dalla regione Pimonte che considera un'ampiezza della fascia servita in base alla pendenza del terreno. Nella pubblicazione "I boschi del Piemonte" sono indicati i mezzi con cui si riesce ad accedere alle aree boschive in funzione della pendenza del terreno. Si considerino quindi le seguenti tre classi di pendenza, alle quali corrispondono le relative fasce con ampiezza variabile:

Pendenza (%)	Ampiezza delle fasce servite della viabilità (m)
0 - 25	250
26 - 50	100
>50	50

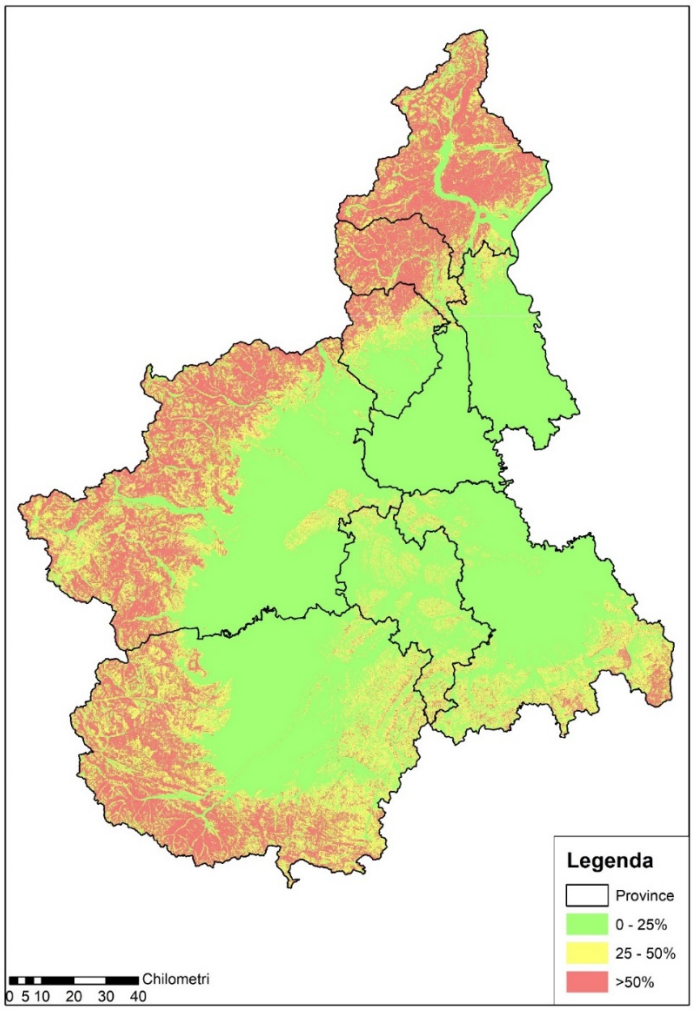
Tabella 6: Ampiezza delle fasce di area forestale servite dalla viabilità ("Boschi del Piemonte")

La **Tabella 6** mette in luce che l'ampiezza delle fasce servite dalla viabilità è strettamente correlata alla pendenza: una strada poco inclinata ha accessibilità maggiore, mentre una strada con pendenza elevata ha accessibilità minore.

Suddette pendenze, pertanto, sono state ricavate a partire da un file *Raster* utilizzando il comando "*Slope*" di *ArcGIS* e poi sono state selezionate le celle che rispondevano ai requisiti di pendenza richiesti (nella **Tabella 6**) utilizzando il "*Raster Calculator*".

Ad esempio, per calcolare le pendenze comprese tra 25 e 50% è stata utilizzata la seguente formula:

("raster" > 25) & ("raster" =< 50)



Carta 7: Classi di pendenza

Dalla **Carta 7** risulta chiaro che l'accessibilità dei comuni montani è minore a causa dalle elevate pendenze dei versanti benché le foreste nei comuni montani siano i più idonei al prelievo per scopi produttivi (Boschi del Piemonte). Si sottolinea inoltre che anche se l'inclinazione del terreno è molto elevata non vincola del tutto il raggiungimento dell'area.

Per un'analisi più completa sono stati incrociati i dati di pendenza con quelli della viabilità: in prima istanza sono stati convertiti i file *Raster* ottenuti nel passaggio precedente in poligoni formato *shp,* con la tool "*Raster to Polygon*", e successivamente sono stati intersecati con il livello della viabilità (mostrato nelle **Carta 5**) tramite lo strumento "*Clip*"

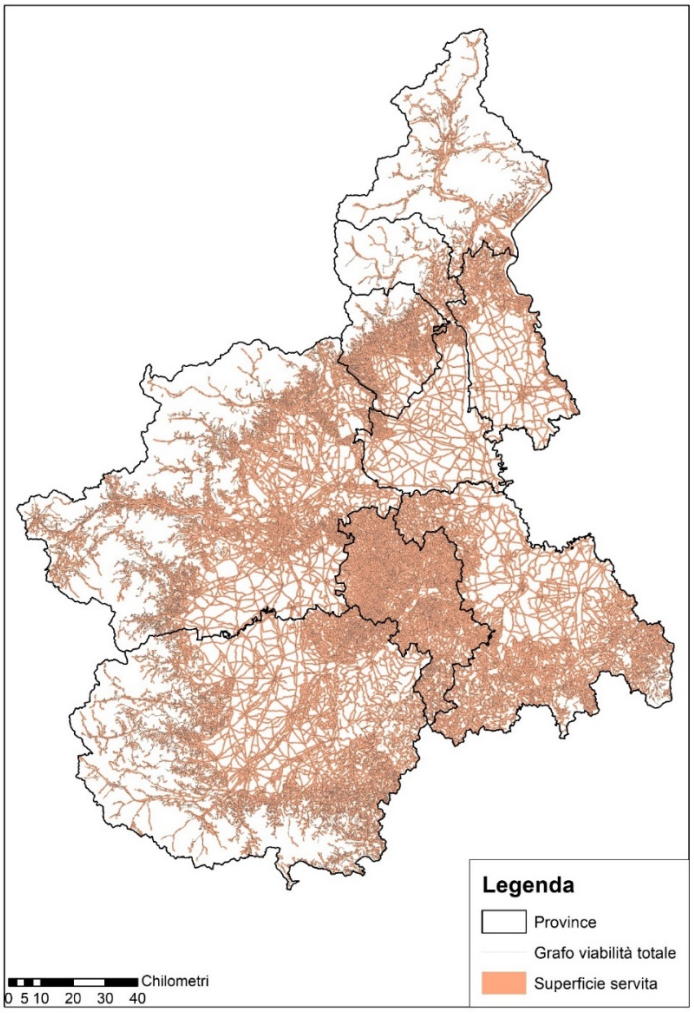
ottenendo la suddivisione della rete stradale in tre classi di strade in base alla rispettiva pendenza (in riferimento alla **Tabella 6** di prima).

Per ognuna di tali classi è stato tracciato un buffer (**Carta 8**):

- 0% < x < 25% => buffer da considerare (attorno alla viabilità esistente): 250 metri
- 26% < x < 50% => buffer da considerare (attorno alla viabilità esistente): 100 metri
- x > 50% => buffer da considerare (attorno alla viabilità esistente): 50 metri.

In tal modo è stata ottenuta la superficie effettivamente servita dalle strade dei boschi presenti nel due comuni.

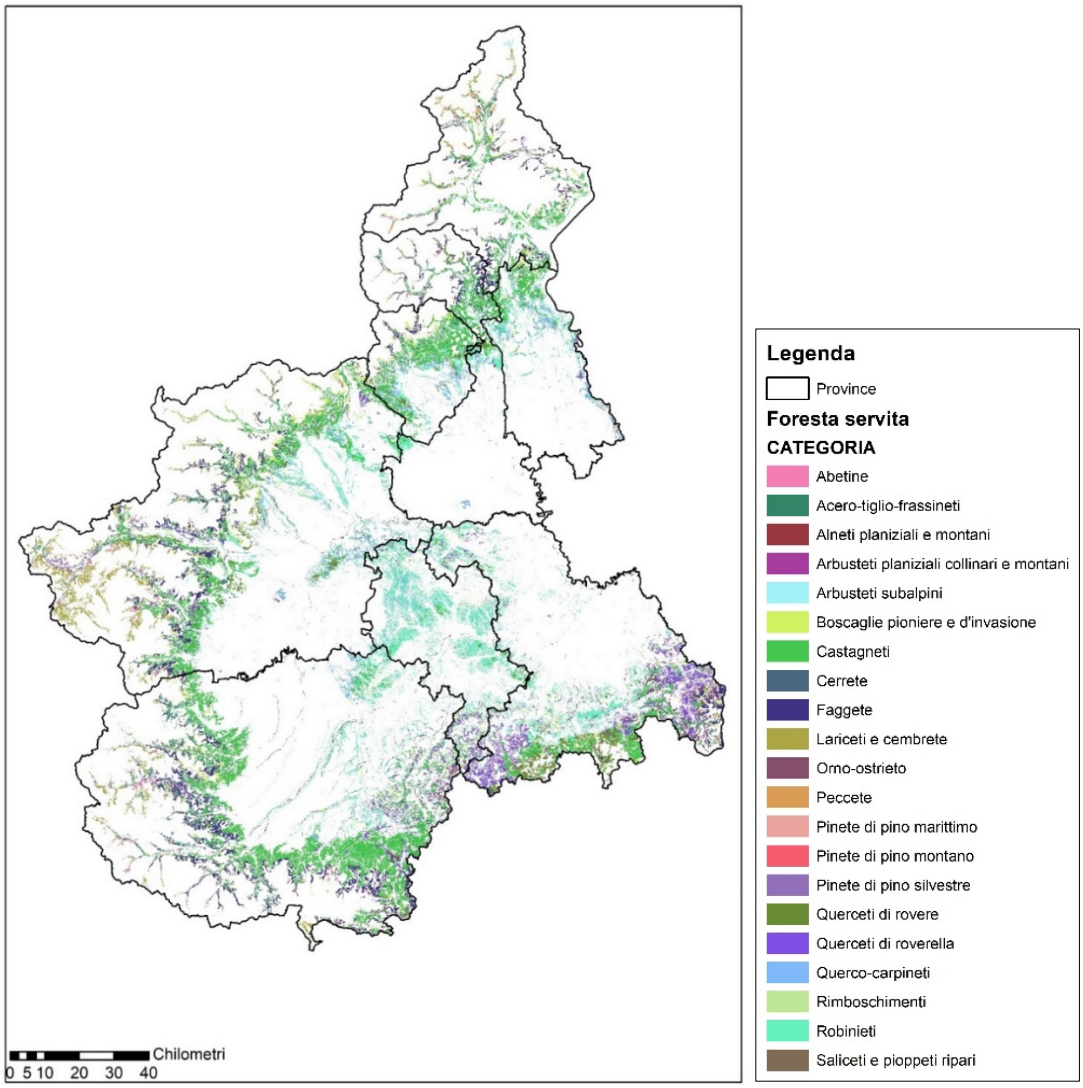
Dalla **Carta 8** è visibile che la superficie stradale servita sia nettamente più estesa nei comuni di pianura principalmente perché le condizioni territoriali in cui è situato sono più favorevoli, con pendenze minori. Infatti, i comuni montani, oltre ad avere una maglia stradale meno sviluppata, presentano prevalentemente strade a pendenza maggiore del 50%.



Carta 8: Superficie forestale servita

Infine sono state sovrapposte le aree delle diverse categorie forestali con le aree servite dalle strade (passaggio precedente) per ottenere le foreste servite dalla viabilità in base alla

rispettiva pendenza. Quest'ultima rappresentazione, nella **Carta 9**, mostra le superfici forestali realmente utilizzabili da potenziali centrali a biomasse stabilite sul territorio piemontese.



Carta 9: Foreste servite dalla rete stradale

5.1.3 Calcolo dell'energia elettrica producibile da biomassa forestale

Secondo "A. Bertolazzi (2006), *Le energie rinnovabili*, Biblioteca tecnica Hoepli, , HOEPLI, Milano, pp. 169 – 217" per ottenere l'estensione di una determinata area è necessario utilizzare la seguente formula:

$$A = \frac{m_c}{p \cdot 10^4} \quad [\text{ha} = 10000\ \text{m}^2]$$

Dove:

A= area boschiva accessibile dalla viabilità ordinaria e forestale [ha]. Questo dato era già disponibile grazie al calcolo fatto in *ArcGIS* nel punto precedente.

In questo caso è stata utilizzata la formula inversa così ottenere il consumo di biomassa dell'impianto:

$$m_c = A \cdot p \cdot 10^{+3} \qquad [kg_{ss}]$$

Dove:
mc = massa di sostanza secca prodotta annualmente dalle diverse categorie forestali [kg di sostanza secca]
p = produttività annuale [t di sostanza secca/ ha]. **Tabella 6**
Il consumo di biomassa prevede l'utilizzo di sostanza secca, ovvero priva di ogni tasso di umidità (assoluta e relativa).

L'energia termica prodotta annualmente bruciando biomassa quindi si calcola secondo la seguente formula:

$$E_T = m_c \cdot H \qquad [kWh]$$

Dove:
H = potere calorifico inferiore della sostanza secca [kWh/kgss]. **Tabella 6**

Mentre **l'energia elettrica** annua prodotta segue tale formula:

$$E_{el} = E_T \cdot \eta_{el} \qquad [kWh]$$

Dove:
hel = rendimento elettrico dell'impianto (considerato costante e pari a 0,25 o 25%);
ET = energia termica che deve essere fornita per produrre energia elettrica [kWhT];
Eel = energia elettrica prodotta dalla biomassa [kWhel].

A partire dall'area occupata da ogni categoria forestale è possibile, tramite la "resa" di massa su unità di superficie servita (fonte: IPLA), calcolare la quantità di biomassa prodotta, e tramite il relativo potere calorifico inferiore l'energia producibile.
Per il calcolo della massa e dell'energia si utilizza la **Tabella 3** (fonte: Luis Alberto Redondi, *Biomassa forestale. Una risorsa energetica rinnovabile per la regione Piemonte*).

COD.	Categoria forestali	Sup ha	Massa prelevata [1] mc/anno	Massa volumica Kg/mc[2]	Biomassa disp. t	Biomassa disp. t/ha	PCI kWh/Kg[3]	Energia kWh/anno
AB	Abetine	1.257	6644,46	450	2990,01	2,38	5	11,89
AF	Acero/tiglio/frassineti	19.648	10877,00	650	7070,05	0,36	4,1	1,48
AN	Alneti planiziali e montani	2.081	4670,13	620	2895,48	1,39	4,1	5,70
AS	Arbusteti planiziali collinari e montani	938	34,13	525	17,92	0,02	4,1	0,08
OV	Arbusteti subalpini	839	5,20	500	2,60	0,00	4,1	0,01
BS	Boscaglie pioniere e d'invasione	11.734	3303,93	500	1651,97	0,14	4	0,56
CA	Castagneti	68.864	412305,46	540	222644,95	3,23	4	12,93
CE	Cerrete	916	1443,66	900	1299,29	1,42	4	5,67
FA	Faggete	17.097	26409,33	730	19278,81	1,13	4	4,51
LC	Lacereti e cembrete	9.824	7437,53	650	4834,39	0,49	4,3	2,12
OS	Orno Ostrieto	2.239	4365,13	550	2400,82	1,07	4,1	4,40
PE	Peccete	901	1517,86	450	683,04	0,76	4,5	3,41
PM	Pinete di Pino Marittimo	216,15	206,06	450	92,73	0,43	4,4	1,89
PN	Pinete di Pino montano	158,85	11,53	560	6,46	0,04	4,4	0,18
PS	Pinete di Pino silvestre	2638,04	8676,73	540	4685,43	1,78	4,4	7,81
QV	Querceti di rovere	9690,56	8438,80	760	6413,49	0,66	4,2	2,78
QR	Querceti di roverella	13473,01	10633,20	760	8081,23	0,60	4,2	2,52
QC	Querco carpineto	11542,08	9281,40	800	7425,12	0,64	4,2	2,70
RI	Rimboschimenti	4164,78	16886,66	500	8443,33	2,03	4	8,11
RB	Robinieti	46.416	59785,73	760	45437,15	0,98	4,5	4,41
SP	Saliceti e pioppeti ripari	3.618	8260,53	650	5369,34	1,48	4	5,94

Tabella 3: produttività specifica annuale lorda - p = [t/ha] e potere calorifico inferiore della sostanza secca; PCI = [kWh/kg], in base alla tipologia di coltura considerata

Questa analisi è stata svolta sull'ultima parte cartografica prodotta (**Carta 9**) in relazione a cui sono stati calcolati:

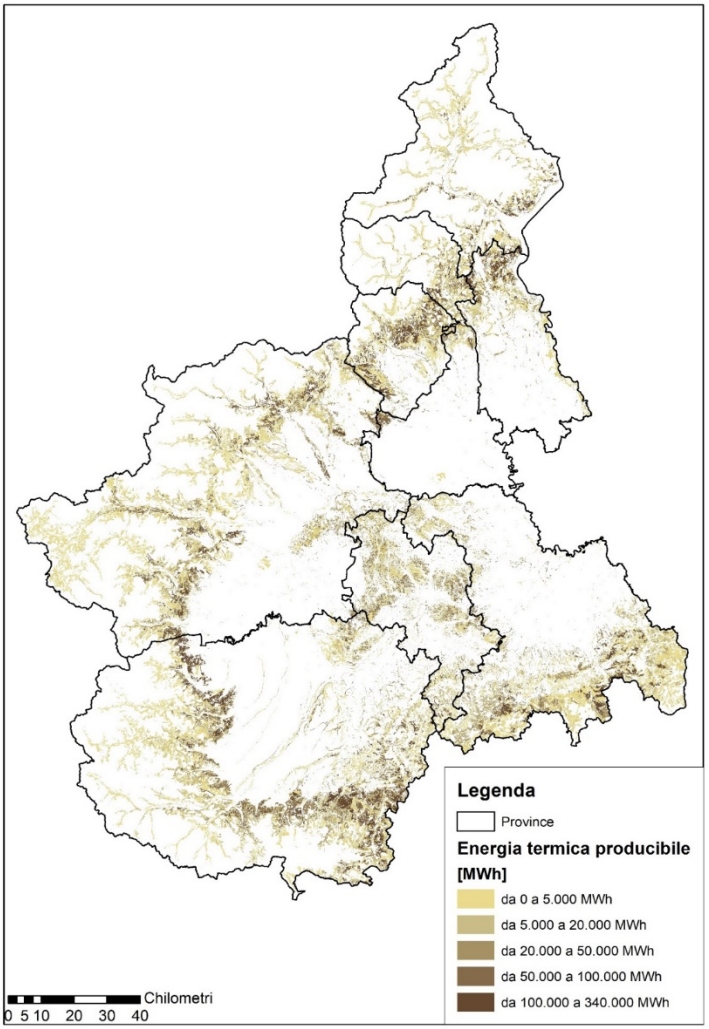
- la massa di sostanza secca prodotta dalle diverse categorie forestali (in tonnellate)
- l'energia termica producibile dalla combustione di biomassa legnosa (in kWh)
- l'energia elettrica producibile dalla combustione di biomassa legnosa (in kWhJ) eliminando prima le categorie territoriali non utili ai fini del calcolo di suddetti valori:
    - aree urbanizzate e infrastrutture
    - aree verdi urbane
    - rocce e macereti

- praterie o tutto ciò che è assimilabile a prato (es. prato – pascoli; praterie non utilizzate; prati di pianura, ecc…)

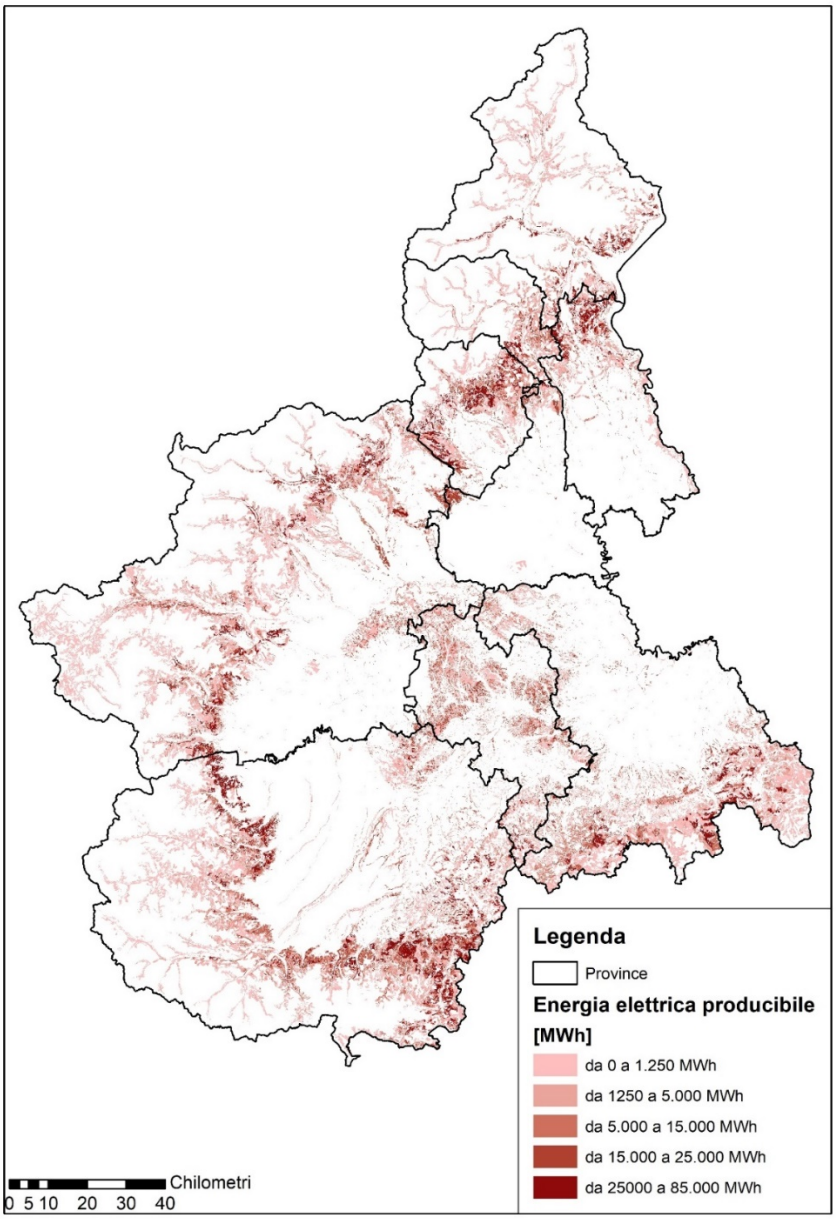
Pertanto, in primo luogo sono stati ricavati, selezionandoli dalla **Tabella 3,** la producibilità annuale di sostanza secca, poi il potere calorifico inferiore della sostanza secca. Tali valori poi sono stati associati alle relative categorie forestali.
Solo successivamente è stato possibile calcolare la massa di sostanza combustibile (kgss) e poi l'energia termica (Et) producibile dall'impianto a biomasse pari a:

$$\mathbf{Et} = (mc)*(H)$$

Dove:
mc: è la massa combustibile
H: il potere calorifico
Il risultato è espresso in kWh.
Per ottenere l'energia elettrica producibile (Eel) è stato solo più necessario moltiplicare l'Energia termica ottenuta per il rendimento dell'impianto che abbiamo ipotizzato fosse pari a 0,25 (25%).
Le **Carte 6 e 7** non rappresenta l'energia elettrica o termica producibile dall'impianto, ma l'energia elettrica o termica producibile dall'estensione delle specifiche colture individuate precedentemente le quali mostrano di essere particolarmente adatte a questo tipo di uso dato che dalle carte emergono dei valori energetici elevati.



