



**Politecnico  
di Torino**

Criticità e prospettive per l'integrazione territoriale  
di impianti per la produzione energetica da fonti  
rinnovabili al servizio di nuove comunità energetiche  
progetto di un impianto fotovoltaico nella collina di Torino

Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità  
Politecnico di Torino  
A.a. 2022/2023

Relatrice:  
Prof.ssa Maria Ferrara  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ombretta Caldarice

Candidato  
Massimiliano Ponchia



**Politecnico  
di Torino**

Criticità e prospettive per l'integrazione territoriale  
di impianti per la produzione energetica da fonti  
rinnovabili al servizio di nuove comunità energetiche  
progetto di un impianto fotovoltaico nella collina di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per la Sostenibilità  
A.a. 2022/2023

Relatrice:  
Prof.ssa Maria Ferrara  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ombretta Caldarice

Candidato  
Massimiliano Ponchia

# INDICE

<i>Abstract (Ita)</i> .....	8
<i>Abstract (Eng)</i> .....	9
Introduzione.....	10
01. Oltre i Fossili: verso le energie rinnovabili.....	14
1.1 Norme e direttive europee per la transizione energetica..	15
1.2 Energia del presente e del futuro.....	24
02. Tecnologie energetiche da fonti rinnovabili e comunità energetiche.....	30
2.1 Analisi critica delle fonti rinnovabili.....	31
2.2 L'analisi LCA in relazione al ciclo di vita dei pannelli fotovoltaici.....	39
2.3 Comunità Energetiche.....	55
2.3.1. Tipologie di Comunità Energetiche.....	57
2.3.2 Comunità Energetiche nell'Unione Europea.....	59
2.3.3. Il ruolo delle Comunità Energetiche per la transizione.....	60
03. Analisi dei vincoli dell'area di progetto.....	62
3.1 Descrizione dell'ambito di studio.....	63
3.2 Vincolo urbanistico.....	64
3.3 Vincolo geomorfologico.....	66
3.4 Vincolo acustico.....	68
3.5 Vincolo paesaggistico.....	68
3.6 Sintesi dei vincoli ed indicazioni per il progetto.....	70
04. Dimensionamento e Analisi Costi Ricavi di un parco fotovoltaico in tre scenari.....	72
4.1 Descrizione dell'edificio.....	73
4.2 Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico.....	78
4.3 Una nuova potenziale Comunità Energetica.....	88
4.4 Analisi dei costi e dei ricavi nel tempo.....	90
4.4.1 Dimensionamento della pompa di calore.....	90
4.4.2 Costo della pompa di calore.....	91
4.4.3 Costo dell'impianto fotovoltaico.....	93
4.4.4 Valore attuale netto dell'investimento.....	97
4.4.5 Ricavi, risparmi e guadagni nei diversi scenari.....	102
05. Conclusioni.....	107
06. Bibliografia.....	111
07. Allegati.....	119

- Tavola 1 - Azzonamento
- Tavola 2 - Curve di livello
- Tavola 3 - Consumo di suolo
- Tavola 4 - Frane
- Tavola 5 - Vincolo Idrogeologico
- Tavola 6 - Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica
- Tavola 7 - Vincolo acustico
- Tavola 8 - Beni paesaggistici
- Tavola 9 - Ambiti e unità di paesaggio
- Tavola 10 - Componenti paesaggistiche e Componenti naturalistico ambientali
- Tavola 11 - Mappa delle cabine primarie

## Abstract Italiano

Il nostro pianeta sta attraversando una fase di declino relativamente rapida, per via di molti fattori attribuibili perlopiù alla vita dell'uomo sulla Terra. Le tecnologie che permettono di produrre energia utilizzando le fonti rinnovabili presenti sul pianeta, come il vento, la luce solare o i flussi d'acqua naturali, sono in grado di sostituire i combustibili fossili con emissioni di CO<sub>2</sub> quasi nulle. Questo studio inizia con un'analisi critica delle strategie messe in campo dall'Unione Europea ai fini della sua decarbonizzazione, tra cui figurano il Green Deal Europeo o il progetto "Pronti per il 55%" o ancora le svariate proposte per incentivare le comunità energetiche sostenibili. In seguito, l'analisi si sposta sulle varie tecnologie oggi disponibili in grado di trasformare in energia ciò che sulla Terra è considerato inesauribile, ovvero le fonti rinnovabili, delineando i principi generali sulla modalità di produzione dell'energia in relazione ad ogni tipo di tecnologia e sul loro potenziale contributo agli obiettivi di decarbonizzazione in relazione al loro ciclo di vita. La seconda parte della Tesi, di natura progettuale, ha l'obiettivo di valutare la fattibilità di un impianto fotovoltaico in un terreno privato. La proprietà al suo interno contiene un'antica cascina risalente agli inizi dell'800, in principio edificata per assistere le necessità agricole, poi convertita in residenza verso la metà degli anni '50. Si estende su un terreno di 90.000 m<sup>2</sup> circa, i quali sono quasi del tutto inutilizzati. Il progetto parte da una valutazione prima di tutto urbanistica e paesaggistica, confrontando i vincoli e i parametri imposti dal Comune di Torino e dai Piani Regionali come il PRG e il PPR per suddetta area. In seguito l'analisi viene concentrata su vari calcoli finalizzati a determinare la realizzabilità del progetto sia dal punto di vista tecnico che economico, delineando tre scenari. Nei primi due, l'impianto fotovoltaico viene dimensionato per soddisfare i fabbisogni di una comunità energetica relativamente vasta, quindi comprende un grande investimento iniziale, per poter produrre benefici economici e in termini di abbattimento di emissioni di CO<sub>2</sub> a lungo termine. Nel terzo caso, invece, l'impianto fotovoltaico viene dimensionato per la singola unità abitativa presente oggi nell'area progettuale, al fine di rendere l'abitazione un edificio a emissioni zero e totalmente autonomo dal punto di vista energetico senza considerare la dimensione del distretto. Dal confronto tra i tre scenari discende un'analisi delle possibilità che le tecnologie in grado di produrre energia grazie all'utilizzo di fonti rinnovabili sono in grado di fornire alla comunità e all'ambiente del territorio in esame, evidenziando le criticità a livello normativo, tecnico ed economico e delineandone prospettive future in chiave di transizione energetica.

## Abstract English version

Our planet is going through a relatively rapid phase of decline due to many factors attributable mostly to human life on Earth. Technologies that make it possible to produce energy using renewable sources on the planet, such as wind, sunlight or natural water flows, are capable of replacing fossil fuels with near-zero CO<sub>2</sub> emissions. This study begins with a critical analysis of the strategies put in place by the European Union for the purpose of its decarbonization, including the European Green Deal or the "Ready for 55%" project or even the various proposals to incentivize sustainable energy communities. Next, the analysis shifts to the various technologies available today that can transform what is considered inexhaustible on Earth, namely renewable sources, into energy, outlining general principles on how energy is produced in relation to each type of technology and their potential contribution to decarbonization goals in relation to their life cycle. The second part of the Thesis, which is project-based in nature, aims to assess the feasibility of a photovoltaic system on private land. The property within it contains an old farmhouse dating back to the early 1800s, originally built to assist agricultural needs, then converted into a residence in the mid-1950s. It covers a plot of about 90,000 m<sup>2</sup>, which is almost entirely unused. The project starts from an evaluation first of all of urban planning and landscape, comparing the constraints and parameters imposed by the City of Turin and Regional Plans such as the PRG and PPR for said area. Then the analysis is focused on various calculations aimed at determining the feasibility of the project from both technical and economic points of view, outlining three scenarios. In the first two, the PV system is sized to meet the needs of a relatively large energy community, so it includes a large initial investment in order to produce economic and CO<sub>2</sub> emission abatement benefits in the long run. In the third case, on the other hand, the PV system is sized for the single housing unit in the project area today in order to make the dwelling a zero-emission, fully energy self-sufficient building without considering the size of the district. From the comparison of the three scenarios comes an analysis of the possibilities that technologies capable of producing energy through the use of renewable sources are able to provide to the community and the environment of the area under consideration, highlighting current critical issues at the regulatory, technical and economic levels and outlining future prospects in terms of energy transition.

## Introduzione

Come ormai è noto, il nostro pianeta sta attraversando una fase di declino, relativamente rapida, per via di molti fattori, attribuibili perlopiù alla vita dell'uomo sulla Terra. La questione nasce dall'esponenziale aumento della popolazione globale negli ultimi secoli, la quale, con il passaggio dalla Rivoluzione Industriale, ha iniziato a consumare in maniera spropositata alcune fonti primarie presenti sulla Terra. Il consumo di fonti naturali, di per sé, non comporta nessun problema per l'ecosistema, ma l'economia odierna si è sviluppata attorno a prodotti che vengono definiti "non rinnovabili" ovvero non in grado di essere riprodotti una volta consumati. Questo significa che tutto ciò che dipende strettamente da materie non rinnovabili è destinato a cessare la propria esistenza, quando queste saranno del tutto esaurite. Ma non è tutto, infatti oltre all'incessante estrazione di materiali non rinnovabili, si è compreso che molti di questi fossero la causa principale di un cambiamento ambientale a livello globale, in grado di avviare processi irreversibili e devastanti. Si parla principalmente dei combustibili fossili, come il carbone, il petrolio e il gas naturale, infatti da quando l'uomo ha scoperto come utilizzare queste fonti di energia straordinarie, è riuscito a fare enormi avanzamenti in tutti i campi, dai settori tecnologici a quelli medici, dall'edilizia al settore alimentare e ancora a quello dei trasporti. Per comprendere perché i combustibili fossili abbiano permesso un cambiamento così rapido nella storia dell'uomo sulla Terra, bisogna focalizzarsi sul concetto di energia. Infatti, questi ultimi contengono una grande quantità di energia concentrata, ciò significa che una piccola quantità di combustibile può generare una grande quantità di energia. Possedendo un'elevata densità energetica, possono essere utilizzati per una moltitudine di scopi, atti a migliorare la vita dell'uomo. Queste caratteristiche hanno fatto sì che dal XVIII secolo, quasi tutti i macchinari e le nuove tecnologie, fossero alimentati da combustibili fossili. Inoltre, con l'aumento della popolazione mondiale e lo sviluppo economico, la domanda di energia è cresciuta in modo significativo e i combustibili fossili sono stati in grado di rispondere rapidamente a questa crescente richiesta grazie alla loro disponibilità e versatilità. In seguito, però si scoprirono i lati negativi conseguenti all'utilizzo di questi materiali, oltre ad essere limitati sul nostro pianeta, la combustione di combustibili fossili implica il rilascio in ambiente di grandi quantità di gas a effetto serra, tra cui anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>). Questi gas sono i principali responsabili del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici, in grado di causare problemi come l'aumento delle temperature, l'innalzamento del livello del mare, eventi meteorologici estremi e alterazioni degli ecosistemi. Negli ultimi decenni, visti i risultati catastrofici

del cambiamento climatico, per via dei gas a effetto serra, si è compresa la necessità di separarsi dai combustibili fossili come fonte primaria di energia, a livello mondiale.

Una delle soluzioni a questo problema è stata individuata nelle fonti di energia rinnovabile.

Questa Tesi nasce con l'idea di valutare le possibilità offerte dalle tecnologie per la produzione di energia, elettrica o termica, da fonti rinnovabili, per soddisfare i fabbisogni della popolazione. Il Capitolo 1 esordisce con l'analisi dei consumi presenti nel mondo, in seguito si pone la domanda: "è possibile sostituire l'intera produzione energetica, quasi totalmente dipendente dai combustibili fossili, con l'energia rinnovabile?". Per trovare una risposta è stato analizzato parte del contesto normativo dell'Unione Europea, riferito agli obiettivi per contrastare il cambiamento climatico. L'obiettivo principale è quello di ridurre drasticamente i consumi di combustibili fossili all'interno di tutti gli stati membri, andando a prediligere l'utilizzo di fonti rinnovabili. Per rendere possibile questa transizione, l'UE ha predisposto una serie di strategie che gli Stati possano essere in grado di seguire; nel Capitolo 1 sono state selezionate alcune tra quelle più importanti e significative.

Nel Capitolo 2, vengono approfonditi gli strumenti in grado di rendere possibili queste strategie, l'attenzione si sposta sulle tecnologie protagoniste di questo cambiamento, ovvero tutte le tecnologie in grado di sfruttare le fonti energetiche rinnovabili, per soddisfare i fabbisogni dell'Uomo. L'analisi mira a comprendere quali siano suddette tecnologie e come siano in grado di produrre energia elettrica e termica, sfruttando il vento, la luce solare, l'acqua o il calore presente nel sottosuolo terrestre. Siccome per migliaia di anni l'Uomo ha prodotto materiali dannosi per l'ambiente, senza mai preoccuparsi se lo fossero, in questo capitolo vengono analizzati gli impatti ecologici risultanti dalla produzione delle tecnologie prima citate. Per ottenere i risultati desiderati si è utilizzato il metodo dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), capace di valutare tutti gli impatti ambientali che un prodotto può generare. Sebbene gli impianti in questione, siano in grado di produrre energia in maniera quasi del tutto priva di emissioni, il metodo LCA valuta l'impatto ambientale "dalla culla alla tomba", ovvero dalla produzione dei materiali, necessari alla costruzione di un impianto energetico, fino alla dismissione degli stessi, quindi la produzione e lo smaltimento dei rifiuti. Sempre nel Capitolo 2, è presente una ricerca per comprendere che cosa siano, come funzionino e quali siano gli obiettivi delle comunità energetiche in Europa.

Concluse le ricerche di analisi, per rispondere alle necessità ambientali, sfruttando le tecnologie alimentate da fonti rinnovabili, la seconda parte

della Tesi è incentrata sul progetto di un impianto fotovoltaico. Il Capitolo 3 pone l'attenzione sull'inquadramento dell'area di progetto, in seguito ad una breve descrizione, vengono analizzate le componenti urbanistiche e paesaggistiche del luogo. Infine l'analisi si concentra sulle caratteristiche dell'edificio presente all'interno dell'area di progetto.

L'ultimo capitolo, ovvero il Capitolo 4, tratta gli aspetti più tecnici del progetto. Inizialmente è stato dimensionato l'impianto fotovoltaico, a seconda delle esigenze desiderate. Nei primi due casi, la produzione di energia non è calcolata per una singola unità abitativa, ma l'obiettivo è quello di creare una comunità energetica rinnovabile nella zona circostante all'area di progetto. Il terzo caso invece, mira a rendere l'edificio, nell'area di progetto, quasi del tutto autosufficiente dal punto di vista energetico. In grado quindi di utilizzare unicamente ciò che viene prodotto dall'impianto fotovoltaico per soddisfare i fabbisogni elettrici e termici. La seconda fase si concentra sull'analisi dei costi dell'investimento, iniziali e futuri. Per giungere infine al calcolo dei ricavi e dei risparmi, tanto energetici quanto economici, che questo progetto sia in grado di generare.

In conclusione questa Tesi comprende una prima parte teorica, che raccoglie molte informazioni importanti per la transizione energetica, sia a livello normativo che di tecnologie utilizzabili. Queste possono essere d'aiuto per chiunque avesse intenzione di passare all'energia rinnovabile, ma anche per acquisire conoscenze riguardo ad un tema molto attuale. La seconda parte, più progettuale, mira a far comprendere il potenziale delle fonti di energia rinnovabile. In questo caso l'attenzione non è posta sulla diminuzione delle emissioni di gas a effetto serra, ma sui vantaggi che il singolo cittadino può ottenere, soprattutto economici. L'obiettivo primario consiste nella riduzione dell'impiego di combustibili fossili su scala mondiale al fine di mitigare le emissioni di gas a effetto serra e preservare l'ambiente. Credo che coinvolgere il maggior numero possibile di individui sia essenziale per raggiungere questo obiettivo, e ritengo che il beneficio economico possa costituire un efficace incentivo per mobilitare l'impegno dei singoli cittadini.

# 01

## Oltre i Fossili: verso le energie rinnovabili

### 1.1 Norme e direttive europee per la transizione energetica

“La direttiva sulle energie rinnovabili è il quadro giuridico per lo sviluppo delle energie rinnovabili in tutti i settori dell'economia dell'UE, a sostegno della cooperazione in materia di energia pulita tra i paesi dell'UE” (Commissione Europea, Direttiva sulle energie rinnovabili, 2023).

Con l'introduzione della direttiva 2009/28/CE, la produzione di energia derivante da fonti rinnovabili è aumentata dal 12,5% del 2010 al 21,8% nel 2021. Nel 2018 è stata poi rivista, andando a stabilire l'obiettivo generale europeo di energia rinnovabile al 32%, in questa modifica alla direttiva, sono state aggiunte norme che garantissero l'utilizzo delle fonti rinnovabili in diversi settori, altre invece per abbassare i costi delle tecnologie in grado di produrre energia pulita. L'energia pulita è uno dei punti cardine per la transizione energetica, ed è in grado di fornire energia a prezzi molto bassi, senza inquinare l'ambiente e può essere prodotta in ambito domestico, riducendo costi e consumi per il trasporto, ma anche permettendo ai fruitori di non essere dipendenti da fornitori esterni. La Commissione Europea verso la metà del 2021 ha deciso di aumentare ulteriormente l'obiettivo, dal 32% al 40%, poco meno di un anno dopo però, a seguito dell'inizio del conflitto tra Russia e Ucraina, si è deciso di aumentare ulteriormente quella percentuale, che dovrebbe raggiungere il 45% entro il 2030. Essendo stato accordato nel Marzo 2023, il tempo a disposizione sarebbe stato brevissimo per il raggiungimento di un tale obiettivo, perciò la percentuale minima stabilita da raggiungere, ad oggi, è del 42,5%, puntando però al 45%.

L'Europa sarà il primo continente al mondo a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050, per questo scopo l'UE ha deciso di realizzare il Green Deal, un programma di proposte per tutti i 27 stati membri. All'interno di questo accordo gli stati si sono impegnati nel raggiungere il 55% in meno delle emissioni entro il 2030, rispetto al 1990, questo processo offrirà la possibilità di creare nuovi posti di lavoro, affrontare la povertà energetica, ridurre la dipendenza energetica dall'estero e migliorare la salute e il benessere dei cittadini europei. Un focus particolare viene dedicato alla questione dei trasporti, infatti l'UE si impegna a diminuire del 55% le emissioni di CO<sub>2</sub>, provenienti dai mezzi di trasporto stradali, entro il 2030 e entro il 2035 tutte le auto nuove saranno a emissioni zero. Inoltre creerà le infrastrutture, laddove dovessero mancare, per garantire le ricariche a tutti i veicoli elettrici. I sistemi di trasporto aerei e marittimi, saranno sottoposti a multe ambientali,

ovvero conguagli economici a seconda della quantità di carbonio emessa in ambiente, in questo modo, le grandi compagnie saranno incentivate ad utilizzare carburanti miscelati al fine di ottenere un minore impatto ambientale. L'Unione Europea vede questo periodo come l'arrivo della terza rivoluzione industriale: "La transizione verde rappresenta una grande opportunità per l'industria europea creando mercati per tecnologie e prodotti puliti" (Commissione Europea, Realizzare il Green Deal europeo, 2023). Le proposte del Green Deal avranno infatti ripercussioni positive sui settori lavorativi dell'energia, dei trasporti e dell'edilizia, creando così posti di lavoro sostenibili, locali e ben retribuiti in tutta Europa. Entro il 2030 si è stimato che potrebbero venire ristrutturati più di 35 milioni di edifici e il settore edile sarà in grado di generare 160.000 nuovi posti di lavoro. Verrà anche imposta una tassa per le aziende, che importano i loro prodotti in Europa, da un paese estero dove non vi è controllo sulle emissioni durante la produzione.

Un altro punto fondamentale, per rendere possibile la diminuzione del 55% delle emissioni di gas serra, riguarda la pulizia del sistema energetico, ovvero un maggiore utilizzo di energia rinnovabile e una maggiore attenzione all'efficienza energetica delle tecnologie utilizzate.

La Commissione Europea ritiene inoltre necessaria la ristrutturazione degli edifici e delle abitazioni, in questo modo si risparmierà energia, sarà più facile affrontare il tema della povertà energetica e il nuovo involucro, arricchito dalle tecnologie moderne, sarà in grado di proteggere i residenti da condizioni estreme di caldo o freddo.

L'UE metterà a disposizione un fondo da 72,2 miliardi di euro, spalmati nei 7 anni tra il 2023 e il 2030, a sostegno dei cittadini europei, infatti i soldi saranno impiegati sotto forma di incentivi, per la ristrutturazione di edifici, per l'accesso alla mobilità a impatto zero e per smorzare le spese a coloro che sono più esposti ai cambiamenti climatici. Anche gli edifici pubblici saranno soggetto di trasformazione, infatti la Commissione Europea vorrebbe "imporre agli Stati membri di rinnovare annualmente almeno il 3% della superficie totale di tutti gli edifici pubblici". Un'altra proposta sarebbe quella di avere energia pulita, all'interno degli edifici pubblici e privati, in grado di soddisfare il 49% del fabbisogno, esclusi riscaldamento e raffreddamento, per i quali la Commissione vuole imporre, una crescita percentuale annua, dell'utilizzo di energia rinnovabile, di 1,1 punti, fino al 2030.

La natura poi ricopre un ruolo fondamentale per la transizione, per l'assor-

bimento efficace del carbonio e per contrastare i cambiamenti climatici, le proposte sono multiple, come il ripristino delle foreste, dei suoli e delle zone umide. In questo modo, anche la bioenergia, sarà maggiormente utilizzabile, evitando disboscamenti insostenibili e proteggendo le aree ad alto valore in termini di biodiversità.

Infine è possibile dichiarare che grazie al Green Deal, tutto il mondo ne trarrà vantaggio e i partner internazionali dell'Unione Europea sono decisi nel raggiungere i medesimi obiettivi. L'Europa in questo momento rimane la protagonista del cambiamento climatico, grazie alle politiche "green" che adotta e ha intenzione di adottare nel breve e medio periodo, inoltre un terzo dei finanziamenti mondiali per il clima provengono proprio dall'Unione Europea. Ecco una schematizzazione degli obiettivi principali del Green Deal Europeo (Figura 1).

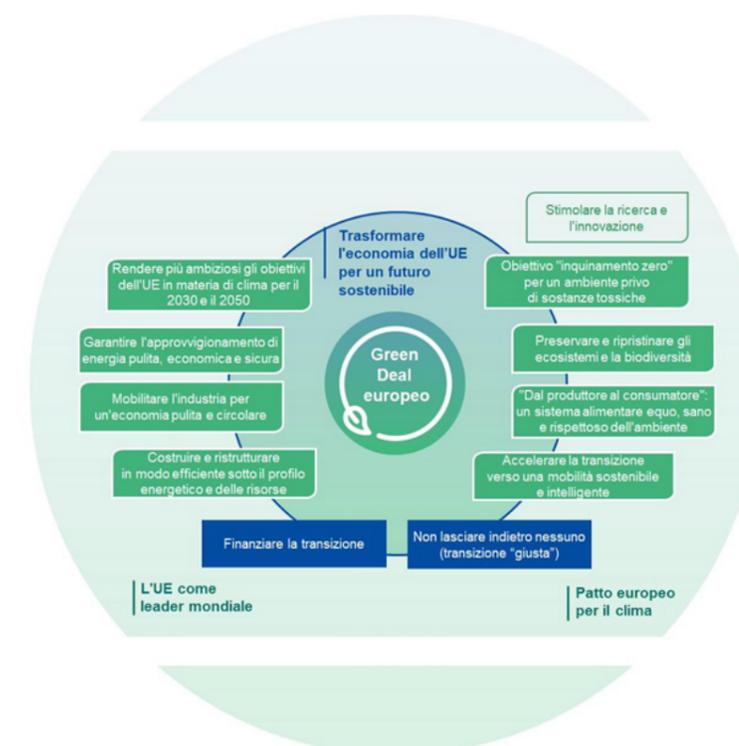


Figura 1: Cos'è il Green Deal europeo?

Tra le azioni da intraprendere, protagoniste della transizione energetica, troviamo le comunità energetiche. La comunità energetica, nasce dall'esigenza di portare i cittadini a comprendere l'importanza del problema ambientale nel mondo, si può trattare di qualsiasi forma giuridica, ad esempio quella di un'associazione, una cooperativa, una partnership, un'organizzazione senza scopo di lucro o una piccola/media impresa, poco importa, la questione risiede nel concetto che un gruppo di cittadini si impegni a investire in una fonte di energia rinnovabile, abbassando il costo delle bollette personali e andando ad aumentare l'efficienza energetica, tutto questo per contribuire a un fine al di sopra del singolo cittadino o della comunità, ovvero la decarbonizzazione del pianeta e l'indipendenza energetica dai combustibili fossili, principali fonti di emissioni inquinanti in atmosfera.

Le comunità energetiche sono diventate una questione di grande importanza, al punto che il Parlamento europeo ha deciso di promuovere e finanziare tre iniziative a sostegno dei cittadini intenzionati ad avviare questa pratica: l'“Energy Communities Repository”, ovvero l'archivio delle comunità energetiche, il “Rural Energy Community Advisory Hub”, che rappresenta il polo di consulenza della comunità energetica rurale e il “support service for Citizen-Led Renovation”, che è il servizio di supporto per il rinnovamento guidato dai cittadini.

L'Archivio delle Comunità Energetiche è stato lanciato nell'Aprile 2022, con lo scopo di supportare gli attori locali, le imprese e i cittadini, delle realtà urbane, intenzionati ad istituire una comunità energetica, fornendo a queste figure, supporto tecnico e amministrativo, inoltre è in grado di raccogliere dati sull'impatto di una determinata comunità, andando così a fornire informazioni sulle migliori pratiche utilizzabili in un determinato luogo.

Circa due mesi dopo questa prima proposta, è stato lanciato il Polo di Consulenza della Comunità Energetica Rurale, nel Giugno 2022, questo reparto svolge all'incirca le medesime pratiche di quello sopra descritto, con la differenza che, l'assistenza e le consulenze tecniche e amministrative, vengano rivolte ai soggetti residenti nelle aree rurali. Le sue attività principali però sono più mirate al coinvolgimento delle autorità locali, ma anche alla creazione di networking tra le attività presenti sul luogo, inoltre sono in grado di selezionare comunità energetiche rurali a cui offrire assistenza per una migliore riuscita del progetto. Questo hub di consulenza può essere quindi associato in parte all'Archivio delle Comunità Energetiche, ma con un'attenzione

particolare al lavoro congiunto tra autorità locali e residenti delle aree rurali. Anche per quanto riguarda gli edifici non di nuova costruzione, la Commissione Europea, ha istituito il Citizen-Led Renovation, un servizio di supporto per i cittadini intenzionati a ristrutturare le proprie abitazioni, in grado di assisterli finanziariamente ma anche tecnicamente e a livello informativo. Questo progetto, mette al centro del processo di transizione energetica, lo stesso cittadino, colui che decide come ristrutturare la propria casa e con le informazioni fornite dal supporto di esperti, è in grado di prendere le migliori decisioni per la sua abitazione e per l'ambiente.

“Attraverso il Clean energy for all Europeans package, adottato nel 2019, l'UE ha introdotto nella sua legislazione il concetto di comunità energetiche, in particolare come comunità energetiche di cittadini e comunità di energia rinnovabile” (Commissione Europea, Comunità energetiche, 2023).

Più specificamente, la direttiva sulle norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica (UE 2019/944) include nuove norme che consentono la partecipazione attiva dei consumatori, individualmente o tramite le comunità energetiche dei cittadini, in tutti i mercati, generando, consumando, condividendo o vendendo energia elettrica, o fornendo servizi di flessibilità attraverso la risposta alla domanda e lo stoccaggio. La direttiva mira a migliorare la diffusione delle comunità energetiche e a facilitare l'integrazione efficiente dei cittadini nel sistema elettrico, in qualità di partecipanti attivi.

Inoltre, la direttiva sulle energie rinnovabili (2018/2001/UE) mira a rafforzare il ruolo degli auto-consumatori di energia rinnovabile e delle comunità di energia rinnovabile. I paesi dell'UE dovrebbero pertanto garantire di poter partecipare ai regimi di sostegno disponibili, su un piano di parità con i grandi partecipanti.

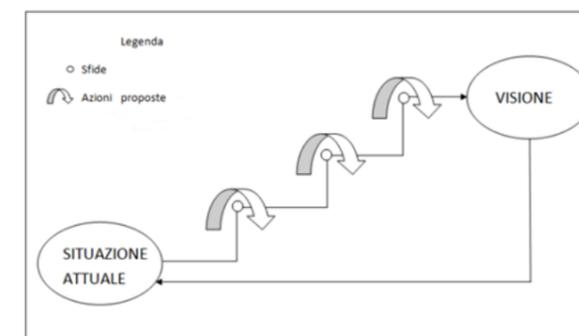
Consentire alle comunità di energia rinnovabile di produrre, consumare, immagazzinare e vendere energia rinnovabile contribuirà anche a migliorare l'efficienza energetica nelle famiglie, sostenere l'uso di energia rinnovabile e allo stesso tempo contribuire a combattere la povertà attraverso un ridotto consumo di energia e tariffe di fornitura più basse.

Che cos'è il progetto Roadmap 2050? La European Climate Foundation (ECF), ha deciso di svilupparlo per studiare e analizzare i vari percorsi da seguire per raggiungere, entro il 2050, un'economia europea in grado di assicurare bassissime emissioni di carbonio annue, tenendo in considerazione sempre, la sicurezza energetica, i risvolti ambientali ed economici.

Il progetto è composto da tre fasi:

- La Fase 1 è nata nel 2009 da parte dei capi di stato dell'UE e tutti i presenti del G8, l'obiettivo comune era quello di intraprendere un percorso per ridurre l'emissione dei gas serra in atmosfera, rispetto al 1990, del 80-95%, entro il 2050. Con l'aiuto dei migliori esperti nel settore, è nato il progetto Roadmap 2050, una guida pratica con concetti di fattibilità e applicazioni, per raggiungere questo obiettivo comune in tutti gli stati. L'approccio che gli esperti hanno seguito stabilisce come punto finale, quello dei risultati minimi desiderati per il 2050, generando così una serie di percorsi da seguire per raggiungerli. Il metodo utilizzato qua, non si basa sulla previsione, bensì sullo strumento del "back-casting", una visione introspettiva verso il futuro, se la previsione è in grado solamente di prendere lo stato attuale delle cose e prolungarlo per un determinato numero di anni, in questo caso con una visione sempre più pessimistica anno dopo anno, il back-casting, è in grado di valutare, quale potrebbe essere il futuro se anno dopo anno verranno attuate alcune proposte del progetto Roadmap 2050, viene proposto uno schema nella Figura 2. Per fare un esempio, la previsione nel 2009 era catastrofica riguardo al futuro, poiché le tendenze delle emissioni di gas serra, dell'inquinamento, dell'utilizzo di risorse non rinnovabili erano tutti fattori in continua crescita e con un'ottica futura di crescita esponenziale ogni anno. Osservando invece la tendenza futura, con l'introduzione di fattori migliorativi, si può ottenere, dopo vari tentativi, il risultato desiderato, ovvero una tendenza che arrivata ad un certo punto si inverte, quindi dopo essere salita e aver raggiunto un picco, incomincia la discesa per tornare a raggiungere livelli ambientali accettabili per la sopravvivenza della specie umana e del pianeta. Oltre all'apporto principale della European Climate Foundation (ECF), anche varie società di consulenza, ONG e centri di ricerca, hanno fornito un aiuto con l'apporto di consigli, critiche e progetti, che a volte sono stati presi in considerazione ed altre scartati.