Carta 10: Energia termica producibile da biomassa forestale



Carta 11: Energia elettrica producibile da biomassa forestale

5.1.4 Analisi costi di gestione

Avanzando un'ipotesi di analisi economica è stato considerato come prezzo totale della biomassa, comprensivo anche del trasporto, circa 40 €/t in cui sono trascurati altri oneri come le assicurazioni e la manodopera. L'ostacolo principale è rappresentato dall' approvvigionamento ed il trasporto della biomassa forestale a una seria competitività sul mercato dell'energia prodotta da coltivazioni intensive. È ancora necessario studiare opportune politiche di incentivazione a partire dai prodotti ottenibili dalla gestione forestale proprio perché gli interventi utili e sostenibili sull'intero territorio regionale interessano circa il 60% della superficie forestale circa 542.689 ha (Boschi del Piemonte).

Per quanto riguarda le regole di prelievo il volume totale potenzialmente sfruttabile nell'arco dei prossimi 15 anni ammonta a circa 2,6 milioni di mc/anno, equivalente al prelievo di 4,8

mc/ha/anno riferito alla superficie forestale percorribile e poco di meno di 3 m3/ha/anno sulla superficie boscata totale. Questo valore si avvicina all'incremento medio registrato per l'intera area boschiva, perciò, anche prelevando tutto il possibile non verrebbe intaccato il capitale attuale (Boschi del Piemonte). La **Tabella 2** riassume i prelievi possibili per tipo di intervento, categoria forestale o tipo di assortimento ottenibile.

Macrocategorie/ prodotti retraibili	Assortimenti da triturazione	%	Legna da ardere	%	Paleria	%	Tondame da lavoro	%	Totale
Formazioni igrofile	389.225	75%	93.414	18%	10.379	2%	25.948	5%	518.966
Castagneti	10.154.871	55%	3.692.680	20%	2.769.510	15%	1.846.340	10%	18.463.402
Abetine e Peccete	531.684	44%	193.739	16%	-	0%	483.615	40%	1.209.038
Lariceti	299.237	25%	119.695	10%	-	0%	778.015	65%	1.196.947
Faggete	1.264.591	25%	3.287.938	65%	-	0%	505.837	10%	5.058.366
Boschi di neoformazione	420.073	31%	746.774	54%	68.638	5%	137.276	10%	1.372.761
Pinete	428.252	37%	148.817	13%	-	0%	577.070	50%	1.154.139
Querceti e ostrieti	1.082.317	25%	2.597.560	60%	-	0%	649.390	15%	4.329.267
Robinieti	1.511.406	25%	3.325.093	55%	906.843	15%	302.281	5%	6.045.623
Totale	**16.081.656**	**41%**	**14.205.709**	**36%**	**3.755.371**	**10%**	**5.305.772**	**13%**	**39.348.508**

Tabella 7: principali assortimenti retraibili per macrocategoria forestale (Boschi del Piemonte)

$$\text{Massa combustibile} = \text{superficie foresta servita [ha]} * p\ [\text{t/ha}] = 1.191.505\ \text{t/anno}$$

$$\text{Costi di gestione biomassa} = \text{massa combustibile} * \text{prezzo totale biomassa} =$$

$$= 1.191.505\ [\text{t/anno}] * 40\ [€/\text{t}] = \mathbf{47.660.202\ €/anno}$$

5.2 Biomassa agricola

5.2.1 Introduzione

Le biomasse di origine agricola sono costituite da diversi materiali utilizzabili a fini energetici: i residui di coltivazione, prodotti di colture dedicate, residui legnosi di potature, scarti di industrie agroalimentare.

- **Residui di coltivazioni**: derivano da materia non utilizzata prodotta da normali processi naturali. Non tutti i residui di questo settore sono energeticamente utilizzabili, sia per ragioni energetiche, sia per la loro raccolta talvolta difficile e costosa. Per questo si considerano interessanti le paglie dei cereali, gli stocchi e i tutoli di mais, la paglia di riso, i sarmenti delle viti, legna e frasche delle potature di olivi. Per questo tipo di biomasse la produzione è piuttosto semplice ed economica perché non comporta particolari complicazioni operative.

- **Colture dedicate**: queste colture nascono con lo scopo di produrre biomassa per la produzione di energia, perciò son dette anche colture energetiche. Le più diffuse sono il pioppo, l'eucalipto, la canna comune, il miscanto e il cardo da fibra. I primi due sono colture a ciclo rapido, SRC o SRF (*Short Rotation Coppice or Forestry*), mentre le altre sono a ciclo poliennale. Uno dei vantaggi maggiori di queste colture è che solitamente sono fatte in pianura, quindi sono facilmente raggiungibili e comportano vantaggi logistici.

- **Residui di potature**: le potature di vigneti e frutteti producono grandi quantità di scarti che tutt'ora sono considerati dagli agricoltori un problema di smaltimento, e non vengono valorizzati a dovere.

- **Scarti di industrie agro-alimentari**: sono sottoprodotti di processi alimentari per la produzione di riso (lolla di riso), frutta secca (gusci e noccioli), vino (vinacce).

5.2.1 Calcolo dell'energia elettrica producibile da biomassa agricola: svolgimento e analisi dei risultati

4.2.1 Reperimento dati

I dati necessari sono prelevati dal Geoportale cercando il file "*Land Cover Piemonte: Classificazione uso del suolo 2010*" (vettoriale).

I dati relativi all'uso del suolo sono raggruppati in 15 file, chiamati "*LCP*", che suddividono la superficie regionale in settori; non tutti saranno utili, perché solo alcuni comprendono le province considerate.

Una volta caricati su *ArcGis* i 15 *shapefile* si compie un 'Interseca' tra questi e le quattro province, dopodiché si uniscono i file in base alla provincia considerata; ora abbiamo per ogni provincia un solo file che descrive completamente l'uso del suolo provinciale. La quantità di dati che ci sarà da elaborare in questi file è notevole, quindi si rende necessario un '*Dissolve*' altrimenti le successive operazioni di calcolo diventerebbero piuttosto lente.

Nel download dei file "*LCP*" viene fornito anche un file in formato '*.csvt*' contenente maggiori dettagli sulle varie aree; i due vanno uniti tramite '*Join*' collegando i campi "*DN*" del LCP al campo "*Value*" della decodifica ("*LCP_2010_decodifica.csv*"). Così si ottiene una descrizione più precisa dell'uso del suolo identificato dal poligono.

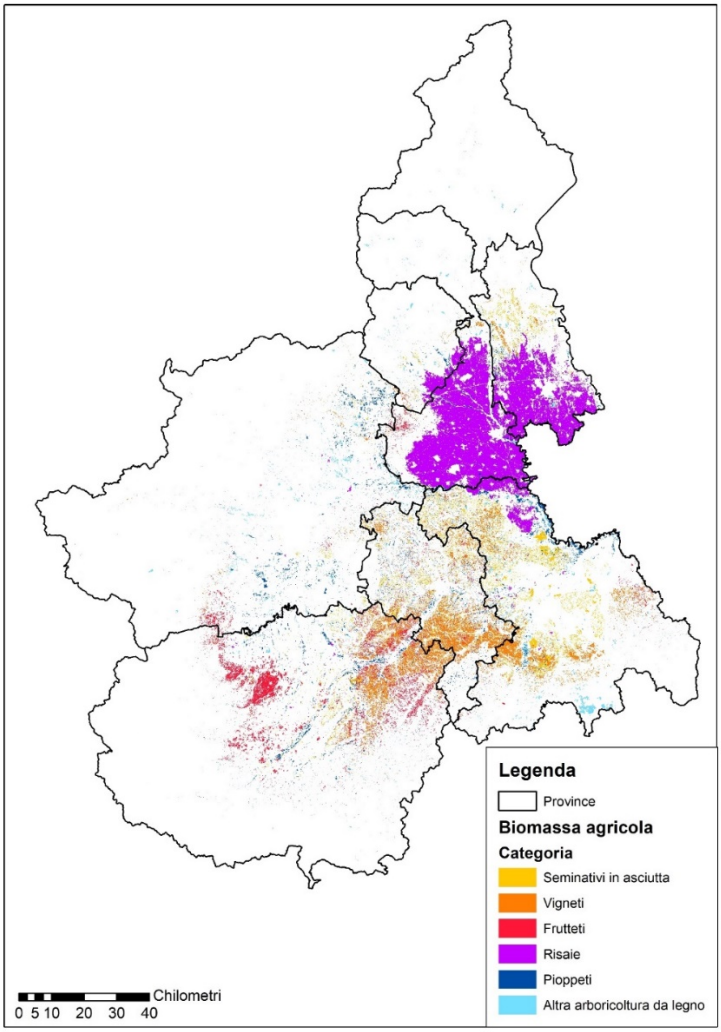
Il campo più interessante è "*Desc_4*", perciò operiamo un '*Dissolve*' mantenendo appunto questo campo. Questo campo possiede uno svariato numero, di elementi e solo in pochi sono interessanti per lo scopo; per questo viene fatta una selezione e vengono mantenuti solamente i valori: 'Seminativi semplici in aree non irrigue', 'Risaie', 'Vigneti', 'Frutteti e frutti minori indifferenziati', 'Noccioleti', 'Castagneti da frutto', 'Meleti', 'Pescheti', 'Actinidieti', 'Oliveti', 'Arboricoltura da legno indifferenziata' e 'Pioppeti'.

Al fine di calcolare la biomassa agricola si sono raggruppati alcuni campi, secondo la distinzione delle aree agricole del PFT, come indicato in **Tabella 4**.

Desc_4	Tipo
Risaie	
Vigneti	
Arboricoltura da legno indifferenziata	**Altra arboricoltura da legno**
Seminativi semplici in aree non irrigue	**Seminativi in asciutta**
Pioppeti	
Frutteti e frutti minori indifferenziati	**Frutteti**
Castagneti da frutto	
Noccioleti	
Actinidieti	
Pescheti	
Meleti	
Oliveti	

Tabella 8: Distinzione delle aree agricole all'interno del PFT

Dalla **Carta 8** si può vedere come il contributo più importante sia dato dalla massiccia presenza di risaie nella provincia di Vercelli.
Note ora tutte le superfici si può passare al calcolo della quantità di biomassa prodotta.



Carta 12: Tipologie di biomassa agricola

4.2.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile da biomassa agricola

Il calcolo della biomassa originata da scarti agricoli non è molto diverso da quello visto per la biomassa boschiva. Una volta calcolata la superficie utilizzata bisogna non solo moltiplicarla per la resa unitaria, ma anche per un fattore di "frazione utile" che considera che non tutta la biomassa può essere energeticamente utilizzata, perché parte degli scarti vengono già riutilizzati per altri scopi.

Risaie

Gli scarti che vengono considerati sono la paglia e la lolla. La paglia è uno sottoprodotto inevitabile della coltivazione, la cui resa è 2,87 t/ha e la frazione utile è il 60%; invece la lolla proviene da lavorazioni dell'industria del riso, per questo è importante sapere la producibilità di riso grezzo, che è pari a 6,54 t/ha. La sua raffinazione produce diversi scarti tra cui la lolla, la pula ed altri. La lolla risulta circa il 20% in massa del riso grezzo; solo questa sarà energeticamente rilevante perché le restanti hanno già uno scopo all'interno dell'industria agroalimentare, per esempio come mangime. Della lolla solo il 50-60% viene effettivamente

bruciata, quindi la frazione utile è il 12% del riso grezzo. Per questi due sottoprodotti il potere calorifico inferiore è diverso.

Risaie	Resa [t/ha]	Frazione utile	PCI [kWh/kg]
➢ Paglia di riso	2,87	60%	2,36
➢ Lolla di riso	6,54	12%	4,00

Tabella 9: Valori risaie - Resa e frazione utile (Ente Nazionale Risi), PCI (IPLA)

Seminativi in asciutta

I seminativi in asciutta sono dei terreni coltivati a cereali, frumento, orzo, avena, etc. Gli scarti che si possono sfruttare sono le paglie che hanno una resa media di 2,18 t/ha, e una frazione utile del 40%.

Seminativi in asciutta	Resa [t/ha]	Frazione utile	PCI [kWh/kg]
➢ Paglia di cereali	2,18	40%	2,36

Tabella 10: Valori seminativi in asciutta - Resa e frazione utile (Ente Nazionale Risi), PCI (IPLA)

Vigneti

I tralci sono i rami sottili e fragili della vite che si producono durante la potatura autunnale. La potatura è un'operazione necessaria per tutti gli alberi da frutta per poter dare alla pianta una forma adeguata; per questo motivo, anche se vigneti e frutteti si trovano su zone collinari anche molto pendenti e spesso distanti da strade facilmente accessibili, non son state considerate delle fasce servite come per le specie forestali, perché la potatura viene effettuata comunque su tutti gli alberi, quindi tutta l'area è "servita".
In più si possono considerare gli scarti dell'industria vinicola: dopo la spremitura dell'uva si recuperano i raspi e le vinacce vergini, e dopo la distillazione le vinacce esauste.

Vigneti	Resa [t/ha]	Frazione utile	PCI [kWh/kg]
➢ Tralcio di vite	1,45	30%	2,20
➢ Vinacce e raspi	7,05	8,2%	2,20

Tabella 11: Valori vigneti - Resa e frazione utile (Ente Nazionale Risi), PCI (IPLA)

Frutteti

Come visto per i vigneti, la potatura è un'operazione necessaria che non comporta particolari operazioni aggiuntive rispetto a quelle ordinarie. I valori utilizzati sono frutto di una media fatta sulle principali tipologie di albero da frutto.

Frutteti	Resa [t/ha]	Frazione utile	PCI [kWh/kg]
➢ Potature dei frutteti	2,20	90%	3,40

Tabella 12: Valori frutteti - Resa e frazione utile (Ente Nazionale Risi), PCI (IPLA)

Pioppeti e arboricoltura da legno

Per quanto riguarda le colture arboree bisogna dire che i dati sono valutati su scala pluriennale in quanto il processo di crescita è lungo rispetto a quello degli altri scarti agricoli, e sono fatti sulla media delle diverse specie considerate.

Arboricolture da legno	Resa [t/ha]	Frazione utile	PCI [kWh/kg]
➢ Pioppeti	12	15%	2,20
➢ Arboricoltura indifferenziata	17,6	50%	2,20

Tabella 13: Valori arboricoltura da legno – Resa e frazione utile (Ente Nazionale Risi), PCI (IPLA)

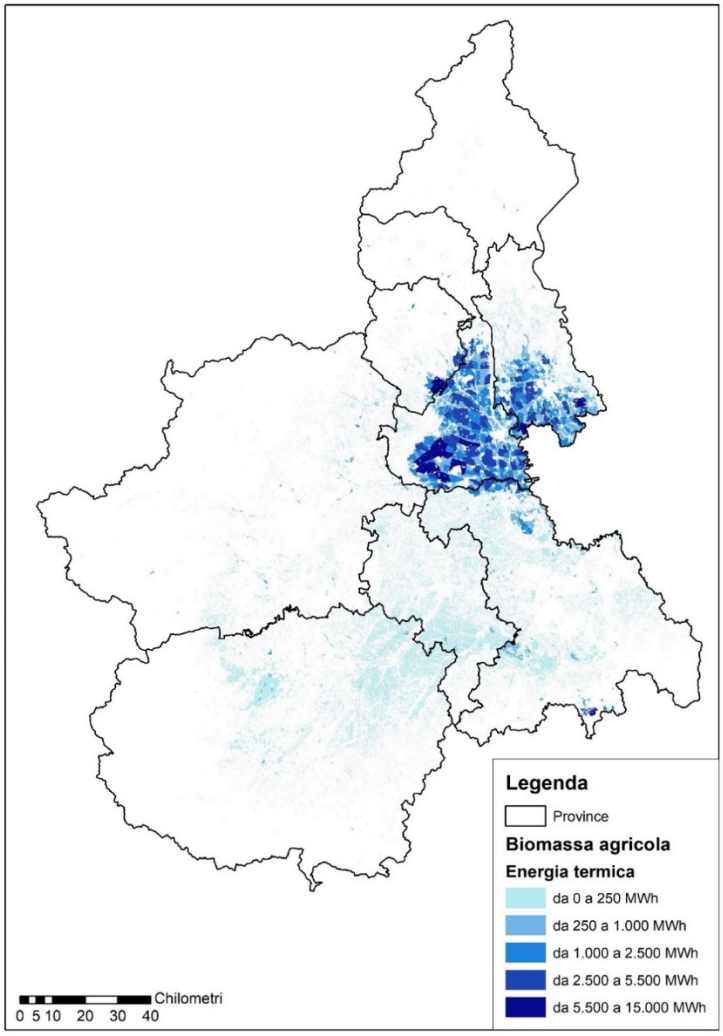
Considerando tutti questi dati ora si calcola la biomassa prodotta e utilizzabile secondo le seguenti formule:

$$Biomassa\ prodotta\ [t] = Superficie\ [ha] * Resa\ [t/ha]$$

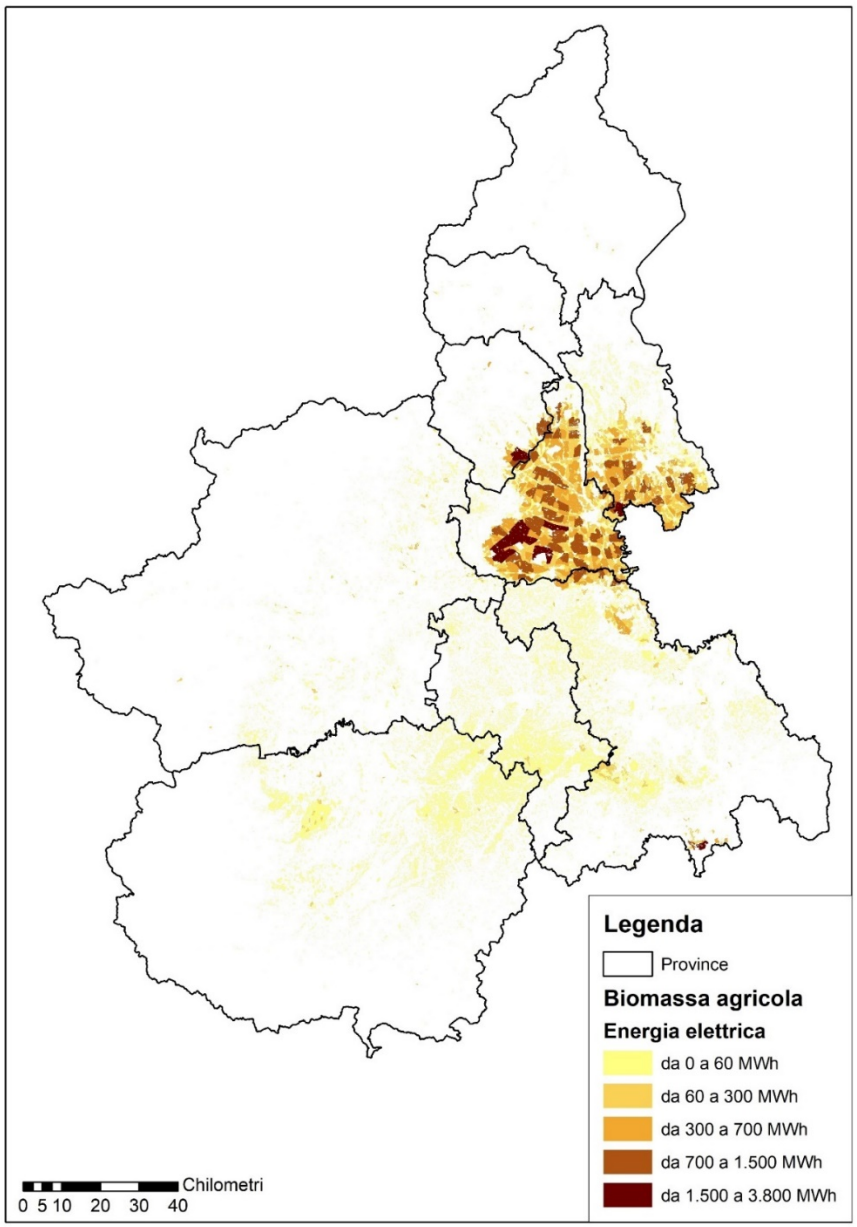
$$Biomassa\ utilizzabile\ [t] = Biomassa\ prodotta\ [t] * Frazione\ utile\ [\%]$$

$$\text{Energia termica [MWh]} = Biomassa\ utilizzabile\ [t] * \text{PCI [kWh/kg]}$$

Infine, per ottenere l'energia elettrica producibile (Eel) è stato solo più necessario moltiplicare l'Energia termica ottenuta per il rendimento dell'impianto, ipotizzando fosse pari a 0,25 (25%), come per la biomassa forestale.
Le **Carte 9 e 10** non rappresenta l'energia elettrica o termica producibile dall'impianto, ma l'energia elettrica o termica producibile dall'estensione delle specifiche colture individuate precedentemente.



Carta 13: Energia termica producibile da biomassa agricola



Carta 14: Energia elettrica producibile da biomassa agricola

4.3 Analisi costi di gestione

L'analisi dei costi dei costi punta a stimare i costi di produzione di biocombustibile provenienti dall'agricoltura, deve tener conto di diverse voci, che vanno dai costi di produzione della biomassa in campo (comprensivi dei costi di raccolta e trasporto alla sede aziendale), ai costi di movimentazione e stoccaggio della biomassa ed ai costi di trasporto del biocombustibile ottenuto dall'impianto energetico. La somma di questi permette di stimare il costo di produzione del biocombustibile (€/t), ed il relativo costo di produzione dell'energia in esso contenuta (€/kWh).

Di questi, la stima dei costi di trasporto del biocombustibile all'impianto di cogenerazione sito è stata ritenuta trascurabile, perché si tratta di una filiera a kilometri zero, avente raggio

max di 28km e pertanto considerando la stima piemontese di 16€ per 80km, di conseguenza è stato ritenuto trascurabile.

La stima del costo di produzione del biocombustibile (€/t) è avvenuta mediante consultazione di diversi enti, in modo da avere un valore quanto più possibile vicino al valore reale.

5. Energia dai rifiuti

5.1 Introduzione

I rifiuti sono prodotti di scarto in quanto hanno perso la loro utilità principale. Nonostante ciò sono composti da materiali che possono essere riciclati oppure impiegati per produrre energia, in quanto elementi combustibili.

All'interno dei termovalorizzatori si può estrapolare dai rifiuti l'energia termica attraverso la combustione che genere calore, dalla quale si può ottenere energia termica e a sua volta energia elettrica. La termovalorizzazione ha apportato un'innovazione tecnologica nello sfruttamento energetico dei rifiuti, superando l'incenerimento. Si sottolinea che non tutti i rifiuti possono essere utilizzati per la termovalorizzazione.

I risultati che si otterranno da questa valutazione forniscono una visione di massima della situazione in cui si trova oggi la Regione Piemonte, permettendo di analizzare anche quelli che saranno i risvolti economici legati a questo tipo di attività di recupero.

5.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile da rifiuti: svolgimento e analisi dei risultati

5.2.1 Reperimento dei dati

In primo luogo, sono stati reperiti i dati necessari alla quantificazione di rifiuti per comune, dato fornito dalla Regione Piemonte, che tramite l'Osservatorio Regionale Rifiuti forniva i valori di "Produzione totale di Rifiuti Urbani pro capite per Comune" al 2017 come tabella in formato *Excel*.

Per georiferire il dato sui rifiuti è stato unito allo *shp* relativo ai confini comunali dell'Istat tramite '*Join*' collegando i campi "*ISTAT*" della tabella Rifiuti al campo "*COD_ISTAT*" dei confini comunali.