Figura 2: Schema teorico dello sviluppo della metodologia back-casting



- Nell'Aprile 2010 viene proposta la Fase 2, la Power Perspectives 2030, sarebbe essenzialmente il primo step da raggiungere sul percorso di decarbonizzazione entro il 2050. In questo programma, si analizza e si fornisce una guida per riuscire ad arrivare al 2030 con una riduzione (sempre rispetto al 1990) del 60% circa delle emissioni di CO<sub>2</sub>, guardando principalmente ai cambiamenti da apportare al settore dell'elettricità. Power Perspective 2030 rileva che i piani esistenti per le energie rinnovabili e le reti di trasmissione fino al 2020, costituiscono un primo passo adeguato verso la decarbonizzazione, ma che la transizione deve accelerare verso il 2030 per rimanere in linea con l'obiettivo di abbattimento di CO<sub>2</sub> del 2050 per il settore energetico. Si richiede infatti un raddoppio degli investimenti per la maggiore produzione di energia elettrica tramite le fonti rinnovabili e un raddoppio della capacità della rete elettrica entro il 2030.
- La terza Fase consiste nel raggiungimento degli obiettivi, è stato deciso di chiamarla: "From Roadmaps to Reality". "From Roadmaps to Reality" descrive come l'attuale quadro energetico dell'UE può essere migliorato per sostenere il settore energetico verso la piena decarbonizzazione, in linea con la Energy 2050 Roadmap analysis. Il rapporto è stato sviluppato da un consorzio di autori di ECF, E3G, RAP e ClientEarth in consultazione con un ampio gruppo di aziende, ONG e soggetti accademici. Ritene che un mercato interno dell'energia pienamente integrato, in combinazione con un sistema di scambio di quote di emissione funzionante, sia il percorso più conveniente e sostenibile verso la decarbonizzazione. Tuttavia, i responsabili politici devono intraprendere azioni coraggiose per trasformare questa visione in realtà, favorendo le interconnessioni fisiche, attivando il lato della domanda, regionalizzando il funzionamento del sistema e indirizzando gli investimenti da asset ad alto tenore di

carbonio a quelli a basso tenore di carbonio. Nel frattempo, restano necessari interventi di mercato ben concepiti per sostenere le tecnologie rinnovabili, l'efficienza energetica e l'adeguatezza delle risorse.

Il rapporto conclude che i governi dell'UE dovrebbero lavorare per un quadro energetico dell'UE più forte che allinei gli obiettivi di liberalizzazione e decarbonizzazione del mercato, stabilisca strutture di governance chiare, anche a livello regionale, e aggiunga meccanismi di attuazione agli obiettivi del pacchetto clima ed energia 2030.

In che modo l'Unione Europea sarà in grado di ridurre le emissioni di gas serra entro il 2030 e abatterle quasi totalmente per il 2050? Nasce il progetto "Pronti per il 55%", tramite un accurato studio si cerca di capire come sarà possibile ridurre l'emissione dei gas serra del 55% entro il 2030, a seguito della normativa europea sul clima, che rende un obbligo giuridico, per tutti gli stati membri, questo obiettivo. Il pacchetto è composto da una serie di proposte (Figura 3), mirate ad aggiornare e rivisitare le normative dell'UE al fine di raggiungere gli obiettivi concordati nella Roadmap 2050, quali per esempio: riuscire ad ottenere una transizione equa per tutti ed equilibrata, oltre che mantenere l'Europa al primo posto nella lotta contro i cambiamenti climatici e inoltre rendere l'industria europea priva di impatto ambientale, ma pur sempre economicamente competitiva con quelle degli altri stati. Per passare dagli obiettivi climatici alla legislazione europea, la proposta è soggetta a una serie di revisioni tra i vari organi europei. La Commissione trasmette le proposte al Parlamento e al Consiglio dell'UE, all'interno di quest'ultimo avvengono una serie di ragionamenti tecnici tra i rappresentanti dei 27 stati membri. Sulla base dei lavori svolti a livello di esperti in sede di gruppo, il Comitato dei rappresentanti permanenti (Coreper) prosegue le discussioni per preparare il terreno per un accordo relativo a una posizione del Consiglio su ciascuna proposta legislativa. Dopodiché i ministri si riuniscono in sede di Consiglio e discutono le varie proposte, fino al raggiungimento di un accordo comune. Da qui inizia un dialogo tra il Consiglio, il quale detiene la carica di presidenza, il Parlamento europeo e la Commissione europea. Dopo il raggiungimento di un accordo tra le parti, i testi di compromesso sono adottati formalmente dal Consiglio e dal Parlamento prima di entrare a far parte del diritto applicato da tutti gli Stati membri.

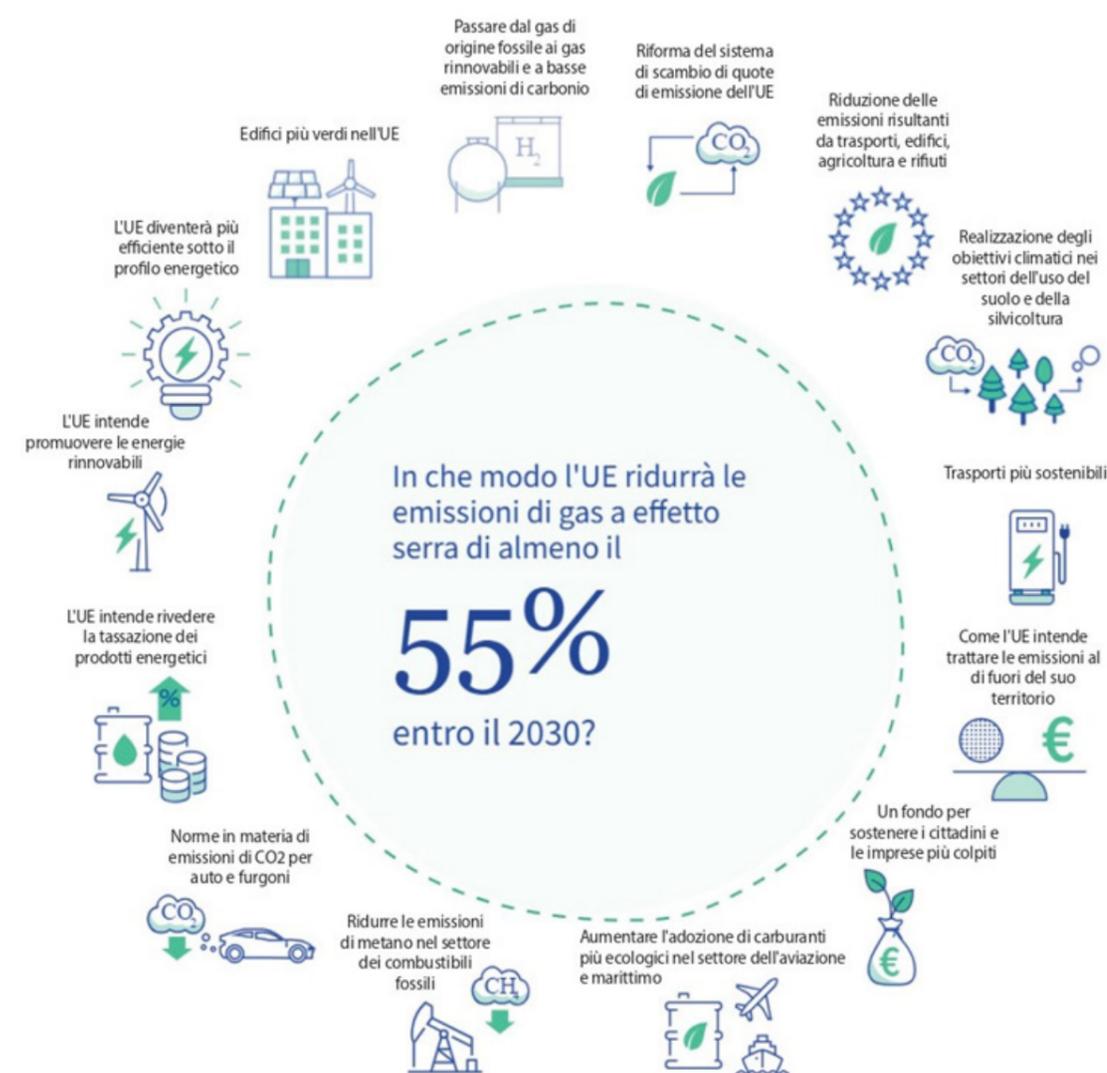


Figura 3: In che modo l'UE ridurrà le emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030?

## 1.2 Energia del presente e del futuro

Questa tesi vuole approfondire il tema dell'energia rinnovabile, più nel dettaglio, quella generata dai parchi fotovoltaici. Tutte le forme di impianti per la produzione di energia generano un impatto negativo sull'ambiente, in alcuni casi si tratta di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo, come nel caso degli impianti alimentati con combustibili fossili, mentre nel caso di impianti alimentati con fonti di energia rinnovabile, l'inquinamento dell'ambiente durante la vita utile è pressoché nullo, bisogna però fare i conti con l'utilizzo di materiali iniziale, la produzione delle tecnologie per lo sfruttamento delle risorse rinnovabili, lo smaltimento a fine vita e con l'impatto visivo, quindi prettamente estetico, all'interno del contesto paesaggistico.

Col passare del tempo, le nostre abitazioni e le nostre città subiscono alcune trasformazioni in linea con i mutamenti che avvengono nella società e nei progressi tecnologici. Osservando le tendenze attuali, che riguardano soprattutto l'ambiente e la tecnologia, è possibile fare previsioni riguardo alle case e metropoli del futuro. Negli ultimi anni ci si è focalizzati sulla tutela dell'ambiente, cercando di trovare soluzioni ai problemi di inquinamento, rifiuti urbani e all'elevato consumo di energia che hanno caratterizzato finora le nostre città. Sicuramente uno dei principali settori nel quale si è dovuto ragionare maggiormente, è stato proprio quello dell'edilizia, privata e urbana, anche perché è ormai noto che questo settore ogni anno sia quello che contribuisce maggiormente alle richieste energetiche, alla produzione di rifiuti e all'utilizzo di materiali.

Ma di quanta energia ha bisogno una città per funzionare? E soprattutto quanta energia elettrica servirà nella città del futuro, dove automobili, impianti di riscaldamento/raffreddamento e elettrodomestici (Figura 4) saranno alimentati solo dall'elettricità?

Al momento, molte delle sfide ambientali e sociali più rilevanti associate allo sviluppo urbano sono legate a un consumo energetico sproporzionatamente elevato, alle emissioni di gas serra, alla vasta impronta ecologica e al consumo eccessivo di risorse (terra, combustibili fossili, acqua, cibo). Secondo le ultime previsioni dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA) (IEA, 2022), la domanda di energia elettrica nel mondo dovrebbe avvicinarsi ai 42.000 TWh entro il 2050, quasi l'80% in più rispetto al livello attuale. In un giorno si consumano oltre 350 TWh, di cui oltre l'80% non proviene da fonti

rinnovabili (Worldmeter, 2022).

L'elettricità è fondamentale per il nostro stile di vita: dagli usi residenziali e domestici, al tempo libero e agli scopi industriali. Con l'espansione demografica, la crescita economica, lo sviluppo dei sistemi di trasporto e l'espansione urbana, anche la domanda di elettricità è cresciuta. Secondo una previsione fatta nel 2019 dall'IEA, la domanda globale di energia elettrica crescerà del 2,1% annuo fino al 2040 con un aumento della domanda di 13.000 terawattora (TWh) nel 2040 rispetto ad oggi (IEA, 2021). Infine, molti studiosi considerano le città i maggiori consumatori di energia elettrica.

In questo scenario multiforme, il 2020 ha segnato un risultato importante: per la prima volta, le energie rinnovabili hanno superato i combustibili fossili come principale fonte di energia dell'UE (38% dell'elettricità dell'UE, combustibili fossili 37% e nucleare 25%). Inoltre, la quota di fonti energetiche rinnovabili nel mix energetico complessivo dell'UE ha raggiunto almeno il 22%, sebbene alcuni Stati membri siano lontani dal loro obiettivo nazionale vincolante. L'Italia si colloca tra i migliori Paesi per performance in termini di sfruttamento delle energie rinnovabili, ha raggiunto in anticipo gli obiettivi europei al 2020, a partire dal 2014: nel settore elettrico, il 37% dei consumi italiani nel 2020 è stato soddisfatto da fonti rinnovabili (solare, fotovoltaico, idraulico, geotermico, bioenergia) (GSE, 2021).

Quindi la risposta non è immediata e rientra in un range abbastanza vario a seconda del tipo di città, della quantità di abitanti e del clima. Secondo una ricerca effettuata dal blog giornalistico "ambiente e non solo..." intitolata "I consumi energetici dei 107 comuni capoluogo di provincia e città metropolitana" redatta il 14 Settembre 2022, è risultato che la città di Torino, per esempio, con una popolazione di 848.885 abitanti abbia consumato 2.346 GWh in un anno con un consumo pro capite di 2.764 kWh/abitante con una media giornaliera di circa 8 kWh/abitante, dell'energia elettrica totale richiesta dalla città solo l'1% è prodotta da impianti ad energia rinnovabile, più precisamente 22,5 GWh l'anno. La restante quota parte di produzione energetica, viene generata da impianti alimentati da combustibili fossili, convenzionalmente espressa in gas metano, che sempre per la città di Torino risulta essere composta da 426 milioni di m<sup>3</sup> di gas metano/anno, per un totale di 501,8 m<sup>3</sup>/abitante, ossia 1,5 m<sup>3</sup> di gas metano per abitante ogni giorno.

Per rispondere alle necessità energetiche delle città, c'è bisogno quindi, della presenza di centrali elettriche, che bruciando combustibili fossili come gas,

carbone e derivati del petrolio. Questi processi però sono alquanto energivori e durante la combustione emettono grandi quantità di anidride carbonica e altri inquinanti nell'aria, contribuendo all'effetto serra e al cambiamento climatico. Prendendo sempre il caso di Torino, si può affermare, che se 1 m<sup>3</sup> di metano produce 1,8 kg di CO<sub>2</sub> equivalente, all'anno immetterà in ambiente circa 767 milioni di kg di CO<sub>2</sub> equivalente, con una media pro capite di 901 kg di CO<sub>2</sub> equivalente.

Ora bisogna capire se tutto questo potrà essere sostituito dalle fonti di energia rinnovabile nella città del futuro. Partendo dalla semplice abitazione privata, bisogna considerare, come dagli anni 2000 ad oggi il numero di apparecchiature alimentate ad energia elettrica sia aumentato, più precisamente in Italia in questi venti anni circa, gli elettrodomestici hanno subito una crescita del 50%, dato in continuo aumento, basti pensare alle lavatrici, le lavastoviglie, gli aspirapolveri robot, i forni a microonde, ma anche tutta quella "nuova" oggettistica che ogni giorno crea prodotti innovativi, come i cavatappi elettrici, lo spremi agrumi, la friggitrice ad aria e molto altro ad esempio vedi Figura 4.

Figura 4: Un esempio degli elettrodomestici più utilizzati nel mondo



Come si può immaginare con il tempo questi prodotti saranno sempre di più e saranno in grado di sostituire ogni azione domestica dell'uomo, generando una crescita costante sulla richiesta energetica.

Sorge poi la domanda sulla questione delle auto elettriche, dopo che Akio Toyoda, il numero uno della Toyota, ha affermato che "le auto elettriche presentano costi sociali e ambientali ancora insostenibili. Il litio e il cobalto, materiali necessari per la produzione delle batterie, sono difficili da trovare e da smaltire: se anche volessimo sostituire l'intero parco veicoli globale immediatamente, le riserve di questi due metalli oggi non basterebbero a soddisfare la domanda, così come l'intera produzione elettrica oggi disponibile non sarebbe sufficiente a garantire le ricariche..." (Eideh, 2021). Ipotizzando

la realizzabilità in Italia, di uno stato con il 100% delle auto elettriche, se per esempio, una famiglia tipo composta da 3/4 componenti, che abiti in un alloggio di circa 100 metri quadrati necessita di un contatore da 3 kW di potenza impiegata e in un anno utilizza circa 2700 kWh. Una colonna per le ricariche delle auto in casa in media necessita di un contatore con potenza impiegata di 5,7 kW e per calcolare quanta elettricità serve all'auto in un anno moltiplichiamo i km medi percorsi da un automobilista, 12.000 circa, per i Wh/km richiesti per una vettura elettrica nella media che equivalgono a 125, il risultato è 1500 kWh all'anno. Da questi dati si comprende la difficoltà nella realizzazione di questo progetto, visto che una famiglia dovrebbe aumentare di circa 1/3 la richiesta di potenza impiegata solo per l'aggiunta di un'auto (contatore per l'auto circa il doppio di richiesta rispetto a quello già presente per tutto il fabbisogno casalingo), inoltre l'auto elettrica consuma poco più della metà di energia rispetto a un appartamento, vorrebbe dire che ogni anno tutte le famiglie avrebbero bisogno del 55% in più dell'elettricità. Secondo un'analisi condotta nel 2021 dalla British Petroleum, una delle quattro maggiori compagnie petrolifere del Pianeta, si è andato ad analizzare, in base alla richiesta energetica, quanto le fonti rinnovabili fossero in grado di soddisfare la domanda globale. I grafici si riferiscono ai dati contestualizzati nel mondo e a quelli relativi allo Stato italiano. È evidente che la percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili, rispetto a quella generata dai combustibili fossili, sia ancora molto bassa seppure in costante crescita, sia in Italia che nel mondo. La transizione energetica ha bisogno di tempo, poiché richiede un cambiamento non indifferente delle società e delle infrastrutture. Nel Grafico 1 si può notare la percentuale di energia primaria (cioè l'energia utilizzata per generare elettricità, calore o per i trasporti) ricavata da fonti rinnovabili rispetto al mix energetico mondiale e italiano.

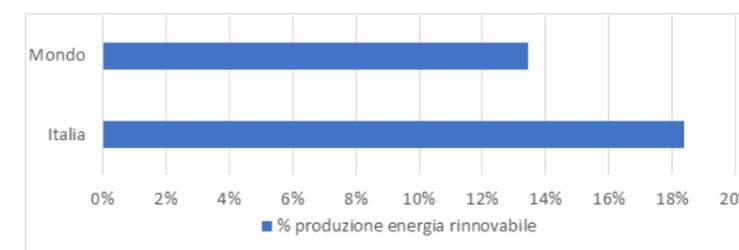


Grafico 1: Share of primary energy from renewable sources, include hydropower, solar, wind, geothermal, bioenergy, wave and tidal; Our World in Data, 2021  
Note: Primary energy is calculated using the substitution method which takes account of the inefficiencies energy production from fossil fuels

Dal Grafico 1 emerge chiaramente che l'Italia con il 18,36% di energia primaria generata da fonti rinnovabili, è al di sopra della media globale, dove questa quota si ferma al 13,46%.

“Considerando la quota di energia primaria utilizzata per la produzione di elettricità, nel mondo la fonte rinnovabile nettamente più rilevante è quella idraulica (in particolare l'idroelettrico), seguono l'eolico, il solare e poi tutte le altre. Parlando di numeri, dei 7.931 TWh (terawattora) di energia elettrica generata a livello globale da fonti rinnovabili nel 2021, circa 4.274 TWh (quasi il 54%) sono derivati dallo sfruttamento della fonte idrica, circa 1.862 TWh (più del 23%) dall'eolico e circa 1.033 TWh (pari al 13%) dal solare” (Grafico 2) (Beloli, 2022).

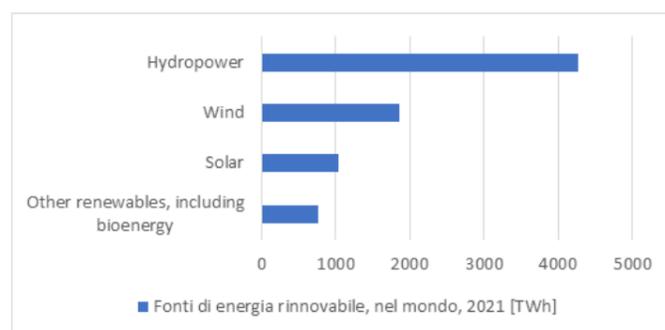


Grafico 2: Modern renewable energy generation by source, World, 2021; Our World in Data, 2021

“L'Italia presenta una classifica leggermente diversa rispetto a quella mondiale. Osservando i dati forniti dal MITE (Ministero della Transizione Ecologica), la prima e unica somiglianza è la prevalenza dell'idroelettrico. Nel 2021, a fronte di una generazione totale di energia elettrica da fonti rinnovabili pari a 114,7 TWh, l'idroelettrico è valso 44,7 TWh (il 39%). Di seguito troviamo il solare, equivalente a 25 TWh (il 21,8%), l'insieme di varie fonti rinnovabili con 24,2 TWh (il 21,1%), e l'eolico con 20,8 TWh (il 18,1%)” (Grafico 3) (Beloli, 2022).

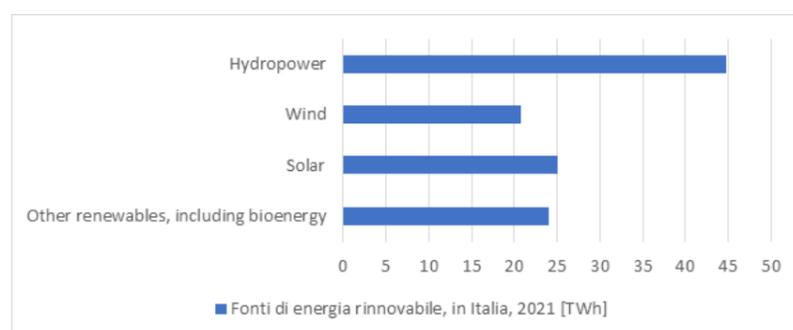


Grafico 3: Modern renewable energy generation by source, Italy, 2021; Our World in Data, 2021

Di seguito invece viene proposto un confronto tra le fonti di energia maggiormente utilizzate dagli anni 2000 al 2022 (Figura 5 e Figura 6). La produzione di energia generata dalle fonti solari, fino al 2010 era quasi del tutto inesistente nel mondo, quella eolica ha avuto i suoi primi impieghi verso la fine del '900, mentre quella idroelettrica è presente da molti più anni. Si può notare come l'utilizzo di gas in Italia sia molto al di sopra rispetto alla media mondiale, questo dato viene invertito quando si parla del carbone, che in Italia ricopre una percentuale molto bassa mentre nel mondo è una delle fonti più utilizzate. Per ultima l'energia nucleare, in forte calo nella media mondiale e totalmente assente in Italia.

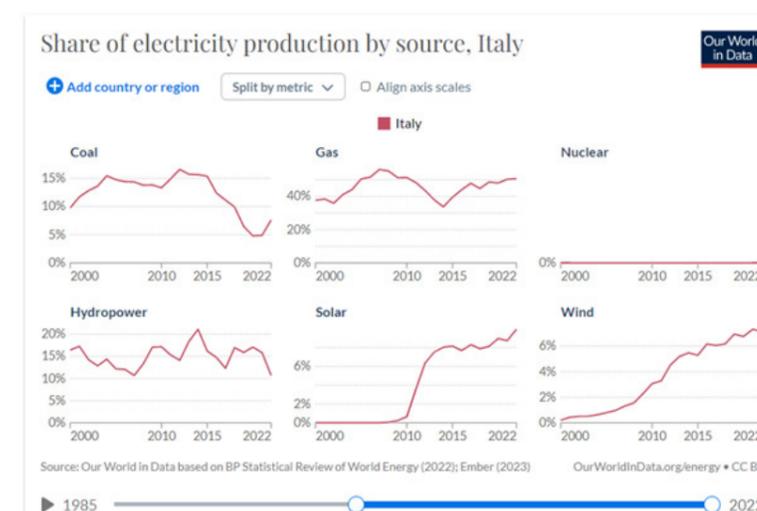


Figura 5: Share of electricity production by source, Italy

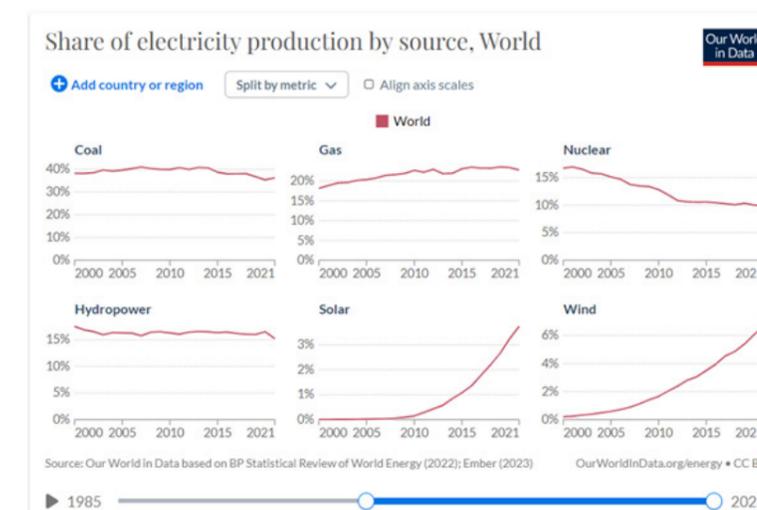


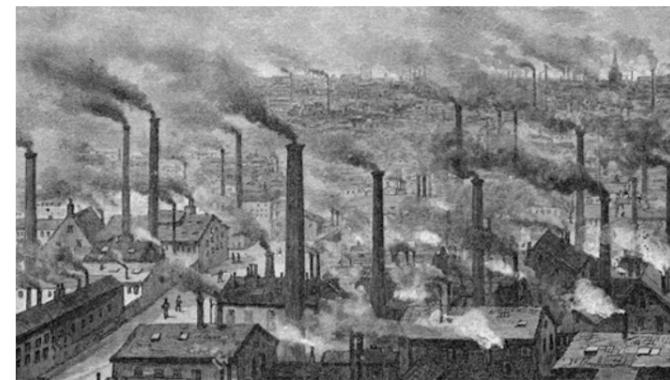
Figura 6: Share of electricity production by source, World

# 02

## Tecnologie energetiche da fonti rinnovabili e comunità energetiche

### 2.1 Analisi critica delle fonti rinnovabili

La caratteristica principale delle forme di energia rinnovabile, è che possono essere utilizzate continuamente senza mai arrivare all'esaurimento, questo accade perché sono basate sull'utilizzo di fonti naturali quali il sole, il vento, l'acqua, la biomassa e il calore della terra. Queste forme di energia sono presenti da sempre sul pianeta terra e dureranno fino a quando il nostro pianeta continuerà a vivere, a differenza delle fonti di energia ricavate dalla combustione di fonti fossili. Le fonti di energia fossili sono quelle che derivano da materiali organici, come piante e animali, che si sono decomposti e fossilizzati nel corso di milioni di anni, trasformandosi in petrolio, gas e carbone. Il carbone è utilizzato principalmente come combustibile per la produzione di energia elettrica; il gas trova il suo principale utilizzo nella generazione di energia elettrica e nella produzione del riscaldamento domestico; il petrolio invece è il principale combustibile per l'alimentazione di tutti i mezzi di trasporto e tutti i macchinari messi in funzione tramite un motore a scoppio, ma è anche fondamentale per la produzione di materiali plastici. Dalla seconda rivoluzione industriale le fonti di energia fossili sono state le principali fonti di energia per l'umanità (Figura 7), in qualche decina di anni questi combustibili hanno stravolto le società, donando tecnologie mai viste prima di allora. Purtroppo insieme alle infinite caratteristiche positive di questi materiali eccezionali, sono sopraggiunte alcune conseguenze negative. Inizialmente si pensava che le fonti fossili fossero infinite, con il tempo però ci si è resi conto che le riserve di questi materiali erano limitate, inoltre è risultato che i fumi emessi durante la combustione, fossero nocivi per le persone e per l'ambiente, con conseguenze disastrose sui cambiamenti climatici del nostro pianeta.



*Figura 7: La città di Manchester durante la seconda rivoluzione industriale, caratterizzata dai tipici camini utilizzati nella combustione del carbone*

Le fonti di energia rinnovabile come già introdotto in precedenza, sono infinite e inesauribili, in aggiunta sono in grado di generare energia provocando, solo in alcuni casi, impatti negativi minimi all'ambiente. Le tecnologie, messe a punto dall'uomo, per sfruttare questi prodotti naturali, trasformandoli in energia, sono molteplici e più specificatamente queste:

1. Energia solare, pannelli solari/fotovoltaici, "i pannelli fotovoltaici, costituiti dall'unione di più celle fotovoltaiche, convertono l'energia dei fotoni in elettricità. Il processo che crea questa energia viene chiamato effetto fotovoltaico, ovvero il meccanismo che, partendo dalla luce del sole, induce la stimolazione degli elettroni presenti nel silicio di cui è composta ogni cella solare.

Quando un fotone colpisce la superficie della cella fotovoltaica, la sua energia viene trasferita agli elettroni presenti sulla cella in silicio. Questi elettroni vengono eccitati e iniziano a fluire nel circuito producendo corrente elettrica (Figura 8). Un pannello solare produce energia in corrente continua, sarà poi compito dell'inverter convertirla in corrente alternata per trasportarla ed utilizzarla nelle reti di distribuzione. Gli edifici domestici e industriali, infatti, sono predisposti per il trasporto e l'utilizzo di corrente alternata." (Fotovoltaico norditalia, 2022).

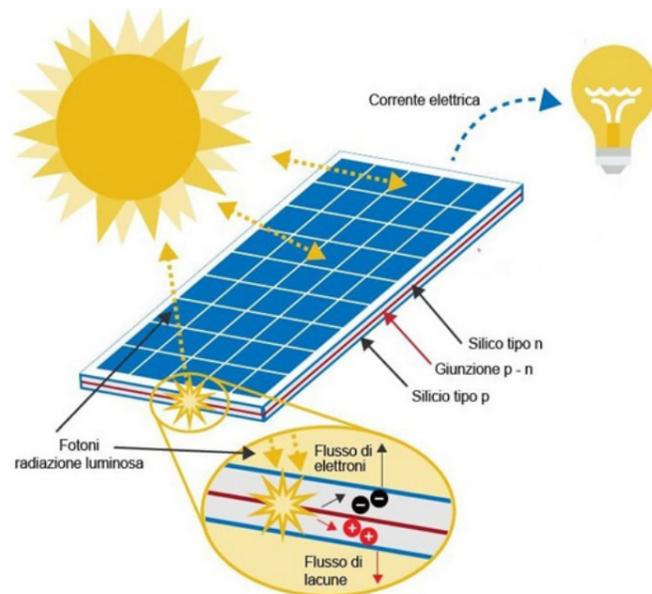


Figura 8: Come producono l'elettricità i pannelli fotovoltaici

2. Energia eolica, le turbine eoliche sono costituite da pale montate su un asse che viene fatto ruotare dalla forza del vento. Questo asse è collegato a un generatore elettrico che converte l'energia cinetica delle pale in energia elettrica. Le turbine eoliche sono progettate per ruotare in modo ottimale con venti di una determinata velocità e direzione, questi impianti infatti sono installati in luoghi dove il vento soffia in modo costante e forte, come in cime di colline, montagne, coste o in mare aperto. L'energia elettrica prodotta dalle turbine eoliche è in corrente alternata e viene trasportata tramite cavi elettrici ad alta tensione alla rete elettrica nazionale, dove viene distribuita ai consumatori (Figura 9).