Inoltre, è stato necessario aggregare il dato sulla popolazione residente per comune al primo gennaio 2018 (Istat) per determinare le tonnellate di rifiuti prodotti all'anno per comune:

$$\text{Rifiuti [t/anno]} = (\text{Produzione pro capite [kg/ab/anno]} * \text{Popolazione residente}) / 1000$$

5.2.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile da rifiuti

Il calcolo della biomassa originata da rifiuti non è molto diverso da quello visto per la biomassa boschiva e agricola. Una volta calcolata le quantità di rifiuti che vengono prodotte bisogna innanzi tutto distinguerlo per tipologia di rifiuti, in seguito moltiplicarlo per la "frazione rinnovabile" e in fine attribuirgli un di potere calorifico inferiore.
La percentuale relativa alla "frazione rinnovabile" tiene conto del fatto che non tutti i rifiuti possono essere energeticamente utilizzati, perché parte di essi viene già riutilizzati per altri scopi come il riciclaggio. I primi due indicatori (**Tabella 10**) vengono presi dal Rapporto Rifiuti Urbani, di cui la gestione dei dati viene effettuata dal Servizio Rifiuti dell'ISPRA, in attuazione di uno compito istituzionale previsto dall'art. 189 del D.Lgs. n. 152/2006.

Componente	Contenuto (%)	Rinnovabilità (%)	Frazione Rinnovabile (%)
Organico	34.4	100.0	34.4
Carta	22.8	100.0	22.8
Plastica	11.6	0.0	0.0
Metalli	4.3	0.0	0.0
Vetro	7.6	0.0	0.0
Legno	3.8	100.0	3.8
RAEE	2.4	0.0	0.0
Tessili	5.1	50.0	2.5
Inerti	2.4	0.0	0.0
Altro	5.5	10.0	0.5
Totale	100.0	-	**64.0**

Tabella 14: Caratteristiche medie dei Rifiuti Solidi Urbani prodotti in Italia stimata da ISPRA

Mentre per quanto riguarda il potere calorifico inferiore si considerano i valori riportati nello studio della *Technical University of Denmark* nell'aprile del 2000 (**Tabella 11**).

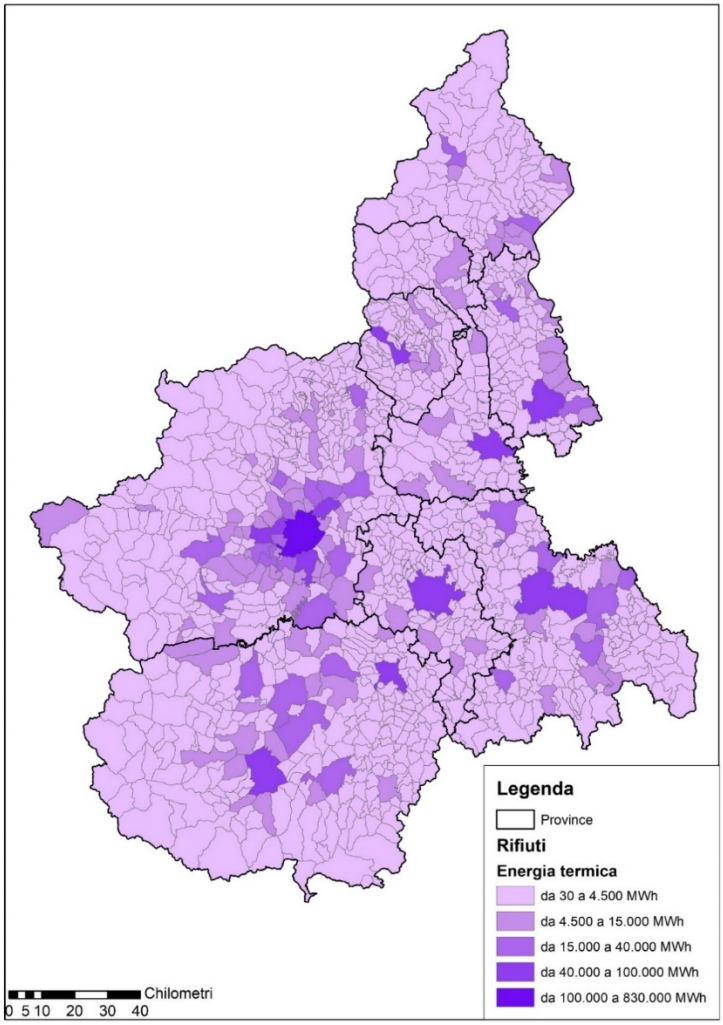
Frazione	Potere calorifico inferiore [MJ/Kg]
Carta	15.2
Plastica	40.7
Scarti di cibo	6.6
Tessuti	13.5
Legno	16.7
Pannolini	7.2
Scarti di giardinaggio	6.1
Componenti elettronici	2.4
Altre (valore medio)	6
Pericolosi	6

Tabella 15: Potere Calorifico Inferiore (H. L. Erichsen, M. Z. Hauschild: Department of Manufacturing Engineering, Technical University of Denmark, aprile 2000.)

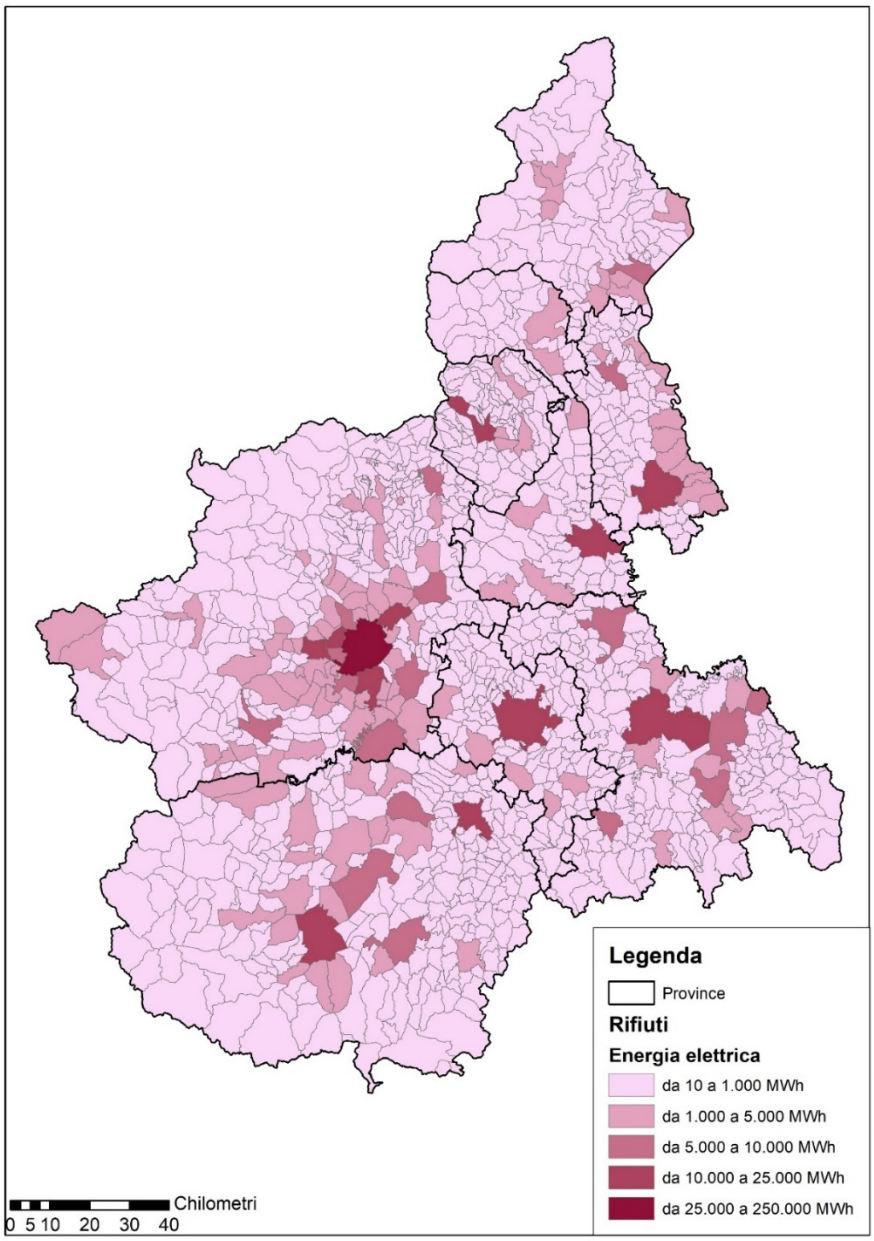
$$\text{Categoria rifiuti [t]} = \text{Rifiuti [t]} * \text{Frazione rinnovabile [\%]}$$

$$\text{Energia termica [MWh]} = (\text{Categoria rifiuti [t]} * \text{PCI [Mj/Kg]}) * 0{,}27778$$

Infine, per ottenere l'energia elettrica producibile basta moltiplicare l'Energia termica ottenuta per il rendimento dell'impianto, ipotizzando fosse pari a 25%.
Le **Carte 11 e 12** rappresenta l'energia elettrica o termica producibile dai rifiuti prodotti nel comune di riferimento. Si nota subito come la producibilità di energia sia fortemente correlata al numero di abitanti del comune.



Carta 15: Energia termica producibile da rifiuti



Carta 16: Energia elettrica producibile da rifiuti

5.3 Analisi costi di gestione

La valutazione dei costi di gestione considera la taglia dell'impianto di termovalorizzazione e altre voci prese dal documento elaborato da ENEA:

a) Oneri finanziari. Non sono considerati nel calcolo.
b) Costi del personale. Sono pari a 11,06 €/t (Eunomia).
c) Costi di manutenzione. Rispetto ai costi di investimento sono pari: all'1% per opere civili ed al 5% per le opere elettromeccaniche (Eunomia). Non sono considerati nel calcolo.
d) Costi dei materiali di consumo, necessari all'esercizio dell'impianto. Sono pari a 13,3 €/t (valore medio indicativo Eunomia).

e) Costi dell'energia elettrica (non sono considerati nel calcolo).
f) Costi di smaltimento. Sono pari a 26,6 €/t (Eunomia).

Rifiuti utilizzati [t/anno] = [(Produzione pro capite [kg/ab/anno] * Popolazione residente) / 1000] * Frazione utilizzata [%] = **1.331.389 [t/anno]**

Costi di gestione rifiuti = rifiuti utilizzati * costi del personale * costi di manutenzione * costi dei materiali * costi dell'energia elettrica * costi di smaltimento =

1.331.389 [t/anno] * 11,06 [€/t] * 13,3 [€/t] * (96 [kWh/t] * 26,6 [€/t] = **5.209.467.932 [€/anno]**

6. Energia eolica

6.1 Introduzione

Il vento è una fonte rinnovabile utilizzata dall'uomo da tempi remoti ed alla quale si è cominciato a guardare con interesse dagli anni '70. L'energia cinetica dell'aria può essere convertita direttamente da un motore eolico in energia meccanica che aziona mulini, pompe o generatori elettrici. A differenza dell'acqua, i flussi d'aria non possono essere concentrati né accumulati e cambiano frequentemente direzione e velocità.
La captazione dell'energia cinetica del vento avviene attraverso la superficie delle pale.

6.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile dal vento: svolgimento e analisi dei risultati

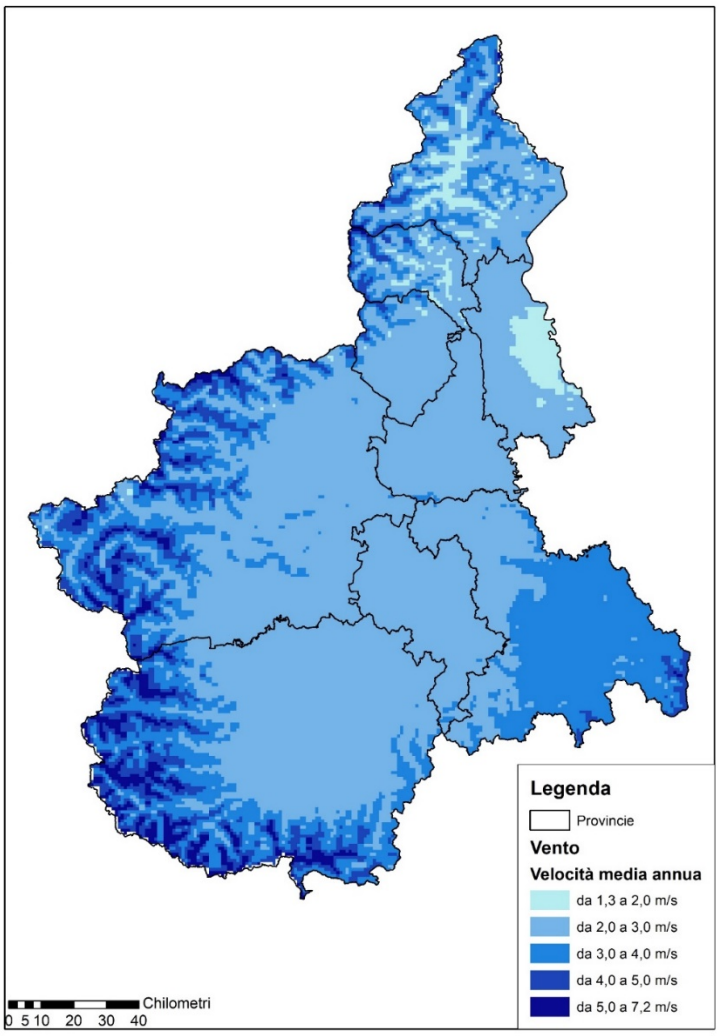
6.2.1 Reperimento dei dati

I dati relativi a questa valutazione sono stati presi dall'Atlante eolico dell'Italia, la cui preparazione si è sviluppata in quattro punti:

- La simulazione di campi di vento a diverse altezze dal suolo. La simulazione ha utilizzato il modello matematico WINDS;
- La raccolta ed elaborazione di dati di misura del vento sulla terraferma proveniente dai vari operatori i fra cui ENEL, ENEA e l'Aeronautica Militare;
- L'adattamento delle mappe del vento ai dati di misura delle reti tramite un procedimento sviluppato ad hoc.
- In fine il calcolo della producibilità specifica (MWh/MW) a partire dalle mappe di ventosità.

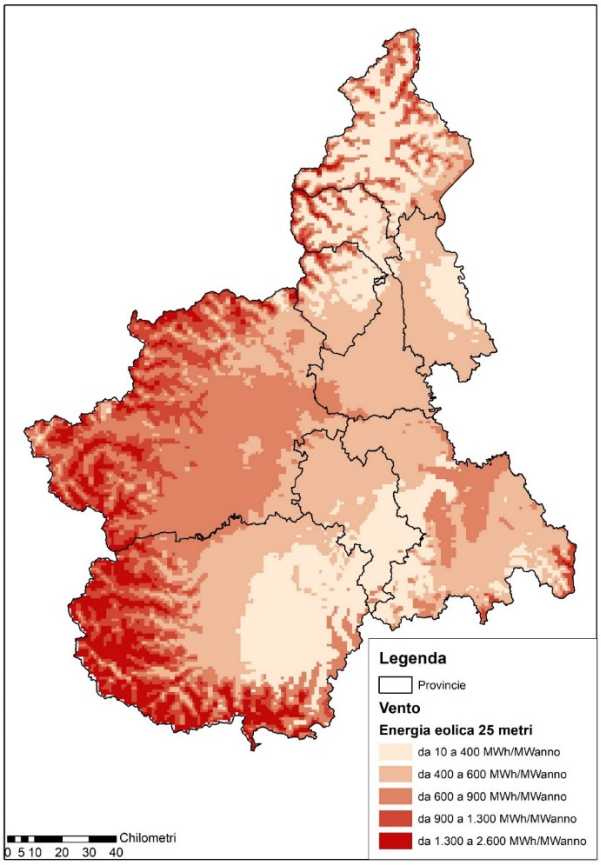
6.2.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile dal vento

Tramite i dati forniti dall'Atlante eolico dell'Italia è stata elaborata una prima cartografia della velocità media annua a 25 metri. La mappa di velocità media del vento, **Carta 13**, rappresenta i luoghi caratterizzati da maggiore forza del vento.

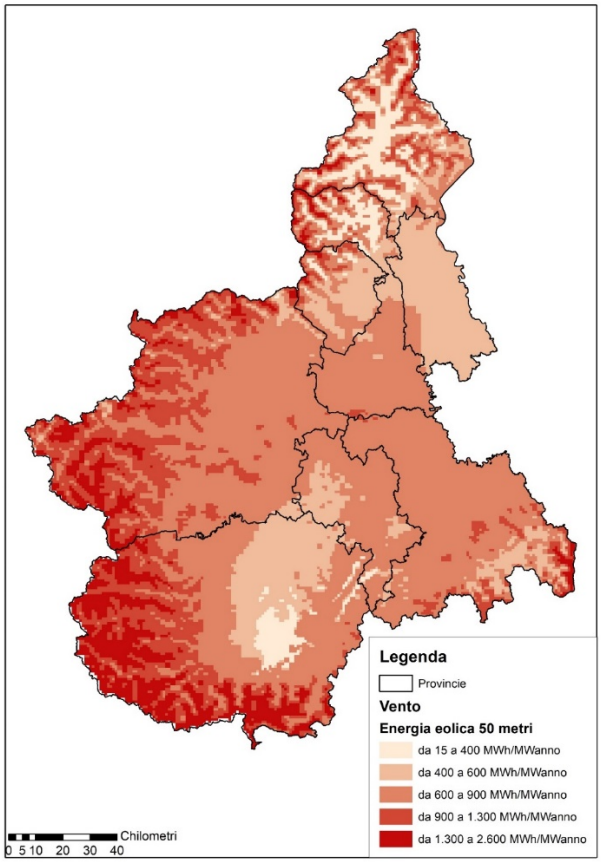


Carta 17: Velocità media annua 25 metri

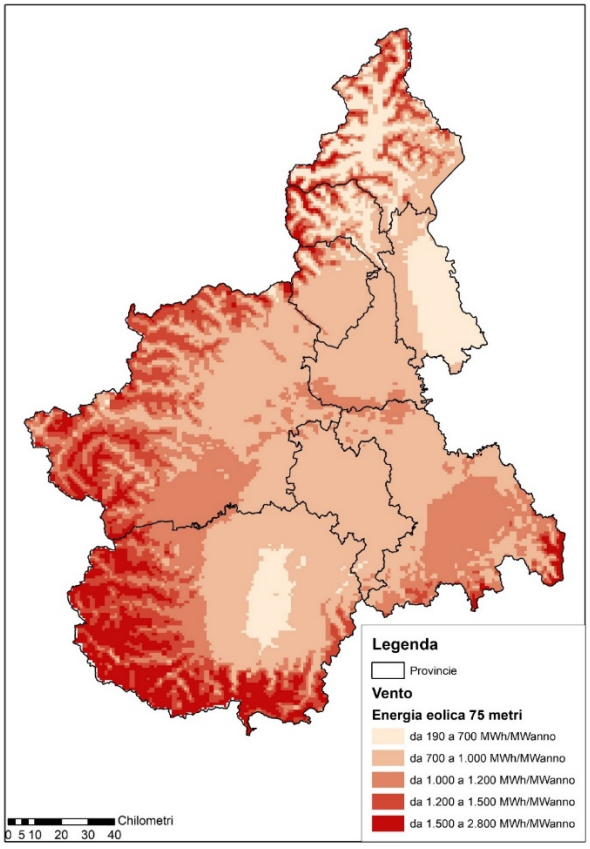
Per la valutazione è comunque più importante dal punto di vista valutativo e dell'analisi la producibilità complessiva annua espressa da un territorio, infatti le aree più interessanti per lo sfruttamento energetico vengono individuate proprio da questa carta.
A rappresentare la producibilità specifica dell'eolico ci sono quattro mappe, alle altezze dal suolo di 25, 50, 75 e 100 metri (**Carte 14, 15, 16 e 17**). Questa classificazione è utile al fine di valutare tutte le taglie di macchine attualmente disponibili sul mercato.
La quantità, espressa in MWh/MWanno o ore/anno, può anche essere espressa come le ore annue equivalenti di funzionamento dell'aerogeneratore alla sua totale potenza nominale.
Si può notare come la producibilità di energia aumenti con l'aumentare dell'altezza, questo implica però che taglie di macchine così alte andranno ad incidere notevolmente sul paesaggio.



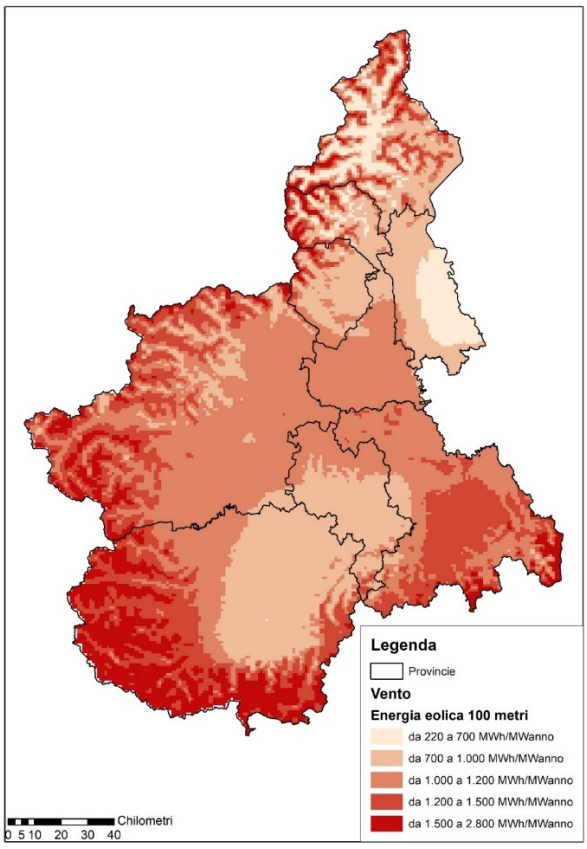
Carta 18: Producibilità complessiva annua 25 metri



Carta 19: Producibilità complessiva annua 50 metri



Carta 20: Producibilità complessiva annua 75 metri



Carta 21: Producibilità complessiva annua 100 metri

5.3 Analisi costi di gestione

Il costo dell'energia eolica è legato principalmente all'investimento iniziale, ma prima di analizzare questo aspetto è bene ricordare che esistono due tipi di generatori:

1. Generatori eolici ad asse verticale;
2. Generatori eolici ad asse orizzontale.

In generale, il costo di installazione di una turbina orizzontale è rappresentato dal 70 per cento circa dal solo costo dell'impianto. Mentre per l'installazione di una turbina verticale di piccola taglia risulta avere un costo più elevato, soprattutto dovuto ai costi di installazione. Nonostante questo, entrambi gli impianti hanno spese di manutenzione abbastanza contenute.

Oggi il costo dell'eolico è stimato a 0,035-0,045 €/kWh, prezzo che è sceso negli ultimi anni, stimato attorno ai 0,045-0,075 €/kWh. La riduzione dei prezzi spinge a investire maggiormente in questa fonte rinnovabile.[11]

7. Energia idraulica

7.1 Introduzione

Tra l'IX e il X secolo, l'uomo sviluppò nuove macchine che erano in grado di compiere azioni meccaniche grazie alla forza idraulica. Tali marchingegni trasformavano la forza cinetica generata dalla rotazione delle pale immerse nei fiumi in energia meccanica.
Questo tipo di energia è definito *idroelettrico*. Si tratta di una fonte di energia alternativa e rinnovabile, che trasforma l'energia potenziale gravitazionale, in energia cinetica; tale energia cinetica viene quindi trasformata in energia elettrica nelle centrali idroelettriche mediante un alternatore accoppiato ad una turbina.

7.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile dai corsi d'acqua: svolgimento e analisi dei risultati

Reperimento dei dati

I dati utilizzati per questo tipo di analisi sono:

- Punti di restituzione in corsi d'acqua. Il dataset rappresenta i punti di restituzione in corsi d'acqua superficiale naturale o artificiale della risorsa idrica prelevata.
- Prese da acque superficiali. Il dataset rappresenta i punti di presa da acque superficiali naturali e artificiali.