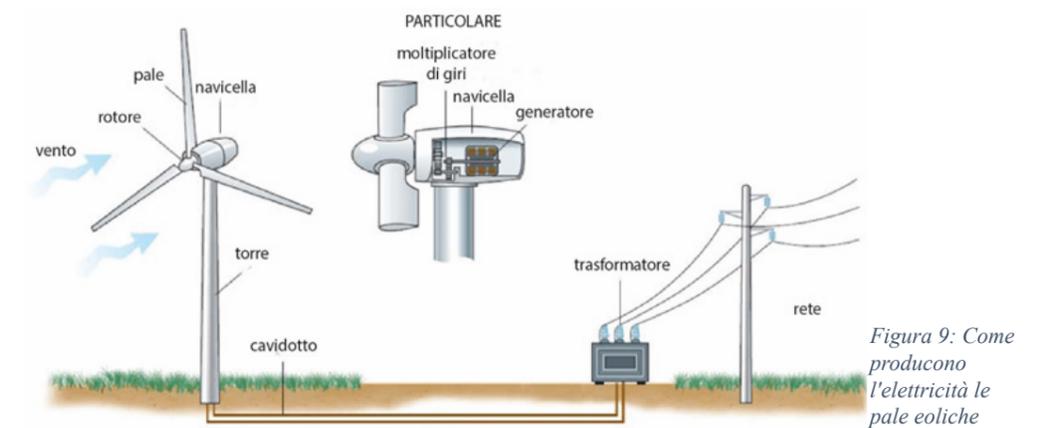


Figura 9: Come producono l'elettricità le pale eoliche

3. Energia idroelettrica, la generazione avviene in maniera molto simile all'eolico, infatti entrambe le tecnologie sfruttano turbine, le quali dopo essere state attraversate da un fluido, in questo caso l'acqua, vengono messe in movimento generando una determinata energia cinetica, che tramite trasformatori appositi viene convertita in energia elettrica alternata. L'energia idroelettrica viene generata sfruttando l'energia cinetica e potenziale dell'acqua in movimento, come quella dei fiumi o delle cascate. Inoltre l'acqua dei corsi naturali, viene convogliata, dall'uomo, in dighe o bacini artificiali, a seguito di un accumulo costante e controllato, si genera una differenza di altezza tra il livello dell'acqua raccolta nel sito artificiale e quella a valle del corso d'acqua naturale. Questa differenza di altezza viene chiamata salto, ossia il dislivello tra serbatoio di monte e bacino di scarico, in questa caduta si crea una pressione idrostatica che viene utilizzata per far girare le turbine. Le turbine, come prima citato, sono molto simili a quelle eoliche, infatti sono costituite da pale montate su un asse che viene fatto ruotare dall'acqua in pressione, a sua volta collegato a un generatore elettrico che converte l'energia cinetica

dell'acqua in energia elettrica utilizzabile (Figura 10) (Dolce, 2021).

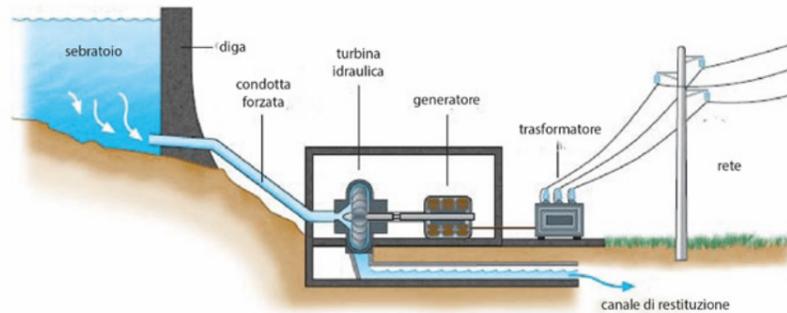


Figura 10: Come produce l'elettricità una turbina idroelettrica

4. Biomassa, “per biomasse si intendono tutte quelle sostanze di origine biologica, vegetale o animale, che non hanno subito processi di fossilizzazione, tramite determinate trasformazioni possono produrre energia elettrica e/o energia termica. Le biomasse vengono bruciate all'interno di una camera di combustione: il calore così generato viene utilizzato per produrre energia elettrica o come fonte di riscaldamento. La combustione delle biomasse rilascia calore che trasforma in vapore l'acqua della centrale termodinamica. Grazie a questo vapore, la centrale a biomasse genera elettricità, mettendo in funzione una turbina collegata ad un alternatore, il vapore fa ruotare la turbina che, a sua volta, mette in rotazione l'alternatore, il quale produce corrente elettrica alternata. Il vapore che esce dalla turbina viene trasformato in acqua da un condensatore e viene quindi reintrodotta nella caldaia. Gli impianti a biomasse favoriscono il riutilizzo dei rifiuti, come gli scarti agricoli, ma anche urbani e industriali.” (Figura 11) (Acea, 2021).

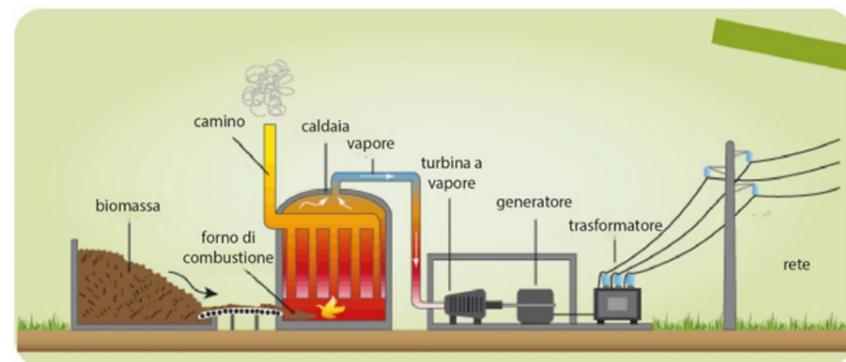


Figura 11: come produce l'elettricità un impianto alimentato a biomassa

5. Geotermico, gli impianti di questo genere funzionano grazie al calore incorporato nel sottosuolo terrestre, che rimane costante da migliaia di anni grazie a tre fattori principali: “il calore presente nel nucleo, che ha bisogno di miliardi di anni per raffreddarsi; il calore prodotto dal decadimento degli isotopi radioattivi (uranio e altri); il calore prodotto dalla radiazione solare, che interessa i primi metri della superficie terrestre” (ARPAT, 2023). Considerando che ogni 100 metri di profondità, verso il nucleo terrestre, la temperatura sale di circa 3°C, grazie alla tecnologia geotermica si costruiscono impianti in grado di scendere a qualche chilometro per raggiungere temperature di 140-160°C. Quindi si innestano delle tubazioni con un liquido all'interno, in grado di scendere dalla superficie fino alla base dei pozzi, questo sottoposto a forti pressioni e a temperature elevatissime si trasforma in vapore, che risale da una seconda rete di tubazioni. Quando il vapore arriva alla centrale in superficie, può essere utilizzato sia come fonte di energia termica, per riscaldare o raffreddare gli ambienti (tramite apposite tecnologie), oppure può essere utilizzato per far ruotare una turbina, generando energia cinetica che in un secondo momento verrà trasformata in energia elettrica (Figura 12).

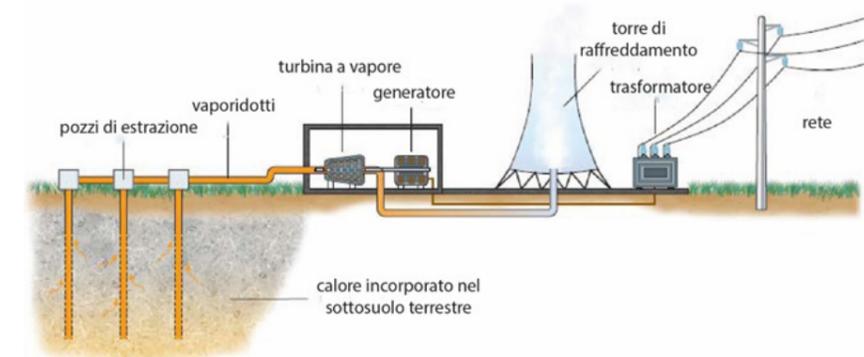


Figura 12: Come produce l'elettricità un impianto geotermico

Anche le tecnologie per l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, purtroppo, non sono prive di effetti negativi. Come quella per l'energia solare, dove i pannelli solari hanno bisogno di spazio per essere installati e spesso occupano grandi porzioni di terreno, andando a sottrarlo ad altre attività, come l'agricoltura, l'allevamento di bestiame o la pura conservazione della natura. Inoltre la produzione di pannelli solari non è priva di impatti ambientali, infatti richiede l'utilizzo di materiali e sostanze chimiche dannosi per l'e-

cosistema. Oppure gli impianti per l'energia eolica, che con le grandi pale eoliche, compromettono l'impatto visivo sul paesaggio circostante, l'effetto è ancora peggiore quando vengono posizionate in aree naturali o di pregio ambientale. In più la rotazione delle pale genera una grande quantità di rumore, non permettendo alle persone che abitano nei dintorni un comfort di vita ottimale, oltre che essere un vero pericolo per la fauna selvatica, in particolare per gli uccelli che spesso colpiscono, o vengono colpiti dalle pale. Anche gli impianti idroelettrici sono responsabili di grandi impatti ambientali, come la costruzione di dighe o di bacini artificiali, ma anche l'alterazione del corso dei fiumi, possono contribuire alla perdita di habitat naturali per la fauna selvatica. Le modifiche di questo genere, ai corsi d'acqua naturali, possono ostacolare la migrazione dei pesci e influire sulla loro riproduzione. In rarissimi casi, le dighe o i bacini artificiali, se mal progettati dall'uomo o in mancanza di un'attenta manutenzione o in seguito a fenomeni atmosferici molto violenti, possono cedere, con conseguenze catastrofiche per l'ambiente naturale e per gli umani. L'utilizzo di biomassa come fonte di energia, è probabilmente quella meno "rinnovabile" e l'unica che nella generazione presenta impatti ambientali come l'emissione di gas a effetto serra, infatti la combustione delle biomasse rilascia in ambiente gas come il biossido di carbonio, il metano e l'ossido di azoto, che contribuiscono al cambiamento climatico. Ma richiede anche l'utilizzo di risorse naturali, terreni e acqua, che possono andare a modificare la biodiversità di alcune zone e togliere aree per le coltivazioni alimentari. Inoltre l'utilizzo di biomasse può causare effetti di deforestazione, con conseguenze gravi sulla capacità delle foreste di assorbire CO<sub>2</sub>. Infine l'energia geotermica, può causare alcuni effetti negativi per via della perforazione molto profonda del sottosuolo terrestre e per l'estrazione di acqua calda. Questa attività può provocare l'alterazione delle acque sotterranee, la riduzione del flusso dei fiumi e l'emissione di gas serra come l'anidride carbonica e il metano. Per via dell'alterazione in profondità del terreno, le attività di produzione energetica geotermica possono aumentare il rischio sismico di alcune zone.

Una categoria a parte, ma degna di essere citata, è quella dell'energia nucleare. Non ha una vera e propria categorizzazione, poiché non può essere definita né rinnovabile né fossile. L'energia nucleare utilizza fonti radioattive quali l'uranio e il plutonio per generare la fissione atomica e quindi produrre grandi quantità di energia. Questi due materiali si formano solamente nel

nucleo delle supernove, quindi sono risorse limitate e non rinnovabili nel tempo. Dall'altro lato non può essere considerata un'energia alla pari dei combustibili fossili poiché è priva di emissioni di gas a effetto serra.

Come per qualsiasi fonte energetica, rinnovabile o non rinnovabile, ci sono pro e contro nell'utilizzo dell'energia nucleare. L'energia nucleare produce una grande quantità di elettricità senza emettere carbonio nell'ambiente, necessita di un'area terrestre relativamente piccola per funzionare ed è un'ottima fonte di energia per un'alimentazione di base affidabile per la rete elettrica. D'altro canto, il nucleare è tecnicamente una fonte di energia non rinnovabile, gli impianti nucleari hanno un costo iniziale elevato ad essi associato, inoltre i rifiuti nucleari e il malfunzionamento degli impianti nucleari possono portare a conseguenze catastrofiche per la salute umana e dell'ambiente.

Quindi i principali vantaggi sono:

- Elettricità senza emissioni di carbonio, mentre le fonti tradizionali di produzione da combustibili fossili emettono enormi quantità di anidride carbonica (la causa principale del cambiamento climatico globale) nell'atmosfera, gli impianti di energia nucleare non producono anidride carbonica, né alcun inquinamento atmosferico, durante il funzionamento. Questo però non vuol dire che non inquinino affatto: il processo di estrazione, raffinazione e preparazione dell'uranio utilizza energia, e le scorie nucleari rappresentano un problema ambientale completamente separato.
- Piccola impronta terrestre, rispetto ad altri comuni impianti di energia pulita (in particolare energia eolica e solare), gli impianti di energia nucleare occupano molto meno spazio fisico. Secondo il Dipartimento dell'Energia, un tipico impianto nucleare che produce 1.000 megawatt (MW) di elettricità occupa circa un miglio quadrato di spazio. In confronto, un parco eolico che produce la stessa quantità di energia, occupa 360 volte in più di superficie, mentre un parco solare su larga scala utilizza 75 volte in più di spazio (U.S. Department of Energy, 2021).
- Fonte di energia affidabile, grazie alla sua produzione costante e alla sua accessibilità. Le centrali nucleari producono alla loro massima potenza più spesso rispetto a qualsiasi altra fonte di energia e, grazie a questa caratteristica 24 ore su 24, ciò rende l'energia nucleare una fonte ideale per la stabilità della rete.

Mentre i principali svantaggi, i quali hanno caratterizzato vari dibattiti negli

anni all'interno dei diversi stati del mondo, sono:

- L'uranio non è rinnovabile, come già descritto in precedenza, questo materiale si trova in quantità limitate sul pianeta terra, quindi prima o poi si esaurirà del tutto, rendendo impossibile la generazione di energia tramite la fissione nucleare.
- Costi iniziali elevati, gestire una centrale nucleare ha un costo relativamente basso, ma costruirla ex novo, comporta un alto numero di spese. I reattori nucleari sono dispositivi complessi che richiedono molti livelli di sicurezza attorno ad essi, il che fa aumentare il costo dei nuovi impianti nucleari.
- Scorie nucleari, questi rifiuti equivalgono agli scarti generati dalla produzione di energia tramite fissione nucleare, l'aspetto negativo è che essi restano radioattivi per molti anni, quindi risultano estremamente pericolosi per l'uomo e l'ambiente. Per questo motivo i governi spendono enormi quantità di denaro per imballare e smaltire in modo sicuro le scorie, per fare ciò correttamente, è necessaria un'estrema attenzione e una tecnologia molto avanzata. Inoltre nessuno è disposto a vivere vicino a una discarica di scorie nucleari, quindi si creano ulteriori problematiche, relative alla collocazione di questi rifiuti.
- I malfunzionamenti possono essere catastrofici, le cause possono essere molteplici, come la perdita di pressurizzazione all'interno del nucleo, oppure un guasto al liquido refrigerante del nucleo, o ancora un incendio all'interno della centrale. Questi problemi potrebbero comportare il rilascio di vapori radioattivi o addirittura esplosioni nucleari. Con conseguenze devastanti per l'essere umano, gli animali, e la natura sia a breve che a lungo raggio dal luogo dell'incidente, anche a distanza di anni.

Inizialmente le centrali nucleari sembravano la soluzione a tutti i problemi energetici del mondo, dopo l'incidente alla centrale di Chernobyl, si prese coscienza dell'altissimo rischio a cui si andava incontro, così molti paesi decisero di chiudere le proprie centrali, ancora oggi questi paesi non ritengono che il beneficio energetico fornito dal nucleare possa superare i danni creati in caso di catastrofi nelle centrali.

## 2.2 L'analisi LCA in relazione al ciclo di vita dei pannelli fotovoltaici

“Che cos'è il Life Cycle Assessment: Il Life Cycle Assessment (LCA) è una metodologia analitica e sistematica che valuta l'impronta ambientale di un prodotto, lungo il suo intero ciclo di vita. Il calcolo spazia infatti dalle fasi di estrazione delle materie prime costituenti il prodotto, alla sua produzione, distribuzione, uso e dismissione finale, restituendo i valori di impatto ambientale associati al suo ciclo di vita (Figura 13). [...] Al termine dei calcoli, il valore di impronta ambientale di un prodotto viene così restituito secondo diverse categorie di impatto, che rappresentano tutti i diversi impatti che questo genera nei vari comparti ambientali. [...] Una delle categorie di impatto considerate, è l'aumento dell'effetto serra antropogenico (Global Warming Potential), misurato sulla base della quantità di emissioni di CO<sub>2</sub>eq in atmosfera generate dai consumi di energia e materia dentro il ciclo vitale di un prodotto.



Figura 13: Infografica esplicativa sul processo dello strumento del LCA – Life Cycle Assessment (Analisi del ciclo di vita)

A cosa serve: L'LCA è la metodologia che si costituisce quale base tecnica per un'ampia gamma di azioni orientate all'aumento della sostenibilità dei prodotti e delle filiere, dal momento che aiuta a comprendere l'impatto generato verso l'ambiente da parte dei prodotti, servizi, sistemi economici e filiere produttive. Una volta definiti i confini del sistema (cioè il campo di analisi), uno studio di LCA consente di misurare l'impatto ambientale generato dai diversi processi produttivi in esso compresi, individuando quelli a maggior impatto e comprendendo così le performance ambientali di ogni ciclo produttivo in forma oggettiva e tecnicamente argomentata. Lo scopo ultimo è quello di poter operare una successiva gestione degli impatti che sono stati calcolati, tramite una loro riduzione e compensazione. Oppure, l'uso della tecnica del LCA permette di poter scegliere le modalità produttive ed i materiali caratterizzati da una minore impronta ambientale seguendo la Life Cycle Thinking: in questa logica le tecniche di LCA sono anche la base per l'Eco-progettazione, al fine di sviluppare prodotti e processi produttivi in chiave di maggiore eco-efficienza. Il Life Cycle Assessment (Valutazione del Ciclo di Vita) rappresenta uno degli strumenti fondamentali per l'attuazione di una Politica Ambientale Integrata dei Prodotti, nonché il principale strumento operativo del Life Cycle Thinking: come già introdotto, l'LCA quantifica in maniera oggettiva i carichi energetici ed ambientali, e quindi, l'impronta ambientale potenziale associata ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita (dalla culla alla tomba - from cradle to grave). Oppure, in una più corretta logica di circolarità, dalla culla alla culla. In riferimento ai materiali/materie prime costituenti i prodotti, per esempio, ragionare in logica di Life Cycle Thinking e operare valutazioni di LCA comparative permette di individuare i materiali a minore impronta ambientale: in questo modo l'LCA è quindi uno strumento che permette una potenziale sostituzione dei materiali/materie prime a maggiore impronta con materiali a minore impronta, al fine di aumentare la compatibilità ambientale di prodotti.

Utilizzi e fasi di lavoro: La rilevanza delle tecniche di LCA risiede principalmente nel loro approccio innovativo, che consiste nel riuscire a valutare tutte le fasi di un processo produttivo dalla culla alla tomba come correlate e dipendenti: tra gli strumenti nati per l'analisi di sistemi industriali, l'LCA ha quindi assunto in questi anni un ruolo importante ed è in forte crescita a livello di impieghi tecnici nazionali ed internazionali. A livello internazionale

la metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040, in base alle quali uno studio di Life Cycle Assessment (LCA) viene strutturato sulla base delle seguenti fasi di lavoro:

- definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi (ISO 14041),
- compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (ISO 14041),
- valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input e output (ISO 14042),
- interpretazione dei risultati (ISO 14043).” (Rete Clima, 2019).

L'analisi LCA diventa importante anche per le tecnologie considerate a impatto zero poiché, in risposta al problema dell'aumento del cambiamento climatico e della sicurezza energetica, gli investimenti nelle fonti energetiche rinnovabili sono aumentati in modo significativo sia in Europa che a livello globale. Si prevede, infatti, che le centrali eoliche e solari contribuiranno maggiormente alla decarbonizzazione globale, classificandosi al primo e al secondo posto in termini di capacità prevista entro il 2050. Poiché tutte le centrali elettriche hanno un certo impatto sull'ambiente, anche le centrali fotovoltaiche non ne sono prive e, a causa delle grandi dimensioni previste, è necessario valutarne l'impatto sull'ambiente. L'obiettivo è quello di migliorare la tecnologia di produzione dei componenti dei sistemi fotovoltaici, aumentare l'efficienza delle celle solari e utilizzare materiali meno dannosi per l'ambiente al fine di ridurre gli impatti. La produzione di componenti di sistemi fotovoltaici è un processo ad alta intensità energetica che comporta emissioni di gas serra. Man mano che viene costruita nuova capacità di energia rinnovabile, la quantità di elettricità “green” sulla rete aumenta, riducendo le emissioni di CO<sub>2</sub> per kWh consumato.

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di analizzare, ad oggi, l'impatto ambientale degli impianti fotovoltaici in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>, uso del suolo, emissioni inquinanti, utilizzo di materiali pericolosi e riciclo o smissione a fine vita. La capacità installata fino ad oggi raggiungerà la fine del suo ciclo di vita entro il 2050, il che significa che la quantità di rifiuti ad essa associata aumenterà costantemente nel tempo. Ciò può avere un impatto significativo sull'ambiente, c'è da capire se questo aspetto negativo sia in grado di oscurare, in parte, tutti gli effetti positivi della produzione di ener-

gia pulita, a impatto zero, durante il ciclo di vita degli impianti. Gli esperti del settore hanno anche effettuato le proprie stime sull'utilizzo del suolo, a proposito degli impianti fotovoltaici di nuova installazione, sulla base dei dati disponibili nel mercato globale. I risultati dell'analisi mostrano che sia in Europa che nel mondo c'è abbastanza terreno per installare la quantità di impianti fotovoltaici necessari al fabbisogno tra i pannelli sui tetti e quelli a terra (van de Ven, et al., 2021) (ITRPV, 2022).

Vediamo quindi il processo di Life Cycle Assessment (LCA), di un pannello fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, con le sue criticità dalla produzione, alla manutenzione, fino alla fase di dismissione e riciclo.

Alcuni degli impatti ambientali più significativi degli impianti solari fotovoltaici sono legati all'uso del territorio, alle emissioni di gas serra, ai materiali pericolosi e all'impatto visivo. L'uso del suolo si riferisce alla quantità e al tipo di terreno occupato da un impianto solare fotovoltaico, che può influenzare l'habitat naturale e la biodiversità dell'area. A seconda della posizione, delle dimensioni e della progettazione dell'impianto fotovoltaico, gli impatti sull'uso del territorio possono variare in modo significativo. Ad esempio, alcuni impianti fotovoltaici possono essere integrati in edifici o strutture esistenti, mentre altri richiedono lo sgombero o il livellamento di vaste aree di terreno. Alcuni impianti solari fotovoltaici possono anche condividere terreni con altri usi, come l'agricoltura o il pascolo, mentre altri possono spostare o frammentare l'habitat della fauna selvatica. L'impatto dei gas serra dipende principalmente dalle fasi del ciclo di vita degli impianti fotovoltaici, come produzione, trasporto, installazione, funzionamento e smantellamento. Ad esempio, la produzione di alcune celle fotovoltaiche richiede un elevato consumo di energia e materiali, il che può aumentarne l'impronta di carbonio. Tuttavia, le emissioni di gas serra degli impianti solari fotovoltaici durante il funzionamento sono pressoché nulle rispetto alle centrali elettriche convenzionali a combustibili fossili perché non bruciano carburante né emettono sostanze inquinanti. Per materiali pericolosi si intendono le sostanze utilizzate o generate durante la produzione e lo smaltimento degli impianti che potrebbero essere pericolose per l'ambiente e la salute umana se maneggiate o smaltite in modo improprio. Gli effetti dei materiali pericolosi dipendono dal tipo e dalla composizione delle celle e dei moduli FV utilizzati. Ad esempio, alcune celle fotovoltaiche contengono metalli tossici come cadmio o piombo che possono penetrare nel suolo o nelle acque sotterranee con gravi

conseguenze. Alcuni moduli fotovoltaici utilizzano anche sostanze chimiche come acido fluoridrico o acido solforico per la pulizia o l'incisione, che se rilasciate possono causare l'inquinamento dell'aria o dell'acqua.

#### 1. Uso del suolo

L'implementazione dei sistemi fotovoltaici richiede una quantità significativa di territorio, il che può rappresentare una sfida per la pianificazione dell'uso del territorio, la protezione ambientale e l'accettazione sociale. Dunque bisogna analizzare il fabbisogno di terreno per gli impianti solari fotovoltaici (sul tetto e a terra) in Europa e nel mondo fino al 2030 e le potenziali problematiche in questo contesto (ITRPV, 2022). Si tratta di un compito difficile per quanto riguarda l'ottenimento di informazioni precise, poiché scenari e ipotesi diversi possono portare a proiezioni diverse. La potenza cumulativa dei moduli installati a livello mondiale entro la fine del 2022 era di 1.198 GW. Secondo lo scenario "Zero emissioni nette entro il 2050" (International Energy Agency (IEA), 2021), si stima che la capacità fotovoltaica installata globale raggiungerà i 4.400 GW entro il 2030 e i 14 TW entro il 2050. La quota di capacità fotovoltaica sui tetti sarà di circa 1.800 GW, e la quota di capacità fotovoltaica terrestre sarà di circa 2600 GW. Per l'Europa, lo stesso rapporto stima la capacità fotovoltaica sui tetti a circa 300 GW e la capacità fotovoltaica su terra a circa 300 GW entro il 2030.

Per analizzare l'area necessaria in previsione delle capacità previste, è stata valutata l'area occupata dai nuovi impianti fotovoltaici sui tetti ( $m^2/kW$ ) e l'area dei sistemi fotovoltaici a terra ( $19 km^2/GW$ ) (Chatzipanagi, et al., 2022). Se alla superficie netta media di  $4,53 m^2/kW$  aggiungiamo il 10% per motivi di installazione, otteniamo  $5 m^2/kW$ . L'area necessaria per kW di potenza installata su scala territoriale varia a seconda del tipo di modulo (efficienza) e della distanza tra le file di moduli necessaria per prevenire un ombreggiamento significativo dei moduli, che dipende dalla latitudine dell'ubicazione della centrale elettrica.

La Tabella 1 mostra che il valore medio per i sistemi fotovoltaici su scala industriale è di  $19 km^2/GW$ . Sulla base dei dati di cui sopra, sulla capacità pianificata fino al 2030 e sull'occupazione dell'area per MW di capacità installata, la Tabella 1 mostra l'area necessaria per questo obiettivo.

	EUROPA			GLOBALE		
	Su tetto	Su terra	totale	Su tetto	Su terra	totale
Capacità pianificata (GW)	282	318	600	1804	2596	4400
Superficie Media (km <sup>2</sup> /GW)	5	19		5	19	
Area richiesta (km <sup>2</sup> )	1410	6042	7452	9020	49324	58344

Tabella 1. Area richiesta per l'energia fotovoltaica sui tetti e a terra fino al 2030

Da tutte le informazioni finora disponibili si può concludere che esiste spazio sufficiente per l'installazione di capacità fotovoltaica nell'UE e nel mondo, anche se è stato annunciato che la capacità pianificata nell'UE aumenterà da 600 GW a 900 GW nel 2030. Tuttavia, lo spazio disponibile non è distribuito equamente tra tutti gli Stati membri dell'UE. Ad esempio, Belgio, Lussemburgo e Paesi Bassi utilizzeranno la maggior parte dello spazio disponibile, mentre gli altri Stati membri utilizzeranno meno del 50% della capacità disponibile (Bódis, Kougias, Jäger-Waldau, Taylor, & Szabó, 2019).

Vanno inoltre menzionate le questioni più importanti relative all'uso del territorio per gli impianti fotovoltaici:

Conflitti sull'uso del territorio - gli impianti fotovoltaici montati a terra possono competere con altri usi del territorio, come l'agricoltura, l'allevamento di bestiame, la conservazione o lo sviluppo urbano. Ciò può portare a compromessi tra diversi obiettivi ambientali, economici e sociali, come la sicurezza alimentare, la protezione della biodiversità o l'occupazione locale. Pertanto, un'attenta selezione del sito e una pianificazione dell'uso del territorio sono essenziali per evitare o minimizzare gli impatti negativi e massimizzare i risultati previsti;

Impatti ambientali - sia i sistemi fotovoltaici montati su tetto che quelli montati a terra possono avere impatti diretti o indiretti sull'ambiente, come perdita o frammentazione dell'habitat, erosione o inquinamento del suolo, uso e inquinamento dell'acqua, impatti visivi o abbagliamento. Bisogna dunque, progettare prevedendo l'impatto ambientale e rispettare la conformità agli standard e ai regolamenti locali e internazionali per migliorare la sostenibilità

ambientale.

Un confronto tra l'area occupata dall'installazione di impianti fotovoltaici e altri impianti energetici nella Tabella 2, mostra che gli impianti fotovoltaici occupano un'area più ampia rispetto agli altri impianti energetici, ad eccezione delle centrali a biomassa e idroelettriche.

Tipo di centrale elettrica	Superficie richiesta (m <sup>2</sup> /MWh)
Centrale elettrica fotovoltaica	0,3-15
Centrale elettrica a carbone	0,2-5,1
Centrali eoliche	0,3-1,3
Centrali elettriche nucleari e a gas naturale	0,1-1,0
Centrali idroelettriche	3,3-16,9
Centrali elettriche con derivati del petrolio	0,1-0,6
Centrale elettrica a biomassa	450

Tabella 2. Area richiesta per diverse centrali elettriche

## 2. Emissioni di gas serra

Analizzando il ciclo di vita di un sistema fotovoltaico, è chiaro che durante la produzione dei componenti, il trasporto dei materiali, l'installazione dell'impianto, lo smantellamento e lo smontaggio, si verificano emissioni di gas serra, mentre durante il funzionamento dell'impianto fotovoltaico, non ci sono emissioni (se trascuriamo la pulizia dei pannelli). Per la produzione del poly c-Si (policristallino) impiegato nella fabbricazione di moduli fotovoltaici viene utilizzato il processo Siemens, che è responsabile di oltre il 35% del consumo totale di energia e delle emissioni totali di gas serra. Nel 2021, la tecnologia fotovoltaica "Si wafer-based" ha rappresentato oltre il 95% della produzione totale, di cui la tecnologia monocristallina rappresenta circa l'84% e le celle a film sottile il restante 5% (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2023).

Il valore medio delle emissioni di gas serra per monocristallino, policristallino e a film sottile è stato stimato rispettivamente in 61,8, 52,2 e 35,5 grammi di CO<sub>2</sub>e/kWh (Silva, M.; Raadal, H.L., 2019).

Commercialmente, i moduli a film sottile possono essere visti in molte tecnologie diverse, come il tellururo di cadmio (CdTe), il seleniuro di rame indio gallio (CIGS) e il silicio amorfo a film sottile (a-Si).

L'emissione media di gas serra è di 30 g per la tecnologia a-Si, 27 g per la tecnologia CdTe e 53 g di CO<sub>2</sub>e/kWh per la tecnologia CIGS. (Tabella 3)

Tecnologie fotovoltaiche	Totale emissioni (g di CO <sub>2</sub> e/kWh)
Silicio micromorfo	43
Silicio policristallino	49
Silicio monocristallino	80
CdTe	20
CIGS	36

Tabella 3. Impronta di carbonio per le diverse tecnologie fotovoltaiche

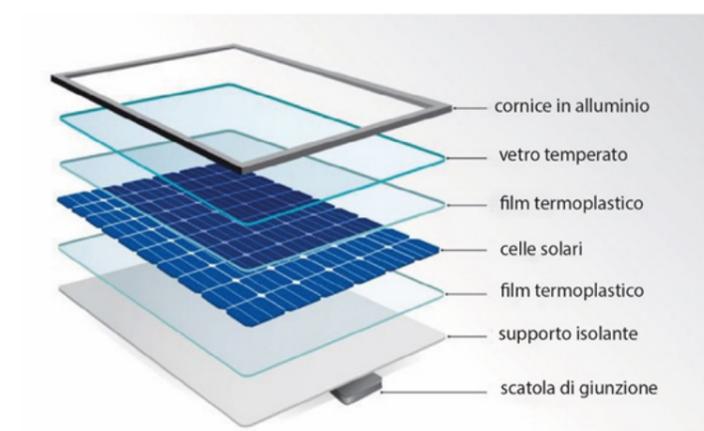


Figura 14: Un pannello fotovoltaico tipo, scomposto nelle sue diverse componenti

All'interno del ciclo di vita dei pannelli le fasi iniziali e finali, sono quelle che contribuiscono maggiormente alle emissioni complessive di gas serra. Queste fasi comprendono la produzione e la lavorazione dei materiali, il trasporto, l'assemblaggio, lo smontaggio e lo smantellamento. La produzione dei materiali, è quella che contribuisce maggiormente alle emissioni.