[11] (fonte: https://anteritalia.org/quanto-costa-lenergia-eolica-qual-la-sua-resa/)

Entrambi i dati sono reperibili sul Geoportale della Regione Piemonte.

Il DTM[12], modello digitale del terreno del 1997, permette di valutare oltre all'andamento del terreno e all'edificato, anche la presenza di altre superfici, come ad esempio la vegetazione che può influire sulla quota di irradiazione solare effettivamente disponibile.

6.2.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile dai corsi d'acqua

Gli impianti idroelettrici sfruttano l'energia potenziale meccanica contenuta in una portata di acqua disponibile ad una certa quota rispetto al livello cui sono posizionate le turbine. Questi si suddividono in base alla potenza:

- Micro-impianti: $P < 100$ kW
- Mini-impianti: $100 < P$ (kW) < 1000
- Piccoli-impianti: $1000 < P$ (kW) < 10000
- Grandi-impianti: $P > 10000$ kW

In generale, in caso di potenze superiori a 1.000 kW sono necessarie delle dighe. I mini/micro impianti, invece, installati tipicamente in acqua fluente, non necessitano di alcun tipo di sbarramento e a tal proposito sono sempre più diffusi in questi ultimi anni, anche grazie agli incentivi sempre maggiori.

Classificazione Idraulica

Gli impianti idraulici si suddividono in impianti a serbatoio/bacino ed impianti ad acqua fluente.

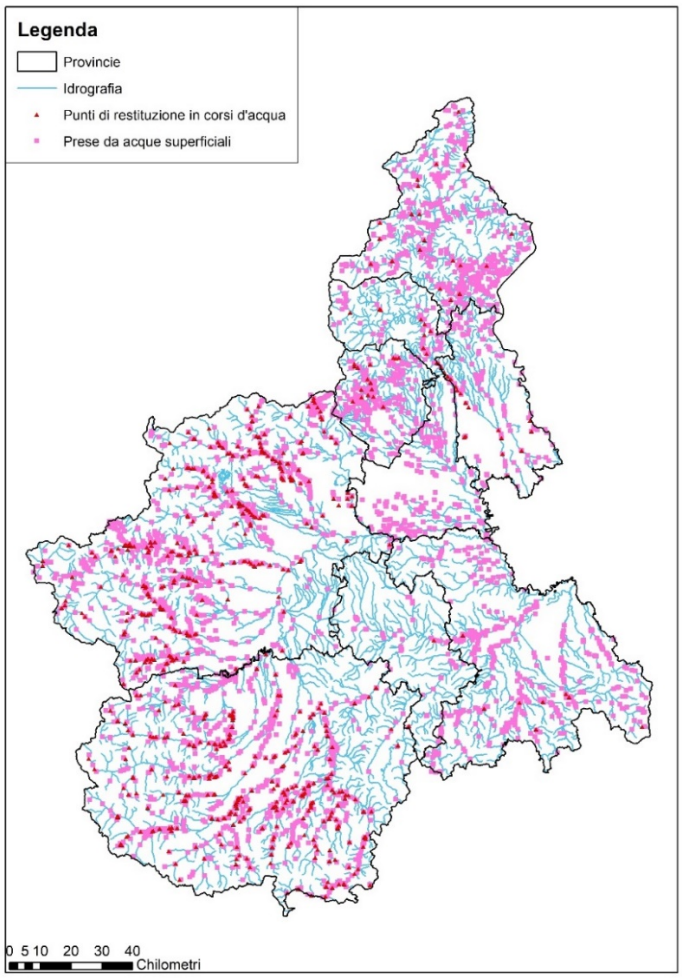
Gli *impianti a bacino* si distinguono per la presenza di bacini naturali o di dighe. In questo caso viene prelevato il giusto quantitativo costante di acqua, in modo tale che il bacino non si svuoti, ma nemmeno che strabordi. Tale quantitativo di acqua viene solitamente definito in fase progettuale e garantisce che, a differenza degli impianti ad acqua fluente, il flusso d'acqua sia sempre costante e programmato.
Negli impianti a bacino, l'acqua viene deviata tramite le opere di presa dal serbatoio e incanalata nella vasca di carico dove, tramite canali e condotti, raggiunge ed alimenta le turbine idrauliche. Queste, ruotando, alimentano il generatore di elettricità, che è collegato al proprio albero. L'acqua successivamente verrà incanalata per essere rilasciata a valle, oppure nel bacino di restituzione.

I componenti principali di questo tipo di impianti sono:

[12] DTM: modello digitale di elevazione; rappresenta la distribuzione delle quote di un territorio in formato digitale, generalmente un Raster i cui pixel che lo compongono contengono il dato di quota. Questo tipo di modello viene realizzato tramite tecniche di rilevamento sempre più raffinate e di precisione.
Per rendere il calcolo il più preciso possibile ma considerando la maneggevolezza del dato, in questo caso studio è stata utilizzato un DTM di 10 m.

- **opere di presa e convogliamento** che, tramite canali e condotte in pressione, fanno si che l'acqua venga estratta dal bacino e incanalata correttamente per alimentare le turbine;
- **l'impianto di produzione dell'energia elettrica**, formato dalle turbine, dai generatori e dai trasformatori.
- **opere di restituzione**, che permettono di far fluire via l'acqua utilizzata dalle turbine nei canali di restituzione.

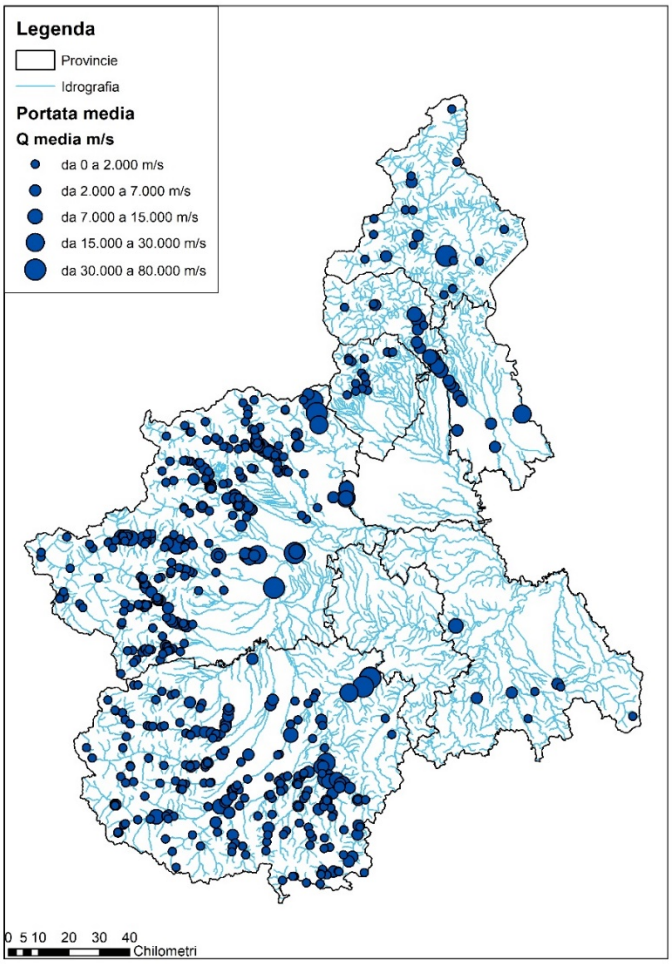
Come abbiamo visto nel paragrafo precedente i dati che si andranno ad utilizzare per questo tipo di analisi sono: i punti di restituzione in corsi d'acqua e le prese da acque superficiali (**Carta**), disponibili in formato *shapefile*. Questi dati sono chiaramente riduttivi per questo tipo di analisi, in quanto rappresentano le opere attualmente esistenti sul territorio, mentre per un'analisi più completa occorrerebbe avere dati più accurati relativi alla portata dei fiumi nei singoli tratti. L'analisi presentata qui sotto, nonostante i limiti appena considerati, può essere molto utile per capire la potenzialità di questo tipo di energia e per una analisi di prefattibilità di questo tipo di impianti.



Carta 22: Punti di restituzione in corsi d'acqua e prese da acque superficiali

Di tutti questi punti di prelievo e restituzione sono stati tenuti in considerazione per il calcolo solo i punti che avevano sia un punto di presa che di restituzione, in quanto necessitava per

il calcolo di questo fattore. Inoltre, sono stati selezionati ed estratti solo i punti di presa e restituzione con valori di portata media superiori a 0. Il Join by attribute in base al corrispettivo codice di riferimento, mantenendo lo shapefile puntale relativo alle Restituzioni, il punto in cui si considera verranno localizzati gli impianti di produzione di energia rinnovabile. Pertanto, si può osservare nella **Carta 19** i punti effettivamente considerati a seguito di un *join by attribute* tra i due *shapefile*.



Carta 23: Punti di restituzione in corsi d'acqua e relativa portata

Parametri: Salto e portata

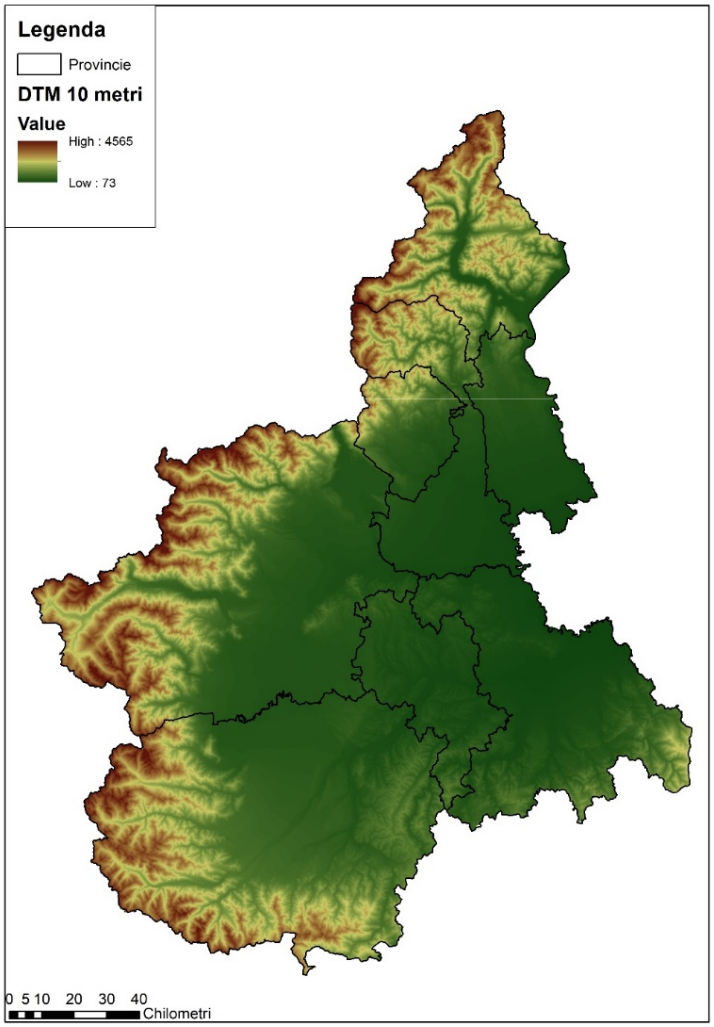
La potenza di un impianto idraulico dipende da due fattori: il *salto,* ovvero il dislivello tra la fonte della risorsa idrica e l'impianto in cui viene incanalata dalla turbina, e la *portata,* ovvero il quantitativo d'acqua che affluisce nella turbina per unità di tempo.[13]

Il principio di funzionamento di un impianto idroelettrico è, come noto, quello di trasformare l'energia dovuta al movimento dell'acqua in energia elettrica. Per far si che questo avvenga, la massa d'acqua deve essere in movimento e a tal proposito deve esistere una differenza di quota tra l'opera di presa e la turbina stessa, il cosiddetto *salto*.

Negli impianti a serbatoio, l'acqua scorre attraverso questa differenza di quota all'interno di una condotta, dentro la quale l'acqua risulta essere in pressione, ovvero esercita una pressione contro le pareti della condotta. Negli impianti ad acqua fluente, invece, la

differenza di quota è tipicamente naturale, ovvero è dovuta al letto del corso d'acqua, che è in pendenza o ha un piccolo salto di fondo tra monte e valle della turbina.
A fini pratici, il salto può essere definito come il dislivello fra il livello dell'acqua al punto di presa e quello nel punto di restituzione. Avendo a disposizione il DTM Digital Terrain Model (**Carta 20**) relativo alla regione Piemonte, è stato utilizzato per valutare a che elevazione fossero sitati i punti di presa e di restituzione attraverso il Tool Extract Values, che permette di estrarre i valori presenti nel raster DTM nei punti relativi di interesse.

- Calcolo del salto: Elevazione Punti di presa – Elevazione punto di restituzione
- Alcuni valori risultano uguali o inferiori a 0 per alcune ragioni orografiche, pertanto questi valori non vengono considerati nel calcolo;



Carta 24: Digital Terrain Model 10 metri

La portata d'acqua viene misurata in m3/secondo e rappresenta il volume d'acqua che passa attraverso una sezione in un certo periodo di tempo. Sebbene una maggiore portata garantisca un quantitativo maggiore di energia prodotta, non è tuttavia possibile utilizzare tutta l'acqua del corso; infatti una parte d'acqua non fluisce nella turbina, in modo tale da

assicurare alla fauna ittica un passaggio sicuro da monte a valle e viceversa, e anche per evitare di lasciare il fiume in secca.[13]

I valori di portata considerati in questa analisi sono quelli calcolati all'interno degli shapefile di presa e restituzione. In particolare, il valore di portata media sfruttabile nell'arco di un anno. Il valore di portata media considera in questo modo anche i momenti di magra del fiume, permettendo un'analisi più precisa.

Calcolo energia producibile

Come è noto, gli impianti idroelettrici hanno caratteristiche che sono influenzate fortemente dal sito in cui vengono collocati, questo fa si che i costi varino molto in base al sito di installazione. Anche per questo motivo la valutazione con i GIS ha una rilevanza, permettendo informazioni aggiuntive quanto si tratta di fare un investimento in questo campo.

La formula utilizzata per calcolare l'energia producibile è la seguente:

$$E = 9{,}81 \text{ x } \Delta H \text{ x } Q \text{ media x } \eta$$

Dove:

E 'energia annua (kWh/anno)

ΔH salto utile (metri)

$Q \text{ media}$ è la portata media (m3/sec)

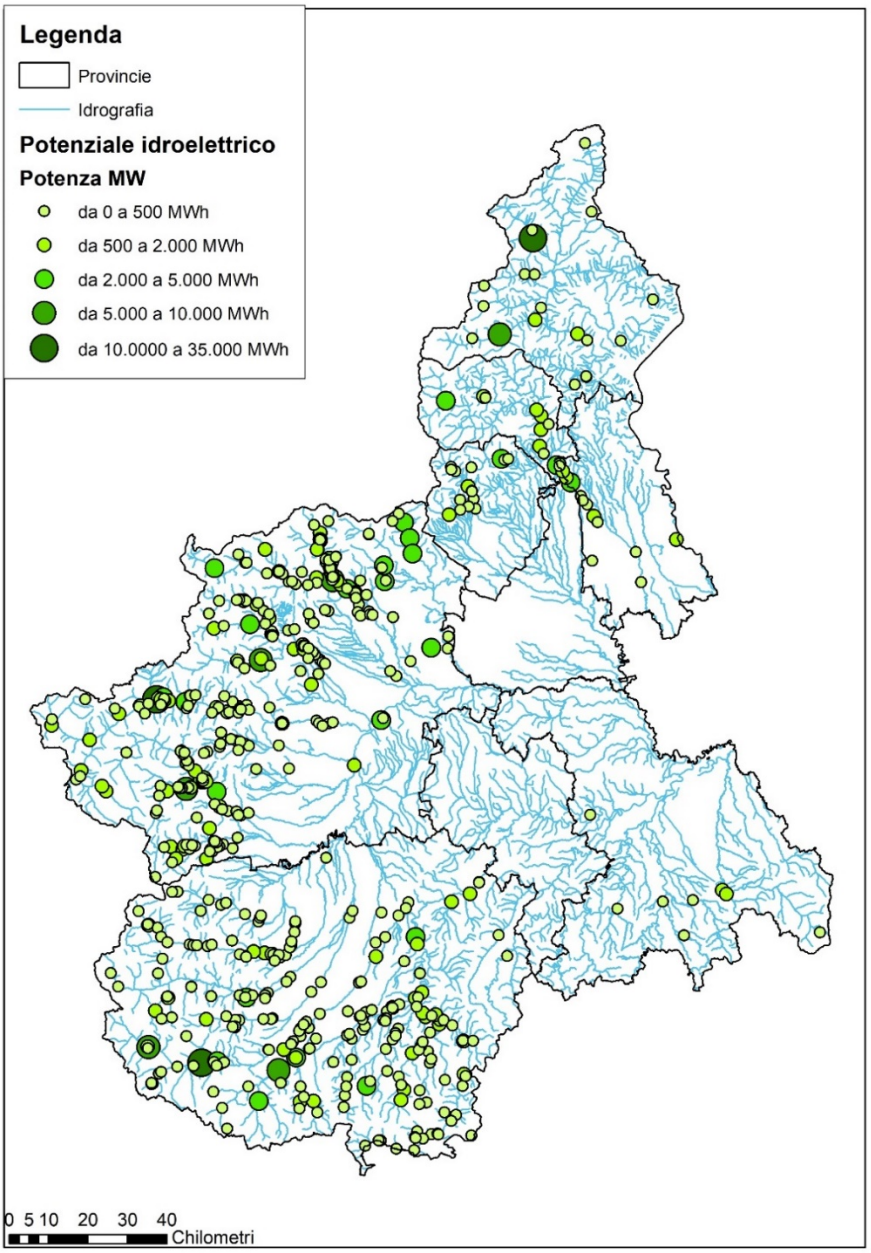
η il rendimento dell'impianto (%)

In generale il rendimento deigli impianti idroelettrici nel loro complesso si aggira intorno a $\eta = 0{,}80$ in impianti di grandi dimensioni, e leggermente meno in quelli più piccoli, pertanto nel calcolo è stato considerato questo valore di rendimento. Inoltre, si può assumere che un impianto generale può essere in esercizio un numero di 8.000 ore all'anno massime.

Tali calcoli sono stati fatti mantenendo i calcoli sullo shapefile puntale relativo alle Restituzioni, il punto in cui si considera verranno localizzati gli impianti di produzione di energia rinnovabile.

Nella Carta 21 si può osservare il risultato di questa analisi. Questa carta permette una valutazione di prefattibilità, e di valutare la producibilità teorica da idroelettrico, se pur con tutti i limiti considerati. Come si nota dalla carta i valori maggiori di producibilità sono situati in zone montane, dove i dislivelli sono maggiori e pertanto i salti.

[13] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.3193



Carta 25: Potenziale idroelettrico

8. Energia solare

7.1 Introduzione

In questo paragrafo viene presentata la valutazione dell'energia producibile tramite tecnologia fotovoltaica disponibile sul mercato, ipotizzandone l'applicazione integrata sui tetti degli edifici.

Il MIBAC, attraverso il DPR 31/2017 del 13 febbraio 2017 recante: "Individuazione degli interventi esclusi dall'autorizzazione paesaggistica o sottoposti a procedura autorizzatoria semplificata", ha definito procedure semplificative da applicarsi a tutto il territorio nazionale, che consentono l'installazione di impianti di energia da fonte rinnovabile. Il DPR 31/2017 recita.

La tecnologia solare fotovoltaica deve quindi essere installata sull'edificato esistente o di futura costruzione così da limitarne l'impatto visivo sul paesaggio.

La tecnologia solare si basa sulla conversione della radiazione solare in energia termica ed elettrica; a seconda della conversione desiderata i dispositivi utilizzati si differenziano in "collettori solari", per la conversione in energia termica, e "fotovoltaico" per la conversione in energia elettrica.

Le tecnologie descritte presentano un'efficienza di conversione, ossia il rapporto tra l'energia solare incidente e l'energia prodotta, differente; ad esempio si possono utilizzare i seguenti valori medi:

- Silicio monocristallino: ηmc= 18%
- Silicio policristallino: ηmc= 16%
- Film sottile: ηmc= 8%

Il risultato di questa analisi di pre-fattibilità tiene conto delle caratteristiche geomorfologiche del territorio, ma anche di alcuni vincoli ipotizzando di applicare sull'edificato esistente a Pantelleria una soluzione fotovoltaica costituita da silicio monocristallino con un'efficienza di conversione pari al 18%.

7.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile da solare: svolgimento e analisi dei risultati

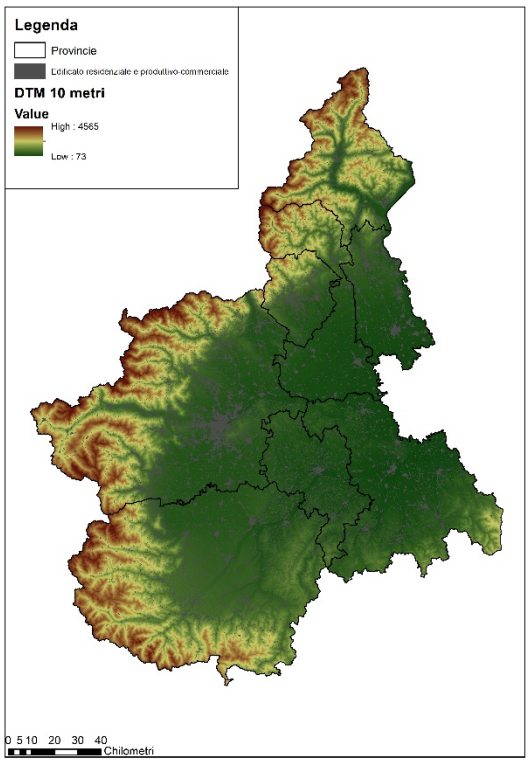
7.2.1 Reperimento dei dati

I dati necessari per questo tipo di analisi sono essenzialmente i *Digital Terrain Model* (DTM) in formato raster e l'edificato residenziale e produttivo-commerciale.

Il DTM[14], modello digitale del terreno del 1997, permette di valutare oltre all'andamento del terreno e all'edificato, anche la presenza di altre superfici, come ad esempio la vegetazione che può influire sulla quota di irradiazione solare effettivamente disponibile. Il DTM che è stato utilizzato per questa analisi ha una precisione di 10metrix10metri, esistono DTM e DSM rappresentativi della Regione Piemonte ancora più precisi, che arrivano a coprire griglie di 5 metri per 5 metri, ma in seguito ad alcuni test sui dispositivi a disposizione il DTM 10 m è risultato il più adatto a questo tipo di analisi. Infatti, dati più precisi avrebbero richiesto tempi di elaborazione non sostenibili per il tipo di analisi da effettuare. La CTR Carta Tecnica Regionale in formato vettoriale per sezione CTR del 1991 -2005.

Lo shapefile relativo all'edificato residenziale e produttivo-commerciale è fornito dai dati elaborati dal Ppr (tav. P4). Il dato contiene l'aggiornamento degli edifici e altri manufatti derivati dalle diverse edizioni della CTRN. I dati sono stati prodotti a partire da una selezione di elementi derivati dalla CTRN (edifici residenziali, edifici produttivi commerciali, cimiteri) e successivamente aggiornati attraverso fotointerpretazione di ortofoto. Il dataset deriva dallo shape file elaborato dal CSI per il Progetto Rapporto Stato Territorio ed è stato modificato dal Settore Territorio e Paesaggio selezionando soltanto l'edificato residenziale e produttivo-commerciale ed apportando alcune modifiche.