Bisogna però considerare anche il contributo di altri componenti dell'impianto fotovoltaico i quali contribuiscono alle emissioni di gas serra. Sebbene non vi siano molte ricerche a questo riguardo, uno studio svolto dall'Università di Dalarna (Brüstle, 2022) fornisce alcune informazioni per un sistema svedese. La Tabella 4 mostra che la seconda maggiore fonte di emissioni di carbonio è la struttura di montaggio, con i rispettivi componenti evidenziati dalla Figura 15. L'uso dell'acciaio zincato può ridurre questo contributo di circa il 40%, mentre l'uso del legno può ridurlo fino al 75% rispetto ad una struttura

convenzionale in alluminio. L'inverter ha un impatto nettamente inferiore e il contributo del cavo può essere trascurato.

Impianto FV componenti	Media (g di CO <sub>2</sub> e/kWh)
Modulo fotovoltaico	11,6
Struttura di montaggio	1,71
Invertitore	0,69
Cablaggio	0,04
Totale	14,0

Tabella 4. Impronta di carbonio g di CO<sub>2</sub>e/kWh per i componenti del sistema fotovoltaico

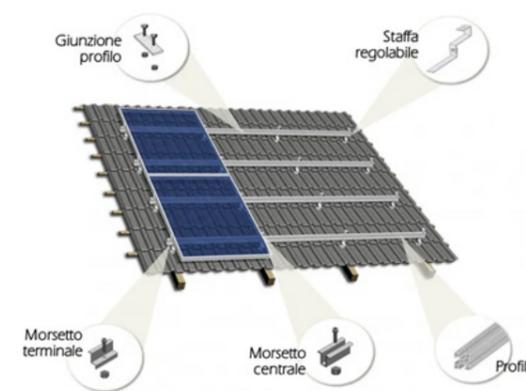


Figura 15: Componenti della struttura di montaggio per il posizionamento dei pannelli fotovoltaici

In generale per quanto riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub> si può affermare quanto segue:

- La quota maggiore di emissioni proviene dalla fase di produzione dei componenti del sistema fotovoltaico (dall'80% al 95%), seguita dalla fase di smaltimento a fine vita (dal 5% al 20%), mentre quantità trascurabili di gas serra vengono emesse durante il funzionamento dell'impianto fotovoltaico (dallo 0,3% all'1%). Per fare un confronto, la maggior parte delle emissioni di gas serra da fonti energetiche non rinnovabili, si verificano durante la fase operativa (circa il 98%), mentre le restanti si verificano durante le fasi di costruzione e smantellamento della centrale elettrica.
- Le emissioni di gas serra per la produzione di centrali fotovoltaiche diminuiscono nel tempo, man mano che i moduli fotovoltaici diventano più efficienti, la produzione di celle solari diventa meno dispendiosa in termini

energetici e la quota di energia rinnovabile nella rete elettrica aumenta.

- L'impronta di carbonio dei sistemi solari fotovoltaici è stimata nell'intervallo 14–130 g di CO<sub>2</sub>e/kWh, che è inferiore a quello del gas (608 g di CO<sub>2</sub>e/kWh), del petrolio (742 g di CO<sub>2</sub>e/kWh) e delle centrali elettriche a carbone (975 g di CO<sub>2</sub>e/kWh) (Hamed & Alshare, 2022). Tuttavia, l'impronta di carbonio del solare fotovoltaico è maggiore di quella dell'energia eolica (8–23 g di CO<sub>2</sub>e/kWh), delle centrali geotermiche (38 g di CO<sub>2</sub>e/kWh), delle centrali nucleari (24–66 g di CO<sub>2</sub>e/kWh) e delle centrali idroelettriche (10–13 g di CO<sub>2</sub>e/kWh) (Fthenakis & Kim, 2011).
- Alcuni inquinanti possono essere emessi durante la produzione dei componenti del sistema fotovoltaico e durante lo smaltimento a fine vita. Oltre ai gas GHG (come CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>), sono possibili emissioni di gas che creano composti acidi (come SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), particelle (come la polvere), metalli pesanti (come Cd, Pb) e composti organici come i solventi. I perfluorocarburi (PFC) sono ampiamente utilizzati nell'industria elettronica, ad esempio nella pulizia del plasma dei wafer di silicio (ITRPV, 2022).

### 3. L'impatto sulla biodiversità



Figura 16: Esempio di uno dei più grandi parchi fotovoltaici al mondo nel deserto di Dubai

Sono state condotte poche ricerche sull'impatto dei parchi fotovoltaici a proposito della biodiversità. La realizzazione di impianti fotovoltaici di grandi dimensioni e strutture connesse, richiede solitamente la rimozione della vegetazione e il livellamento di vaste aree. Ciò può comportare la perdita, il degrado e la frammentazione degli habitat, riducendo la ricchezza, la den-

sità delle specie e lo spostamento delle popolazioni selvatiche. Gli effetti d'ombra dei pannelli solari possono alterare la composizione delle specie e la diversità degli habitat sottostanti a causa dei cambiamenti nei microclimi dell'aria e del suolo.

Gli impatti sulla biodiversità variano in base alla posizione geografica e possono essere positivi in determinate circostanze. Ad esempio, nel Regno Unito, è stato riscontrato che i parchi solari ospitano una maggiore diversità di vegetazione, invertebrati e uccelli, rispetto ai terreni agricoli circostanti o ad altri siti dismessi (Montag, Parker, & Clarkson, 2016). I parchi solari hanno ottenuto risultati significativamente migliori rispetto ad altri tipi di centrali elettriche in termini di diversità e abbondanza di uccelli. Tuttavia, un maggior numero di uccelli nelle vicinanze degli impianti fotovoltaici porta a problemi di pulizia dei pannelli per via degli escrementi e quindi una minore efficienza dell'impianto.

Durante il funzionamento degli impianti fotovoltaici, la vegetazione sul sito viene significativamente persa o alterata. E' necessario un tipo di controllo della vegetazione sotto i pannelli e negli spazi tra un dispositivo e l'altro. La vegetazione indesiderata viene talvolta controllata con erbicidi oppure il terreno si copre con la ghiaia.

In sintesi, i parchi solari possono portare a una maggiore diversità e abbondanza di piante, erbe, farfalle, bombi e uccelli, i benefici per la biodiversità dipendono in gran parte da come viene gestita l'area. Aree di particolare valore per la fauna selvatica, possono essere seminate con una varietà di miscele di semi una volta completata la costruzione, per limitare l'uso di erbicidi e quindi fornire un buon habitat marginale alla fauna selvatica, associato ad un sistema di pascolo o falciatura conservativa in modo da ottenere un impatto positivo.

### 4. Fine vita degli impianti fotovoltaici

Come molti altri prodotti durevoli, gli impianti fotovoltaici possono durare decenni, soprattutto se mantenuti correttamente. Dopo circa 30 anni di funzionamento, i moduli fotovoltaici possono, in alcuni casi, essere riutilizzati o ricondizionati per avere una "seconda vita" come generatori di energia. Tuttavia, ogni impianto fotovoltaico prima o poi raggiungerà la fine della sua vita utile. Bisogna anche considerare che gran parte dei problemi di fine vita sono dovuti a danni atmosferici o errori di installazione, richiedendo interventi precoci per lo smontaggio. La gestione della fine del ciclo di vita di un

sistema fotovoltaico si riferisce ai processi che hanno luogo quando i pannelli e tutti gli altri componenti del sistema vengono ritirati. Questi processi includono lo smantellamento, il disassemblaggio e lo smaltimento o il riciclaggio di moduli fotovoltaici, inverter e altri componenti.

Sia il riciclaggio che il riutilizzo presentano vantaggi ambientali ed economici rispetto allo smaltimento in discarica o inceneritori. Il riciclaggio può ridurre la necessità di nuovi materiali, il consumo energetico e le emissioni ad essi associati. Il riutilizzo, invece, genera altri scopi per moduli o parti di moduli, come materiali da costruzione, progetti artistici o materiale didattico. Inoltre, sia il riciclaggio che il riutilizzo possono creare nuovi posti di lavoro e industrie nell'economia circolare. Tuttavia, va notato che il riutilizzo dei moduli genera maggiori entrate con meno fasi di lavorazione, mentre il riciclaggio prevede molte più fasi di lavorazione e genera entrate basse. La sfida più grande per il riutilizzo dei moduli è trovare un mercato ampio e sostenibile per il grande volume ritirato (Weckend, Wade, & Heath, 2016).

Per avere un'idea della quantità di rifiuti prodotti e quindi recuperabili solo dal fotovoltaico, è stato proposto un rapido calcolo che moltiplica la massa media del modulo c-Si, di circa 51,0 kg/kW per la capacità energetica prevista per il 2050 di 630 GW. Il risultato è di circa 32,1 milioni di tonnellate di materiale. Aggiungendo la massa dell'inverter e dei cavi, la quantità di rifiuti risulta molto più elevata. Si parla di circa 78 milioni di tonnellate di materie prime e altri componenti preziosi riutilizzabili in tutto il mondo entro il 2050, garantendo la sostenibilità della catena di approvvigionamento a lungo termine (Bustamante & Gaustad, 2014), aumentando il recupero di energia e anche riducendo le emissioni di CO<sub>2</sub>.

I rifiuti fotovoltaici come percentuale delle nuove installazioni aumenteranno dallo 0,1% del 2016 a oltre l'80% nel 2050, indicando una crescente necessità di soluzioni efficaci (Weckend, Wade, & Heath, 2016).

Nel contesto degli impatti ambientali a fine vita, i moduli solari e gli inverter hanno la massima importanza. Per avere un quadro completo del riciclaggio dei moduli solari, sono necessarie informazioni sul tipo di materiale, quantità e rapporto dei singoli componenti che compongono il modulo solare. Dopo lo smontaggio e l'estrazione, la frazione di massa delle varie risorse di un tipico pannello solare è la seguente: vetro 54,7%, Al 12,7%, sigillante adesivo 10%, silicio 3,1% e altro 19,5%.

Esistono diversi metodi per riciclare i pannelli solari, che possono includere

alcuni o tutti i seguenti passaggi (Chowdhury, et al., 2020):

- Rimozione del telaio e della scatola di giunzione;
- Rimozione dell'incapsulante dalla struttura laminata;
- Separazione del wafer di vetro e silicio mediante processi termici, meccanici o chimici;
- Separazione e purificazione di celle di silicio e metalli speciali (ad esempio argento, stagno, piombo, rame, alluminio) mediante processi chimici ed elettrici.

Dalle informazioni precedenti si può concludere che il processo di riciclaggio richiede l'uso di una certa quantità di energia meccanica, termica o elettrica per separare i componenti del modulo e che devono essere utilizzati alcuni prodotti chimici e acqua, con conseguenti emissioni di gas. Tuttavia, l'incenerimento di alcune parti che non vengono riciclate non solo rilascia una certa quantità di energia ma anche gas nocivi. Il problema principale nel riciclaggio dei moduli fotovoltaici è la rimozione dell'etilene vinil acetato (EVA) e l'estrazione dei metalli con uno sviluppo minimo di gas tossici e acque reflue (Trivedi, Meshram, & Gupta, 2023).

Oggi, il tasso di riciclaggio dei moduli fotovoltaici non è noto con precisione perché non esiste uno standard o una regolamentazione globale per il riciclaggio dei moduli fotovoltaici e diversi paesi e regioni possono avere politiche e pratiche diverse. Una stima evidenzia il tasso di riciclaggio medio globale dei moduli fotovoltaici che era di circa il 14% nel 2019 e potrebbe raggiungere il 35% entro il 2030 e il 70% entro il 2050, assumendo uno scenario di riciclaggio elevato (Divya, Adish, Kaustubh, & Zade, 2023).

L'inverter è la seconda parte più importante del sistema fotovoltaico. Il riciclaggio degli inverter è un processo complesso e impegnativo che coinvolge diversi aspetti tecnici, economici e ambientali. Uno dei problemi legati al riciclaggio degli inverter è la mancanza di progettazione ed etichettatura standardizzata, che rende difficile identificare e separare i diversi componenti e materiali.

Il riciclaggio degli inverter permette di recuperare materiali preziosi come rame, alluminio, acciaio e plastica per ridurre l'impatto ambientale dell'estrazione e della produzione di nuovi materiali. I metalli costituiscono il 60% del peso dell'inverter e il 90% del metallo è riciclabile, mentre i circuiti stampati (PCB) costituiscono il 40% del peso dell'inverter e il 65% dei PCB è riciclabile.

Tuttavia, queste stime si basano su alcune ipotesi e incertezze e possono variare a seconda del tipo e dell'età dei moduli fotovoltaici, della disponibilità e del costo degli impianti di riciclaggio, nonché della domanda e del prezzo dei materiali riciclati.

Di seguito è riportato un riepilogo dei principali impatti ambientali del riciclo degli impianti fotovoltaici.

- **Uso del suolo:** Lo smaltimento dei moduli fotovoltaici in discarica può occupare vaste aree di terreno e ridurre la disponibilità per altri scopi. Lo smaltimento in discarica può anche causare la contaminazione del suolo e il rilascio di sostanze tossiche dai materiali fotovoltaici, come cadmio, piombo e selenio.
- **Emissioni di gas:** Il riciclaggio o lo smaltimento in discarica dei moduli fotovoltaici può generare vari tipi di inquinamento, come emissioni di gas, acque reflue e rifiuti solidi. Le emissioni di gas includono anidride carbonica, metano, ossidi di azoto, ossidi di zolfo e composti organici volatili. Le acque reflue possono contenere metalli, acidi, solventi organici e altri inquinanti. Anche il riciclaggio o lo smaltimento in discarica dei moduli fotovoltaici può influire sulle emissioni di gas serra associate ai sistemi fotovoltaici. Il riciclaggio può ridurre le emissioni risparmiando energia e materiali che sarebbero altrimenti necessari per la produzione di nuovi moduli fotovoltaici. Lo smaltimento in discarica può aumentare le emissioni rilasciando metano dalla decomposizione dei materiali organici nei moduli fotovoltaici. Le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dal riciclaggio dei pannelli fotovoltaici dipendono dal tipo di pannello e sono relativamente basse rispetto ad altre opzioni di fine vita. Possono essere ulteriormente ridotti se si utilizzano fonti di energia elettrica rinnovabili per il riciclaggio. Le emissioni di gas serra possono essere quantificate utilizzando metodi di valutazione del ciclo di vita (LCA) che tengono conto di tutte le fasi dei sistemi fotovoltaici.
- **Rifiuti solidi:** I rifiuti solidi possono includere vetro, metalli, plastica e altri materiali che non vengono recuperati o riutilizzati.
- **Materiali pericolosi:** I moduli fotovoltaici possono contenere materiali pericolosi che comportano rischi per la salute umana e l'ambiente se non maneggiati correttamente. Alcuni esempi sono il tellururo di cadmio (CdTe), il seleniuro di rame indio gallio (CIGS), il piombo (Pb) e l'antimonio (Sb). Questi materiali possono essere tossici, cancerogeni o muta-

geni se ingeriti, inalati o assorbiti attraverso la pelle. I materiali pericolosi possono essere evitati utilizzando materiali o tecnologie alternativi meno dannosi o più riciclabili. I pannelli fotovoltaici in genere contengono piombo, cadmio e altri metalli tossici che possono penetrare nel suolo e nell'acqua se vengono smaltiti in discarica o inceneriti. Questi metalli comportano rischi per i lavoratori che manipolano i pannelli durante il riciclaggio, soprattutto se esposti a polvere o fumi.

- **Sfide e barriere nel riciclaggio del fotovoltaico:** Inoltre, dobbiamo notare che ci sono alcune sfide e problemi con il riciclaggio dei moduli fotovoltaici. Come per esempio, la mancanza di un sistema di raccolta standardizzato ed efficiente. Non esiste alcuna regolamentazione globale o incentivo per i proprietari di moduli fotovoltaici affinché li restituiscano ai riciclatori. Ciò porta ad un basso tasso di riciclaggio e ad un alto rischio di smaltimento illegale in discarica. Oppure la mancanza di strutture e tecnologie di riciclaggio, la mancanza di domanda del mercato per moduli fotovoltaici riciclati o riutilizzati, la mancanza di consapevolezza ed educazione tra le parti interessate e i consumatori. Inoltre ogni materiale ha proprietà diverse e richiede metodi di riciclaggio diversi. Ciò rende difficile separare e recuperare i materiali preziosi dai moduli fotovoltaici. Infine l'alto costo e la bassa redditività del riciclaggio rendono il processo meno incentivante, anche perché necessita di un'elevata manodopera, un elevato consumo energetico ed è tecnicamente impegnativo, quindi il costo del riciclaggio può superare il valore dei materiali recuperati.

Quindi dopo aver analizzato tutti gli aspetti negativi della produzione energetica tramite impianti fotovoltaici si può affermare che:

- La superficie necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico mondiale con impianti fotovoltaici è molto più grande del necessario e che non dovrebbero esserci problemi a raggiungere le capacità previste.
- Dovrebbero essere presi in considerazione i possibili conflitti nell'uso del territorio, ad esempio con l'agricoltura e la silvicoltura.
- In generale, le emissioni vanno da 12,5 a 126 g di CO<sub>2</sub>e/kWh, che è molto inferiore alle emissioni delle centrali elettriche a combustibili fossili ma superiore alle emissioni di altri impianti di energia rinnovabile. Ma la maggior parte delle emissioni di CO<sub>2</sub> provengono dalla fase di produzione dei componenti dell'impianto fotovoltaico, poiché si tratta di un processo ad alta intensità energetica.

- Nella produzione dei componenti degli impianti fotovoltaici vengono utilizzate sostanze pericolose (metalli pesanti). Possono rappresentare un problema ambientale significativo solo se i moduli alla fine del ciclo di vita della centrale non vengono riciclati ma gettati in discarica, e in questo modo possono inquinare notevolmente il suolo e l'acqua potabile.
- Il fine vita di un impianto fotovoltaico è un aspetto importante del suo impatto ambientale che non va ignorato. Implementando strategie e misure adeguate di gestione e riciclaggio dei rifiuti, l'impatto ambientale in questa fase può essere ridotto al minimo e i benefici dei sistemi fotovoltaici massimizzati.

In sintesi, l'energia fotovoltaica è una fonte di energia pulita e il suo impatto sulla qualità dell'aria, sul suolo, sull'acqua e sul cambiamento climatico è significativamente inferiore rispetto a qualsiasi altro sistema di generazione di energia convenzionale.

La produzione dei componenti degli impianti fotovoltaici è ad alta intensità energetica, quindi le emissioni di CO<sub>2</sub> associate sono elevate. Ma a livello globale, la quota di energia rinnovabile nella rete elettrica è in costante aumento, portando ad una diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per unità di elettricità consumata. Poiché anche il settore dei trasporti sta cercando di generare meno emissioni di CO<sub>2</sub> attraverso l'uso di veicoli elettrici e a idrogeno, le emissioni di CO<sub>2</sub> e di particolato generate durante il trasporto dei componenti degli impianti solari fotovoltaici stanno diminuendo, così come la CO<sub>2</sub> totale emessa durante il ciclo di vita dell'impianto. Pertanto le emissioni legate alla produzione di componenti per centrali fotovoltaiche continueranno a diminuire nel tempo. Partendo dal presupposto che anche la tecnologia di produzione di ciascun componente venga migliorata in modo da consumare meno energia nella sua produzione, ciò ridurrà ulteriormente le emissioni. Inoltre, l'area richiesta per l'installazione degli impianti fotovoltaici sarà ridotta aumentando l'efficienza delle celle fotovoltaiche.

Le emissioni globali totali derivanti dalla produzione di elettricità e calore hanno raggiunto la cifra record di 14.600 Mt di CO<sub>2</sub>e nel 2022, poiché alcuni paesi che soffrono di carenza di gas sono passati al carbone come combustibile. Tra questi, i sistemi fotovoltaici hanno svolto un ruolo importante nella riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, evitando circa, nello stesso anno, 1.399 Mt di CO<sub>2</sub>e (un aumento positivo del 30% rispetto al 2021). Questo dato è stato calcolato considerando la differenza tra l'utilizzo della fonte fotovoltaica ri-

spetto alla stessa quantità di energia generata da impianti energetici convenzionali e tenendo conto delle emissioni dei sistemi solari fotovoltaici durante il loro ciclo di vita. Questa quantità di emissioni di CO<sub>2</sub> evitate equivale a circa il 10% delle emissioni totali nei settori dell'elettricità e del riscaldamento (IEA, 2023).

## 2.3 Comunità Energetiche

L'attuale "Pacchetto Energia Pulita" dell'UE si inserisce nel recente sforzo internazionale sul clima e sullo stile di vita sostenibile (tra tutti i passi fondamentali: dalla Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici – UNFCCC nel 1992; Protocollo di Kyoto nel 1997; all'Agenda 2030, Obiettivi di Sviluppo Sostenibile e Accordo di Parigi nel 2015 fino alla XXV Conferenza delle Parti—COP26 nel 2021). Mira a porre i consumatori locali al centro della transizione energetica (Figura 17) e richiede una trasformazione fondamentale del sistema energetico europeo (European Commission, 2015).



Figura 17: Alcuni consumatori locali, immortalati durante l'apertura di impianti eolici e solari fotovoltaici, per l'inizio di una nuova comunità energetica

L'adozione della Legge Europea sul Clima e la comunicazione della Commissione UE COM (2021)550 del pacchetto "Fit for 55%", che contiene proposte legislative per rivedere il quadro UE 2030 su clima ed energia ha fissato obiettivi ancora più elevati rispetto a quelli previsti dal Green Deal europeo. I piani di ripresa e resilienza degli Stati membri impongono un impulso agli investimenti legati al clima per 177 miliardi di euro e promuovono le rifor-

me necessarie a sostenere la transizione climatica ed energetica (European Commission, 2021). Considerare i sistemi energetici locali con connessioni alla rete deboli o inesistenti, implica dare ai cittadini (come consumatori e produttori di energia) il potere di gestire un'infrastruttura energetica basata sulle fonti rinnovabili per la popolazione locale, i consumatori di energia e i produttori. Cogliendo le opportunità offerte dalle nuove tecnologie, i cittadini e le persone comuni, in generale, stanno già acquisendo rilevanza nel settore energetico attraverso azioni dirette, inclusive e partecipative. Si stima che 264 milioni di cittadini europei entreranno nel mercato dell'energia come prosumer, generando fino al 45% dell'elettricità rinnovabile del sistema.

Con il termine prosumer si intendono gli utenti che non sono solo consumatori passivi ma sono attori attivi nelle varie fasi del processo produttivo, in quanto produttori si occupano della gestione dei flussi energetici, raggiungendo una relativa autonomia energetica e benefici economici (Barroco, Cappellaro, & Palumbo, 2020). Ciò implica che i prosumer possono generare elettricità solo per soddisfare i propri bisogni (ipotesi off-grid) e/o generare surplus per altri utenti immettendo energia nella rete (ipotesi on-grid) (Espe, Potdar, & Chang, 2018). Inoltre, è importante chiarire il termine "prosumption" come capacità di produrre una parte di ciò che si consuma in modo sostenibile. Solitamente si riferisce alla produzione informale di beni e servizi a livello domestico o comunitario, ma può essere ampliato anche a livello cittadino.

In Europa, le prime cooperative energetiche furono fondate alla fine del XIX secolo per sostenere l'elettrificazione degli insediamenti nelle zone rurali. Più recentemente, la progressiva liberalizzazione dei mercati energetici e lo sviluppo di tecnologie verso sistemi energetici decentralizzati, ha permesso alle Comunità Energetiche di affermarsi come nuovi attori, con un ruolo di primo piano nel mercato energetico (Milčiuviėnė, Kiršienė, Dohejio, Urbonas, & Milčius, 2019).

Seguendo questa tendenza, la rielaborazione della direttiva sulle energie rinnovabili (UE) n. 2018/2001 (Directive (EU) 2018/2001) e la rielaborazione della direttiva sul mercato elettrico (UE) n. 2019/944 (Directive (EU) 2019/944) hanno introdotto un quadro normativo per la promozione della proprietà dei consumatori nella produzione di energia (rinnovabile). A seguito di queste nuove regole relative all'autoconsumo collettivo, si prevede che le Comunità Energetiche dei Cittadini (CEC) e le Comunità Energetiche Rinnovabili (REC) attireranno mezzi finanziari privati, ridurranno la resi-

stenza pubblica ai progetti energetici decentralizzati (rinnovabili) e incentiveranno la partecipazione dei consumatori. Queste comunità hanno l'obiettivo primario di fornire benefici ambientali, economici e sociali alla comunità stessa e possono contribuire ad aumentare la quota di energie rinnovabili nelle aree locali, con un impatto limitato sulla rete pubblica e sull'efficienza energetica dei sistemi locali.

### 2.3.1. Tipologie di Comunità Energetiche

Le comunità energetiche sono elementi significativi nella transizione energetica verso un'Europa a basse emissioni di carbonio e riflettono un crescente desiderio di trovare modi alternativi di organizzare e governare i sistemi energetici (Barroco Fontes Cunha, et al., 2021). Si tratta di una nuova forma di movimento sociale in cui i cittadini partecipano volontariamente a progetti di energia rinnovabile e/o a progetti di efficienza energetica che consentono processi più inclusivi e democratici. La produzione di energia da fonti rinnovabili e la diffusione del sistema "produzione e consumo" sono concetti diversi che possono essere sovrapposti o che possono funzionare in parallelo, ma la condivisione della produzione e distribuzione dell'energia non dipende strettamente dalle fonti rinnovabili. Bisogna quindi considerare la distribuzione geografica come elemento fondamentale, poiché i gruppi sociali spazialmente distribuiti, sono i principali attori della comunità (Moroni, Antonucci, & Bisello, 2019). Entro il 2050, circa la metà di tutte le case europee potrebbe essere coinvolta nella produzione di energia rinnovabile, e una parte importante potrebbe avvenire attraverso la partecipazione collettiva.

In generale, un'iniziativa di Comunità Energetica, in quanto produttrice di energia, è una condivisione comune di responsabilità e benefici in grado di: aumentare il valore del luogo, aiutare a realizzare progetti sostenibili al fine di raggiungere l'indipendenza energetica, ridurre le emissioni di carbonio e il consumo di combustibili fossili ad alto costo; generare ritorni finanziari per la comunità; creare posti di lavoro a livello locale; sensibilizzare i cittadini riguardo alle tematiche ambientali; far nascere una maggiore coesione all'interno della società.

Le Comunità Energetiche possono svolgere sia attività tradizionali (generazione, consumo, distribuzione) sia impegnarsi in nuovi modelli di business. Un numero crescente di CE fornisce servizi aggiuntivi, quali: mobilità

elettrica; efficienza e risparmio energetico (es. rinnovamento degli edifici, monitoraggio dei consumi e valutazioni della qualità dell'aria); stoccaggio energetico e integrazione delle reti intelligenti; monitoraggio energetico e gestione della rete; servizi finanziari; servizi di consultazione per sviluppare iniziative comunitarie (Heldeweg & Saintier, 2020) (Cielo, Margiaria, Lazzeroni, Mariuzzo, & Repetto, 2021).

L'UE ha introdotto nella propria legislazione il concetto di Comunità Energetiche, divise tra: Comunità Energetiche dei Cittadini (CEC) e Comunità Energetiche Rinnovabili (REC).

Più specificamente, l'articolo 2 della Direttiva RED II definisce le REC come un soggetto giuridico che autoproduce, autoconsuma, condivide e vende energia da fonti rinnovabili, generando benefici ambientali, economici e sociali per la comunità. L'articolo 2 della Direttiva n. 2019/944 definisce la CEC come un'entità giuridica con gli stessi scopi della REC, comprese nuove regole che consentono la partecipazione attiva dei consumatori, individualmente o tramite CEC, in tutti i mercati, sia generando, consumando, condividendo, vendendo elettricità o fornendo diversi servizi attraverso la risposta alla domanda e lo stoccaggio. La Direttiva mira a migliorare la diffusione delle Comunità Energetiche e a rendere più favorevole, per i cittadini, l'integrazione efficace nel sistema elettrico come partecipanti attivi (Caramizaru & Uihlein, 2020).

Nonostante la somiglianza delle due definizioni, REC (Comunità Energetiche Rinnovabili) e CEC (Comunità Energetiche dei Cittadini) presentano differenze significative: i CEC possono produrre energia anche da fonti non rinnovabili; i REC sono soggetti a una limitazione dell'estensione territoriale della comunità; la media impresa non ha la possibilità di aderire ad un CEC, mentre può diventare membro del REC (da entrambi sono escluse le grandi imprese); la partecipazione ad un REC non deve costituire l'attività commerciale o professionale primaria di un'impresa privata, mentre risulta consentita per la CEC (Directive (EU) 2019/944).

A seguito dell'adozione della Direttiva n. 2018/2001, il Parlamento italiano ha previsto un regime giuridico transitorio dei REC, che riproduce principalmente il contenuto della normativa comunitaria. Più nel dettaglio, l'articolo 42-bis del decreto legge n. 16/2019 ha consentito alle Comunità Energetiche di auto-produrre e auto-consumare energia elettrica (ma non termica) da fonti rinnovabili, limitando la potenza complessiva dell'impianto a 200 kW e cal-

colando gli incentivi a favore delle comunità, concessi dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE), in base alla quantità di energia prodotta e condivisa in rete (Directive (EU) 2018/2001). La limitazione della potenza degli impianti e il procedimento con il GSE, rendono più difficile l'effettiva promozione dei REC.

### 2.3.2 Comunità Energetiche nell'Unione Europea

In tutta Europa esistono circa 3500 cooperative di energia rinnovabile, considerate come una sorta di Comunità Energetiche (REScoop MECISE, 2019). L'importo totale aumenta se si includono ecovillaggi, organizzazioni di riscaldamento su piccola scala e altri progetti guidati da gruppi di cittadini. Inoltre, la diffusione geografica, la dimensione dal livello locale a quello regionale fino a quello nazionale e il numero dei membri (da pochi a migliaia) sono piuttosto eterogenei. I progetti energetici esistono in diverse forme in tutta Europa, fornendo diversi servizi e attività (generazione, fornitura, consumo e condivisione di energia, distribuzione, reti, mobilità elettrica, servizi finanziari) e utilizzando diverse tecnologie energetiche (eolica, solare, idroelettrica, bioenergia, geotermia) (Mutani, Todeschi, Santantonio, & Bazzino, 2019).

Le CE sono molto eterogenee in termini di modelli organizzativi e forme giuridiche: la cooperativa energetica è la tipologia più comune. È possibile trovare anche un'associazione, un partenariato, un fondo di sviluppo e società private o enti a partecipazione pubblica (Italia Domani, 2021).

In una panoramica generale dell'Europa, la Danimarca appare come un paese pioniere nello sviluppo delle cooperative energetiche nate negli anni '70; La Germania ha iniziato a sostenere e incoraggiare la diffusione delle cooperative energetiche in seguito al disastro di Fukushima nel 2011; a partire dagli anni '90, Gran Bretagna e Paesi Bassi hanno promosso impianti di energia rinnovabile attraverso incentivi e sovvenzioni nazionali, consentendo ai piccoli produttori e alle comunità di ricevere un sostegno economico per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (REScoop MECISE, 2019). In Italia esistono già numerose comunità e cooperative energetiche localizzate soprattutto nelle regioni settentrionali. Alcune di esse sono attive fin dai primi decenni del XX secolo come la Cooperativa FUNES, nata nel 1921 in Alto Adige con il nome di "Società Elettrica Santa Maddalena". Qui l'e-

nergia elettrica per gli usi locali è prodotta da tre impianti idroelettrici (San Pietro 775 kW, Meles 2698 kW e Santa Maddalena 225 kW), un impianto fotovoltaico (170 kW) e due impianti di teleriscaldamento a biomasse (1100 kW e 700 kW). Il surplus (tutto rinnovabile al 100%) viene immesso nella rete nazionale, e i ricavi vengono reinvestiti nella stessa area per ulteriori sviluppi tecnologici e per aiuti sociali ai residenti (Barroco, Cappellaro, & Palumbo, 2020).

Secondo una ricerca Legambiente, inoltre, sono 40 gli esempi di Comuni 100% Rinnovabili: qui le fonti rinnovabili possono soddisfare i consumi elettrici e termici delle famiglie residenti. In particolare, gli impianti a biomassa e geotermici collegati alle reti di teleriscaldamento soddisfano pienamente il fabbisogno termico dei cittadini residenti, mentre gli impianti mini idroelettrici e solari fotovoltaici soddisfano il fabbisogno elettrico. L'intera filiera è gestita da cooperative energetiche o aziende pubbliche, in cui cittadini, pubbliche amministrazioni e imprese locali sono uniti con un obiettivo generale di auto-produzione e indipendenza energetica. Sono inoltre 3.493 i comuni in grado di produrre, grazie ad una o più tecnologie, più energia elettrica di quanta ne serva alle famiglie residenti. La rapida risposta dell'Italia alla Direttiva RED-II ha portato ad un fiorire di REC (Comunità Energetiche Rinnovabili), ma la situazione nazionale non è omogenea. Nelle forme moderne, la prima regione italiana a incoraggiare le REC con la Legge Regionale è stata il Piemonte nel 2018, seguita dalla Puglia nel 2019 e dalla Liguria nel 2020. Legambiente ha pubblicato il rapporto "Comunità Rinnovabili 2021" in cui sono elencati 46 progetti sulle REC italiane. Tra questi, ci sono 15 progetti singoli di autoconsumo, 4 progetti collettivi di autoconsumo e 27 progetti REC (Ufficio Energia Legambiente, 2021).

### **2.3.3. Il ruolo delle Comunità Energetiche per la transizione**

Considerando la situazione attuale dello sviluppo urbano e le sue tendenze per il futuro, che coinvolgono il rapido consumo di materie prime non rinnovabili e la necessità di migliorare e mantenere un elevato livello di qualità della vita per i cittadini, il concetto più importante relativo all'energia nelle città è quello di raggiungere un'elevata forma di sostenibilità locale, che deriva da un'efficienza energetica ottimale.

Le Comunità Energetiche, partendo dall'organizzazione volontaria di azioni

energetiche collettive e guidate dai cittadini: aiutano ad aumentare l'accettazione dei progetti di energia rinnovabile da parte della società; contribuiscono ad attrarre investimenti privati nella transizione verso l'energia pulita; forniscono benefici diretti alle persone, come la riduzione dei prezzi sulle bollette elettriche e di riscaldamento; aiutano a fornire flessibilità al sistema elettrico attraverso la gestione della domanda e lo stoccaggio e, allo stesso tempo, contribuiscono a ridurre il consumo di energia proveniente da combustibili fossili, diminuendo le emissioni di gas inquinanti e a effetto serra. Il mercato energetico europeo sta attraversando una transizione fondamentale dall'energia derivante da risorse fossili a un'energia rinnovabile, efficiente e sostenibile; si sta inoltre trasformando da un mercato centralizzato con solo grandi impianti isolati a uno distribuito, con milioni di cittadini attivi. L'Europa considera i cittadini il vero fulcro del proprio processo di transizione energetica, e questo è essenziale per il suo successo.

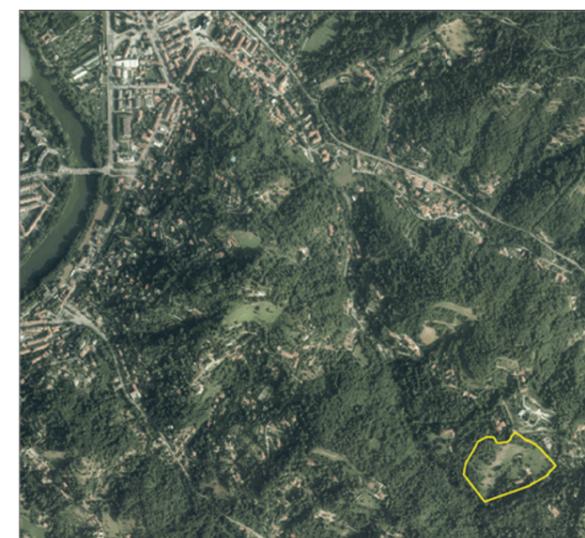
# 03

## Analisi dei vincoli dell'area di progetto

### 3.1 Descrizione dell'ambito di studio

L'area di progetto è situata nel Comune di Torino nell'ambito collinare della città nella zona Sassi ad Est del fiume Po. L'area, di proprietà privata, ha una superficie territoriale di circa 99.800 m<sup>2</sup>. Un tempo dedicata all'agricoltura, l'area è oggi permeabile in quanto coperta da un manto di erba alta, piante selvatiche e arbusti. Al suo interno, ospita un'antica cascina convertita di recente in residenza (Figura 18).

Figura 18\_L'ambito di progetto sull'ortofoto della Città di Torino



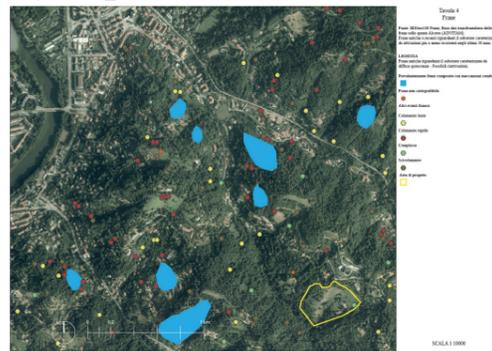
Le parti dell'ambito che secondo il progetto potrebbero ospitare l'impianto fotovoltaico hanno un angolo d'inclinazione naturale di 30° rispetto ad un piano parallelo all'orizzonte. Tale caratteristica è in grado di influire sul drenaggio dell'acqua e sulla distribuzione del calore. L'area si trova all'interno di una zona caratterizzata da un'assenza quasi costante di vento. Il progetto si relaziona con tre tipologie di configurazioni possibili. Nel Caso A, l'impianto è rivolto verso Sud, beneficiando di una maggiore esposizione solare diretta. Questa esposizione è spesso considerata favorevole per la produzione di energia da fotovoltaico. Nel Caso B, è rivolto verso Sud-Ovest, godendo di una maggiore esposizione solare nel pomeriggio e alla sera. Il Caso C prevede il posizionamento dei pannelli fotovoltaici sulla copertura del fabbricato presente nell'area di pertinenza, con un'esposizione prevalente verso Sud. I tre casi non presentano ostacoli che possano generare ombreggiamento durante le ore diurne.



### 3.3 Vincolo geomorfologico

Come in Figura 22 e Tavola 4, all'interno dell'area di progetto si nota la presenza di un fenomeno franoso classificato come "complesso", ma non attivo (come da base dati transfrontaliera delle frane sullo spazio Alcotra - ADVI-TAM). Una frana complessa è un fenomeno che presenta due o più tipologie principali di movimento in sequenza. La frana è inoltre non attiva, ovvero è un fenomeno che non registra movimenti negli ultimi dodici mesi. La frana complessa è infine caratterizzata dalla combinazione di due o più tipi di movimento come crollo, ribaltamento, scivolamento, espansione e colamento.

Figura 22\_ Estratto Tavola 4



L'area di progetto è collocata all'interno di una zona sottoposta a vincolo idrogeologico nazionale ai sensi del R.D. 30/12/1923 n.3267 (Figura 23 e Tavola 5). Il R.D. 30/12/1923 n.3267, ed il successivo regolamento di applicazione R.D. 16/05/1926 n.1126, sottopone a tutela le aree territoriali che per effetto di interventi quali, ad esempio, disboscamenti o movimenti di terreno possono, con danno pubblico subire denudazioni, perdere la stabilità o turbare il regime delle acque. Il vincolo idrogeologico non preclude la possibilità di intervenire sul territorio, ma subordina l'intervento all'ottenimento di una specifica autorizzazione rilasciata da Regione e Comuni.

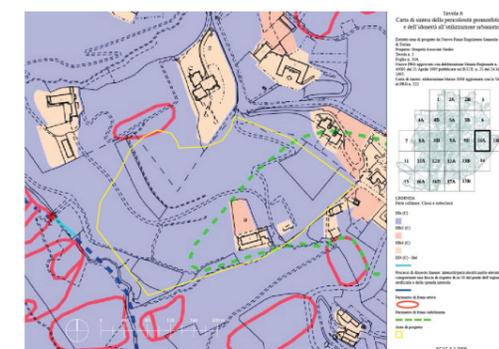
Figura 23\_ Estratto Tavola 5



Dall'Allegato Tecnico Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica (2013) del P.R.G.C. di Torino (tavola n.7/LAP) e dalle Norme sull'Assetto Idrogeologico e di Adeguamento al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del P.R.G.C. di Torino (2018), l'area è interessata da due tipi di classificazione geomorfologica.

La parte in viola è in Classe IIIa, ovvero porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti. La restante parte, in rosa e rosa chiaro, è in Classe IIIb con le rispettive sottoclassi, ovvero porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente. In assenza di tali interventi di riassetto saranno consentite solo trasformazioni che non aumentino il carico antropico (Figura 24 e Tavola 6).

Figura 24\_ Estratto Tavola 6

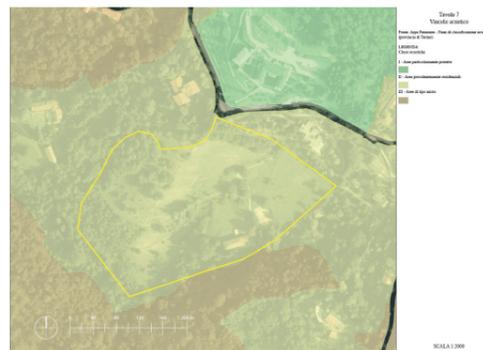


### 3.4 Vincolo acustico

Dal Piano di Classificazione Acustica della Città di Torino (2008), l'area è classificata in Classe Acustica II – Aree prevalentemente residenziali (Figura 25 e Tavola 7). Questa classe prevede aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali. In applicazione delle norme di legge, per la Classe II sono definiti i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità, distinti per il periodo diurno (ore 06,00-22,00) e notturno (ore 22,00-06,00). Nello specifico:

- valori limite assoluti di emissione - diurno 50 dB; notturno 40 dB
- valori limite assoluti di immissione - diurno 55 dB; notturno 45 dB
- valori limite assoluti di qualità - diurno 52 dB; notturno 42 dB

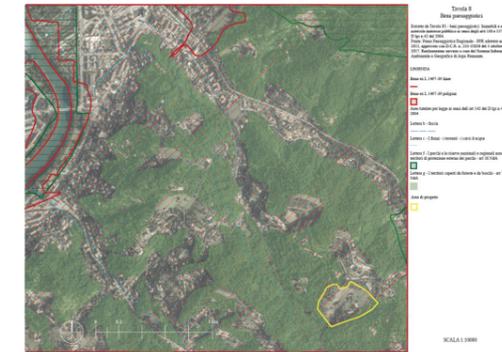
Figura 25\_Estratto Tavola 7



### 3.5 Vincolo paesaggistico

La Tavola P2 “Beni Paesaggistici” del Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R., 2017) identifica che l'ambito è classificato come bene ex L. 1497/1939 su cui vige un vincolo ambientale e paesaggistico, incluso all'interno della norma di riferimento naturalistico-ambientale (ai sensi degli articoli 14 e 16). La Tavola P2 fa riferimento ai beni paesaggistici come immobili e aree di notevole interesse pubblico, presenti nel territorio regionale tutelati ai sensi degli articoli 136, 142 e 157 del D. L.g.s. 42/2004 del Codice dei beni culturali e del paesaggio. La rappresentazione dei beni paesaggistici, costituisce un riferimento per l'applicazione della specifica disciplina dettata dalle Norme di attuazione in applicazione del Codice (Figura 26 e Tavola 8).

Figura 26\_Estratto Tavola 8



La Tavola P3 “Ambiti e Unità di Paesaggio” del Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R., 2017) identifica l'area come ambito “Naturale/rurale alterato episodicamente da insediamenti” (tipologia normativa IV - art. 11), caratterizzato da una compresenza e consolidata interazione di sistemi naturali, prevalentemente montani e collinari, con sistemi insediativi rurali tradizionali, in contesti ad alta caratterizzazione, alterati dalla realizzazione puntuale di infrastrutture, seconde case, impianti ed attrezzature per lo più connesse al turismo (Figura 27 e Tavola 9).

Figura 27\_Estratto Tavola 9



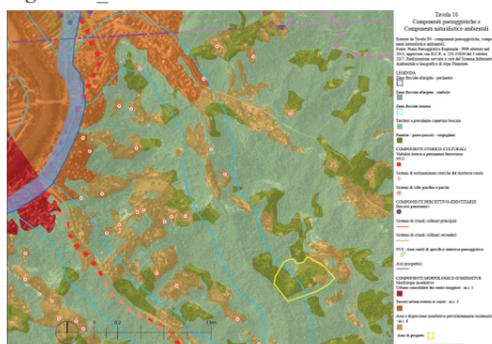
La Tavola P4 “Componenti Paesaggistiche” del Piano Paesaggistico Regionale (P.P.R., 2017) identifica (Figura 28 e Tavola 10):

- componenti percettivo-identitarie, l'area ricade ai margini di un sistema di crinali collinari e pedemontani principali e secondari che salvaguardano la visibilità dalle strade, dai punti panoramici e dal sistema dei crinali collinari (art. 31);
- componenti storico-culturali, l'area ricade nelle vicinanze di un ambito con rilevante valenza storico-culturale e paesaggistica espressione di

attività storicamente consolidate finalizzate alla villeggiatura, al loisir e al turismo (art. 26);

- componenti naturalistico-ambientali, l'area è parzialmente coperta da un territorio a prevalente copertura boscata (art. 16) ed è parzialmente coperta da praterie, prato-pascoli e cespuglieti (art. 19);
- componenti morfologico-insediative, l'area è caratterizzata da una morfologia a dispersione insediativa prevalentemente residenziale - m.i. 6 (art. 38).

Figura 28 Estratto Tavola 10



### 3.6 Sintesi dei vincoli ed indicazioni per il progetto

In Tabella 5, si riporta la sintesi dei vincoli e le indicazioni per il progetto.

Tabella 5 Sintesi dei vincoli e le indicazioni per il progetto

Vincolo urbanistico	<p>L'ambito di progetto è identificato dal P.R.G.C. di Torino con destinazione d'uso "Zone a verde privato con preesistenze edilizie parte collinare a levante del fiume PO" (art. 5 – ex art. 17)</p> <p>Sugli edifici esistenti sono ammessi interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia e ampliamenti a saturazione dell'indice. Gli interventi, con un indice di edificabilità fondiario massimo di 0,001 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, devono essere particolarmente attenti a non alterare l'ambiente circostante e deve essere salvaguardato l'impianto arboreo preesistente</p> <p>Il P.R.G.C. identifica le zone a verde privato con preesistenze edilizie come aree a compensazione obbligatoria, ovvero aree dove è consentito realizzare interventi solo previa compensazione ambientale equivalente o destinando altre porzioni di territorio a finalità di carattere ecologico, ambientale e paesaggistico o mediante monetizzazione</p>
Vincolo geomorfologico	<p>Nell'area è presente un fenomeno franoso classificato come "complesso", ma non attivo</p> <p>L'Allegato Tecnico Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica del P.R.G.C. di Torino (Tavola n. n.7/LAP) e le Norme sull'Assetto Idrogeologico e di Adeguamento al P.A.I. identifica due tipi di classificazione geomorfologica: la Classe IIIa, porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti, e Classe IIIb, ovvero porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente</p>

Vincolo acustico	L'ambito è classificato in Classe Acustica II – Aree prevalentemente residenziali (valori limite assoluti di emissione - diurno 50 dB e notturno 40 dB)
Vincolo paesaggistico	<p>L'ambito è classificato come bene ex L. 1497/1939 su cui vige un vincolo ambientale e paesaggistico (Tavola P2)</p> <p>L'ambito è connotato come un ambito "naturale/rurale alterato episodicamente da insediamenti" (Tavola P3)</p> <p>L'ambito, caratterizzato da una morfologia a dispersione insediativa prevalentemente residenziale, ricade nelle vicinanze di un ambito con rilevante valenza storico-culturale e paesaggistica espressione di attività storicamente consolidate finalizzate alla villeggiatura, al loisir e al turismo e ai margini di un sistema di crinali collinari e pedemontani principali e secondari che salvaguardano la visibilità dalle strade, dai punti panoramici e dal sistema dei crinali collinari (Tavola P4)</p>

In seguito all'analisi dei vincoli derivanti dalle norme vigenti, è evidente che la realizzazione del progetto sarebbe subordinata alla richiesta alla Regione Piemonte di autorizzazione paesaggistica, ai sensi degli articoli riguardanti "Interventi subordinati all'Autorizzazione Paesaggistica" e in particolare l'art. 146 del D. Lgs. 42/2004 in caso di interventi edilizi riguardanti immobili sottoposti a vincolo paesaggistico ai sensi degli artt. 134,136 e 142 dello stesso Decreto. In questo senso, l'autorizzazione paesaggistica, costituendo presupposto e atto autonomo rispetto al correlato titolo edilizio, deve contenere le necessarie verifiche circa il rispetto dei parametri edilizi e urbanistici, nonché quelle relative al rispetto delle prescrizioni contenute nelle Norme di Attuazione del Piano Paesaggistico Regionale.

# 04

## Dimensionamento e Analisi Costi Ricavi di un parco fotovoltaico in tre scenari

### 4.1 Descrizione dell'edificio

Non è nota con certezza la data di costruzione dell'edificio presente all'interno dell'area di progetto, è stato stimato che sia avvenuta intorno agli inizi del 1800. Il fabbricato come precedentemente citato, nacque dall'esigenza dei lavoratori contadini, di avere un deposito dei materiali per il lavoro nei campi, inoltre nell'ala Ovest era presente una stalla per gli animali da pascolo. Verso la metà degli anni '50 venne convertito a residenza, principalmente fu utilizzato come residenza di villeggiatura, per distaccarsi dal frenetico ritmo cittadino, durante i periodi di ferie. In questa fase furono apportate alcune modifiche, unicamente nella parte centrale dell'edificio, mentre la stalla rimase invariata. Successivamente nel 1995, i lavori di ristrutturazione, inclusero la stalla all'interno della residenza, rendendola abitabile. Infine nel 2016, l'intero edificio venne ricoperto da un cappotto termico, al fine di migliorare le prestazioni energetiche dell'abitazione.

Il fabbricato si presenta oggi perlopiù costruito in muratura, con la presenza, a tratti, di strutture in legno o cemento armato. L'altezza è variabile, l'ala Est raggiunge un'altezza complessiva di 4 metri, mentre il resto dell'edificio si sviluppa su due piani, per un'altezza complessiva di 10 metri. Il tetto a padiglione è totalmente in legno, ricoperto da tegole in laterizio. La residenza è caratterizzata da una superficie calpestabile totale di 750 m<sup>2</sup>.

E' allacciato alla rete elettrica e idrica, rispettivamente di Iren e SMAT. La caldaia a gas GPL, è alimentata da un serbatoio presente all'interno della proprietà, che necessita un rifornimento saltuario dal fornitore Liquigas. Sono state raccolte le bollette, per determinare le spese economiche ed energetiche dell'edificio, riportate nelle tabelle successive.

Figura 29\_Foto storica dell'edificio, vista dalla collina a Nord dell'edificio



Figura 30\_Foto storica dell'edificio, vista dall'interno cortile, lato Sud dell'edificio



Tabella 6\_Consumi energetici, nell'anno 2019. Fornitore Iren.

mesi	spese (€)	Consumo energia elettrica (kWh)	F1	F2	F3
Gennaio - Febbraio	472	2.051	33%	31%	36%
Marzo - Aprile	416	1.722	32%	29%	39%
Maggio - Giugno	389	1.541	37%	27%	36%
Luglio - Agosto	343	1.340	35%	26%	39%
Settembre - Ottobre	378	1.549	36%	28%	36%
Novembre - Dicembre	459	1.923	33%	30%	37%
Totale annuo	2.457	10.126	34%	29%	37%

Figura 31\_Consumi energetici, nell'anno 2019. Fornitore Iren.

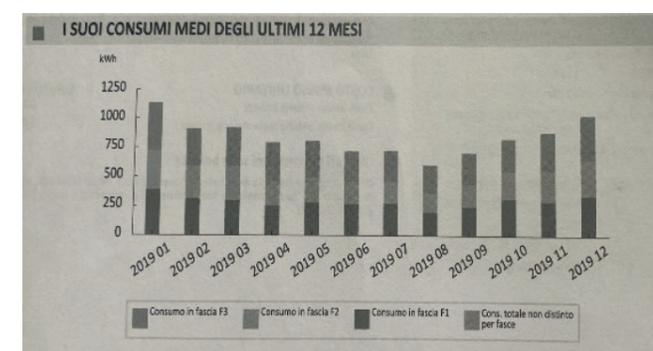


Tabella 7\_Consumi energetici, nell'anno 2022. Fornitore Iren.

mesi	spese (€)	Consumo energia elettrica (kWh)	F1	F2	F3
Gennaio - Febbraio	454	2.254	34%	27%	39%
Marzo - Aprile	355	1.744	37%	30%	33%
Maggio - Giugno	267	1.204	38%	24%	38%
Luglio - Agosto	245	1.043	36%	26%	38%
Settembre - Ottobre	233	1.010	37%	25%	38%
Novembre - Dicembre	570	1.474	34%	30%	36%
Totale annuo	2124	8.729	36%	27%	37%

Figura 32\_Consumi energetici, nell'anno 2022. Fornitore Iren.

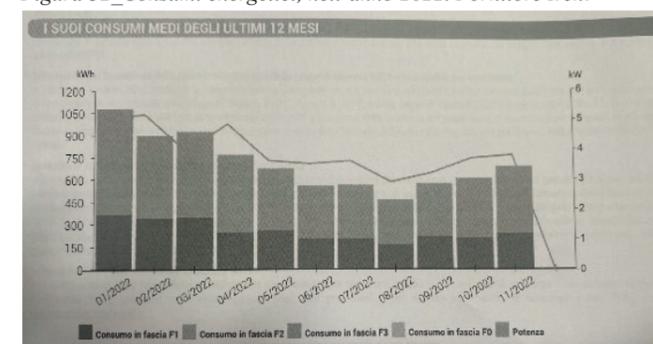


Tabella 8\_Fornitura di gas GPL (riscaldamento/fornelli), nell'anno 2019. Fornitore Liquigas.

Data	Litri	spesa (€)
1/8/2019	2.201	2.206
7/2/2019	1.001	1.013
10/22/2019	2.500	2.521
<b>Totale annuo</b>	<b>5.702</b>	<b>5.740</b>

Tabella 9\_Fornitura di gas GPL (riscaldamento/fornelli), nell'anno 2022. Fornitore Liquigas.

Data	Litri	spesa (€)
12/23/2021	2.000	2.300
3/1/2022	2.501	3.131
10/3/2022	1.701	2.244
<b>Totale annuo</b>	<b>6.202</b>	<b>7.675</b>

I consumi relativi all'utilizzo dell'acqua sanitaria, fornita da SMAT, equivalgono a una spesa di circa 907 € l'anno.

Ai fini del progetto, secondo cui l'edificio verrà alimentato totalmente da corrente elettrica, i consumi della caldaia a gas sono stati ricalcolati per una caldaia elettrica.

La conversione da litri di gas GPL, con un calore specifico equivalente di 26.100 kJ/litro, a kWh è stata calcolata moltiplicando i litri di gas per il fattore di conversione uguale a 7,25. In questo modo si ottiene l'equivalenza di kWh termici necessari per alimentare la caldaia a gas. Per passare alla caldaia elettrica, bisogna calcolare i fabbisogni termici netti, moltiplicando i dati in kWh, per l'efficienza di quest'ultima, stimata pari a 0,85.

Infine i risultati andranno divisi per il COP (Coefficient of Performance) della pompa di calore che sarà installata, in grado di soddisfare i fabbisogni termici e di acqua calda sanitaria (acs), COP = 3.

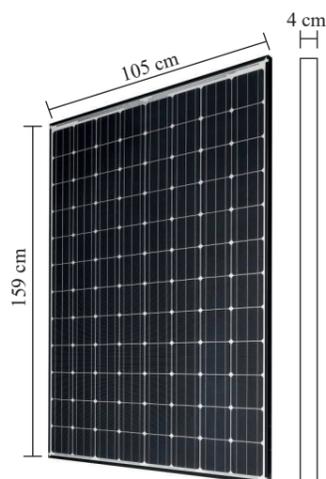
In questo modo sarà possibile sommare i kWh riferiti ai consumi elettrici e termici, per ottenere una stima dei consumi totali, mensili e annui, in grado di soddisfare il fabbisogno energetico dell'edificio.

Tabella 10\_Consumi totali: elettrici più termici

Data	Consumi elettrici apparecchiature (kWh)	fabbisogni termici netti per risc. e acs (kWh)	consumi termici caldaia a gas (kWh)	consumi elettrici pompa di calore (kWh)	Totale consumi elettrici (kWh)
Gennaio	1127	7662	9014	2554	3681
Febbraio	1127	7662	9014	2554	3681
Marzo	827	5279	6211	1760	2587
Aprile	827	2659	3128	886	1713
Maggio	650	0	0	0	650
Giugno	650	0	0	0	650
Luglio	575	0	0	0	575
Agosto	575	0	0	0	575
Settembre	625	0	0	0	625
Ottobre	505	2723	3203	908	1413
Novembre	737	5600	6588	1867	2604
Dicembre	737	6875	8088	2292	3029
<b>Totale annuo</b>	<b>8962</b>			<b>12820</b>	<b>21782</b>

## 4.2 Dimensionamento dell'impianto fotovoltaico

Panasonic HIT N330  
 Dimensioni: 105X159X4 (cm)  
 Area: 1,05X1,59= 1,67 m<sup>2</sup>



Modello	VBHN330SJ53
Potenza massima (Pmax) <sup>1</sup>	330 W
Tensione massima (Vpm)	58,0 V
Corrente massima (Ipm)	5,70 A
Tensione a circuito aperto (Voc)	69,7 V
Corrente di circuito (Isc)	6,07 A
Potenza massima a NOTC (Normal Operating Condition)	251,9 W
Coefficiente di temperatura (Pmax)	-0,258%/°C
Coefficiente di temperatura (Voc)	-0,164 V/°C
Coefficiente di temperatura (Isc)	3,34 mA/°C
NOCT	44,0 °C
Efficienza del modulo	19,7%
Tensione massima del sistema	1000 V
Amperaggio massimo del fusibile di serie	15 A
Tolleranza di potenza (-/+)	+10%/0%*

Unità di misura della Potenza: Watt (W)

Unità di misura dell'Energia Elettrica: kilowattora (kWh)

Es. Un forno di potenza 2000 W = 2 kW funziona per 1,5 h

L'energia elettrica consumata = 2 kW x 1,5 h = 3 kWh

Dimensionamento impianto fotovoltaico

Consumo annuo edificio: ~ 8962 kWh (elettricità) +

+ ~ 45.246 kWh (riscaldamento) = ~ 54.208 kWh

Caso A:

- Area A: 7650 m<sup>2</sup>

- N° max pannelli: ~ 1430

- Pannelli esposti a: Sud

- La potenza massima a NOTC è 330 x 1430 pannelli = 472 kW.

Caso B:

- Area B: 8000 m<sup>2</sup>

- N° max pannelli: ~ 1260

- Pannelli esposti a: Sud-Ovest

- La potenza massima a NOTC è 330 x 1260 pannelli = 416 kW.

Caso C:

- Area C: 333 m<sup>2</sup>

- N° max pannelli: ~ 81

- Pannelli esposti a: Sud-Ovest

- La potenza massima a NOTC è 330 x 81 pannelli = 26,73 kW.

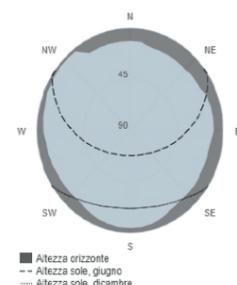
## Caso A: Pannelli a terra esposti a Sud



Figura 33\_ Area impianto fotovoltaico Caso A

- Area A: **7650 m<sup>2</sup>**
- N° max pannelli: ~ **1430**
- Pannelli esposti a: Sud
- Potenza impianto: 330 x 1430 pannelli = **472 kWp**.

Grafico dell'orizzonte al luogo scelto:



PVGIS-5 stima del rendimento energetico FV:

Valori inseriti:

Latitudine/Longitudine: 45.066, 7.749

Orizzonte: Calcolato

Database solare: PVGIS-SARAH

Tecnologia FV: Silicio cristallino

FV installato: 472 kWp

Perdite di sistema: 10%

Angolo inclinazione: 30°

Angolo orientamento: 0°

Output del calcolo:

Produzione annuale FV: 607.657.76 kWh

Irraggiamento annuale: 1698.76 kWh/m<sup>2</sup>

Variazione interautunnale: 25290.94 kWh

Variazione di produzione a causa di:

- Angolo d'incidenza: -2.63%

- Effetti spettrali: 0.97%

- Temperatura e irradianza bassa: -14.35%

Perdite totali: -24.22%

Energia FV irraggiamento mensile

Mese	E_m	H(i)_m	SD_m
Gennaio	33914	86.6	6195
Febbraio	38593	101	7656
Marzo	54985	148.7	7614
Aprile	57965	162.1	7254
Maggio	63232	180.5	5519
Giugno	65485	191.2	4767
Luglio	70890	210.4	3491
Agosto	65817	193.8	3698
Settembre	54864	156.3	3846
Ottobre	41167	111.1	6093
Novembre	29732	78.1	6634
Dicembre	31014	79.1	5064

E\_m: Media mensile del rendimento energetico dal sistema definito [kWh]  
H(i)\_m: Media mensile di irraggiamento al metro quadro sui moduli del sistema scelto [kWh/m<sup>2</sup>]  
SD\_m: Variazione standard del rendimento mensile di anno in anno [kWh]

PVGIS Unione Europea, 2001-2023

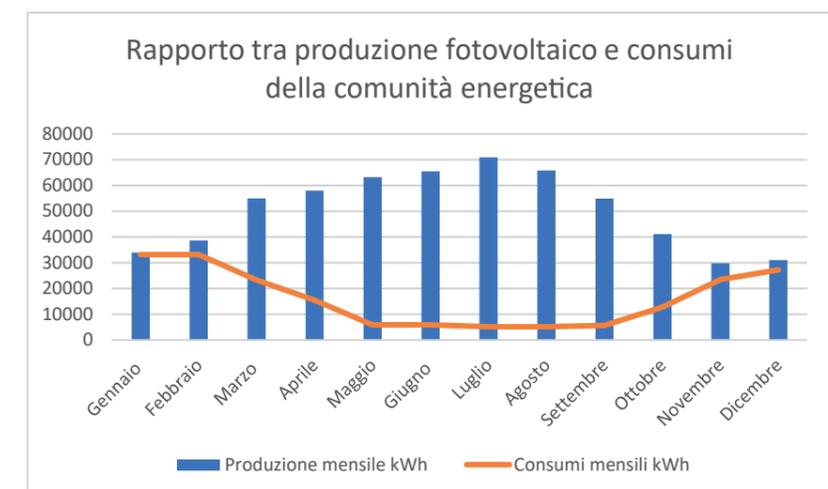
Tabella comparativa tra la produzione mensile dell'impianto fotovoltaico di progetto e i consumi mensili della possibile comunità energetica. Prendendo in considerazione un appartamento medio da 105 m<sup>2</sup> per 4 persone significa che la produzione del fotovoltaico nel mese peggiore riuscirebbe a soddisfare il fabbisogno di 63 appartamenti. Quindi vengono moltiplicati i consumi mensili dell'edificio tipo per 63 appartamenti.