7.2.2 Calcolo dell'energia elettrica producibile da solare



Nel passaggio iniziale è stato necessario definire correttamente il **DTM** convertendo il file *Ascii*, presente nei materiali di supporto, in un file *Raster* i cui i valori relativi alle quote (s.l.m.) sono stati forniti con un livello di dettaglio delle celle 10metri x 10metri, il dato più preciso relativo ai DTM. Si è provato a fare il calcolo su un DSM[15] 5metri x 5metri, ma il dato in questione risulta troppo pesante per le analisi in questione, pertanto si è deciso di optare su il DTM 10 metri.

S'intendono sottolineare che lo stato dell'atmosfera per cui i valori di trasmissività e diffusività non sono stati differenziati tra le provincie prese in analisi, ma sono stati tenuti come unico riferimento i valori di Torino, Alessandria, Cuneo, Novara, Biella, Vercelli, Asti e Verbania.

[14] Per rendere il calcolo il più preciso possibile ma considerando la maneggevolezza del dato, in questo caso studio è stata utilizzato un DTM di 10 m.

[15] Un DSM, Digital Surface Model, consideraa l'altezza di edifici, alberi, linee elettriche e altre caratteristiche. Un DSM cattura le caratteristiche naturali e costruite sulla superficie terrestre. Un DSM è utile nella modellazione 3D per telecomunicazioni, pianificazione urbana e aviazione.

La precisione dei risultati che punta ad essere alta, per ottenere un dato il più corretto possibile, mi ha portato a fare 3 simulazioni diverse su tre mesi compresi rispettivamente in una stagione estiva (Maggio, Giugno, Luglio, Agosto), una invernale (Novembre, Dicembre, Gennaio, Febbraio) e una intermedia (Settembre, Ottobre, Marzo, Aprile) per poi operare una comparazione, questo perché l'atmosfera cambia durante l'anno e quindi porta a dei risultati diversi. Infatti, per questa analisi è necessario definire le caratteristiche mensili del cielo e del sole nella località considerata attraverso la percentuale di irradiazione diffusa e la trasmissività o il fattore di torbidità di Linke dell'atmosfera. Questi dati si possono trovare in letteratura o sul sito di "*PhotoVoltaic Geographical Information System PVGIS*" del JRC[16].

Successivamente è stato possibile calcolare l'irraggiamento annuale per Provincia tramite la *tool* "*Area Solar Radiation*" la quale ha prodotto 3 output diversi corrispondenti ad ogni stagione dell'anno; ognuno di essi fa riferimento alla quantità di energia termica solare che incide mensilmente su una determinata superficie, in questo caso su ogni cella del file Raster.

- ArcGis calcola la radiazione solare globale non valutando tutte le tre componenti fondamentali che la costituiscono - diretta, diffusa e riflessa - ma solo le prime due sommandole e tenendo conto della geomorfologia del territorio. Quindi costruisce tre mappe: Viewshed, SunMap e la SkyMap, le quali, opportunamente sovrapposte, permettono di ottenere il valore dell'irradiazione solare globale normale considerando in modo particolare l'orientamento della superficie terrestre attraverso l'angolo d'incidenza.

Tuttavia, ArcGIS non tiene conto dell'esposizione e orientamento delle superfici a cui fanno riferimento i calcoli, infatti vengono considerate come piani orizzontali - I valori prodotti sono stati calcolati in riferimento all'anno 2019 con un intervallo orario.

Tale operazione è stata compiuta suddividendo teoricamente l'anno solare in tre parti; la suddivisione è stata definita attraverso i parametri di torbidità di Linke, rapporto tra irradiazione diffusa e globale (D/G) e trasmissività (T)[17].

I mesi per i quali tali valori sono risultati simili sono stati "aggregati" e si sono definiti dei valori medi di trasmissività (T) e rapporto di irradiazione diffusa e globale (D/G) da inserire nel software GIS per l'elaborazione della radiazione di quei dati mesi.

I valori per i suddetti calcoli sono stati individuati attraverso il sito PVGIS (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#).

Se ne riportano di seguito i risultati elaborati ed inseriti nel software.

---

[16] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html.

[17] Il fattore di torbidità Linke (TL) modella l'assorbimento e la dispersione atmosferica della radiazione solare in condizione di cielo sereno. Più alto è il valore di TL maggiore è l'attenuazione della radiazione diretta da parte dell'atmosfera: se il cielo fosse perfettamente asciutto e pulito, la torbidità di Linke sarebbe pari a 1. (Fonte: Biofuturo.net). Il rapporto tra irradiazione diffusa su globale è il rapporto della radiazione che arriva a terra non direttamente dal Sole ma per effetto dell'atmosfera (gas, nubi, ecc.) e della radiazione che proveniente direttamente dal Sole. (Fonte: energyexpert.it). La trasmissività è la percentuale di radiazione extra-terrestre che raggiunge la superficie terrestre ed è pari al rapporto tra la radiazione globale misurata e la radiazione globale teorica. (Fonte: Biofuturo.net).

Mese	Irradiation optimal plane	Torbidità	D/G	Hopt	Ore luce
Gennaio	90,6	3,8	0,43	2923	9,58
Febbraio	84,6	3,7	0,4	3021	10,51
Marzo	158	3,4	0,39	5097	11,58
Aprile	159	4,4	0,32	5300	13,09
Maggio	168	4,4	0,3	5419	14,09
Giugno	178	4,4	0,22	5933	14,39
Luglio	202	4,6	0,2	6516	14,25
Agosto	209	3,7	0,2	6742	13,34
Settembre	175	4,4	0,3	5833	12,26
Ottobre	110	3,4	0,38	3548	11,16
Novembre	70,5	3,3	0,38	2350	10,14
Dicembre	86,4	2,9	0,43	2787	9,42

Hbh	
Gennaio	1665,871
Febbraio	1812,857
Marzo	3109,032
Aprile	3604
Maggio	3793,548
Giugno	4628
Luglio	5212,903
Agosto	5393,548
Settembre	4083,333
Ottobre	2200
Novembre	1457
Dicembre	1588,645

Gb,d	
Gennaio	173,8905
Febbraio	172,4888
Marzo	268,4829
Aprile	275,3247
Maggio	269,2369
Giugno	321,6122
Luglio	365,8178
Agosto	404,3140
Settembre	333,0614
Ottobre	197,1326
Novembre	143,6884
Dicembre	168,6460

1/FDL	
Gennaio	0,2632
Febbraio	0,2703
Marzo	0,2941
Aprile	0,2273
Maggio	0,2273
Giugno	0,2273
Luglio	0,2174
Agosto	0,2703
Settembre	0,2273
Ottobre	0,2941
Novembre	0,3030
Dicembre	0,3448

Trasmissività (T)	
Gennaio	0,5812
Febbraio	0,5715
Marzo	0,6196
Aprile	0,6948
Maggio	0,6912
Giugno	0,7197
Luglio	0,7508
Agosto	0,7195
Settembre	0,7255
Ottobre	0,5658
Novembre	0,5053
Dicembre	0,4860

Torino	D/G	Trasmissività (T)
Media invernale	0,41	0,5360
Media Estiva	0,23	0,7203
Media primavera-autunno	0,3475	0,6514

Tabelle 16: Valori di trasmissività e rapporto radiazione diffusa su globale utilizzati

Come si può vedere nelle Tabelle sottostanti, facenti riferimento al calcolo di D/G e Trasmissività per la provincia di Torino mostrano i valori che verranno utilizzati in seguito nel Tool Area Solar Radiation. Le tabelle relative alle altre provincie sono state inserite negli allegati.

7.2.3 - Estrazione dell'area di studio e conversione dei dati in shapefile

Dal passaggio precedente si ottengono quindi 3 file Raster per ogni Provincia della Regione Piemonte, pertanto 24 file Raster.

Per poter proseguire con i calcoli e valutare il potenziale fotovoltaico, i 24 Raster estratti sono stati a loro volta convertiti in Shapefile tramite un'altra tool di conversione "Raster to Point". Solo successivamente sono stati effettuati i join che hanno riportato le informazioni

di ogni singolo Shapefile in un'unica tabella di attributi in modo da poter avere a disposizione un unico oggetto completo di tutte le informazioni necessarie per proseguire l'esercizio.

Il risultato dei join effettuati, perciò, sono stati otto shapefile puntuali, uno per ogni provicia, nelle cui tabelle sono stati ordinati e rinominati i dati di irraggiamento di ogni mese.

7.2.4 - Elaborazione dei dati relativi all'irraggiamento

Avendo a disposizione i dati d'irraggiamento unificati è stato possibile ricavare due nuove tipologie di valori:

- L'irraggiamento cumulato annuo: somma di tutti i valori mensili espressi in kWh/mq;

- L'irraggiamento giornaliero medio annuo: media dei 3 valori di irraggiamento giornaliero medio stagionale espressa in kWh/mq.

7.2.5 - Confronto dei dati con L'Atlante Italiano della Radiazione Solare

Grazie ai dati d'irradiazione messi a disposizione dal sito ENEA dell'Atlante Italiano della Radiazione Solare è stato possibile verificare la correttezza dei valori ottenuti nel calcolo precedente.

Il sito permette di effettuare tre tipologie di calcolo:

1. Radiazione globale giornaliera media mensile al suolo su superficie orizzontale

2. Radiazione globale giornaliera media mensile al suolo su superficie inclinata

3. Radiazione globale giornaliera media mensile al suolo su superficie normale

Per confrontare i dati è stato scelto il secondo tipo di calcolo in cui, come è possibile osservare nelle Figure 4 e 5, azimut ed inclinazione sono stati impostati a 0° dato che ArcGis calcola l'irraggiamento sul piano orizzontale. È stata operata questa scelta perché, diversamente dalla prima tipologia in cui il piano orizzontale è già preimpostato, la seconda permette di inserire il coefficiente di riflessione del suolo differenziando e rendendo più precisa la valutazione per i singoli comuni. Infatti, il suolo dei comuni a montani è caratterizzato da superfici dei tetti degli edifici scure e da un'alta presenza di verde, mentre quello dei comuni pianeggianti ha una percentuale più alta di coperture chiare ed è costituito prevalentemente da suoli impermeabilizzati (cemento o materiali bituminosi) che si diradano solamente alla fine tessuto compatto al confine con la campagna.

7.2.6 - Calcolo del potenziale fotovoltaico

Per poter calcolare il potenziale fotovoltaico è stata preparata preventivamente una base utilizzando lo shapefile dell'edificato residenziale e produttivo-commerciale (2017).

In seguito, è stato necessario aggregare tali rappresentazioni ai dati d'irraggiamento, sopra elaborati, assicurandosi che ad ogni edificio corrispondesse un valore d'irraggiamento. A causa della media precisione del DTM fornito inizialmente (dettaglio di 10metri x 10metri) questo non è stato reso automaticamente possibile, in quanto alcuni edifici non erano attraversati dai punti; dunque è stato effettuato un join by location utilizzando il meccanismo di unione secondo cui ad ogni poligono vengono assegnati gli attributi del punto più vicino al suo confine, verificando alla fine che ad ogni edificio corrispondesse un valore diverso da 0.

Infine, per entrambi i comuni, e rispettivamente per le singole destinazioni d'uso scelte, è stata calcolata l'Energia elettrica potenzialmente prodotta annualmente espressa in kWh utilizzando la formula:

E = PR * Hs * Wp/Istc

dove:

E è l'energia elettrica prodotta annualmente [kWh/a];

PR è l'indice di performance del sistema (≈0,75);

Hs è l'irradiazione solare cumulata annua [kWh/(mqa)];

Wp è la potenza di picco del pannello (pari a 1 kWp);

Istc è l'irraggiamento di prova in condizioni standard (1 kW/m2)

Questo tipo di calcolo non tiene conto della superficie del tetto necessaria per l'installazione, né del tipo di pannello nonché del suo rendimento. Si fa riferimento solamente alla potenza di picco (1 kWp), ovvero alla potenza massima producibile dal pannello in condizioni ideali la quale è stata rapportata a quella realmente prodotta sulla base dei dati d'irraggiamento.

7.3 Analisi risultati

Come riportato nella premessa, è necessario analizzare le dinamiche annuali di produzione di energia con tecnologie fotovoltaiche in modo tale da poter successivamente orientare le politiche energetiche in quei comuni, specialmente montani, che non fanno ancora uso di risorse rinnovabili per la produzione di energia elettrica.

Osservando i risultati finali ottenuti dal lavoro svolto su ArcGis sono state riscontrate alcune differenze tra i comuni montani e quelli di pianura, in primo luogo, che la produzione di energia è maggiore nei comuni montani.

Inoltre, si sottolinea la differente classificazione: per quanto riguarda i comuni montani infatti, sono presenti valori molto differenziati tra loro.

Questi valori sono influenzati principalmente dalle caratteristiche geomorfologiche ed orografiche del territorio le quali incidono direttamente sui valori d'irraggiamento e si esprimono formalmente con i seguenti fattori:

- la quota

- l'orientamento -pendenza ed esposizione- (in questa valutazione considerati pari a 0)

- l'ombreggiatura, quindi le maschere d'ombra

- caratteristiche del suolo (non prese in considerazione dato che ArcGis non include nel calcolo d'irraggiamento la quantità di radiazione riflessa)

- latitudine (in questo caso poco incidente sui risultati perché simile)

Per questi motivi i comuni montani, essendo posto ad una quota più alta, mostra una produzione di energia elettrica maggiore.

Tuttavia, il valore medio comunale è penalizzato da quegli edifici su cui le maschere d'ombra create dai versanti non permettono di captare al meglio l'irradiazione solare durante il corso dell'anno, invero i valori sono molto bassi. Al contrario i comuni di pianura presentano caratteristiche diverse: non sono particolarmente avvantaggiati dalla quota, ma è favorito dall'assenza di significative maschere d'ombra. Per questo motivo i valori sono più costanti ed uniformi anche se si possono definire delle zone meglio esposte.

Inoltre, si vuole porre in evidenza che i valori sarebbero stati ulteriormente differenziati se fossero stati inclusi nel calcolo alcuni fattori di cui ArcGis non tiene conto come ad esempio le caratteristiche del suolo: l'evapotraspirazione la quale nei comuni montani è migliore in quanto la presenza di verde è maggiore e il rapporto tra superfici libere ed impermeabilizzate è più bilanciato; oppure la presenza della neve nel periodo invernale che incide sui valori di radiazione riflessa.

Un altro fattore riguarda la torbidità dell'atmosfera di cui i valori di trasmissività e diffusività non sono stati differenziati per i due comuni (ma è stato preso un unico valore di riferimento, quello dei capoluoghi di Provincia); anche questo avrebbe inciso sui valori di energia prodotta differenziandoli in quanto in montagna l'atmosfera è necessariamente meno torbida.

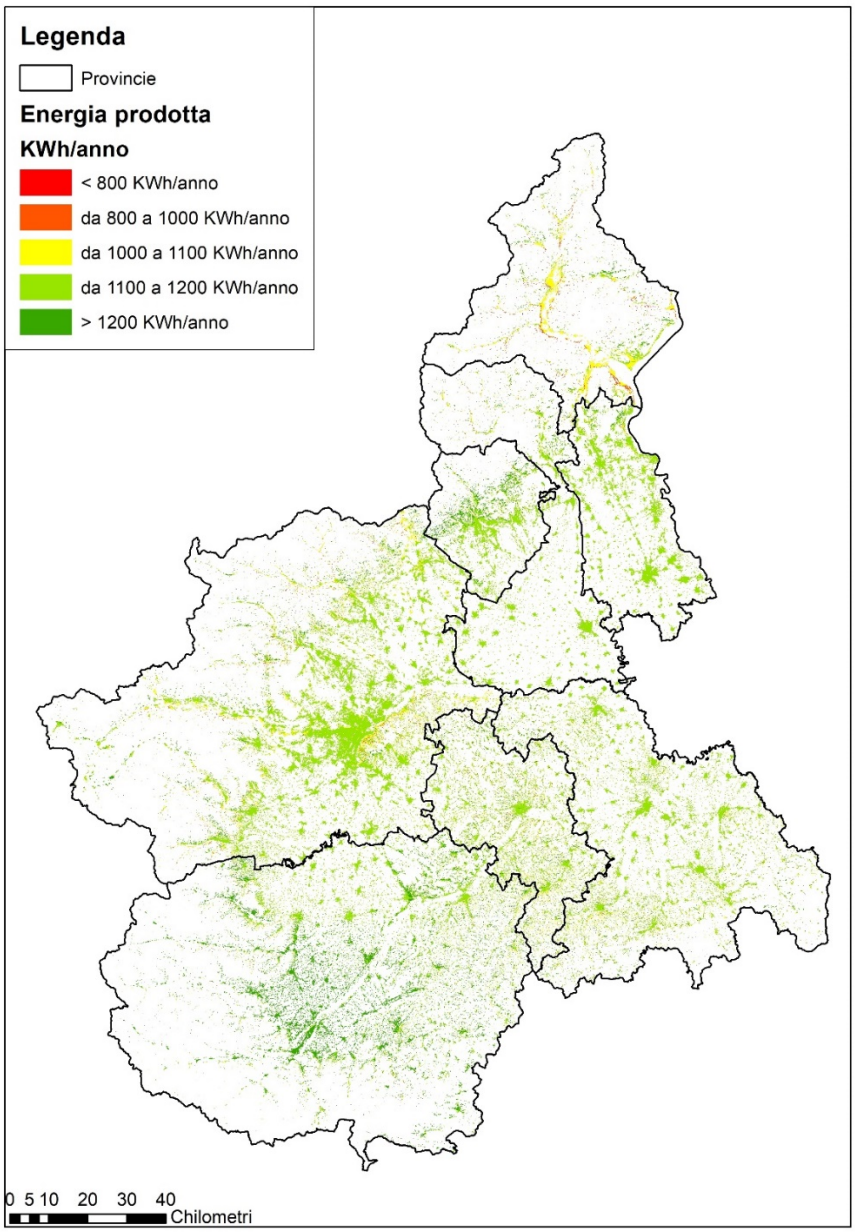
Inoltre, una grande differenza si nota subito tra le provincie di Verbania, che presenta dati particolarmente bassi, e del Cuneese, che al contrario presenta valori di producibilità elevati.

Queste grandi differenze a livello di produzione sono date principalmente dai valori di input inseriti nelle tabelle, le quali impostavano per la provincia Verbana un valore di irraggiamento di e per la provincia di Cuneo un valore di irraggiamento di.

Questi valori evidentemente sono fortemente influenzati dall'esposizione e dalla latitudine.

Infatti, come abbiamo visto in precedenza i valori di riferimento presi da PVGIS fanno riferimento solitamente all'edificio comunale e questo può aver inciso sul calcolo. Bisogna

però osservare che la provincia di cuneo è circondata da montagne meno elevate ed è molto estesa a livello di pianura pertanto caratterizzata da meno zone d'ombra. Mentre la provincia verbana si sviluppa lungo una valle, con montagne ad elevazione più elevate, pertanto fortemente influenzata da zone d'ombra.



Carta 26: Energia solare producibile

7.4 Analisi costi di gestione

S'intende inoltre fare un breve accenno alle tre diverse tipologie di pannelli fotovoltaici installabili presenti su mercato (monocristallino, policristallino e film sottile) per poter osservare quale possa essere quella migliore e/o quella più conveniente in riferimento alla destinazione d'uso su cui è stata indirizzata la politica energetica. Utilizzando la seguente formula:

dove:

E è l'energia elettrica prodotta annualmente [kWh/a];

PR è l'indice di performance del sistema (≈0,75);

Hs è l'irradiazione solare cumulata annua [kWh/(mqa)];

S è la superficie utile del pannello [mq] (30% dell'area del tetto)

n è l'efficienza di conversione ossia il rapporto tra l'energia solare incidente e l'energia prodotta

È stata calcolata su ArcGis l'energia producibile da ogni pannello in base al proprio rendimento. I risultati sono stati riportati nella Tabella 8 la quale mostra che i pannelli più efficienti sono quelli composti da moduli cristallini i quali, nondimeno, sono i più costosi. I moduli a Film sottile sono stati da sempre i più economici e allo stesso tempo i meno efficienti, ma attualmente la ricerca sta testando nuove forme di questo materiale che potranno raggiungere in breve tempo le performance dei moduli monocristallini.

In definitiva, al momento, il miglior rapporto qualità prezzo su mercato lo offrono i moduli cristallini i quali potrebbero essere installati nei luoghi indicati dall'analisi svolta grazie anche agli incentivi statali.

Valore medio dell'energia prodotta annualmente da edifici

Potenziale solare = 1.313.657.376,6 MWh/anno

30% Coperto da pannello = 394.097.212,9 MWh/anno

Monocristallino	Policristallino	Film sottile	Unità di misura
70.937,50	63.055,55	31.527,78	MWh/anno

Tabella 17: Producibilitá tecnologie fotovoltaico

8. Vincoli

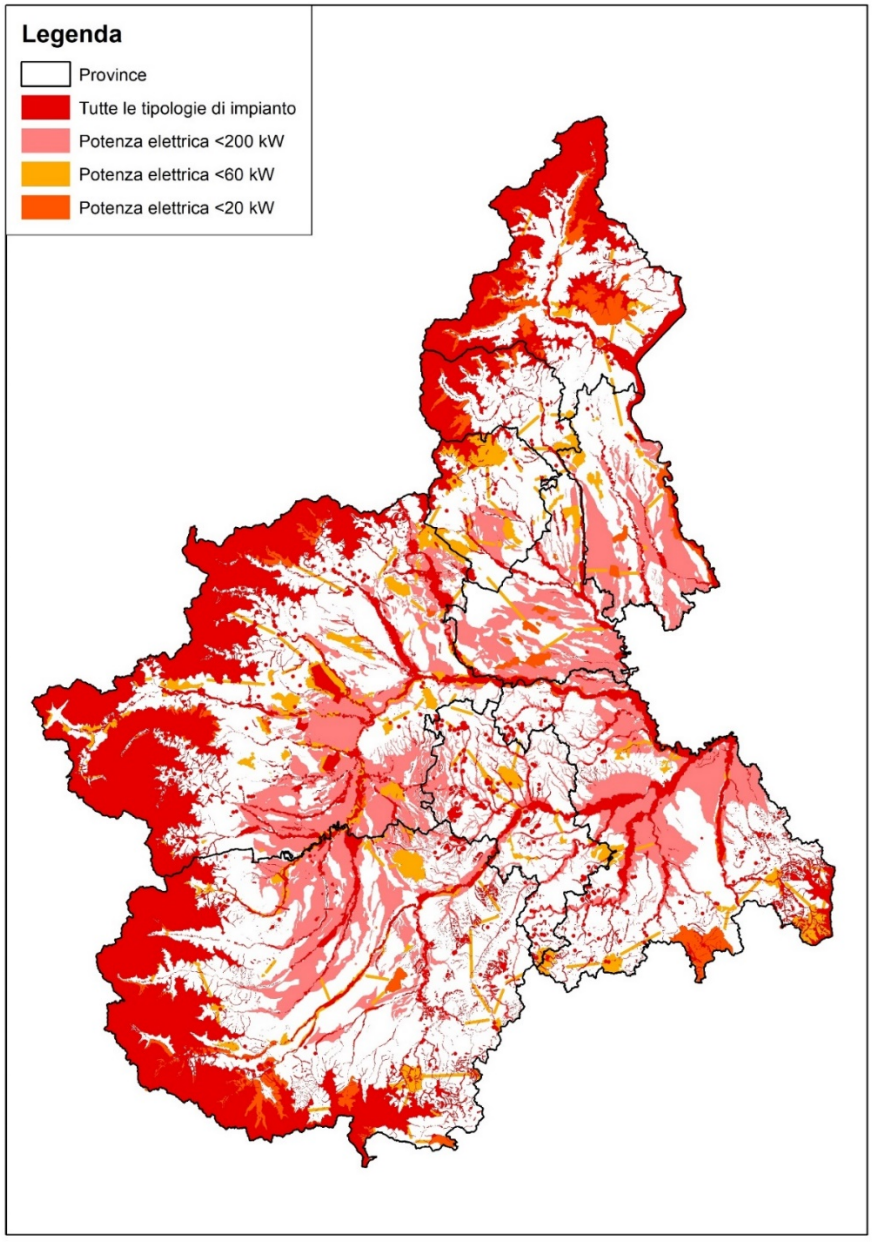
Per fare chiarezza sui vincoli imposti sulle rinnovabili dalle varie normative nel seguente capitolo si andranno ad elencare i vincoli secondo legge e tramite l'uso dei GIS verranno rappresentati. In questo modo si potrà capire chiaramente dove effettivamente impianti di produzione di energia rinnovabile potranno essere situati e quanto questi vincoli siano limitanti per i territori.