Tabella 11\_ Confronto produzione e consumi mensili Caso A

	Produzione mensile kWh	Consumi mensili kWh	Self Sufficiency %
Gennaio	33914	33129	102
Febbraio	38593	33129	116
Marzo	54985	23283	236
Aprile	57965	15417	376
Maggio	63232	5850	1081
Giugno	65485	5850	1119
Luglio	70890	5175	1370
Agosto	65817	5175	1272
Settembre	54864	5625	975
Ottobre	41167	12717	324
Novembre	29732	23436	127
Dicembre	31014	27261	114
<b>Totale annuo</b>	<b>607658</b>	<b>196047</b>	
Surplus di energia da immettere in rete (kWh)			411611

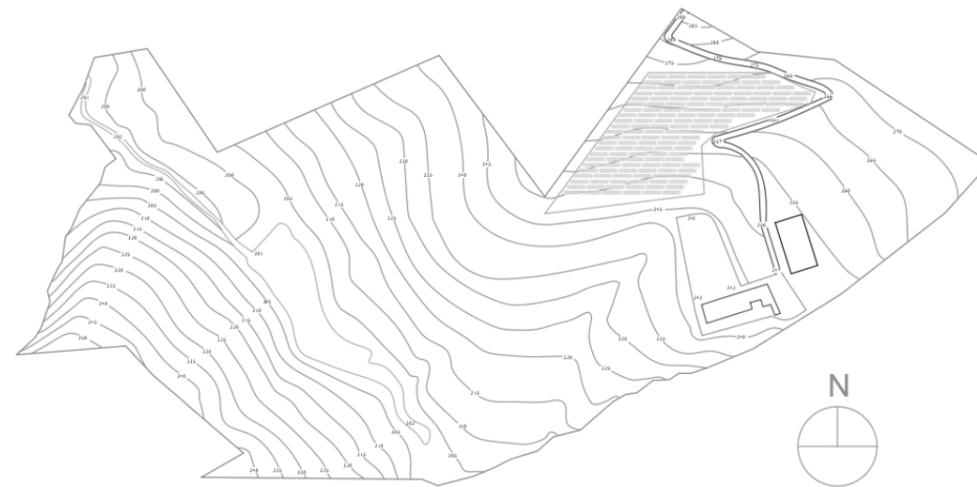
Nel calcolo dei consumi mensili sono stati considerati i consumi per riscaldamento, i consumi per raffrescamento, i consumi per acqua calda sanitaria e consumi elettrici per illuminazione ed elettrodomestici dell'edificio preso in considerazione.

Grafico 4\_ Rapporto tra produzione fotovoltaico e consumi dell'edificio Caso A



Si nota dal grafico che da Novembre a Febbraio la produzione dell'impianto non genera molto surplus di energia, ma poco più della quantità necessaria alle abitazioni della comunità. Nei mesi da Marzo ad Ottobre invece è presente un grande surplus di energia che verrà immesso in rete.

CASO A: ESEMPIO DEL POSIZIONAMENTO DEI 1430 PANNELLI SULLA ZONA COLLINARE A NORD DELLA PROPRIETA'

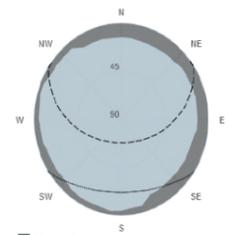


Caso B: Pannelli a terra esposti a Sud-Ovest



- Area B: **8000 m<sup>2</sup>**
- N° max pannelli: ~ **1260**
- Pannelli esposti a:  
Sud-Ovest
- Potenza impianto: 330 x  
1260 pannelli = **416 kWp.**

Grafico dell'orizzonte al luogo scelto:



■ Altezza orizzonte  
- - - Altezza sole, giugno  
- - - Altezza sole, dicembre

Figura 34\_ Area impianto fotovoltaico Caso B

PVGIS-5 stima del rendimento energetico FV:

Valori inseriti:

Latitudine/Longitudine: 45.066, 7.750

Orizzonte: Calcolato

Database solare: PVGIS-SARAH

Tecnologia FV: Silicio cristallino

FV installato: 416 kWp

Perdite di sistema: 10%

Angolo inclinazione: 30°

Angolo orientamento: 45°

Output del calcolo:

Produzione annuale FV: 514.324.03 kWh

Irraggiamento annuale: 1635.7 kWh/m<sup>2</sup>

Variazione interautunnale: 20978.95 kWh

Variazione di produzione a causa di:

- Angolo d'incidenza: -2.85%

- Effetti spettrali: 0.94%

- Temperatura e irradianza bassa: -14.36%

Perdite totali: -24.41%

Energia FV irraggiamento mensile

Mese	E_m	H(i)_m	SD_m
Gennaio	26663	77.3	5248
Febbraio	30295	90.3	5871
Marzo	45968	141.1	5942
Aprile	50152	158.9	5863
Maggio	55905	180.9	4377
Giugno	58149	192.6	3853
Luglio	62572	210.8	3034
Agosto	56960	190.3	2853
Settembre	46330	149.7	3031
Ottobre	34352	105.2	5003
Novembre	23212	69.5	5036
Dicembre	23766	69	3781

E\_m: Media mensile del rendimento energetico dal sistema definito [kWh]  
H(i)\_m: Media mensile di irraggiamento al metro quadro sui moduli del sistema scelto [kWh/m<sup>2</sup>]

SD\_m: Variazione standard del rendimento mensile di anno in anno [kWh]

PVGIS Unione Europea, 2001-2023

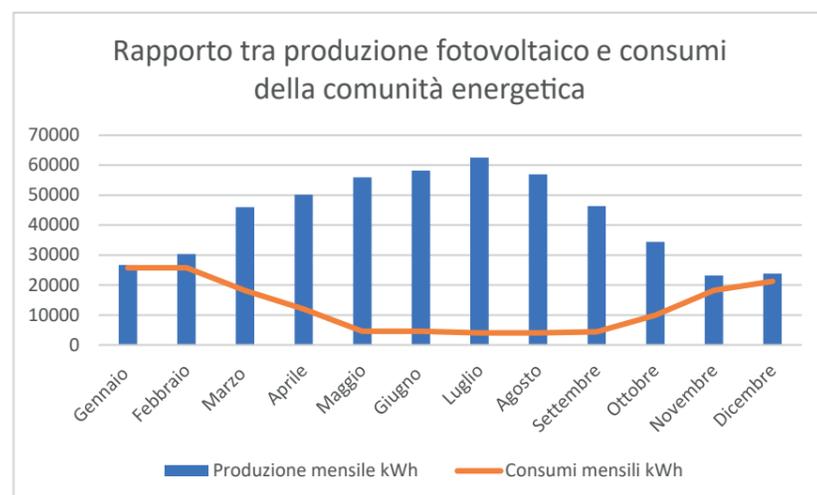
Tabella comparativa tra la produzione mensile dell'impianto fotovoltaico di progetto e i consumi mensili della possibile comunità energetica. Prendendo in considerazione un appartamento medio da 105 m<sup>2</sup> per 4 persone significa che la produzione del fotovoltaico nel mese peggiore riuscirebbe a soddisfare il fabbisogno di 49 appartamenti. Quindi vengono moltiplicati i consumi mensili dell'edificio tipo per 49 appartamenti.

Tabella 12\_ Confronto produzione e consumi mensili Caso B

	Produzione mensile kWh	Consumi mensili kWh	Self Sufficiency %
Gennaio	26663	25767	103
Febbraio	30295	25767	118
Marzo	45968	18109	254
Aprile	50152	11991	418
Maggio	55905	4550	1229
Giugno	58149	4550	1278
Luglio	62575	4025	1555
Agosto	56960	4025	1415
Settembre	46330	4375	1059
Ottobre	34352	9891	347
Novembre	23212	18228	127
Dicembre	23766	21203	112
<b>Totale annuo</b>	<b>514327</b>	<b>152481</b>	
<b>Surplus di energia da immettere in rete (kWh)</b>			<b>361846</b>

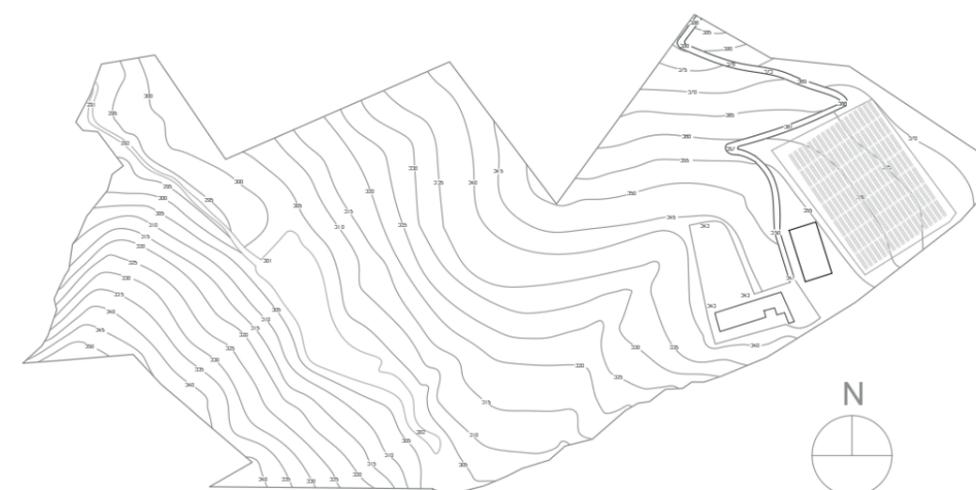
Nel calcolo dei consumi mensili sono stati considerati i consumi per riscaldamento, i consumi per raffrescamento, i consumi per acqua calda sanitaria e consumi elettrici per illuminazione ed elettrodomestici dell'edificio preso in considerazione.

Grafico 5\_ Rapporto tra produzione fotovoltaico e consumi dell'edificio Caso B



Si nota dal grafico che da Novembre a Febbraio la produzione dell'impianto non genera molto surplus di energia, ma poco più della quantità necessaria alle abitazioni della comunità. Nei mesi da Marzo ad Ottobre invece è presente un grande surplus di energia che verrà immesso in rete.

CASO B: ESEMPIO DEL POSIZIONAMENTO DEI 1260 PANNELLI SULLA ZONA COLLINARE A EST DELLA PROPRIETA'



### Caso C: Pannelli sul tetto dell'edificio esposti a Sud-Ovest



- Area C: **333 m<sup>2</sup>**  
 - N° max pannelli: ~ **81**  
 - Pannelli esposti a:  
 Sud-Ovest  
 - Potenza impianto: 330 x  
 81 pannelli = **26,73 kWp**.

Grafico dell'orizzonte al luogo scelto:

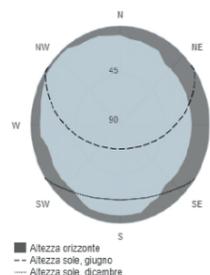


Figura 35\_ Area impianto fotovoltaico Caso C

PVGIS-5 stima del rendimento energetico FV:

Valori inseriti:

Latitudine/Longitudine: 45.065, 7.749

Orizzonte: Calcolato

Database solare: PVGIS-SARAH

Tecnologia FV: Silicio cristallino

FV installato: 26.73 kWp

Perdite di sistema: 10%

Angolo inclinazione: 30°

Angolo orientamento: 45°

Output del calcolo:

Produzione annuale FV: 31.707.41 kWh

Irraggiamento annuale: 1572.54 kWh/m<sup>2</sup>

Variazione interautunnale: 1205.26 kWh

Variazione di produzione a causa di:

- Angolo d'incidenza: -2.81%

- Effetti spettrali: 0.92%

- Temperatura e irradianza bassa: -14.55%

Perdite totali: -24.57%

Energia FV irraggiamento mensile

Mese	E_m	H(i)_m	SD_m
Gennaio	1543	69.9	271.1
Febbraio	1871	86.8	338.6
Marzo	2800	134.2	367
Aprile	3125	154.1	371.5
Maggio	3515	176.9	303.4
Giugno	3669	189	268.5
Luglio	3941	206.5	208.2
Agosto	3587	186.3	200.9
Settembre	2871	144.5	184.2
Ottobre	2070	98.9	300.5
Novembre	1425	66.5	298
Dicembre	1291	58.9	194.6

E\_m: Media mensile del rendimento energetico dal sistema definito [kWh]

H(i)\_m: Media mensile di irraggiamento al metro quadro sui moduli del sistema scelto [kWh/m<sup>2</sup>]

SD\_m: Variazione standard del rendimento mensile di anno in anno [kWh]

PVGIS Unione Europea, 2001-2023

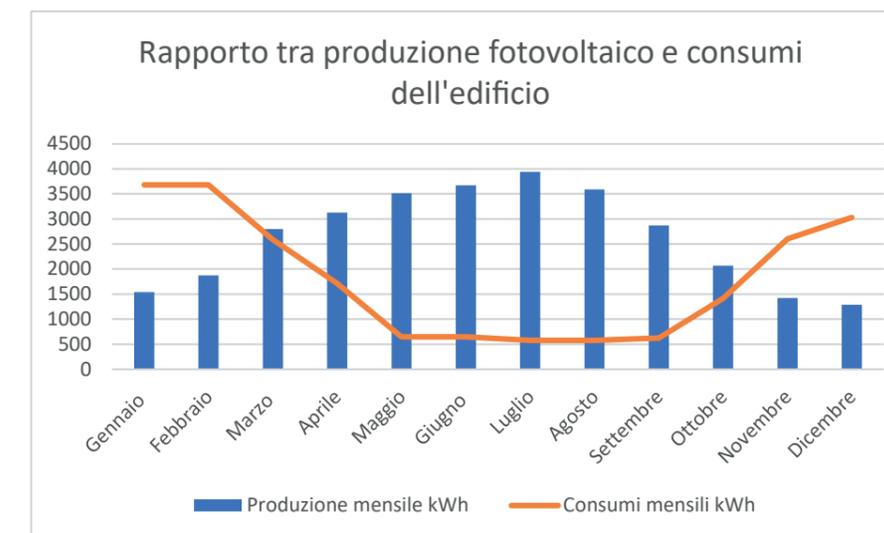
Tabella comparativa tra la produzione mensile dell'impianto fotovoltaico di progetto e i consumi mensili dell'edificio.

Tabella 13\_ Confronto produzione e consumi mensili Caso C

	Produzione mensile kWh	Consumi mensili kWh	Self Sufficiency %
Gennaio	1543	3681	42
Febbraio	1871	3681	51
Marzo	2800	2587	108
Aprile	3125	1713	182
Maggio	3515	650	541
Giugno	3669	650	564
Luglio	3941	575	685
Agosto	3587	575	624
Settembre	2871	625	459
Ottobre	2070	1413	146
Novembre	1425	2604	55
Dicembre	1291	3029	43
<b>Totale annuo</b>	<b>31708</b>	<b>21783</b>	

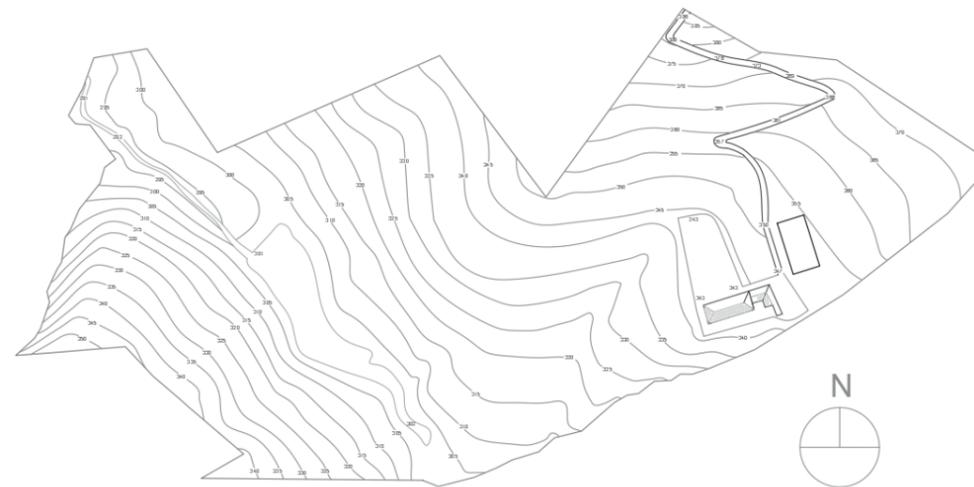
Nel calcolo dei consumi mensili sono stati considerati i consumi per riscaldamento, i consumi per raffrescamento, i consumi per acqua calda sanitaria e consumi elettrici per illuminazione ed elettrodomestici dell'edificio preso in considerazione.

Grafico 6\_ Rapporto tra produzione fotovoltaico e consumi dell'edificio Caso C



Si nota dal grafico che da Novembre a Febbraio la produzione dell'impianto non riesce a raggiungere il fabbisogno richiesto dall'edificio. Nei mesi da Marzo a Ottobre invece è presente un surplus di energia che verrà immesso in rete.

CASO C: ESEMPIO DEL POSIZIONAMENTO DEI 81 PANNELLI SUL TETTO DELL'EDIFICIO IN DIREZIONE SUD-OVEST



### 4.3 Una nuova potenziale Comunità Energetica

Dopo aver ultimato i calcoli di dimensionamento dell'impianto fotovoltaico, è stata creata una mappa (Scala 1:10000) in grado di rappresentare l'estensione massima della possibile Comunità Energetica. Più precisamente, l'impianto sarebbe in grado di soddisfare, nei mesi maggiormente sfavorevoli, il fabbisogno di 63 abitazioni (Caso A). All'interno della mappa è stata rappresentata l'area delle proprietà in grado di usufruire dell'energia dell'impianto, mentre il colore indica il numero di unità abitative al suo interno, come indicato in legenda.

Inoltre avendo localizzato l'area di progetto all'interno della Tavola "Mappa delle cabine primarie" (vedi allegato), si nota che la Comunità Energetica emergente sia totalmente inscritta all'interno del perimetro di un'unica cabina primaria, andando così a costituire una diminuzione della richiesta energetica di quest'ultima.

Legenda

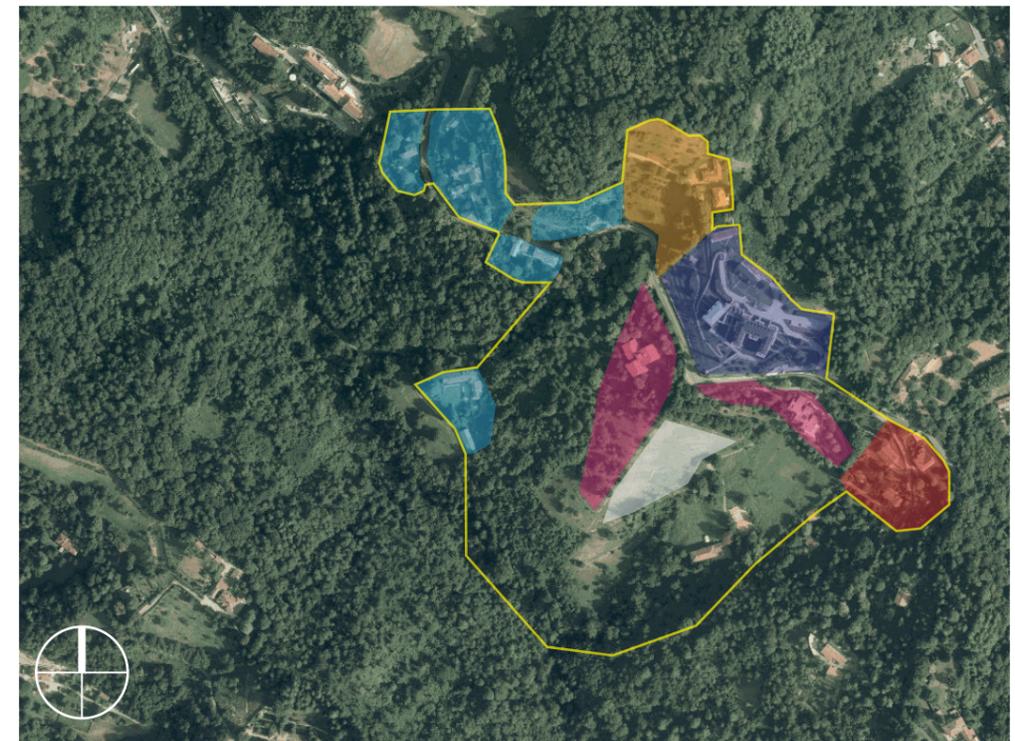
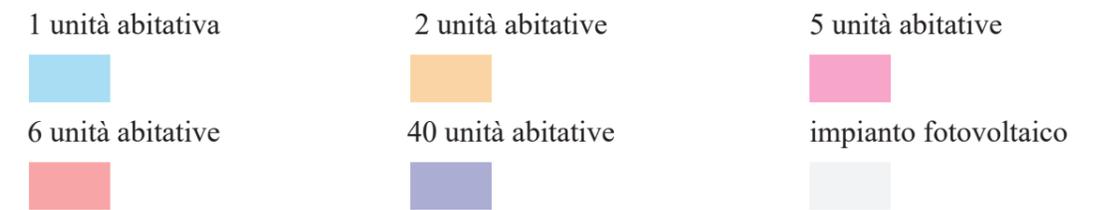


Figura 36\_ Rappresentazione Comunità energetica Caso A

## 4.4 Analisi dei costi e dei ricavi nel tempo

### 4.4.1 Dimensionamento della pompa di calore

Per il dimensionamento della pompa di calore, si è calcolata la potenza necessaria per soddisfare il fabbisogno termico dell'edificio. Questo è stato ricavato grazie alla conversione dai litri di gas propano liquido (GPL) necessari a scaldare l'abitazione, con l'attuale impianto di riscaldamento, in kWh di energia termica, che serviranno alla pompa di calore per soddisfare le necessità della casa.

L'edificio, confrontando le bollette mensili di due anni presi in considerazione (2019 e 2022), consuma circa 6.240 litri di GPL all'anno. Prendendo come riferimento il dato, da Tabella 9 (pag.77), dei consumi elettrici per la pompa di calore in kWh, risulta un consumo annuo di 12.820 kWh.

Consumo annuo in L di gas GPL	Conversione - 7,25 kWh/L	Consumi elettrici pompa di calore (kWh gas x 0,85/3)
6.240	45.240	12.820

Tabella 14\_ Conversione Litri GPL in kWh per la pompa di calore

Per ottenere il dato preciso sulla potenza della pompa di calore non basta il fabbisogno termico, ma sono necessari altri dati come: la temperatura esterna di progetto; i gradi giorno; le ore giorno.

Il primo dato riguarda la temperatura minima indicata per una determinata zona climatica, disponibile sul portale dell'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). Anche i gradi giorno sono dati ufficiali diversi per ogni città, i quali indicano la somma di tutte le differenze tra la temperatura interna dell'ambiente riscaldato e quella media esterna. Infine, le ore giorno rappresentano le ore di funzionamento dell'impianto durante l'anno, definite anch'esse dalla zona climatica. Ottenendo questi dati è possibile applicare la seguente formula per il calcolo della potenza della pompa di calore:

Dati riferiti alla città di Torino (da ENEA)
Fabbisogno termico annuale: 12.820 kWh
Temperatura interna: 20°C
Temperatura esterna: -8°C
Gradi giorno: 2.167
Ore giorno: 13
$12.820 \times [(20^\circ - (-8^\circ)) / 2617 / 13] = 10,5 \text{ kW}$

Tabella 15\_ Calcolo dimensionamento pompa di calore

Secondo questo calcolo il dimensionamento della pompa di calore dovrà prevedere una potenza di 10,5 kW, per garantire prestazioni ottimali in inverno e una condizione ambientale sempre gradevole durante tutto l'anno.

Per il calcolo dei costi è stata utilizzata la tabella di riferimento, ricavata dal Prezzario 2023 della Regione Piemonte.

I prezzi sono comprensivi del 26,50% (15% + 10%) per spese generali ed utili di impresa.

### 4.4.2 Costo della pompa di calore

Dopo aver stimato la potenza della pompa di calore necessaria per soddisfare il fabbisogno termico e la produzione di acqua calda sanitaria pari a 10,5 kW, è stato consultato il Prezzario della Regione Piemonte 2023. Nella sezione 03, ovvero quella di specifico interesse per quanto riguarda l'edilizia sostenibile, è stato deciso di utilizzare una pompa di calore aria-acqua monoblocco ad alta temperatura, elettrica, ad alta efficienza, con COP nominale non inferiore a 3,9, con aria esterna +7°C ed acqua in uscita +35°C, alimentazione monofase o trifase, con compressore rotativo scroll, da interno o esterno, temperature dell'acqua in uscita fino a 60-65°C, per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Infine con una potenza termica resa tra 9 e 11 kW

Seguendo le indicazioni regionali, questo tipo di impianto corrisponde ad un valore di circa: **10.397,04 €**.

## Sezione 03: Edilizia sostenibile

Sez.	Codice	Descrizione	Unità di misura	Euro	Manodopera lorda	% Manodopera
03	03.P13	IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE - RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO				
03	03.P13.L03	Pompa di calore aria-acqua monoblocco ad alta temperatura, elettrica, ad alta efficienza, COP nominale non inferiore a 3,9 con aria esterna +7°C ed acqua in uscita +35°C, alimentazione monofase o trifase, con compressore rotativo scroll, da interno o esterno, temperature dell'acqua in uscita fino a 60-65°C, per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.				
03	03.P13.L03.010	Potenza termica resa 9-11 kW	Cad.	10.397,04		

Tabella 16\_ Estratto da Prezzario Regione Piemonte

Bisogna poi aggiungere il costo della posa in opera, riferito al Prezzario Regionale Piemonte del 2023. Sempre all'interno della sezione 03, riferita all'edilizia sostenibile, si trova il valore riferito alla posa in opera di una pompa di calore monoblocco elettrica aria-acqua, acqua-acqua o acqua glicolata-acqua ad alta efficienza data funzionante in ogni sua parte, inclusi gli allacciamenti elettrici e idraulici, prove idrauliche, collaudi; escluso il sollevamento delle unità per il posizionamento a tetto o su coperture. Con potenza termica resa da 4 kW a 40 kW secondo l'art. 03.P13.L01,03.P13.L02, 03.P13.L03. Il quale costo risulta essere di: **811,52 €**.

## Sezione 03: Edilizia sostenibile

Sez.	Codice	Descrizione	Unità di misura	Euro	Manodopera lorda	% Manodopera
03	03.A12	IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE - RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO				
03	03.A12.F01	Posa in opera di pompa di calore monoblocco elettrica aria-acqua, acqua-acqua o acqua glicolata-acqua ad alta efficienza data funzionante in ogni sua parte, inclusi gli allacciamenti elettrici e idraulici, prove idrauliche, collaudi; escluso il sollevamento delle unità per il posizionamento a tetto o su coperture				
03	03.A12.F01.005	Potenza termica resa da 4 kW a 40 kW per art.03.P13.L01,03.P13.L02, 03.P13.L03.	Cad.	811,52	811,52	100,00%

Tabella 17\_ Estratto da Prezzario Regione Piemonte

Sommando quindi i prezzi dell'impianto e della posa in opera, il risultato finale è di: **11.208,56 €**.

#### 4.4.3 Costo dell'impianto fotovoltaico

Dopo aver stimato la potenza di picco (kWp) dell'impianto fotovoltaico nei casi A, B e C, è stato consultato il Prezzario della Regione Piemonte 2023. Nella sezione 03, ovvero quella di specifico interesse per quanto riguarda l'edilizia sostenibile, è stato deciso di utilizzare moduli fotovoltaici a struttura rigida realizzati con celle di silicio mono e poli cristallino con tensione massima di sistema 1000 V, scatola di connessione IP 65 completa di diodi di by-pass, involucro in classe II di isolamento certificato TUV con struttura sandwich: EVA, tedlar, cella, vetro temperato a basso contenuto di ferro, cornice in alluminio anodizzato, certificazione IEC 61215. Tra questi il pannello scelto ha una potenza di picco di 330 Wp, con un prezzo di 0,75 €/Wp. Il prezzo non è comprensivo degli inverter, dunque è stato scelto l'Inverter trifase in BT per connessione in rete con trasformatore per separazione galvanica, conversione DC/AC realizzata con tecnica PWM e ponte IGBT, filtri EMC in ingresso e in uscita, scaricatori di sovratensione, interruttori di potenza, dispositivo di distacco automatico dalla rete, tensione di uscita 400 V, con frequenza 50 Hz e distorsione armonica < 3%, efficienza > 90%, display a cristalli liquidi, conforme secondo le norme CEI 11-20. Con una potenza nominale di 30 kWp per il caso C, il prezzo per ogni inverter equivale a 5858,86 €. Per i casi A e B sono necessari due inverter con potenza nominale di 250 kWp ciascuno, il prezzo è di 24.930,13 € l'uno.

## Sezione 03: Edilizia sostenibile

Sez.	Codice	Descrizione	Unità di misura	Euro	Manodopera lorda	% Manodopera
03	03.P14	SISTEMI SOLARI				
03	03.P14.A01	Moduli fotovoltaici a struttura rigida realizzati con celle di silicio mono e poli cristallino, tensione massima di sistema 1000 V, scatola di connessione IP 65 completa di diodi di by-pass, involucro in classe II di isolamento certificato TUV con struttura sandwich: EVA, tedlar, cella, vetro temperato a basso contenuto di ferro, cornice in alluminio anodizzato, certificazione IEC 61215.				
03	03.P14.A01.050	Potenza di picco da 105 Wp a 330 Wp	Wp	0,75		
03	03.P14.A13	Inverter trifase in BT per connessione in rete con trasformatore per separazione galvanica, conversione DC/AC realizzata con tecnica PWM e ponte IGBT, filtri EMC in ingresso e in uscita, scaricatori di sovratensione, interruttori di potenza, dispositivo di distacco automatico dalla rete, tensione di uscita 400 V, con frequenza 50 Hz e distorsione armonica < 3%, efficienza > 90%, display a cristalli liquidi, conforme norme CEI 11-20.				
03	03.P14.A13.015	Potenza nominale 30 kWp	cad.	5.858,86		
03	03.P14.A13.040	Potenza nominale 250 kWp	cad.	24.930,13		

Tabella 18\_ Estratto da Prezzario Regione Piemonte

## Caso A:

Prezzo singolo pannello fotovoltaico:  $0,75 \text{ €/Wp} \times 330 \text{ Wp} = 247,5 \text{ €}$

Prezzo totale pannelli fotovoltaici:  $247,5 \text{ €} \times 1430 \text{ pz} = 353.925 \text{ €}$

Prezzo inverter:  $24.930 \text{ €} \times 2 \text{ pz} = 49.860 \text{ €}$

Prezzo totale senza posa in opera:  $353.925 \text{ €} + 49.860 \text{ €} = 403.785 \text{ €}$

## Caso B:

Prezzo singolo pannello fotovoltaico:  $0,75 \text{ €/Wp} \times 330 \text{ Wp} = 247,5 \text{ €}$

Prezzo totale pannelli fotovoltaici:  $247,5 \text{ €} \times 1260 \text{ pz} = 311.850 \text{ €}$

Prezzo inverter:  $24.930 \text{ €} \times 2 \text{ pz} = 49.860 \text{ €}$

Prezzo totale senza posa in opera:  $311.850 \text{ €} + 49.860 \text{ €} = 361.710 \text{ €}$

## Caso C:

Prezzo singolo pannello fotovoltaico:  $0,75 \text{ €/Wp} \times 330 \text{ Wp} = 247,5 \text{ €}$

Prezzo totale pannelli fotovoltaici:  $247,5 \text{ €} \times 81 \text{ pz} = 20.047 \text{ €}$

Prezzo inverter:  $5.858,86 \text{ €} \times 1 \text{ pz} = 5859 \text{ €}$

Prezzo totale senza posa in opera:  $20.047 \text{ €} + 5.859 \text{ €} = 25.906 \text{ €}$

Bisogna poi aggiungere il costo della posa in opera, riferito al Prezzario Regionale Piemonte del 2023. Sempre all'interno della sezione 03, riferita all'edilizia sostenibile, si trova il valore riferito alla posa in opera di moduli fotovoltaici a struttura rigida in silicio cristallino o amorfo, su struttura di sostegno modulare costituita da profilati in alluminio o acciaio, incluso cablaggio, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su copertura. Il prezzo è nuovamente differente per i tre casi: A e B fanno riferimento alla voce "Su coperture piane o su terreno, superficie installata oltre 100 m<sup>2</sup>" con il relativo costo di 55,29 €/m<sup>2</sup>; mentre per il caso C il valore della posa in opera "Su coperture inclinate, superficie installata oltre 100 m<sup>2</sup>" è di 61,43 €/m<sup>2</sup>.

Il prezzo della superficie di installazione in m<sup>2</sup> è stato calcolato come la sola impronta a terra dei pannelli fotovoltaici.

## Sezione 03: Edilizia sostenibile

	Codice	Descrizione	Unità di misura	Euro	Manodopera lorda	% Manodopera
Sez.	03.A13	SISTEMI SOLARI				
03	03.A13.A01	Posa in opera di moduli fotovoltaici a struttura rigida in silicio cristallino o amorfo, su struttura di sostegno modulare costituita da profilati in alluminio o acciaio, incluso cablaggio, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su copertura				
	03.A13.A01.015	Su coperture piane o su terreno, superficie installata oltre 100 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	55,29	55,29	100 %
03	03.A13.A01.020	Su coperture inclinate, superficie installata oltre 100 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	61,43	61,43	100 %

Tabella 19\_ Estratto da Prezzario Regione Piemonte

Caso A:

Prezzo posa in opera totale: 55,29 €/m<sup>2</sup> x 2592,02 m<sup>2</sup> = **143.313 €**

Caso B:

Prezzo posa in opera totale: 55,29 €/m<sup>2</sup> x 2284 m<sup>2</sup> = **126.275 €**

Caso C:

Prezzo posa in opera totale: 61,43 €/m<sup>2</sup> x 146,75 m<sup>2</sup> = **9.015 €**

I prezzi di riferimento acquisiti dal Prezzario Regionale del 2023 sono tutti calcolati al netto di IVA, la quale secondo l'Agenzia delle Entrate, facendo riferimento al numero 127-quinquies della Tabella A, Parte III, allegata al D.P.R. n. 633 del 1972, prevede l'applicazione dell'aliquota IVA ridotta del 10%, tra gli altri, agli "impianti di produzione e reti di distribuzione calore-energia e di energia elettrica da fonte solare-fotovoltaica ed eolica".

Pertanto, i risultati finali applicabili (comprensivi del prezzo della pompa di calore) per i tre casi studio presi in considerazione, vedono:

Caso A: 403.785 € + 143.313 € + 11.208 € = 558.307 € + 10% IVA = **614.690 €**Caso B: 361.710 € + 126.275 € + 11.208 € = 499.194 € + 10% IVA = **549.667 €**Caso C: 25.906 € + 9.015 € + 11.208 € = 46.130 + 10% IVA = **51.295 €**

Nel dettaglio è possibile notare quanto le varie voci incidano sul prezzo finale:

Caso A - i pannelli fotovoltaici per circa il 62%; l'inverter per circa il 9%; le spese di progettazione e installazione (comprensiva di cablaggio) per circa il 26%; la pompa di calore per circa il 3%.

Caso B - i pannelli fotovoltaici per circa il 62%; l'inverter per circa il 10%; le spese di progettazione e installazione (comprensiva di cablaggio) per circa il 25%; la pompa di calore per circa il 3%.

Caso C - i pannelli fotovoltaici per circa il 45%; l'inverter per circa il 14%; le spese di progettazione e installazione (comprensiva di cablaggio) per circa il 19%; la pompa di calore per circa il 22%.

#### 4.4.4 Valore attuale netto dell'investimento

Tale metodologia permette di valutare i flussi futuri, convertiti in flussi presenti, quindi pervenire al valore attuale, delle entrate e uscite di cassa, che avranno luogo in periodi diversi da oggi. Le voci presenti all'interno del calcolo sono definite per costi di investimento, costi di manutenzione e funzionamento e degli eventuali costi di smaltimento. La novità metodologica è rappresentata dall'indicatore economico utilizzato nell'analisi, il costo globale, ovvero il costo lungo il ciclo di vita dell'intervento.

Nell'equazione di seguito viene riportata la formula per il calcolo del costo globale:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j [ \sum_{i=1}^n ( C_{a,i}(j) \times R_d(i) ) - V_{f,\tau}(j) ]$$

dove  $C_g(\tau)$  rappresenta il costo globale riferito all'anno iniziale  $\tau_0$ ,  $C_I$  è il costo dell'investimento iniziale,  $C_{a,i}(j)$  è il costo annuale per il componente  $j$  all'anno  $i$  (compresi i costi di gestione e i costi periodici o di sostituzione),  $R_d(i)$  è il tasso di sconto per l'anno  $i$ ,  $V_{f,\tau}(j)$  è il valore finale del componente  $j$

alla fine del periodo di calcolo (riferito all'anno iniziale  $\tau_0$ ).

Come si evince dalla formula, il costo globale tiene conto del costo di investimento iniziale per mettere in atto gli interventi di efficientamento energetico, a cui si sommano durante la vita dell'investimento i "running costs", ovvero i costi annuali (il costo di energia, i costi ordinari e straordinari legati alla manutenzione, i costi di sostituzione) fino alla fine dell'analisi dove l'intervento stesso può assumere un valore residuo. La combinazione dell'indicatore di costo globale, con i ricavi attualizzati in un determinato periodo temporale, permettono di capire se l'investimento oggi possa essere proficuo in futuro.

Si consideri un Tasso di Interesse Reale  $RR = 4\%$

Secondo il metodo del calcolo del costo globale, tutti i costi futuri, distribuiti in tempi differenti, sono considerati come se occorressero nello stesso momento, cioè all'inizio del periodo di calcolo, considerando un tasso di sconto.

Il costo di investimento iniziale rimane invariato.

I costi futuri vengono attualizzati con il tasso di sconto

$$R_d = 1/(1+RR)$$

I valori annuali sono attualizzati con il "present value factor"

$$f_{pv(n)} = (1 + RR) - 1/RR + (1 + RR)$$

E' quindi necessario attualizzare alcuni valori, tramite i seguenti indici, ricavati dalle formule:

il costo di manutenzione straordinaria dell'anno 10

$$R_{10} = 1/(1 + 0,04)^{10} = 0,6756$$

il valore residuo nell'anno 20

$$R_{20} = 1/(1 + 0,04)^{20} = 0,4564$$

il costo annuale di manutenzione per 20 anni

$$f_{pv(20)} = (1 + 0,04)^{20} - 1/0,04 \times (1 + 0,04)^{20} = 13,5903$$

Per manutenzione ordinaria di un impianto fotovoltaico si intendono tutti gli interventi finalizzati a contenere il normale degrado dovuto all'utilizzo, viene effettuato circa una volta l'anno. Sono incluse nella manutenzione ordinaria tutte le operazioni che non riguardano la componente elettrica dell'impianto, come ad esempio:

- pulizia superficiale dei moduli, per consentire una maggiore ricezione dell'irraggiamento.
- verifica della tenuta della struttura di sostegno;
- monitoraggio della resa energetica, interventi migliorativi ed ispezioni visive (manutenzione ordinaria preventiva e migliorativa);
- controlli generali su tutto l'impianto;
- operazioni di manutenzione ordinaria amministrativa (pratiche burocratiche).

Il prezzo medio per eseguire la manutenzione ordinaria si aggira intorno ai 35 €/kW di potenza nominale di un impianto fotovoltaico.

La manutenzione straordinaria di un impianto fotovoltaico include tutti gli interventi che prevedono la sostituzione di alcune parti dell'impianto stesso, al fine di garantirne il suo corretto funzionamento. I professionisti, in base alla problematica riscontrata, potranno quindi intervenire con le seguenti operazioni:

- sostituzione dei pannelli solari (nell'eventuale presenza di crepe o danni dovuti agli agenti atmosferici);
- riparazione strutture;
- sostituzione dell'inverter;
- fissaggio ex novo dei telai;
- verifica, riparazione e sostituzione dei cavi elettrici;
- modifiche ed ampliamenti dell'impianto (installazione di ulteriori batterie nei sistemi di accumulo, aumento di potenza e movimentazione dei pannelli).

In linea generale, il costo medio per effettuare la manutenzione straordinaria è di circa 50 €/kW di potenza nominale di un impianto fotovoltaico.

Infine si stima che un impianto fotovoltaico dopo 20 anni di attività raggiunga un valore residuo del 90% inferiore rispetto al valore iniziale.

Si analizza ora il costo globale dei tre casi studio con i valori attualizzati:

Caso A

Investimento iniziale = 614.690 €

Costo ordinario di manutenzione = 35 €/kW x 472 kW = 16.520 €/l'anno

Costo straordinario di manutenzione (dopo 10 anni) = 50 €/kW x 472 kW = 23.600 €

Valore residuo (dopo 20 anni) = 614.690 - (614.690 x 90)/100 = 61.469 €

Categoria di spesa	Anno	Spesa	Indice di attualizzazione	Spesa attualizzata
Investimento iniziale	0	614.690 €		614.690 €
Costo manutenzione ordinaria	0-20	16.520 €/l'anno	13,5903	224.512 €
Costo manutenzione straordinaria	10	23.600 €	0,6756	15.944 €
Valore residuo	20	61.469 €	0,4564	- 28.054 €
<b>Costo Globale</b>				<b>827.092 €</b>

Tabella 20\_ Attualizzazione dei costi Caso A

Caso B

Investimento iniziale = 549.667 €

Costo ordinario di manutenzione = 35 €/kW x 416 kW = 14.560 €/l'anno

Costo straordinario di manutenzione (dopo 10 anni) = 50 €/kW x 416 kW = 20.800 €

Valore residuo (dopo 20 anni) = 549.667 - (549.667 x 90)/100 = 54.966 €

Categoria di spesa	Anno	Spesa	Indice di attualizzazione	Spesa attualizzata
Investimento iniziale	0	549.667 €		549.667 €
Costo manutenzione ordinaria	0-20	14.560 €/l'anno	13,5903	197.875 €
Costo manutenzione straordinaria	10	20.800 €	0,6756	14.052 €
Valore residuo	20	54.966 €	0,4564	- 25.086 €
<b>Costo Globale</b>				<b>736.508 €</b>

Tabella 21\_ Attualizzazione dei costi Caso B

Caso C

Investimento iniziale = 51.295 €

Costo ordinario di manutenzione = 35 €/kW x 26,73 kW = 935 €/l'anno

Costo straordinario di manutenzione (dopo 10 anni) = 50 €/kW x 26,73 kW = 1336 €

Valore residuo (dopo 20 anni) = 51.295 - (51.295 x 90)/100 = 5.129 €

Categoria di spesa	Anno	Spesa	Indice di attualizzazione	Spesa attualizzata
Investimento iniziale	0	51.295 €		51.295 €
Costo manutenzione ordinaria	0-20	935 €/l'anno	13,5903	12.707 €
Costo manutenzione straordinaria	10	1336 €	0,6756	903 €
Valore residuo	20	5.129 €	0,4564	- 2.341 €
<b>Costo Globale</b>				<b>62.564 €</b>

Tabella 22\_ Attualizzazione dei costi Caso C

#### 4.4.5 Ricavi, risparmi e guadagni nei diversi scenari

Totale consumi energetici, elettrici più acqua calda sanitaria (a.c.s.) e riscaldamento, dell'edificio all'interno della proprietà:

Data	Consumi elettrici mensili (kWh)	consumi elettrici per risc. e a.c.s. (kWh)	Totale consumi mensili (kWh)
Gennaio	1127	2554	3681
Febbraio	1127	2554	3681
Marzo	827	1760	2587
Aprile	827	886	1713
Maggio	650	0	650
Giugno	650	0	650
Luglio	575	0	575
Agosto	575	0	575
Settembre	625	0	625
Ottobre	505	908	1413
Novembre	737	1867	2604
Dicembre	737	2292	3029
<b>Totale annuo</b>	<b>8962</b>	<b>12820</b>	<b>21782</b>

Tabella 23\_ Consumi energetici dell'edificio

Il prezzo dell'energia elettrica stabilito da ARERA, aggiornato al 21/11/2023, è pari a 0,35 €/kWh. Moltiplicando dunque il totale dei consumi annui in kWh, necessari a soddisfare il fabbisogno dell'edificio, per il prezzo dell'energia in €/kWh, si ottiene la spesa totale riguardo all'illuminamento, al riscaldamento e alla produzione dell'acqua calda sanitaria. E' esclusa la spesa riferita alla fornitura idrica sanitaria.

$$\text{Spesa Tot. (annuale)} = (21.782 \text{ kWh} \times 0,35 \text{ €/kWh}) = \mathbf{7.624 \text{ €}}$$

La spesa deve poi essere moltiplicata per il periodo di vita utile del progetto, indicativamente riferito ad un arco temporale di 20 anni, a partire dal primo giorno di produzione dell'impianto fino al momento della dismissione dello stesso. Il prezzo viene attualizzato secondo il "present value factor" calcolato in precedenza uguale a 13,5903.

$$\text{Spesa Tot. (20 anni)} = 7.624 \text{ €} \times 13,5903 = \mathbf{103.612 \text{ €}}$$

Totale ricavi dell'investimento:

Caso A

Il prezzo dell'energia elettrica immessa in rete, in regime di scambio sul posto, stabilito dal GSE (Gestore Servizi Energetici), aggiornato al 21/11/2023, è pari a circa 0,10 €/kWh. Per poter ottenere i ricavi netti annuali, bisogna moltiplicare il dato riguardante la quantità di energia immessa in rete dall'impianto fotovoltaico di progetto, per il prezzo di acquisto dell'energia stabilito dal GSE. Al quale infine, sarà necessario, sottrarre il valore della Spesa Tot. (annuale).

Produzione media annuale di energia elettrica da fotovoltaico: 607.657 kWh  
 Prezzo medio di vendita in rete dell'energia elettrica: 0,10 €/kWh

$$\text{Ricavo Tot. (annuale)} = (607.657 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ €/kWh}) - 7.624 \text{ €} = \mathbf{53.142 \text{ €}}$$

Il ricavo deve poi essere moltiplicato per il periodo di vita utile del progetto, indicativamente riferito ad un arco temporale di 20 anni, a partire dal primo giorno di produzione dell'impianto fino al momento della dismissione dello stesso.

Il prezzo viene attualizzato secondo il “present value factor” calcolato in precedenza uguale a 13,5903.

$$\text{Ricavo Tot.}_{(20 \text{ anni})} = 53.142 \text{ €} \times 13,5903 = \mathbf{722.215 \text{ €}}$$

Per calcolare il “payback period” la formula considera anche l’autoconsumo all’interno dei ricavi annuali, avendo quindi un valore di 60.765 €, con una spesa finale per l’investimento nel Caso A, attualizzata in 20 anni, di 827.092 €.

$$\text{Payback period} = 827.092 \text{ €} / 60.765 \text{ €} = 13,6 \text{ anni}$$

Significa quindi che trascorsi poco più di 13 anni l’investimento sarà ripagato del tutto e il restante periodo (7 anni) genererà il guadagno netto pari a **371.994 €** senza considerare il risparmio sulla Spesa Tot.<sub>(20 anni)</sub> pari a 103.612 €.

Per un totale complessivo di ricavi + risparmi di **475.606 €**.

Questo risultato è stato calcolato senza la presenza di eventuali incentivi statali, i quali, riducendo le spese iniziali, permetterebbero un rientro dell’investimento anticipato e aumenterebbero i ricavi finali.

#### Caso B

Produzione media annuale di energia elettrica da fotovoltaico: 514.324 kWh  
Prezzo medio di vendita in rete dell’energia elettrica: 0,10 €/kWh

$$\text{Ricavo Tot.}_{(annuale)} = (514.324 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ €/kWh}) - 7.624 \text{ €} = \mathbf{43.808 \text{ €}}$$

$$\text{Ricavo Tot.}_{(20 \text{ anni})} = 43.808 \text{ €} \times 13,5903 = \mathbf{595.364 \text{ €}}$$

Per calcolare il “payback period” la formula considera anche l’autoconsumo all’interno dei ricavi annuali, avendo quindi un valore di 51.432 €, con una spesa finale per l’investimento nel Caso B, attualizzata in 20 anni, di 736.508 €.

$$\text{Payback period} = 736.508 \text{ €} / 51.432 \text{ €} = 14,3 \text{ anni}$$

Significa quindi che trascorsi poco più di 14 anni l’investimento sarà ripagato del tutto e il restante periodo (6 anni) genererà il guadagno netto pari a **262.848 €** senza considerare il risparmio sulla Spesa Tot.<sub>(20 anni)</sub> pari a 103.612 €.

Per un totale complessivo di ricavi + risparmi di **366.460 €**.

Questo risultato è stato calcolato senza la presenza di eventuali incentivi statali, i quali, riducendo le spese iniziali, permetterebbero un rientro dell’investimento anticipato e aumenterebbero i ricavi finali.

#### Caso C

In questo caso l’investimento non mira ad un guadagno economico, ma solamente a soddisfare il fabbisogno del singolo edificio presente all’interno della proprietà. E’ necessario quindi comprendere, quali siano i risparmi energetici, nei mesi in cui l’impianto fotovoltaico non soddisfa il fabbisogno, e quali siano i ricavi derivanti dalla sovrapproduzione, nei mesi più favorevoli.

	Produzione mensile kWh	Consumi mensili kWh	Energia da acquistare kWh	Energia da vendere kWh
Gennaio	1543	3681	2138	
Febbraio	1871	3681	1810	
Marzo	2800	2587		213
Aprile	3125	1713		1412
Maggio	3515	650		2865
Giugno	3669	650		3019
Luglio	3941	575		3366
Agosto	3587	575		3012
Settembre	2871	625		2246
Ottobre	2070	1413		657
Novembre	1425	2604	1179	
Dicembre	1291	3029	1738	
Totale annuo	31708	21783	6865	16790

Tabella 24\_ Confronto compra-vendita energia Caso C

	% di energia risparmiata o sovrapprodotta
Gennaio	42
Febbraio	51
Marzo	108
Aprile	182
Maggio	541
Giugno	564
Luglio	685
Agosto	624
Settembre	459
Ottobre	146
Novembre	55
Dicembre	43
Totale annuo	145,6

Tabella 25\_ Differenza percentuale tra energia acquistata e prodotta dall'impianto

Prezzo medio di vendita in rete dell'energia elettrica: 0,10 €/kWh

Per comprendere il risparmio sui costi annuali bisogna sottrarre al prezzo dell'energia acquistata quello dell'energia immessa in rete.

$$\text{Spesa}_{(\text{annuale})} = (6.865 \text{ kWh} \times 0,35 \text{ €/kWh}) = \mathbf{2.403 \text{ €}}$$

$$\text{Ricavo energia venduta}_{(\text{annuale})} = (16.790 \text{ kWh} \times 0,10 \text{ €/kWh}) = \mathbf{1.679 \text{ €}}$$

$$\text{Spesa Tot.}_{(\text{annuale})} = 2.403 \text{ €} - 1679 \text{ €} = \mathbf{724 \text{ €}}$$

$$\text{Risparmio}_{(\text{annuale})} = 7.624 \text{ €} - 724 \text{ €} = \mathbf{6.900 \text{ €}}$$

Il risparmio in 20 anni viene attualizzato con il “present value factor” calcolato in precedenza, con un valore di 13,5903

$$\text{Risparmio}_{(20 \text{ anni})} = 6.900 \text{ €} \times 13,5903 = \mathbf{93.773 \text{ €}}$$

Per calcolare il “payback period” la formula considera anche l'autoconsumo all'interno dei risparmi annuali, avendo quindi un valore di 6.900 €, con una spesa finale per l'investimento nel Caso C, attualizzata in 20 anni, di 62.564 €.

$$\text{Payback period} = 62.564 \text{ €} / 6.900 \text{ €} = \mathbf{9 \text{ anni}}$$

Significa quindi che trascorsi 9 anni l'investimento sarà ripagato del tutto e il restante periodo (11 anni) genererà il guadagno netto pari a **18.469 €**.

Questo risultato è stato calcolato senza la presenza di eventuali incentivi statali, i quali, riducendo le spese iniziali, permetterebbero un rientro dell'investimento anticipato e aumenterebbero i ricavi finali.

# 05

## Conclusioni

Lo scopo del presente lavoro di tesi, non è tanto la realizzazione di un parco fotovoltaico in sé, quanto rendere note le possibilità offerte dalle tecnologie, presenti oggi, in grado di produrre energia da fonti rinnovabili. Infatti l'elaborato è stato realizzato seguendo un percorso, il quale contiene all'inizio le proposte avanzate dall'Unione Europea per apportare un profondo cambiamento all'interno del parco energetico di tutti gli Stati membri, favorendo la transizione dai combustibili fossili, come principali prodotti a livello globale per la produzione di energia, alle fonti rinnovabili. Per attuare i piani europei uno dei principali mezzi da utilizzare, sono proprio le tecnologie a zero emissioni di gas a effetto serra, ma prima di decidere quali utilizzare e come farlo è importante conoscerle. Per questo motivo il percorso continua analizzandole singolarmente, mostrando come queste siano in grado di sfruttare prodotti offerti dalla natura, che sulla Terra sono illimitati e sempre presenti. Senza trascurare il presupposto per cui ogni prodotto generato dall'Uomo, porti con sé un coefficiente negativo per l'ambiente.

Il passo successivo segue un leggero cambio di rotta, fatta esperienza delle nozioni fondamentali sulle energie rinnovabili, è necessario discostarsi dalla teoria per approcciare un esempio pratico. Qui inizia la presentazione del progetto di un impianto fotovoltaico, che ha come scopo principale quello di mostrare i ricavi e i risparmi che il singolo cittadino possa ottenere da un investimento di transizione, dai tradizionali metodi di produzione energetica, all'utilizzo delle fonti rinnovabili. Il progetto all'interno della presente Tesi mostra come sia possibile approcciare uno studio di fattibilità di questo genere. L'idea è stata quella di proporre tre casi di impianto, nei primi due (A e B) l'obiettivo è di creare un parco fotovoltaico per soddisfare i fabbisogni di una comunità energetica nell'area circostante alla proprietà, quindi ottenere dei ricavi economici. Nel terzo caso (C) l'impianto ha lo scopo di diminuire le spese energetiche del singolo edificio, portando notevoli risparmi ai fruitori di tale servizio. Si è partiti innanzitutto dall'analisi dell'area scelta come caso studio, per poter comprendere i vincoli di tipo urbanistico, geomorfologico, autistico e paesaggistico vigenti sull'ambito. Da questa analisi è emerso che, secondo le normative vigenti del Piano Regolatore Generale di Torino e del Piano Paesaggistico Regionale di Regione Piemonte, sarebbe necessario richiedere l'autorizzazione paesaggistica alla Regione Piemonte prima di avviare la progettazione dell'impianto nei casi A e B. Dopodiché è stata

stimata la dimensione degli impianti realizzabili nei tre casi, a seconda della posizione nell'area di progetto. Il Caso A con l'applicazione di 1430 pannelli fotovoltaici è in grado di soddisfare il fabbisogno energetico totale di 63 unità abitative, con un ricavo netto dall'investimento di 475.606 € in vent'anni. Il Caso B invece, con l'applicazione di 1260 pannelli fotovoltaici è in grado di soddisfare il fabbisogno energetico totale di 49 unità abitative, con un ricavo netto dall'investimento di 366.460 € in vent'anni. Mentre il Caso C vede l'applicazione di 81 pannelli fotovoltaici, in grado di ridurre le spese del singolo edificio dagli attuali 7.624 € a 724 €, ottenendo così un risparmio di 6.900 € annui. Per un risparmio netto in vent'anni di circa 93.773 €.

Per terminare il percorso è possibile riflettere sul fatto che, per poter tutelare il pianeta da un incessante aumento delle temperature, per effetto dei gas a effetto serra, con conseguenze catastrofiche a causa dei cambiamenti climatici, sia necessario apportare grandi modifiche ai nostri sistemi di generazione energetica. Ancora oggi, nonostante la consapevolezza del pericolo a cui l'umanità sta andando incontro, quasi tutta l'energia presente nel parco energetico mondiale proviene da fonti non rinnovabili, prevalentemente da combustibili fossili. Per troppi anni la popolazione ha usufruito di risorse provenienti da terze parti, senza preoccuparsi di come queste venissero prodotte o con quale grado di attenzione fossero trattate nel rispetto dell'ambiente. Ora, come riportato dal nuovo rapporto sul clima (2023) dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dell'Onu, principale organismo scientifico internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici, "La finestra di opportunità per garantire un futuro vivibile e sostenibile per tutti si sta rapidamente chiudendo. [...] Bisogna agire ora o sarà troppo tardi", il segretario generale dell'Onu António Guterres ha inoltre aggiunto: "Questo rapporto è una chiamata a gran voce per accelerare in modo massiccio gli sforzi per il clima da parte di ogni paese, di ogni settore e in ogni momento. Il nostro mondo ha bisogno di un'azione per il clima su tutti i fronti: tutto, ovunque, in una volta sola". E' evidente che sia necessaria una responsabilizzazione da parte di tutti i cittadini, i quali dovranno cercare di autoprodursi energia rinnovabile e non più acquistarla da altre fonti. Ritengo che per realizzare questo grande obiettivo generale, quale l'ottenimento di un sistema energetico globale a zero emissioni di gas serra, sia essenziale incentivare, in qualsiasi modo, ogni singolo cittadino a

far parte di questa transizione energetica.

Per questo motivo il percorso di tutta la Tesi porta a una riflessione che ogni individuo potrà fare, ovvero comprendere che con la generazione di energia da fonti rinnovabili sarà in grado di ottenere un ricavo personale, contribuendo al benessere collettivo e promuovendo la prosperità della Terra in un contesto di sostenibilità globale.

# 06

## Bibliografia

**Acea.** (2021, Agosto 20). Biomasse: cosa sono e come si produce energia. Tratto da Acea energia: <https://www.acea.it/guide/biomasse>

**ARPAT.** (2023, Aprile 27). La produzione di energia dalla risorsa geotermica. Tratto da (ARPAT) Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana: [https://www.arpat.toscana.it/notizie/2023/lezione-scientifica-la-dimensione-energetica-del-cambiamento-climatico-il-geotermico-in-toscana-potenzialita-e-criticita/la-produzione-di-energia-dalla-risorsa-geotermica#:~:text=Nello%20scambiatore%20di%20calore%](https://www.arpat.toscana.it/notizie/2023/lezione-scientifica-la-dimensione-energetica-del-cambiamento-climatico-il-geotermico-in-toscana-potenzialita-e-criticita/la-produzione-di-energia-dalla-risorsa-geotermica#:~:text=Nello%20scambiatore%20di%20calore%20)

**Barroco Fontes Cunha, F., Carani, C., Nucci, C., Castro, C., Santana Silva, M., & Torres, E.** (2021, Maggio). Transitioning to a low carbon society through energy communities: Lessons learned from Brazil and Italy. 75. Tratto da Energy Research & Social Science: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629621000876?via%3Dihub>

**Barroco, F., Cappellaro, F., & Palumbo, C.** (2020). LE COMUNITÀ ENERGETICHE IN ITALIA . Tratto da GECO (Green Energy COMMUNITY): [https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2020/guida\\_comunita-energetiche.pdf](https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2020/guida_comunita-energetiche.pdf)

**Beloli, A.** (2022, Ottobre 16). Quanto contano le fonti rinnovabili nel mix energetico mondiale e italiano. Tratto da Geopop: <https://www.geopop.it/quanto-contano-le-fonti-rinnovabili-nel-mix-energetico-mondiale-e-italiano/>

**Bódis, K., Kougias, I., Jäger-Waldau, A., Taylor, N., & Szabó, S.** (2019, Ottobre). A High-Resolution Geospatial Assessment of the Rooftop Solar Photovoltaic Potential in the European Union. ScienceDirect, p. Volume 114.

**Brüstle, F.** (2022). Carbon Footprint Optimization for a Large-Scale PV on-Grid System in Borlänge, Sweden. Falun, Sweden: Dalarna University.

**Bustamante, M., & Gaustad, G.** (2014). Challenges in Assessment of Clean Energy Supply-Chains Based on Byproduct Minerals: A Case Study of Tellurium Use in Thin Film Photovoltaics. ScienceDirect, 397-414; Volume 123.

**Caramizaru, A., & Uihlein, A.** (2020). Energy Communities: An Overview of Energy and Social Innovation. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

**Chatzipanagi, A., Jaeger-Waldau, A., Cleret de Langavant, C., Letout, S., Latunussa, C., Mountraki, A., . . . Shtjefni, D.** (2022). Photovoltaics in the European Union—2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets. Lussemburgo: Final Report; Publications Office of the European Union.

**Chowdhury, M., Rahman, K., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., . . . Amin, N.** (2020, Gennaio). An Overview of Solar Photovoltaic Panels' End-of-Life Material Recycling. ScienceDirect, p. Volume 27.

**Cielo, A., Margiaria, P., Lazzeroni, P., Mariuzzo, I., & Repetto, M.** (2021, Settembre 20). Renewable energy communities business models under the 2020 Italian regulation. Journal of Cleaner Production, 316.

**Commissione Europea.** (2023). Comunità energetiche. Tratto da Direzione generale dell'Energia: [https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en)

**Commissione Europea.** (2023, Marzo 30). Direttiva sulle energie rinnovabili. Tratto da Direzione generale dell'Energia: [https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)

**Commissione Europea.** (2023). Realizzare il Green Deal europeo. Tratto da Direzione generale della Comunicazione: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

**Directive (EU) 2018/2001.** (s.d.). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources. Tratto da <https://eur-lex.europa.eu/>

legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=fr

**Directive (EU) 2018/2001.** (s.d.). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources.

**Directive (EU) 2019/944.** (s.d.). Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on Common Rules for the Internal Market for Electricity and Amending Directive 2012/27/EU. Tratto da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944>

**Directive (EU) 2019/944.** (s.d.). Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on Common Rules for the Internal Market for Electricity and Amending Directive 2012/27/EU.