8.1 Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti eolici

Aree inidonee **Carta 18**

1. Aree ricomprese nell'intorno di 50 metri per lato dalle vette e dai sistemi di crinali montani e pedemontani riconosciuti dal Piano Paesaggistico Regionale (Ppr) (art. 13 delle N.T.A.) e ricadenti in aree e immobili individuati ai sensi degli artt. 134, c. 1, lett. a) e c), e 157 del D.Lgs. n. 42/2004 (Codice). Tutte le taglie d'impianto.
2. Siti (core zone) e le relative aree esterne di protezione (buffer zone) inseriti nella lista del patrimonio mondiale dell'UNESCO (Residenze Sabaude e Sacri Monti), ai sensi dell'art. 135, c. 4, lett. d) del Codice, e rappresentati nella Tavola P5 del Ppr. Tutte le taglie d'impianto.
3. Siti UNESCO "I paesaggi vitivinicoli del Piemonte: Langhe-Roero e Monferrato" disciplinati ai sensi dell'art. 33 delle NTA del Ppr e rappresentati nella Tavole P5 e P6. Tutte le taglie d'impianto; *nelle buffer zone l'inidoneità sussiste limitatamente agli impianti di potenza superiore a 20 kW.*
4. Aree in fascia A del PAI, ai sensi dell'art. 29 delle NTA. Tutte le taglie d'impianto.
5. Aree a rischio idrogeologico molto elevato RME (ZONA 1, ZONA 2 e ZONA B-PR, ZONA I) del PAI (approvato con D.P.C.M. 24.05.2001 e pubblicato sulla GU n.183 dell'8.08.2001). Tutte le taglie d'impianto.
6. Aree interessate da fenomeni di dissesto. Tutte le taglie d'impianto.
7. Aree comprese nello scenario frequente H - elevata probabilità di alluvioni individuate dal PGRA, ai sensi degli artt. 57 e 58 del Titolo V delle NdA del PAI. Tutte le taglie d'impianto.
8. Aree individuate nelle mappe del rischio del PGRA in classe di rischio R4, rischio molto elevato ai sensi dell'art. 57 del Titolo V delle NdA del PAI. Tutte le taglie d'impianto.
9. Aree in classe IIIc nella "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica" degli strumenti urbanistici vigenti. Tutte le taglie d'impianto.
10. Zone di Protezione Speciale (ZPS) per l'avifauna (D.M. 17.10.2007) e Misure di Conservazione per la tutela della Rete Natura 2000 in Piemonte, approvate con D.G.R. n. 54-7409 del 7 aprile 2014 e ss.mm.ii). *Taglie d'impianto superiori a 20 kW.*

11. Siti di Importanza Comunitaria (SIC) e Zone Speciali di Conservazione (ZSC) importanti per la conservazione dell'avifauna e della chirotterofauna. *Taglie d'impianto superiori a 60 kW.*
12. Colonie di chirotteri ed altre aree importanti per la chirotterofauna non inserite in Rete Natura 2000. *Taglie d'impianto superiori a 60 kW.*
13. Terreni agricoli irrigati con impianti irrigui a basso consumo idrico realizzati con finanziamento pubblico. *Taglie d'impianto superiori a 200 kW.*
14. Terreni classificati dai PRGC vigenti a destinazione d'uso agricola e naturale ricadenti nella prima e nella seconda classe di capacità d'uso del suolo. *Taglie d'impianto superiori a 200 kW.*



Carta 27: Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti eolici

8.2 Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti di produzione elettrica alimentati da biomasse

Aree inidonee Carta 19

1. Aree sottoposte a tutela del paesaggio e del patrimonio storico, artistico e culturale.

    1.1 Siti inseriti nel patrimonio mondiale dell'UNESCO. Tutte le taglie d'impianto.

    1.2 Beni culturali. Tutte le taglie d'impianto.

    1.3 Beni paesaggistici. Tutte le taglie d'impianto.

    1.4 Vette e crinali montani e pedemontani. Tutte le taglie d'impianto.

    1.5 Tenimenti dell'Ordine Mauriziano.

    1.6 Beni culturali ambientali.

2. Ambiente e aree protette

    2.1 Comuni appartenenti alla Zona denominata Agglomerato di Torino (codice zona IT0118), alla Zona denominata Pianura (codice zona IT0119) e alla Zona denominata Collina (codice zona IT0120)
    2.2 Aree con elevato carico azotato (> 50 kg/ha/a).

3. Aree agricole

    3.1 Impianti a biomassa – filiera ligno-cellulosica e impianti a biocombustibili liquidi

        3.1.1 Terreni agricoli irrigati con impianti irrigui a basso consumo idrico realizzati con finanziamento pubblico. Tutte le taglie d'impianto.

        3.1.2 Terreni classificati dai PRGC vigenti a destinazione d'uso agricola e naturale

    3.2 Impianti a biomassa – filiera del biogas

        3.2.1 Terreni agricoli irrigati con impianti irrigui a basso consumo idrico realizzati con finanziamento pubblico. Tutte le taglie d'impianto.

        3.2.2 Terreni classificati dai PRGC vigenti a destinazione d'uso agricola e naturale

        3.2.3 Comuni ad elevato carico zootecnico.

4. Aree forestali e aree in dissesto idraulico e idrogeologico

    4.1 Aree forestali

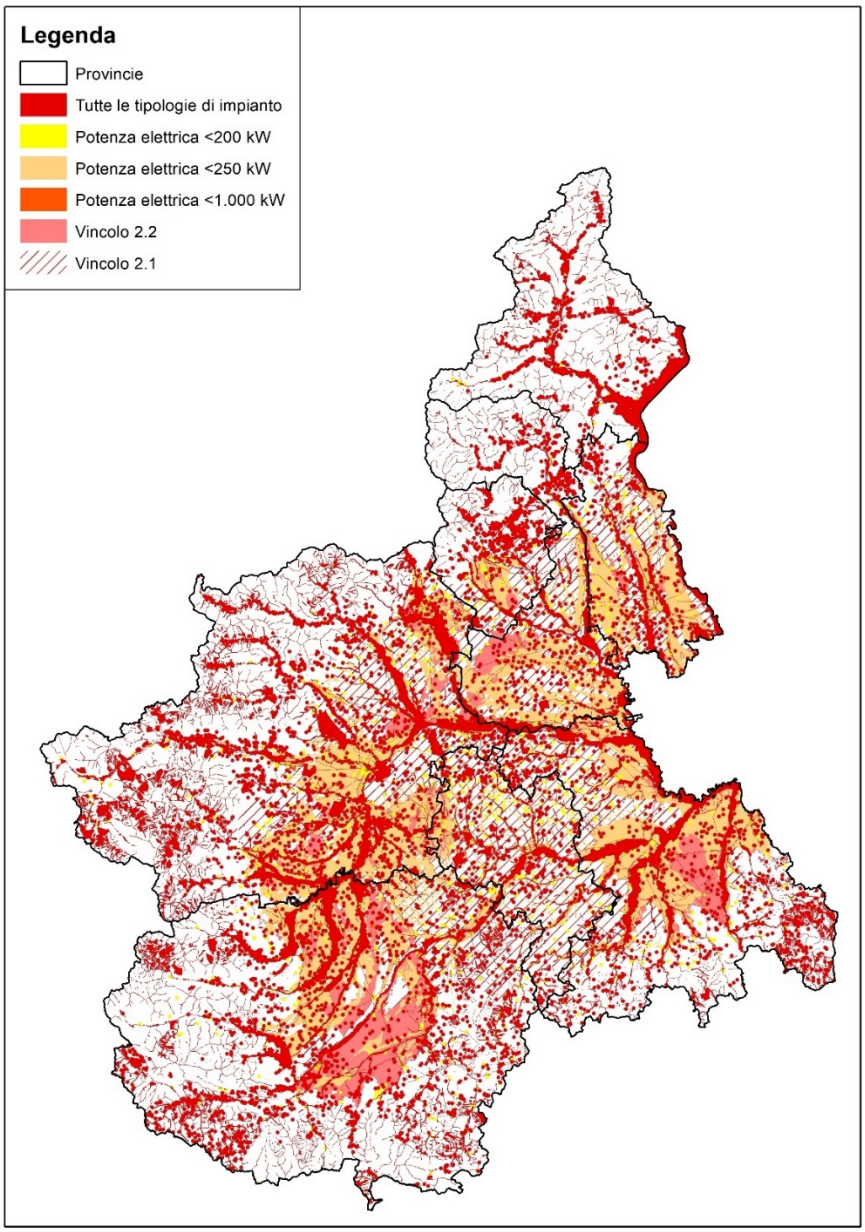
        4.1.1 Popolamenti forestali per la raccolta dei semi (boschi da seme). Tutte le taglie d'impianto.

4.1.2 Boschi oggetti di miglioramenti forestali realizzati con contributi pubblici. Tutte le taglie d'impianto.

4.1.3 Boschi permanenti e piantagioni di arboricoltura da legno realizzati con contributi pubblici. Tutte le taglie d'impianto.

4.2 Aree in dissesto idraulico e idrogeologico. Sono inidonee alla realizzazione degli impianti in questione le aree caratterizzate da fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, di cui al seguente elenco:

Tutte le taglie d'impianto.

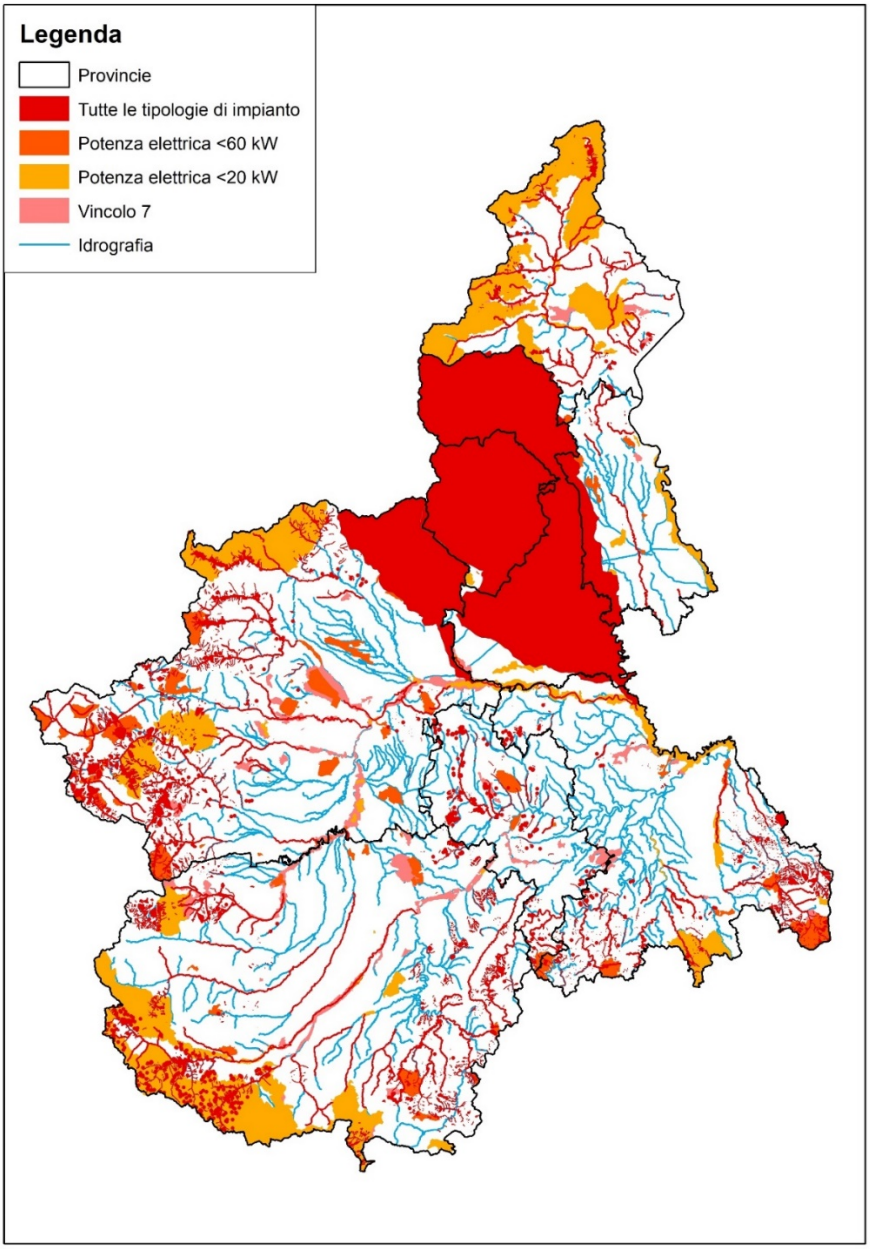


Carta 28: Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti di produzione elettrica alimentati da biomasse

8.3 Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti idroelettrici

***Aree inidonee* Carta 20**

1. Gli 11 corpi idrici contenenti i “Siti di riferimento”, approvati dal Ministero Ambiente, necessari per poter procedere alla classificazione dei corpi idrici come previsto dalla direttiva 2000/60/CE (recepita dal D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.).
2. I corpi idrici superficiali in stato ecologico “elevato” riportati nel Piano di Gestione del Distretto idrografico del Fiume Po (PdG Po)
3. Le “Aree ad elevata protezione” – porzione di sottobacino idrografico del “Fiume Sesia” e sottobacino minore del “Chiusella” come individuate nelle Norme di Piano del Piano di Tutela delle Acque della Regione Piemonte (PTA).
4. I tratti di corsi d’acqua destinati a specifici obiettivi funzionali di Sport d’acqua viva individuati dalle Norme di Piano del Piano di Tutela delle Acque della Regione Piemonte (PTA).
5. Aree interessate da fenomeni di dissesto quali frane (Fa, Fq), conoidi (Ca, Cp) e valanghe (Ve)
6. I bacini idrografici di estensione inferiore a 10 kmq
7. Le acque designate “non captabili” dagli Enti di gestione delle Aree protette
8. I corpi idrici che interessano i Siti della Rete Natura 2000



Carta 29: Aree inidonee e aree di attenzione per la localizzazione degli impianti idroelettrici

9. Energia rinnovabile producibile considerando i vincoli

Completati questi passaggi, siamo ora in grado di valutare quanto i vincoli individuati nel capitolo precedente possano influenzare il potenziale calcolato e quantificare il potenziale tenendo in considerazione i vincoli di varia natura appena affrontati. L'uso di un *software* GIS consente come in questo caso specifico, di quantificare il potenziale producibile da FER e anche di localizzare i siti in cui tale potenziale è effettivamente sfruttabile, secondo normativa.

La metodologia di pre-pianificazione qui utilizzata facilita l'individuazione di aree idonee a i nuovi impianti e consente inoltre di tener conto delle normative, i vincoli ambientali e aspetti socioeconomici in contemporanea.

Avendo adesso valutato quali sono i vincoli imposti dalla normativa regionale (**Cap.3**) e il potenziale delle energie rinnovabili (**Cap.4**) si andrà a valutare quale è l'effettiva energia producibile in Piemonte considerando i vincoli presenti.

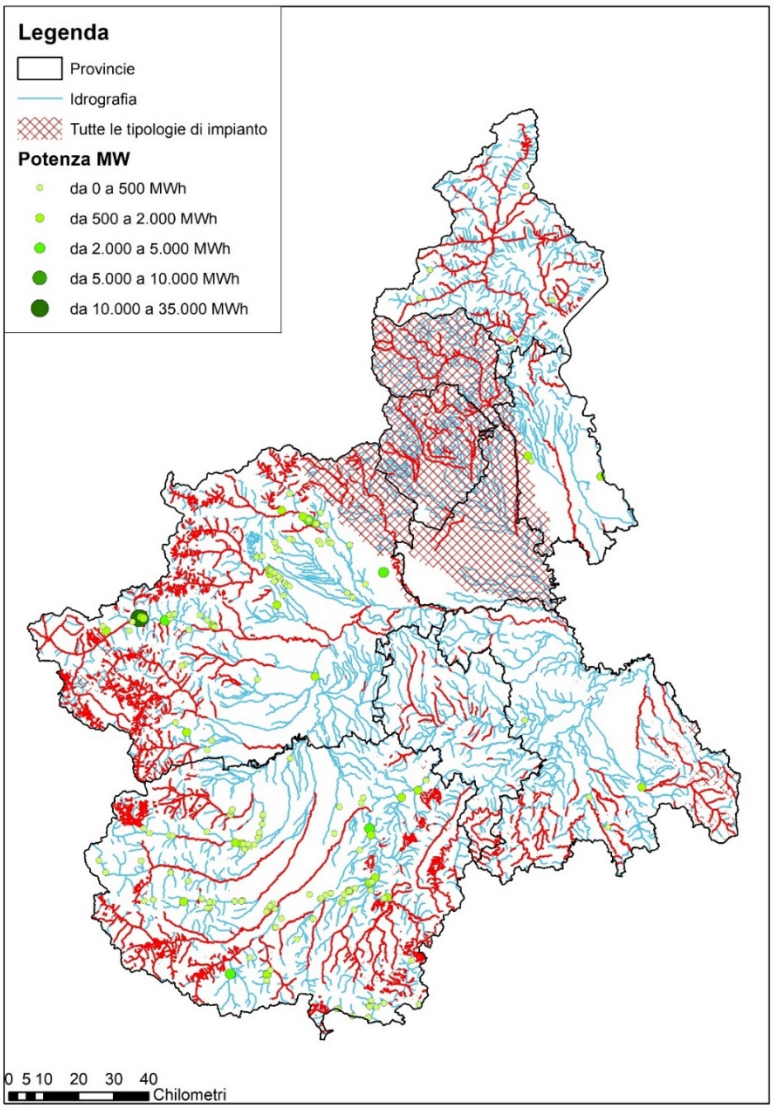
Per valutare l'energia effettivamente producibile secondo i vincoli imposti dalla normativa piemontese si applicherà un "*Clip*" tra i valori di energia producibile totale e i rispettivi vincoli di riferimento. Questa valutazione non sarà necessaria per l'energia solare in quanto, come abbiamo visto nel **Capitolo 3**, la valutazione è stata fatta direttamente sugli edifici. Infatti, l'analisi sul solare è stata fatta già considerando i vincoli sul territorio decidendo fin dal principio di considerare solo i tetti degli edifici.

Individuazione delle **aree idonee alla costruzione di un impianto**:

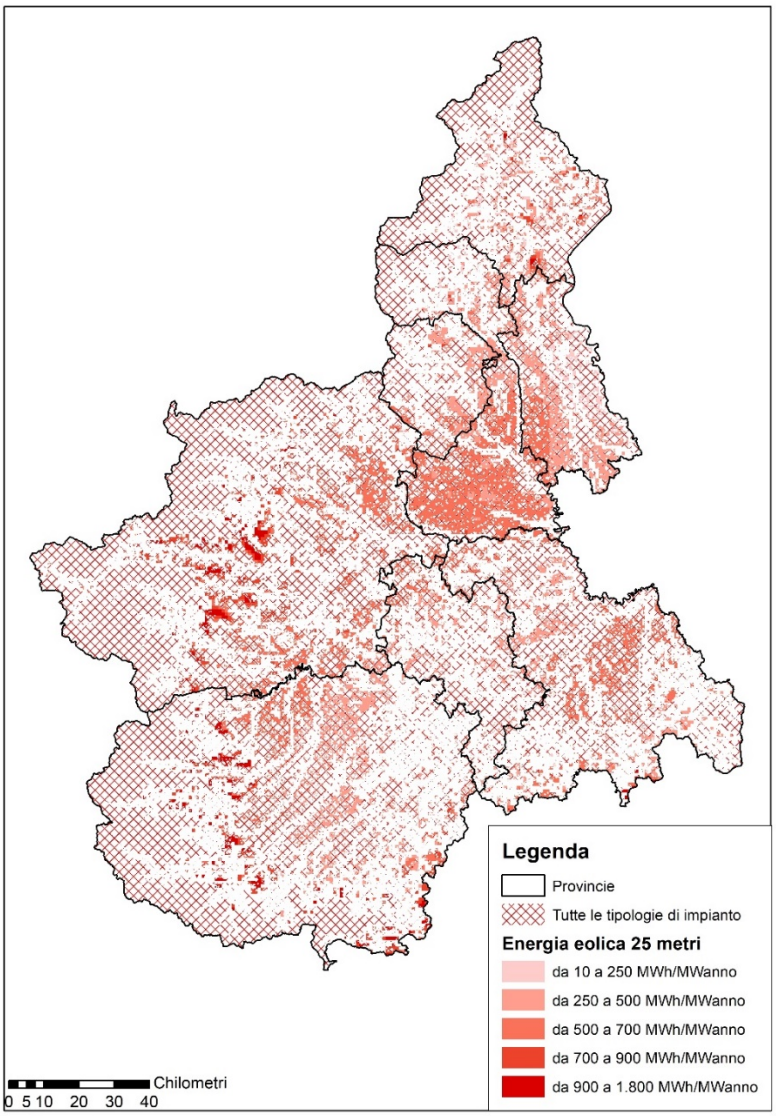
- Biomassa forestale
- Biomassa agricola
- Energia da rifiuti

Individuazione degli **impianti plausibili** sui territori non soggetti a vincolo (valutazione energia prodotta, es. lavoro svolto per pantelleria):

- Eolico
- Idraulico



Carta 30: Potenziale idroelettrico con vincoli



Carta 31: Potenziale eolio con vincoli

Come si può notare dalle analisi svolte in questo capitolo, i vincoli imposti causano sulla produzione di energia rinnovabili grandi limitazioni. Infatti, come si può vedere nella tabella sottostante la differenza di producibilità viene ridotta fortemente **del 30%** circa sia per l'idroelettrico che per l'eolico.

	Potenziale eolico			
	25 metri	50 metri	75 metri	100 metri
senza vincoli	19.505.103,5	25.009.216,2	30.789.946,7	34.481.353,1
con vincoli	6.292.794,9	8.696.715,5	11.007.695,1	12.628.861,5
%	32,26%	34,77%	35,75%	36,63%

Potenziale idroelettrico	
senza vincoli	339.686,7
con vincoli	93.837,1
%	27,62%

Tabelle 18: Differenza produzione energia rinnovabile

Questa tabella è molto significativa. Infatti, se si vuole puntare ad un futuro basato su politiche energetiche rinnovabili, come le Comunità energetiche, forti limitazioni imposte dai vincoli di questo genere fanno sì che siano ancora le fonti fossili più adatte a queste applicazioni. Un obiettivo energetico è di definire vincoli migliori da applicare sul territorio piemontese, i quali risultano essere poco flessibili, principalmente di carattere passivo, infatti puntano a proteggere il patrimonio culturale e naturale. Vincoli migliori sarebbero quelli di tipo attivo, i quali hanno sicuramente come obiettivo quello di preservare il patrimonio, ma attivamente, ovvero cercando di mantenere le aree sotto vincolo "vive".

1. Modello per dimensionare le Comunità energetiche

In ultima analisi, considerando i modelli di producibilità, i consumi energetici di ogni comune e i limiti imposti dalla normativa regionale per la regolazione delle comunità energetiche, si propone un modello che ottimizza l'aggregazione dei comuni con un esempio di un possibile dimensionamento delle future comunità energetiche.

Il modello che verrà presentato considera quindi i valori ottenuti dalle precedenti analisi, tenendo in considerazione i dati e i mezzi a disposizione. Il modello si può considerare valido dal punto di vista scientifico.

Questa metodologia confronta l'energia producibile con la domanda di energia in modo da valutare il livello di indipendenza di un territorio.

Il modello energetico qui presentato essendo elaborato ad una scala territoriale, come la Regione Piemonte, dovendo gestire una gran quantità di dati pertanto risultano essere meno accurati se confrontati con modelli per valutazioni su un singolo sistema energetico. Il modello qui presentato è un modello così detto top-down, ovvero partendo con informazioni ad una scala più ampia (comunale, regionale o nazionale), si differenzia dai modelli bottom-up che parto con dati e informazioni relative a specifiche sistemi.

Il modello che si basa su un sistema di georeferenziazione delle informazioni o Sistemi Informativi territoriali (SIT), consente di poter gestire le informazioni, provenienti da più fonti, sovrapponendo dati e creando un'unica base dati territoriali. In questo modo è possibile visualizzare in carte a colori i consumi, le caratteristiche socio-economiche della popolazione, caratteristiche geomorfologiche e la producibilità delle diverse fonti rinnovabili.

Potendo sovrapporre questo tipo di informazioni si possono confrontare i consumi a livello comunale con i dati di producibilità, questo tipo di analisi sono visibili nelle carte seguenti.

Questo permette di visualizzare scenari futuri in funzione di misure di sfruttamento a pieno delle FER, in modo da identificare anche quali potrebbero essere le politiche energetiche e gli strumenti finanziari più efficaci per promuovere uno sviluppo del territorio più sostenibile.

La Figura sottostante mostra la procedura che viene utilizzata per la costruzione dei modelli di consumo, di produzione e di producibilità di energia in questa tesi. Le informazioni che vengono utilizzate vengono elaborate e geo-referite attraverso un sistema GIS.

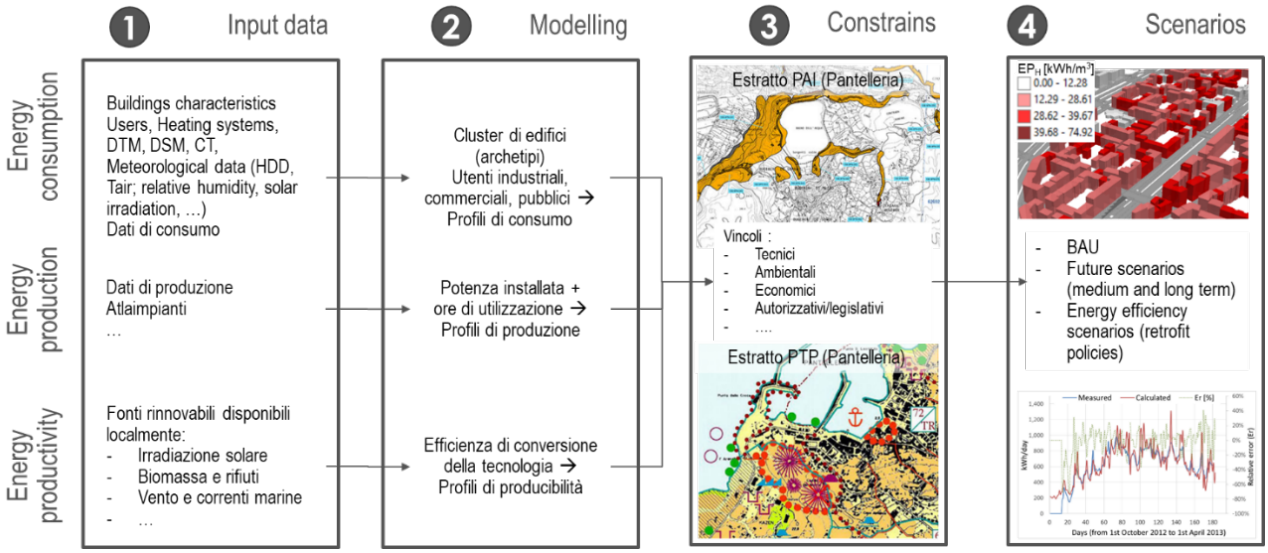


Figura 11: Metodologia GIS di consumo, produzione e producibilità dell'energia (fonte: "Libro Bianco: Isole Minori")

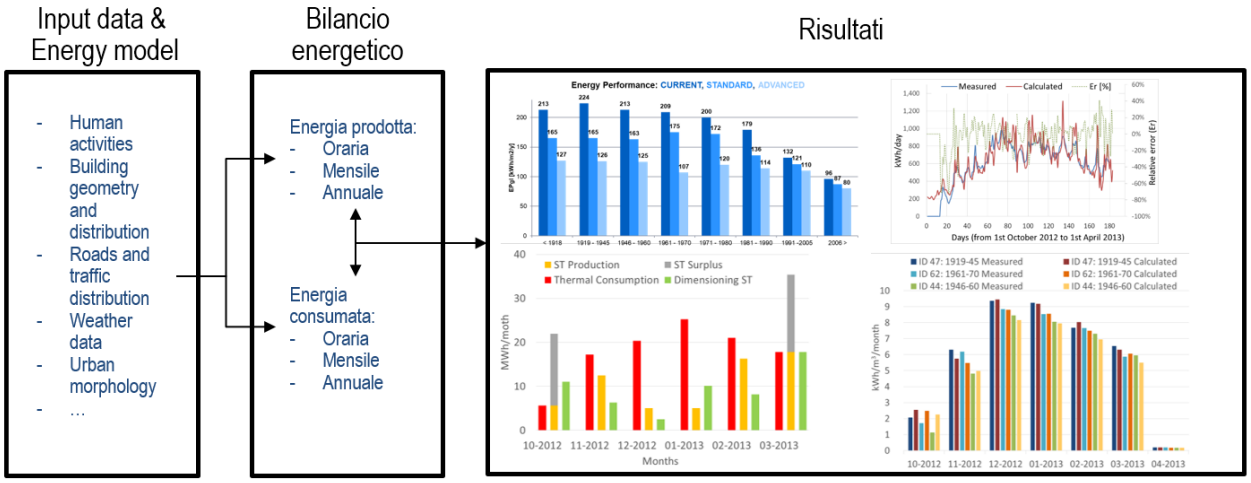
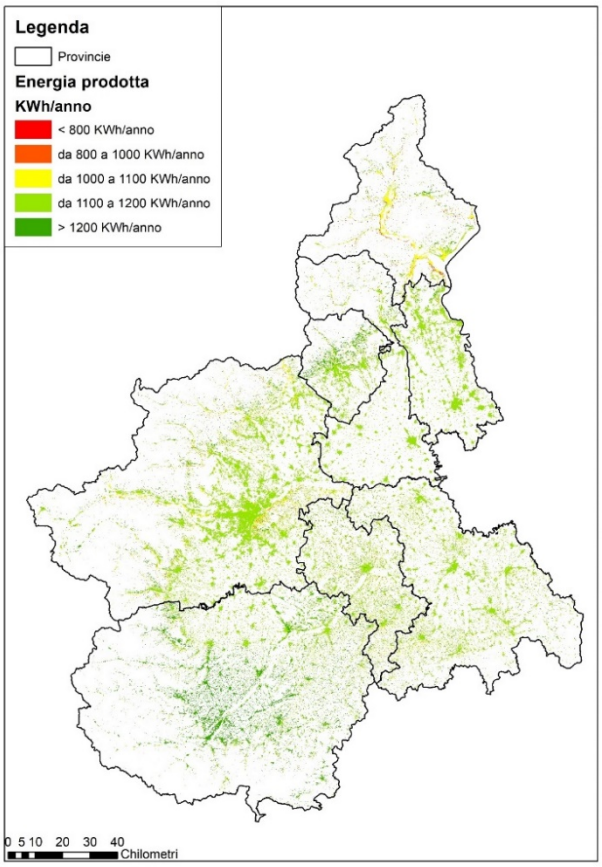
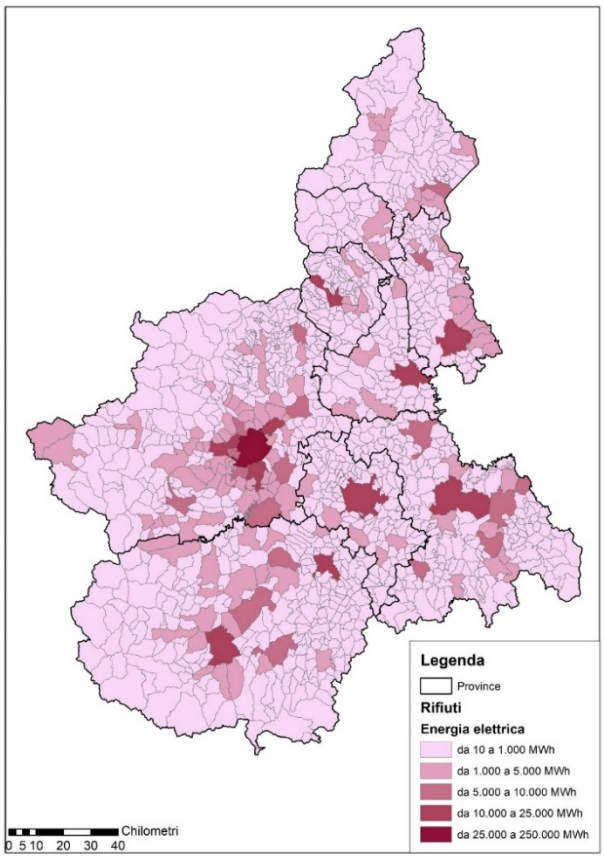


Figura 12: Modelli energetici: consumo e produzione annuali, mensili, giornalieri e orari (fonte: "Libro Bianco: Isole Minori")

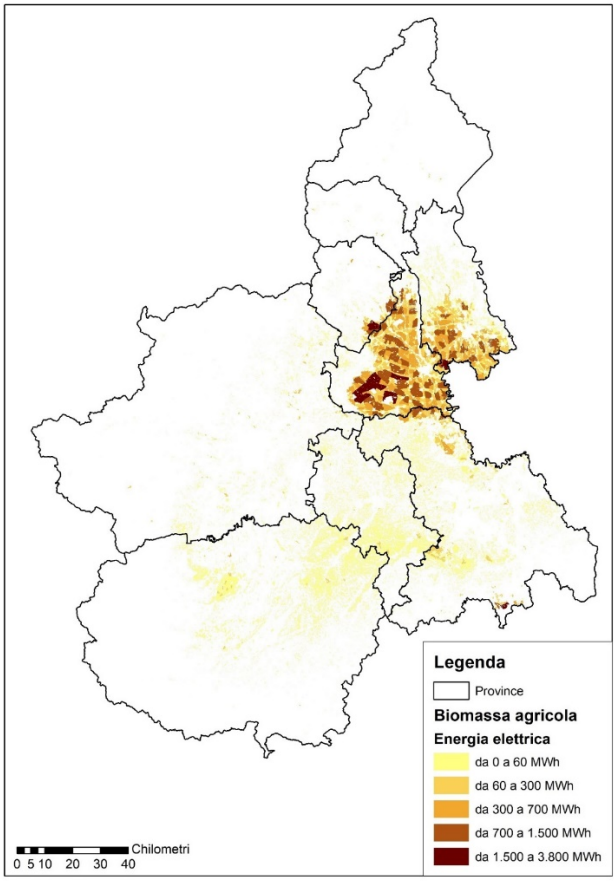
Di seguito vengono riportate le carte di producibilità territoriale delle diverse fonti rinnovabili analizzate, per avere un quadro chiaro di partenza per le successive analisi.



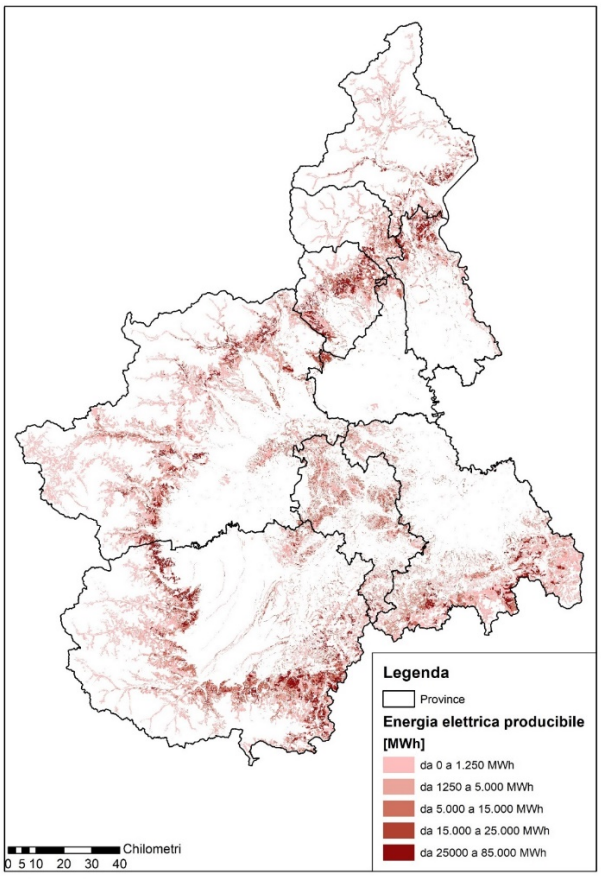
Carta 32: Energia elettrica producibile da solare



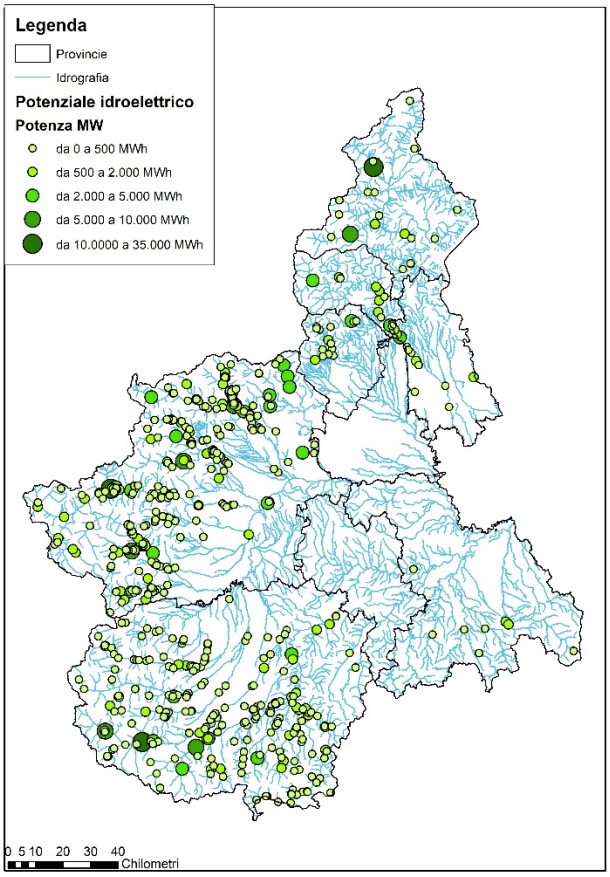
Carta 33: Energia elettrica producibile da rifiuti



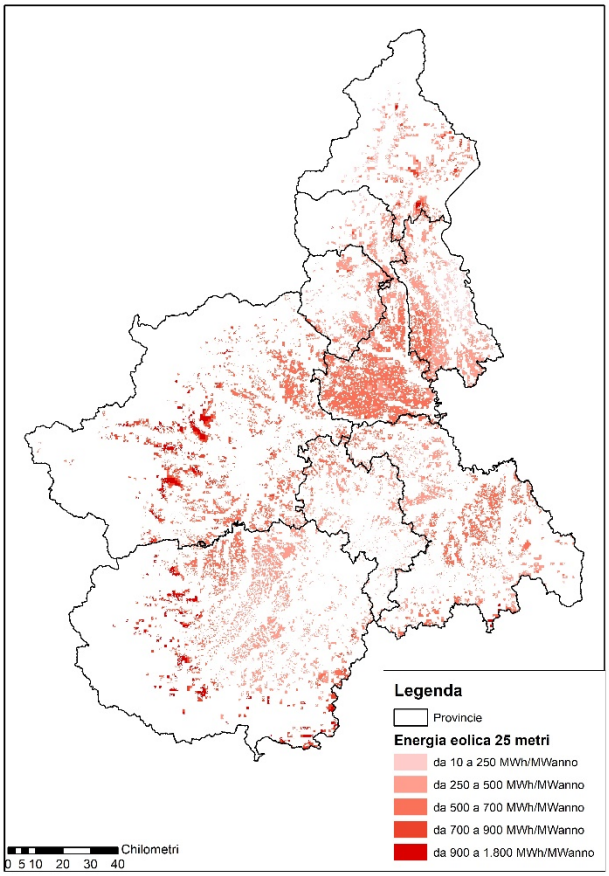
Carta 34: Energia elettrica producibile da biomassa agricola



Carta 35: Energia elettrica producibile biomassa forestale

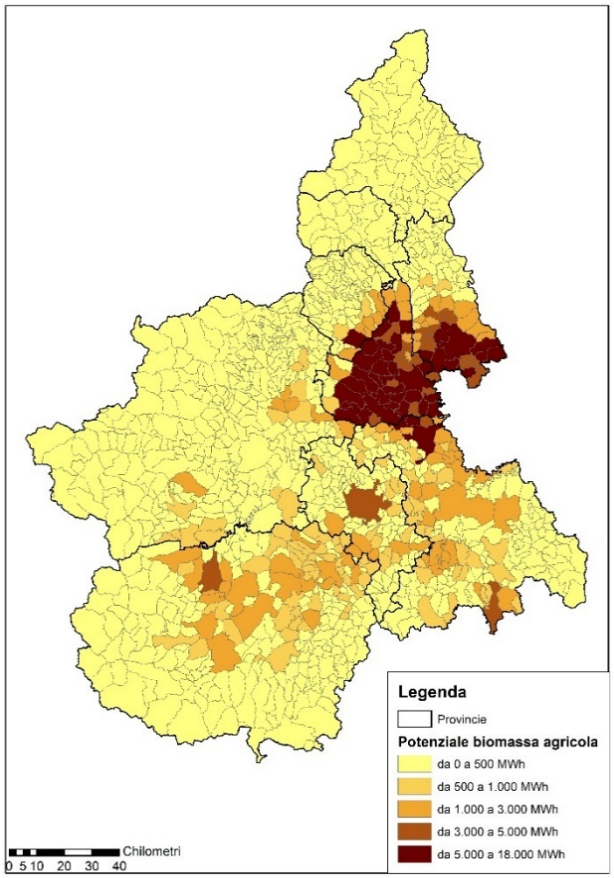


Carta 36: Energia elettrica producibile da idroelettrico

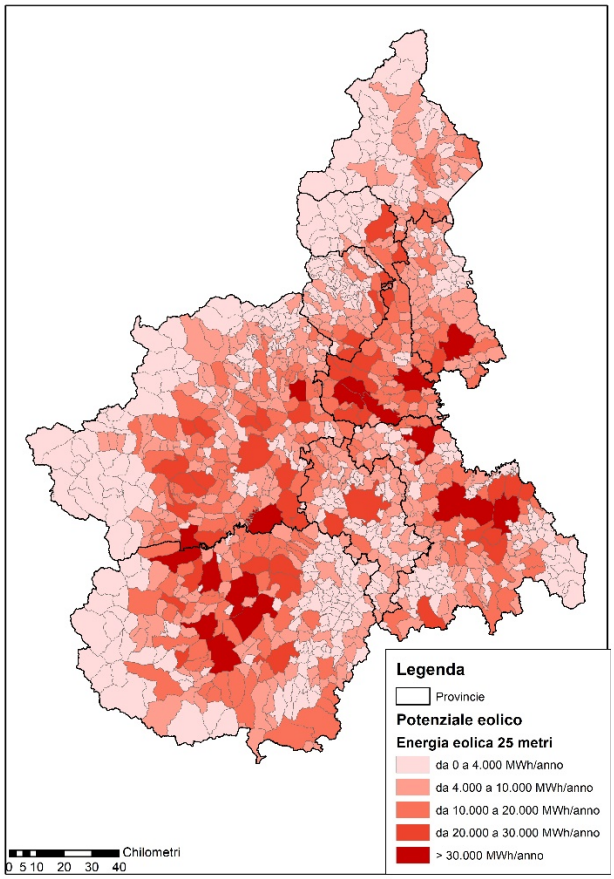


Carta 37: Energia elettrica producibile da eolico

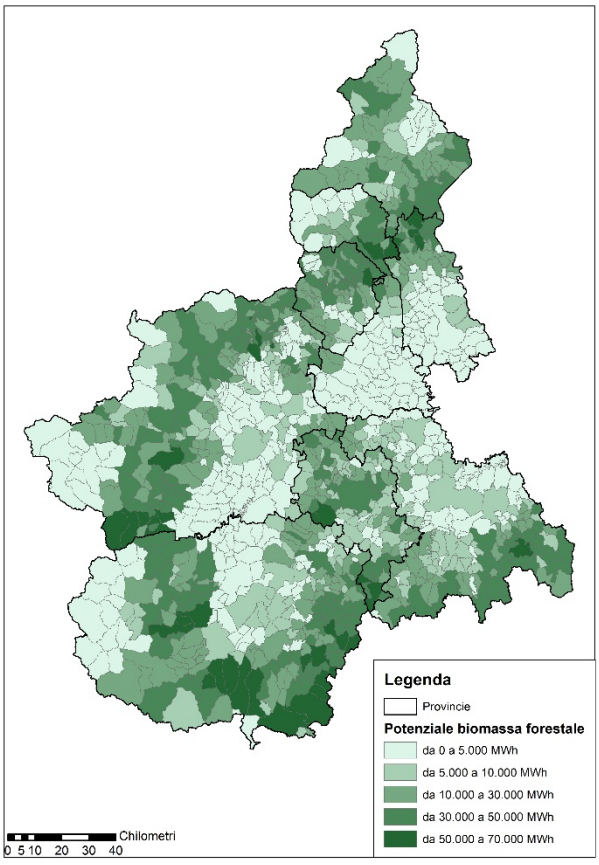
Per intersecare i dati di producibilità con gli ambiti amministrativi comunali e sommare il potenziale per ogni comune, si fa uso del *tool Join by location*. In questo modo avremo la producibilità totale relativa ad ogni comune della regione Piemonte (**Carte: 38, 39, 40, 41, 42,43**), e si potranno confrontare questi dati con quelli relativi ai consumi.



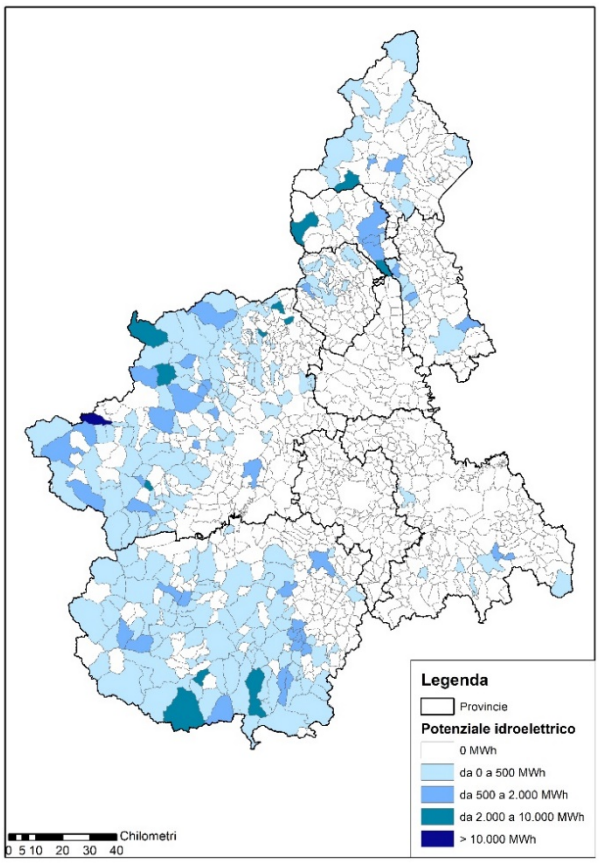
Carta 38: Energia elettrica producibile da biomassa agricola



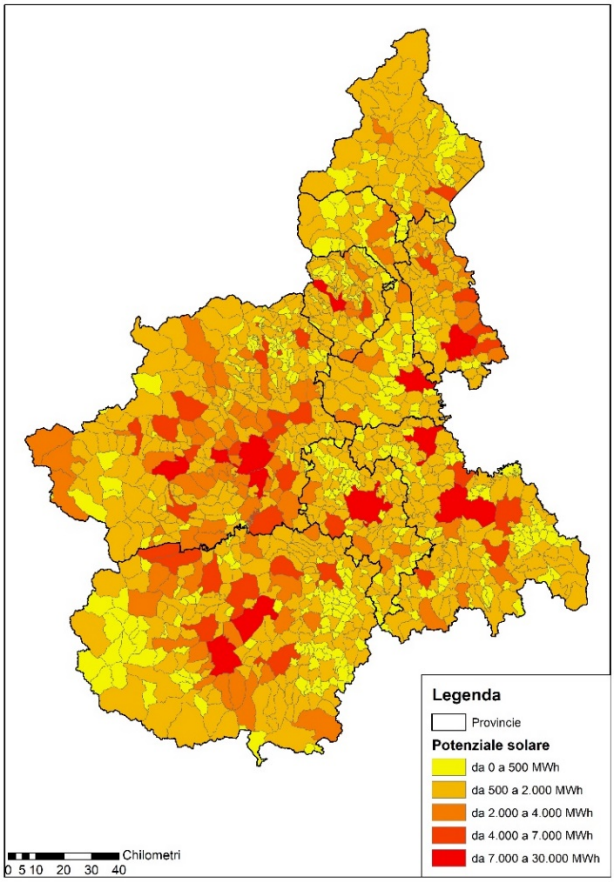
Carta 39: Energia elettrica producibile da eolico



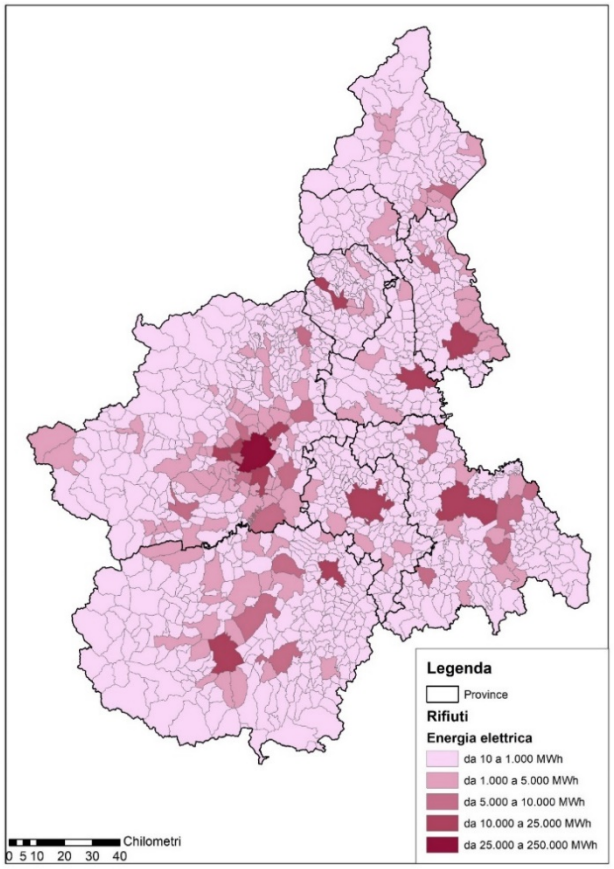
Carta 40: Energia elettrica producibile da biomassa forestale



Carta 41: Energia elettrica producibile da idroelettrico



Carta 42: Energia elettrica producibile da solare



Carta 43: Energia elettrica producibile rifiuti

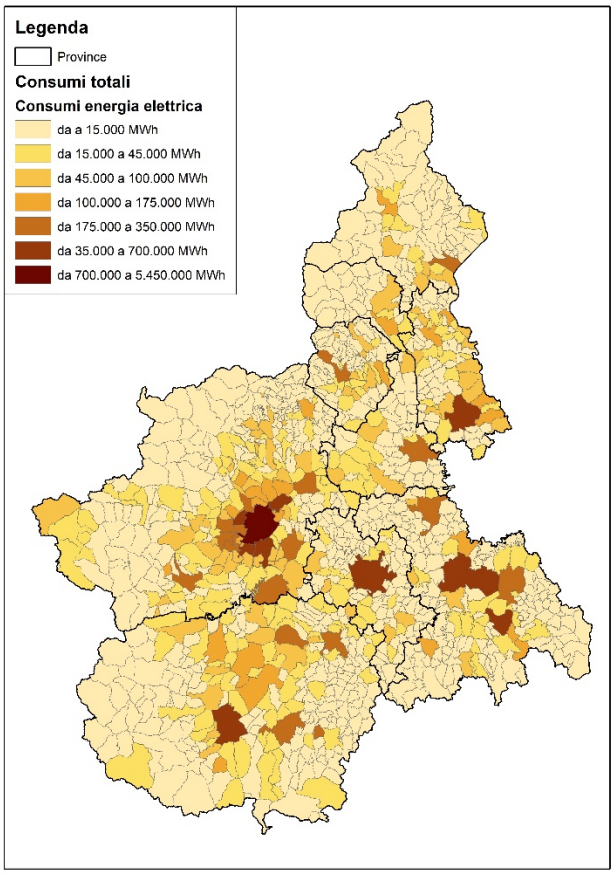
La carta del potenziale solare è chiaramente influenzata dal livello di urbanizzazione dei comuni. Infatti, come abbiamo visto nel capitolo precedente, la valutazione dell'irradiazione solare è stata fatta sulle superfici dei tetti degli edifici. Pertanto, Comuni più grandi e più urbanizzati risultano essere più produttivi, nonostante la producibilità sia più bassa rispetto ai comuni montani per ragioni orografiche.

Anche le altre carte di producibilità mostrano le principali vocazioni dei comuni, i comuni montani adatti a fonti energetiche come la biomassa forestale e l'idroelettrico, i comuni di pianura idonei alla produzione di biomassa agricola e solare. Sono quindi le caratteristiche territoriali specifiche dei comuni a determinare quale tipologia di FER sia più adatta, questo tipo di analisi può essere di forte supporto per politiche di tipo energetico.

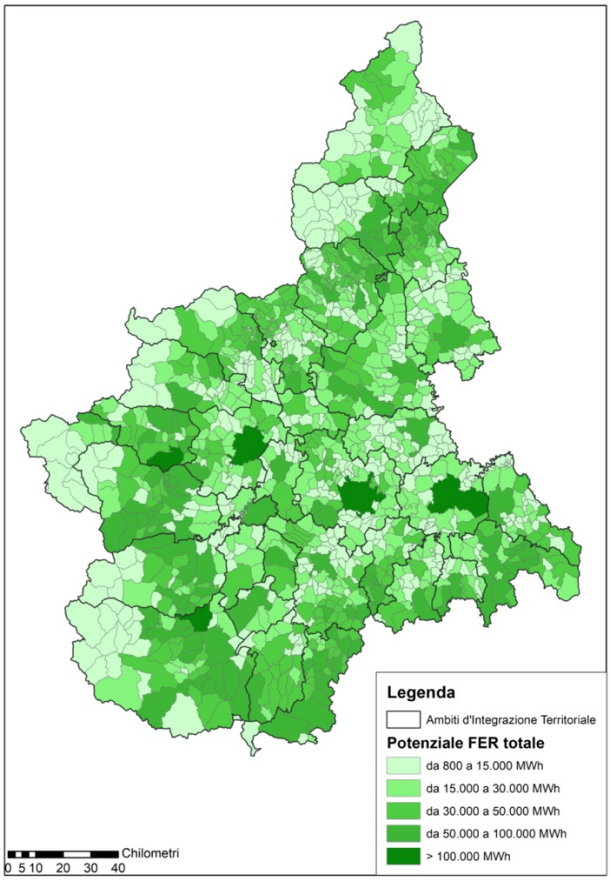
È visibile come la fonte di energia rinnovabile con maggiore potenzialità, secondo questo tipo di analisi, sia la biomassa forestale. Questa infatti, è un componente che caratterizza fortemente il territorio piemontese, coprendo circa il 874.660 ettari della superficie della regione, corrispondente ad un indice di boscosità di 34,4%, una parte assai rilevante.

Grazie a queste carte possiamo adesso mettere a confronto i consumi totali di energia elettrica in Piemonte, che considerano consumi derivanti da: settore domestico, agricoltura,

industria e terziario; con il totale dell'energia producibile da fonti rinnovabili, derivante dalla somma di potenziale da FER di: eolico, biomassa forestale agricola e rifiuti, solare e idroelettrico. La **Carta 40** rappresenta la somma delle producibilità da FER. Questa carta mostra il potenziale di ogni comune e ci permetterà una valutazione sul dimensionamento delle Comunità energetiche.



Carta 44: Consumi energia elettrica totali



Carta 45: Potenziale producibile da FER totale

I comuni che presentano maggiore estensione, sono quelli che presentano in generale un potenziale da FER medio-alto, questo perché influenzati in particolare dalla produzione di energia solare e dalla termovalorizzazione dei rifiuti. Questi comuni però difficilmente riusciranno a soddisfare la domanda di energia con la produzione da FER. Questo dettaglio sottolinea ancor più quanto sia importante l'aggregazione ed il dimensionamento in ambiti.

La carta di potenziale totale da FER mostra poi come la produzione maggiore di energia sia localizzata nei comuni montani. In particolare, dai comuni collinari e nella "prima fascia" montana, a ridosso della pianura Padana, mentre i comuni montani di "seconda fascia", ovvero più esterni e caratterizzati da pendenze più elevate e i comuni di pianura presentano meno potenziale. Inoltre, i comuni montani caratterizzati da alto potenziale sono gli stessi ad avere meno consumi totali, in quanto, presentano bassi tassi di popolazione.

Infine, si può notare come i comuni con meno produttività potenziale siano i comuni di pianura, i quali presumibilmente sono a vocazione prevalentemente agricola, e anche comuni di alta montagna, i quali sono fortemente influenzati dai vincoli.

La D.G.R. n. 18-8520 dell'8 marzo 2019 indica che i soggetti facente parte di una comunità energetica devono essere produttori e consumatori di energia elettrica facenti parte di ambiti territorialmente contigui.

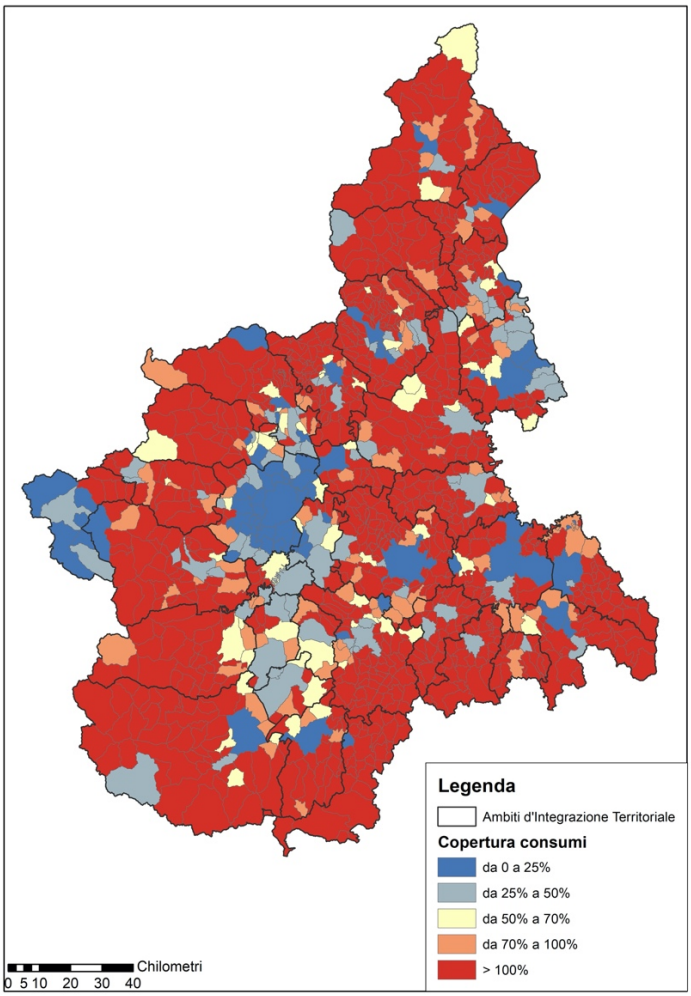
Nel suddetto lavoro di tesi gli ambiti di integrazione che verranno usati per l'aggregazione dei comuni in possibili comunità energetiche sono gli Ambiti di Integrazione Territoriale (AIT) definiti dal Piano Territoriale Regionale (PTR). Il PTR definisce 33 Ambiti di Integrazione Territoriale (AIT), in base a relazioni sovracomunali di vario genere.

La scelta di far riferimento agli AIT come ambiti per il dimensionamento delle comunità energetiche è stata presa in quanto la Comunità Energetica del Pinerolese rispecchia i confini comunai dettati dall'AIT, più tre comuni facenti parte dell'AIT di Torino.

Il lavoro si è quindi concluso con l'individuazione aggregazioni territoriali per verificare il livello di copertura dei consumi elettrici.

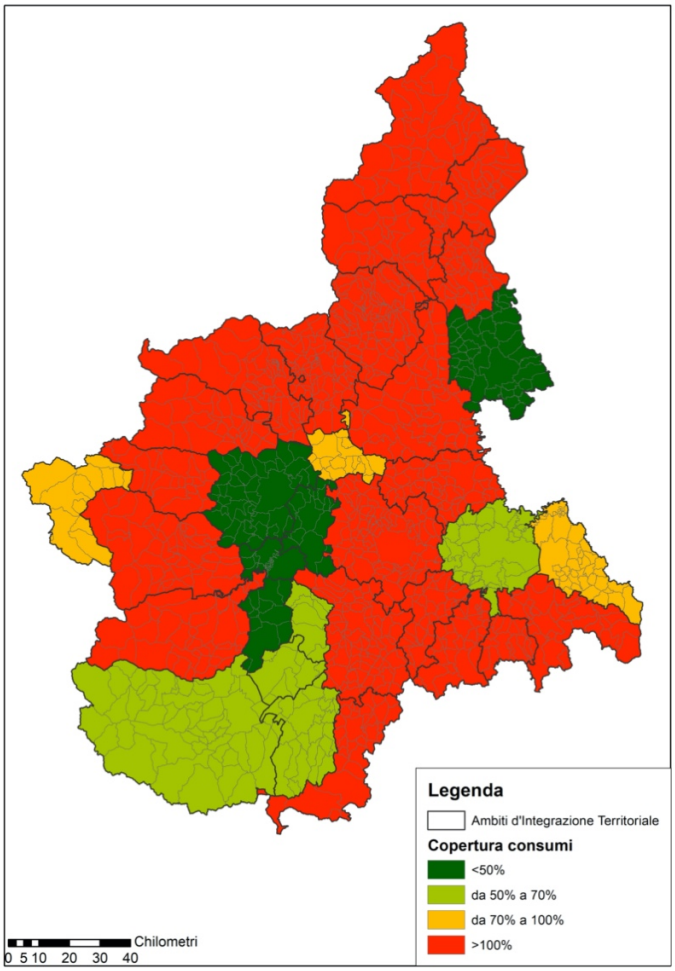
Le aggregazioni di seguito individuate sono state definite nell'ottica di rispettare quanto stabilito dalle attuali norme in materia. Infatti, la soglia di copertura dei consumi da FER considerata è del 70%, in quanto secondo l'articolo 2 della legge Regionale Piemontese in materia di comunità energetiche, esse acquisiscono e mantengono la qualifica di soggetti produttori di energia se la quota dell'energia prodotta destinata all'autoconsumo da parte dei membri non è inferiore al 70% del totale dei consumi.

Dunque, viene elaborata prima una carta sulla quota di copertura dei consumi per singolo comune, **Carta 46**, ed in seguito viene valutata l'effettivo dimensionamento delle Comunità energetiche, **Carta 47**.



Carta 46: Differenza % tra consumi elettrici e potenziale da FER

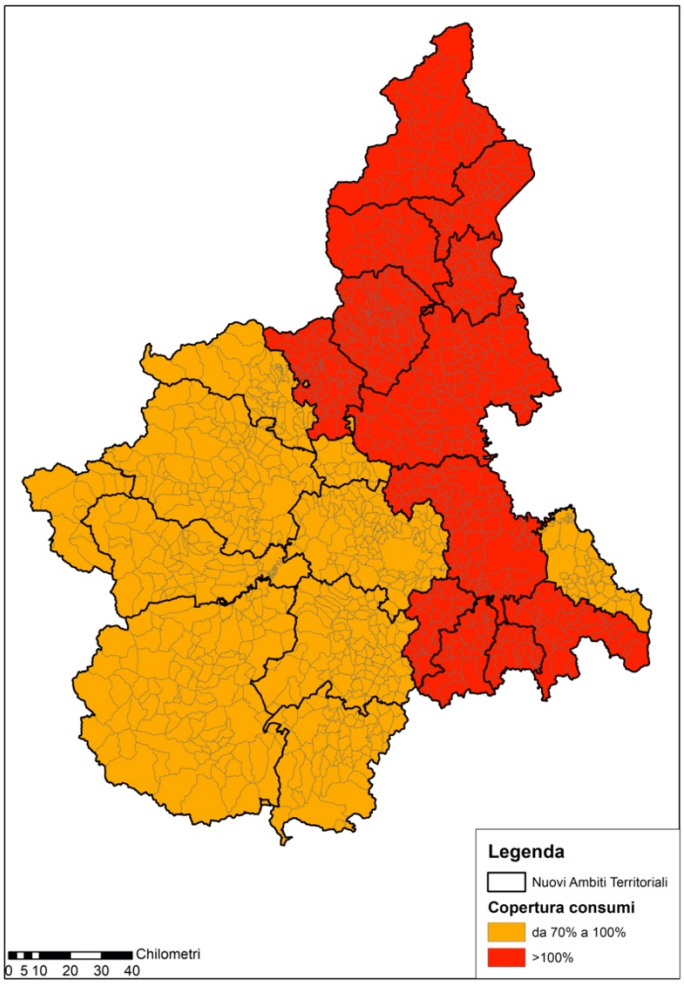
Molti dei comuni piemontesi, in caso di sfruttamento totale delle FER, risultano coprire il 100 per cento dei consumi, superando la domanda di energia a livello locale. Alcuni comuni però non riescono a soddisfare questa richiesta. Come si nota dalla Carta 41, sono principalmente i comuni di grossa taglia, ad essere i più energivori, in particolare Torino e cintura. Mentre i comuni che superano il 100% sono principalmente quei comuni meno popolati, tipicamente di montagna, con situazioni ambientali e orografiche favorevoli per la produzione da FER. Ci sono alcune eccezioni, le quali, come abbiamo visto in precedenza sono fortemente influenzate dai vincoli territoriali.



Carta 47: Dimensionamento CE

Con l'aggregazione per Ambiti d'Integrazione Comunale, si presenta il risultato finale del lavoro. La Carta 42 mostra come molte delle nuove aggregazioni soddisfino i requisiti imposti dalla normativa regionale, in molti casi anche sforando la domanda di energia. In alcuni casi però l'aggregazione non dà i risultati sperati, in particolare per gli ambiti di Torino, Chieri, Carmagnola, Savigliano e Novara che risultano coprire una quota inferiore al 50% dei consumi totali. Anche gli ambiti di Cuneo, Mondovì, Fossano, Bra e Casale Monferrato non coprono la quota richiesta del 70%ma si avvicinano di molto ad essa.

Pertanto, per far sì che il tutti i comuni piemontesi facciano parte di una comunità energetica si vanno a modificare le aggregazioni. Si vanno quindi ad aggregare alle comunità che non riescono a coprire la domanda di energia con le comunità più prossime che invece hanno un eccesso di energia prodotta.



Carta 48: Nuovo dimensionamento CE

La Carta 43 mostra l'aggregazione finale che viene proposta, questa aggregazione permette il raggiungimento del limite imposto dalla Legge Regionale di copertura del 70% dei consumi.

Nei casi degli ambiti di Torino, Chieri, Carmagnola, Savigliano e Novara che risultano coprire una quota inferiore al 50% dei consumi totali, risulta necessaria una aggregazione con altri Ambiti territoriali per intero in modo da coprire tutta la domanda. Mentre per gli ambiti Cuneo, Mondovì, Fossano, Bra e Casale Monferrato che si avvicinano a soddisfare la quota del 70%, si potrebbe modificare l'aggregazione andando a spostare solo alcuni Comuni, in base a continuità territoriale e a energia finale prodotta. Nel esempio riportato in Carta 43 essi vengono direttamente aggregati ad intere comunità.

11. Conclusioni

Il lavoro di tesi mostra come la costruzione di analisi collegate a un GIS consente di creare mappe per la visualizzazione delle zone a maggior vocazione per la produzione di energie

rinnovabili e, permette una facile lettura dei vincoli presenti sul territorio, con l'obiettivo finale di supportare politiche di agevolazione economica. A livello regionale tale analisi può essere utilizzata come strumento di supporto decisionale nelle fasi di pianificazione energetica.

Inoltre, grazie ai modelli elaborati in fase di analisi tale lavoro risulta utile a tutti i comuni facenti parte della regione Piemonte in primis ma anche ai comuni italiani in generale che nel corso di questi anni vorranno entrar a far parte di una comunità energetica. Infatti, prendendo ad esempio la recente formazione della prima comunità energetica del pinerolese, la quale nascita è avvenuta a seguito di un forte senso di comunità e spinte a partire dai cittadini. La nascita di queste comunità è infatti frutto di una volontà proveniente dal "basso" (bottom-up), che grazie ad analisi come questa possono prendere visione e informarsi sulle potenzialità del proprio territorio.

Questo lavoro, infatti, consente ai Comuni e i cittadini che ne fanno parte di prendere conoscenza delle risorse territoriali e grazie alla metodologia utilizzata applicare una pianificazione energetica coerente con le risorse territoriali.

Infatti, un requisito necessario secondo la Legge 221/2015 art. 71, è che gli Enti locali che fanno parte del protocollo d'intesa si devono occupare della valutazione delle risorse presenti sui rispettivi territori per arrivare ad ottenere la redazione di un bilancio energetico che dimostri l'energia prodotta e il fabbisogno delle utenze della comunità. Inoltre, l'articolo 71 della Legge Regionale indica che occorre elaborare un modello di piano arrivare progressivamente ad ottenere l'autosufficienza energetica nel territorio della Oil free zone.

Pertanto, il lavoro di tesi svolto va a rispondere proprio ai punti appena elencati (5.1 e 5.2) della Legge 221/2015 art. 71, fornendo in modo trasparente una metodologia di valutazione del potenziale energetico da FER.

Questi meccanismi di pre-pianificazione che consentono di tenere in considerazione aspetti normativi, vincoli ambientali e aspetti socioeconomici, potrebbero inoltre contribuire a snellire e velocizzare i procedimenti autorizzativi di impianti da FER.