**Divya, A., Adish, T., Kaustubh, P., & Zade, P.** (2023, Maggio). Review on Recycling of Solar Modules/Panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 253.

**Dolce, S.** (2021, Marzo). Dimensionamento dei componenti e studio dell'influenza dei loro dati di targa in un sistema ibrido fotovoltaico, idroelettrico ed eolico a servizio di un rifugio alpino off-grid. Tesi di Laurea magistrale. Torino: Politecnico di Torino.

**Eideh, O. A.** (2021, Marzo 4). Auto elettriche, una transizione difficile. I nemici si chiamano carbone, litio e cobalto. *Il Fatto Quotidiano*.

**Espe, E., Potdar, V., & Chang, E.** (2018). Prosumer communities and relationships in smart grids: A literature review, evolution and future directions. Tratto da *Energies*: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/10/2528>

**European Commission.** (2015). *Best Practices on Renewable Energy Self-Consumption*. Brussels, Belgium: European Commission.

**European Commission.** (2021). *Contributing to the European Green Deal*

and the Union's Recovery. Brussels, Belgium: European Commission .

**Fotovoltaico norditalia.** (2022). Come funziona un impianto fotovoltaico e come produce elettricità. Tratto da *Fotovoltaico norditalia*: <https://www.geopop.it/quanto-contano-le-fonti-rinnovabili-nel-mix-energetico-mondiale-e-italiano/>

**Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.** (2023). *Photovoltaics Report*. Friburgo, Germania: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

**Fthenakis, V., & Kim, H.** (2011, Agosto). *Photovoltaics: Life-Cycle Analyses*. ScienceDirect, p. 1609-1628; Volume 85.

**GSE.** (2021, Luglio). *Fonti Rinnovabili in Italia e Nelle Regioni 2012–2019*. Tratto da *Gestore Servizi Energetici*: [https://www.gse.it/documenti\\_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Rapporto%20statistico%20di%20monitoraggio%20di%20cui%20al%20DM%2011-5-15%20art%207\\_anni%202012-2019.pdf](https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Rapporto%20statistico%20di%20monitoraggio%20di%20cui%20al%20DM%2011-5-15%20art%207_anni%202012-2019.pdf)

**Hamed, T., & Alshare, A.** (2022). Environmental Impact of Solar and Wind Energy. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, p. 1-23.

**Heldeweg, M., & Saintier, S.** (2020, Marzo). Renewable energy communities as 'socio-legal institutions': A normative frame for energy decentralization? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119.

**IEA.** (2021). *Prospettive mondiali sull'energia*. Tratto da IEA (International Energy Agency).

**IEA.** (2022, Ottobre). *World Energy Outlook 2022*. Tratto da International Energy Agency (IEA): <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

**IEA.** (2023). *Snapshot of Global PV Markets 2023 Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach PVPS*. Paris, France: International Energy Agency.

**International Energy Agency (IEA).** (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency: Paris, France, p. Volume 224.

**Italia Domani.** (2021, Dicembre 20). Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Tratto da Italia Domani : <https://www.italiadomani.gov.it/en/home.html>  
**ITRPV.** (2022). International Technology Roadmap for Photovoltaic. ITRPV: Frankfurt am Main, p. Volume 14.

**Milčiuvienė, S., Kiršienė, J., Dohejko, E., Urbonas, R., & Milčius, D.** (2019). The role of renewable energy prosumers in implementing energy justice theory. Tratto da Sustainability: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5286>

**Montag, H., Parker, G., & Clarkson, T.** (2016). The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity: A Comparative Study. Blackford, UK: Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity.

**Moroni, S., Antonucci, V., & Bisello, A.** (2019, Giugno). Local Energy Communities and Distributed Generation: Contrasting Perspectives, and Inevitable Policy Trade-Offs, beyond the Apparent Global Consensus. Sustainability.

**Mutani, G., Todeschi, V., Santantonio, S., & Bazzino, M.** (2019). Energy communities a new energy policy at territorial scale. Energy for Sustainability International Conference 2019, 24.

**REScoop MECISE.** (2019). Mobilising European Citizens to Invest in Sustainable Energy, Clean Energy for All Europeans. RESCOOP MECISE Horizon 2020 Project.

**Rete Clima.** (2019, Novembre 3). LCA-Life Cycle Assessment (Analisi del ciclo di vita). Tratto da Rete Clima: <https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/#:~:text=L'LCA%20%C3%A8%20la%20metodologia,%2C%20sistemi%20economici%2C%20filiera%20produttive>.

**Silva, M.; Raadal, H.L.** (2019). Life cycle GHG emissions of renewable and non-renewable electricity generation technologies. Aalborg, Denmark: Aalborg University.

**Trivedi, H., Meshram, A., & Gupta, R.** (2023, Aprile). Recycling of Photovoltaic Modules for Recovery and Repurposing of Materials. Journal of Environmental Chemical Engineering, p. Volume 11.

**U.S. Department of Energy.** (2021, Marzo 31). How Much Power Does A Nuclear Reactor Produce? Tratto da Office of Nuclear Energy/U.S, Department of Energy: <https://www.energy.gov/ne/articles/infographic-how-much-power-does-nuclear-reactor-produce>

**Ufficio Energia Legambiente.** (2021). Comunità Rinnovabili 2021. Tratto da [legambiente.it](https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/07/Comunita-Rinnovabili-2021.pdf): <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/07/Comunita-Rinnovabili-2021.pdf>

**van de Ven, D., Capellan-Peréz, I., Arto, I., Cazarro, I., de Castro, C., Patel, P., & Gonzalez-Eguino, M.** (2021, Febbraio 3). The potential land requirements and related land use change emissions of solar energy. scientific reports , p. Article number: 2907 (2021).

**Weckend, S., Wade, A., & Heath, G.** (2016). End-Of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. Abu Dhabi, United Arab Emirates: IRENA and IEA-PVPS.

**Weckend, S., Wade, A., & Heath, G.** (2016). End-Of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. Abu Dhabi, United Arab Emirates: IRENA and IEA-PVPS.

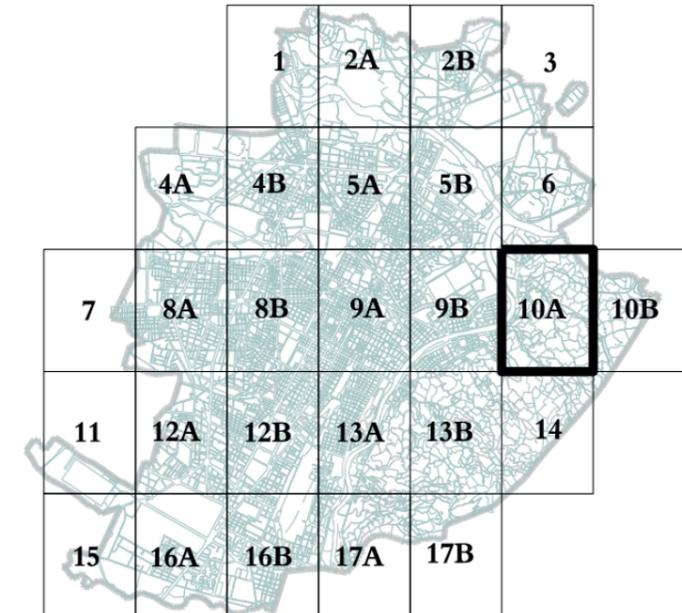
**Worldmeter.** (2022, Febbraio 7). Real Time World Statistics. Tratto da Worldmeter: <https://www.worldometers.info/>

# 07

## Allegati

TAVOLA 1  
Azzonamento  
Aree normative e destinazioni d'uso

Estratto area di progetto da Nuovo Piano Regolatore Generale Città di Torino  
 Progetto: Gregotti Associati Studio  
 Tavola n. 1  
 Foglio n. 10A  
 Nuovo PRG approvato con deliberazione Giunta Regionale n. 3 - 45091 del 21 Aprile 1995 pubblicata sul B.U.R. n. 21 del 24 Maggio 1995.  
 Aggiornamento 30 Giugno 2023 a cura di CSI-Piemonte



LEGENDA

- Zone a verde privato con preesistenze edilizie
- Zone boscate
- Servizi per l'istruzione, attrezzature sociali, assistenziali, per residenze collettive, per attività sanitarie, sportive, culturali
- Residenza R6
- Percorsi pedonali
- Parchi collinari
- Area di progetto
- 

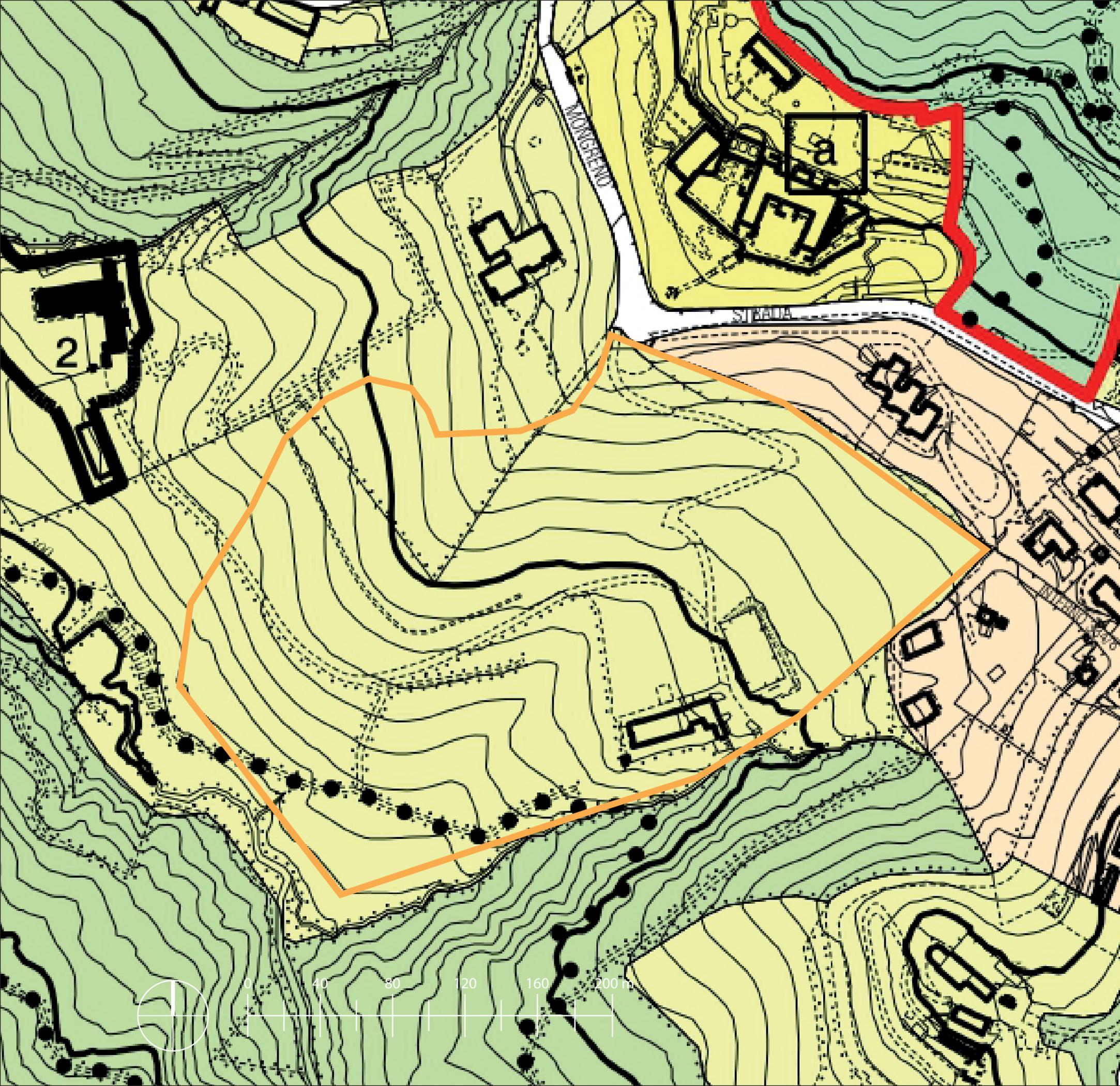


TAVOLA 2  
Curve di livello

LEGENDA

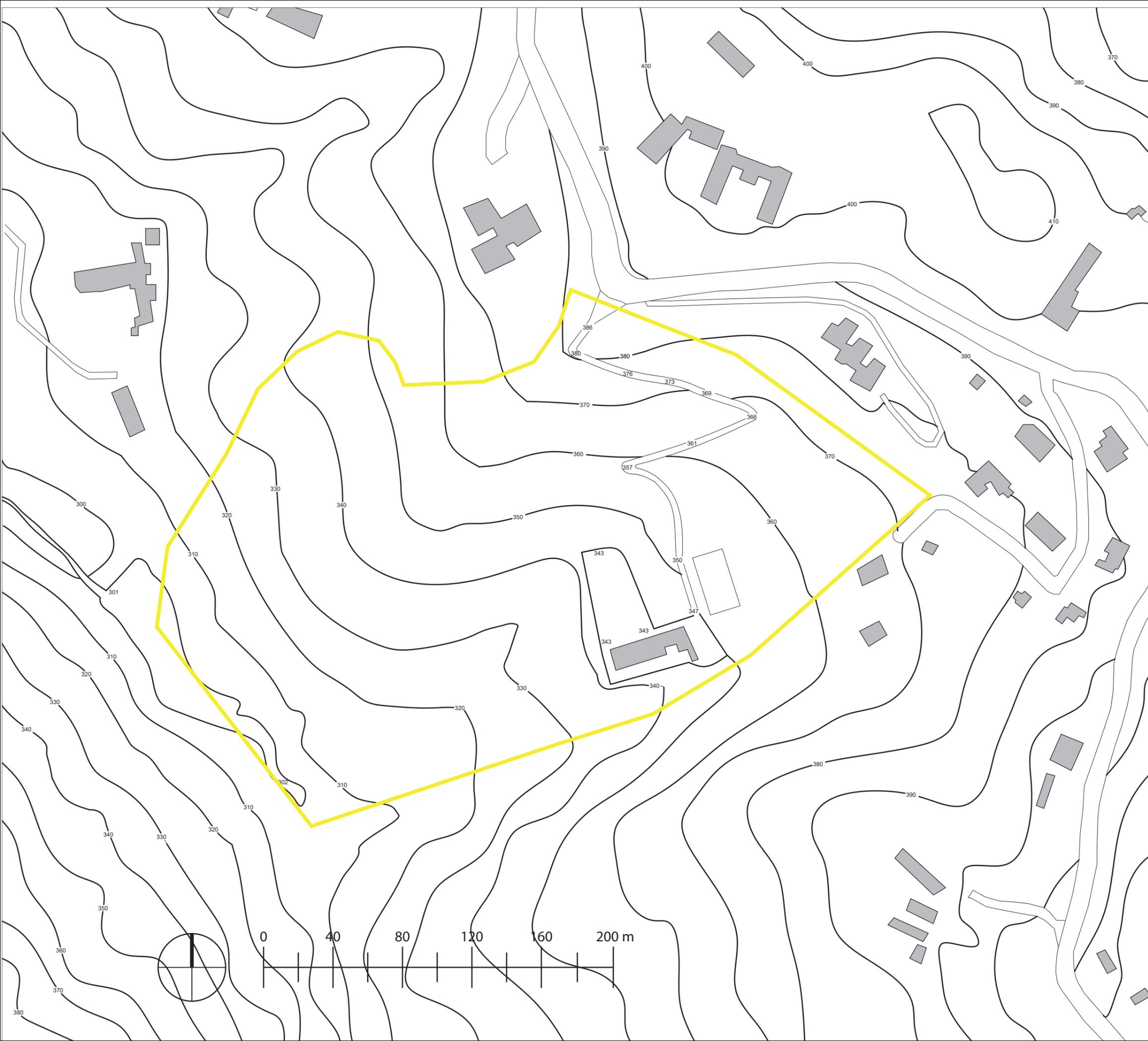
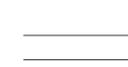
Edifici



Curve di livello



Strade



SCALA 1:2000

Tavola 3  
Consumo di suolo

Fonte: Arpa Piemonte 2021

LEGENDA

Suolo consumato



Area di progetto



SCALA 1:2000

# Tavola 4 Frane

Fonte: BDGeo100 Frane; Base dati transfrontaliera delle frane sullo spazio Alcotra (ADVITAM).  
Frane antiche o recenti riguardanti il substrato caratterizzate da attivazioni piu o meno ricorrenti negli ultimi 30 anni.

## LEGENDA

Frane antiche riguardanti il substrato caratterizzate da diffusa quiescenza - Possibili riattivazioni.

Prevalentemente frane composite con meccanismi combinati



Frana non cartografabile



Altri eventi franosi

Colamento lento



Colamento rapido



Complessa



Scivolamento



Area di progetto

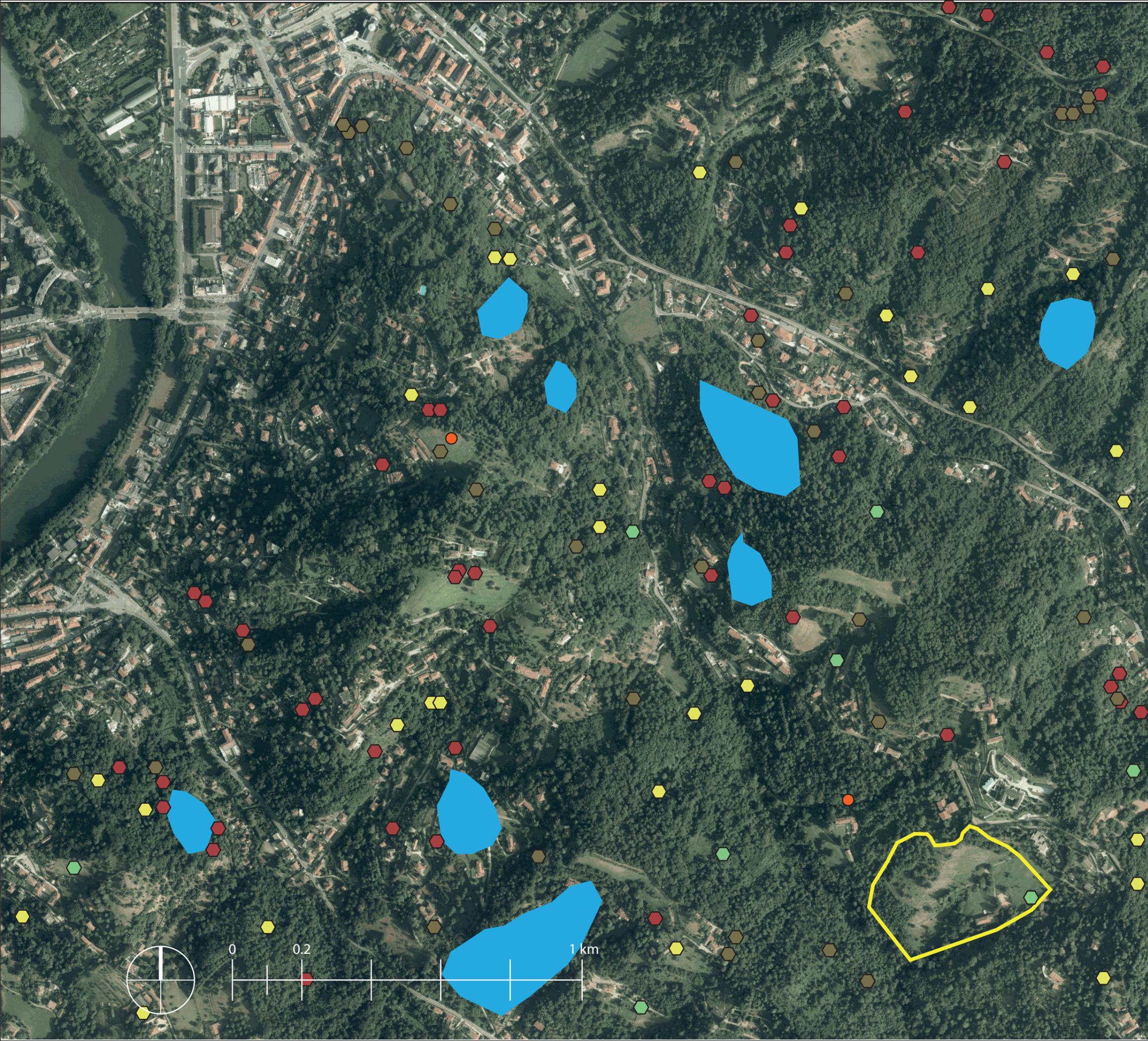


Tavola 5  
Vincolo Idrogeologico

Fonte: Regione Piemonte - A1614A - Foreste, edizione  
2016, ultimo aggiornamento 17 Marzo 2023

LEGENDA

Area sottoposta a vincolo idrogeologico



Area di progetto



SCALA 1:10000

Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'ideoneità all'utilizzazione urbanistica

Estratto area di progetto da Nuovo Piano Regolatore Generale Città di Torino

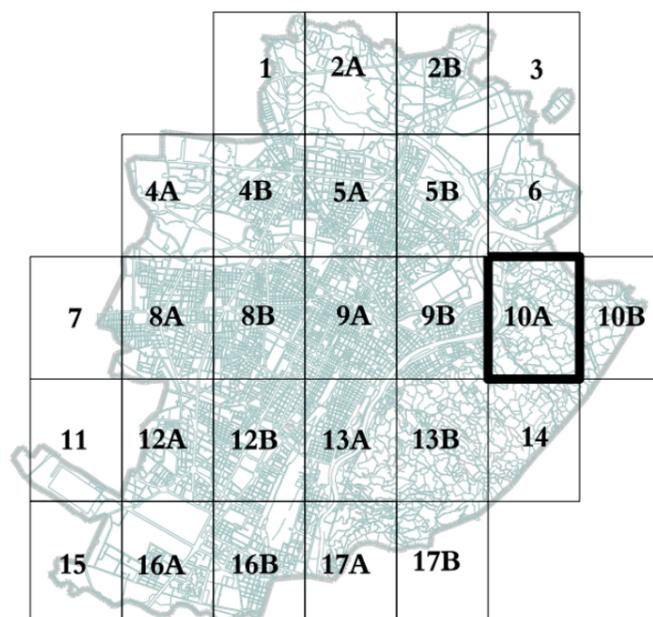
Progetto: Gregotti Associati Studio

Tavola n. 3

Foglio n. 10A

Nuovo PRG approvato con deliberazione Giunta Regionale n. 3 - 45091 del 21 Aprile 1995 pubblicata sul B.U.R. n. 21 del 24 Maggio 1995.

Carta di sintesi: elaborazione Marzo 2008 aggiornata con la Variante al PRG n. 222



LEGENDA

Parte collinare: Classi e sottoclassi

IIIa (C)

IIIb2 (C)

IIIb3 (C)

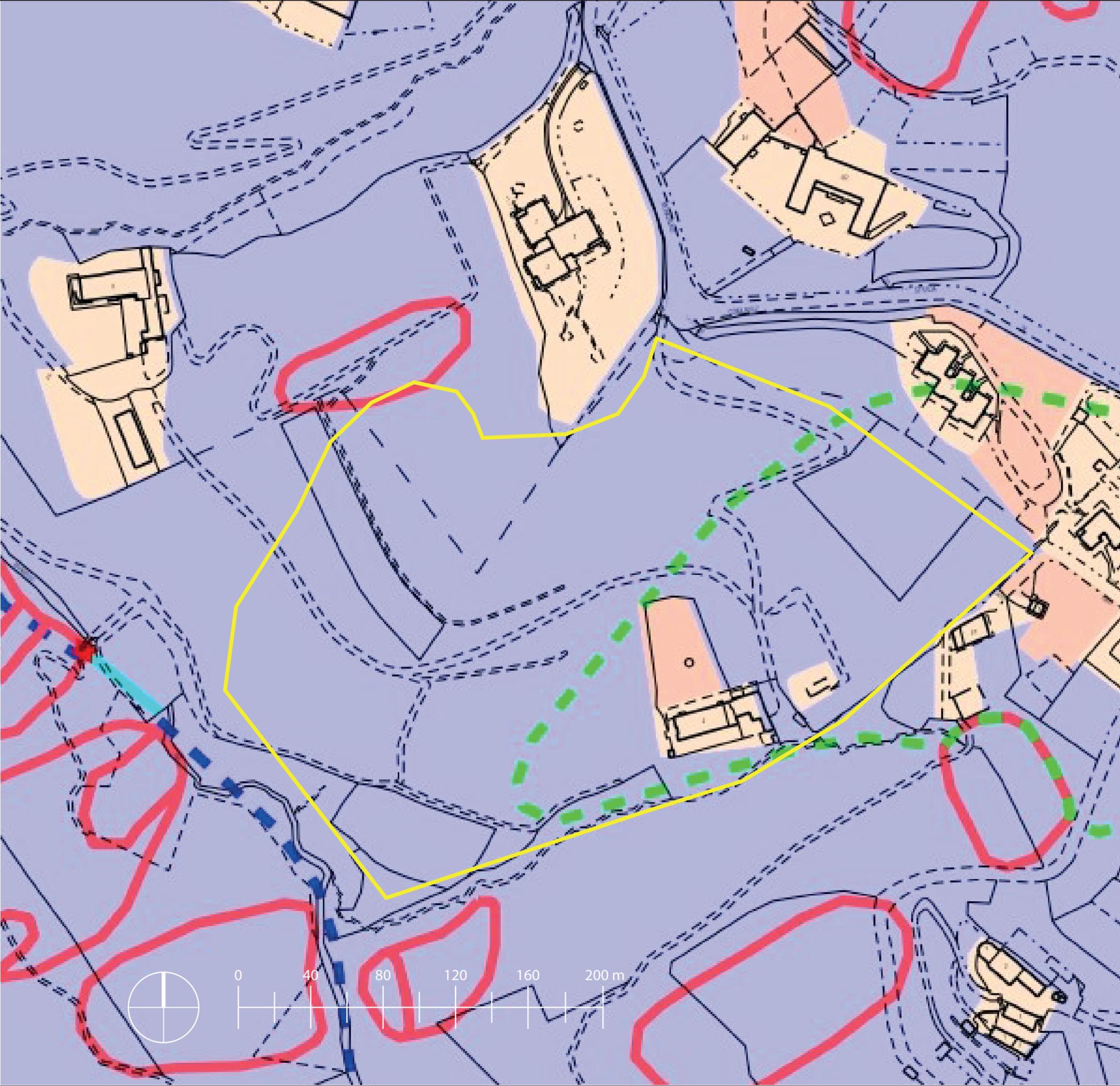
III4 (C) - Eel

Processi di dissesto lineare: intensità/pericolosità molto elevata (Eel) comportante una fascia di rispetto di m 10 dal piede dell'argine artificiale o dalla sponda naturale

Perimetro di frana attiva

Perimetro di frana stabilizzata

Area di progetto



# Tavola 7 Vincolo acustico

Fonte: Arpa Piemonte - Piani di classificazione acustica  
(provincia di Torino)

## LEGENDA Classi acustiche

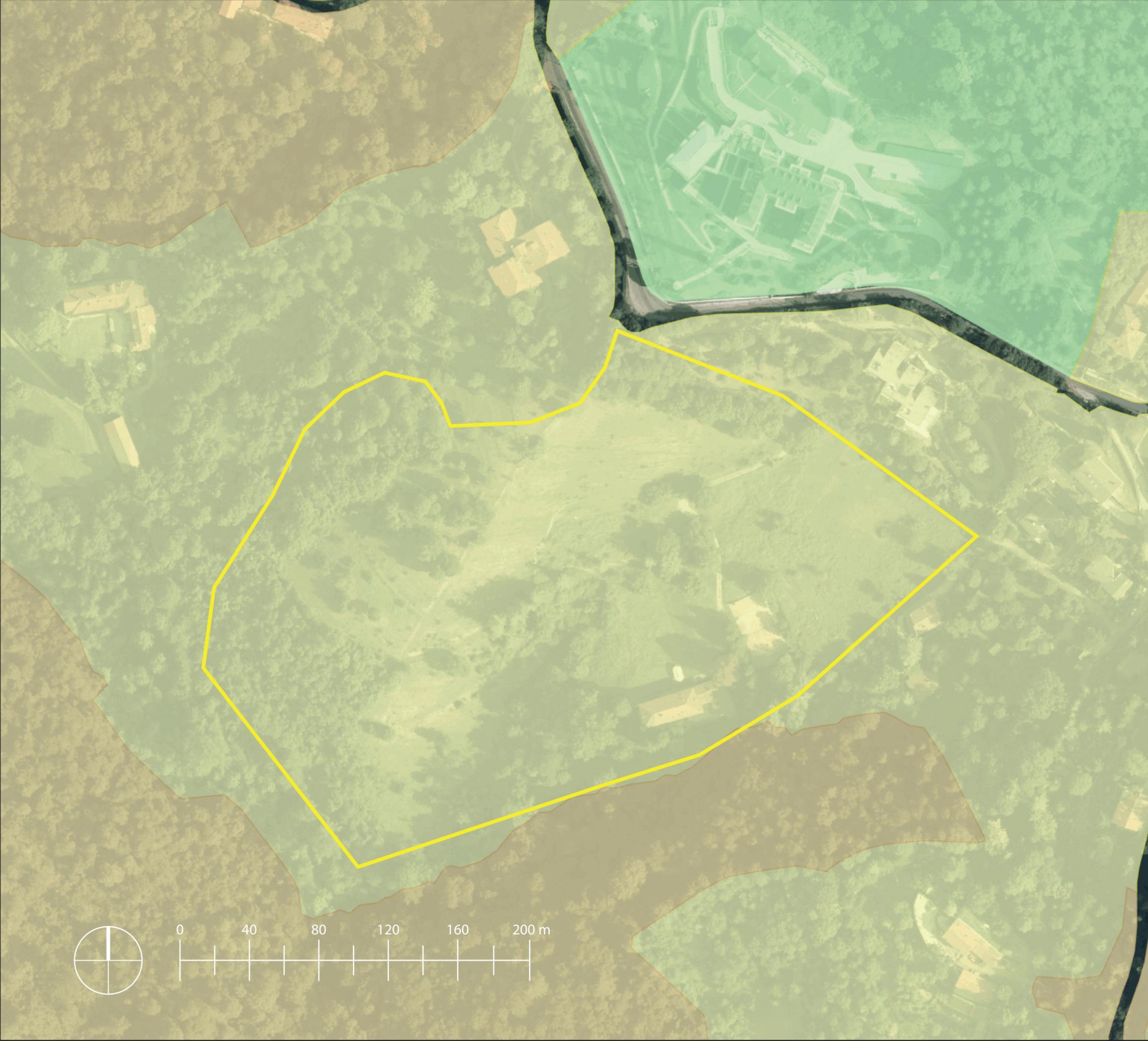
I - Aree particolarmente protette



II - Aree prevalentemente residenziali



III - Aree di tipo misto



SCALA 1:2000

# Tavola 8 Beni paesaggistici

Estratto da Tavola P2 - beni paesaggistici: Immobili e aree di notevole interesse pubblico ai sensi degli artt 136 e 157 del D lgs n 42 del 2004.

Fonte: Piano Paesaggistico Regionale - PPR adottato nel 2015, approvato con D.C.R. n. 233-35836 del 3 ottobre 2017. Realizzazione servizio a cura del Sistema Informativo Ambientale e Geografico di Arpa Piemonte.

## LEGENDA

Bene ex L 1497-39 linee



Bene ex L 1497-39 poligoni



Aree tutelate per legge ai sensi dell art 142 del D lgs n 42 del 2004

Lettera b - fascia



Lettera c - I fiumi - i torrenti - i corsi d acqua



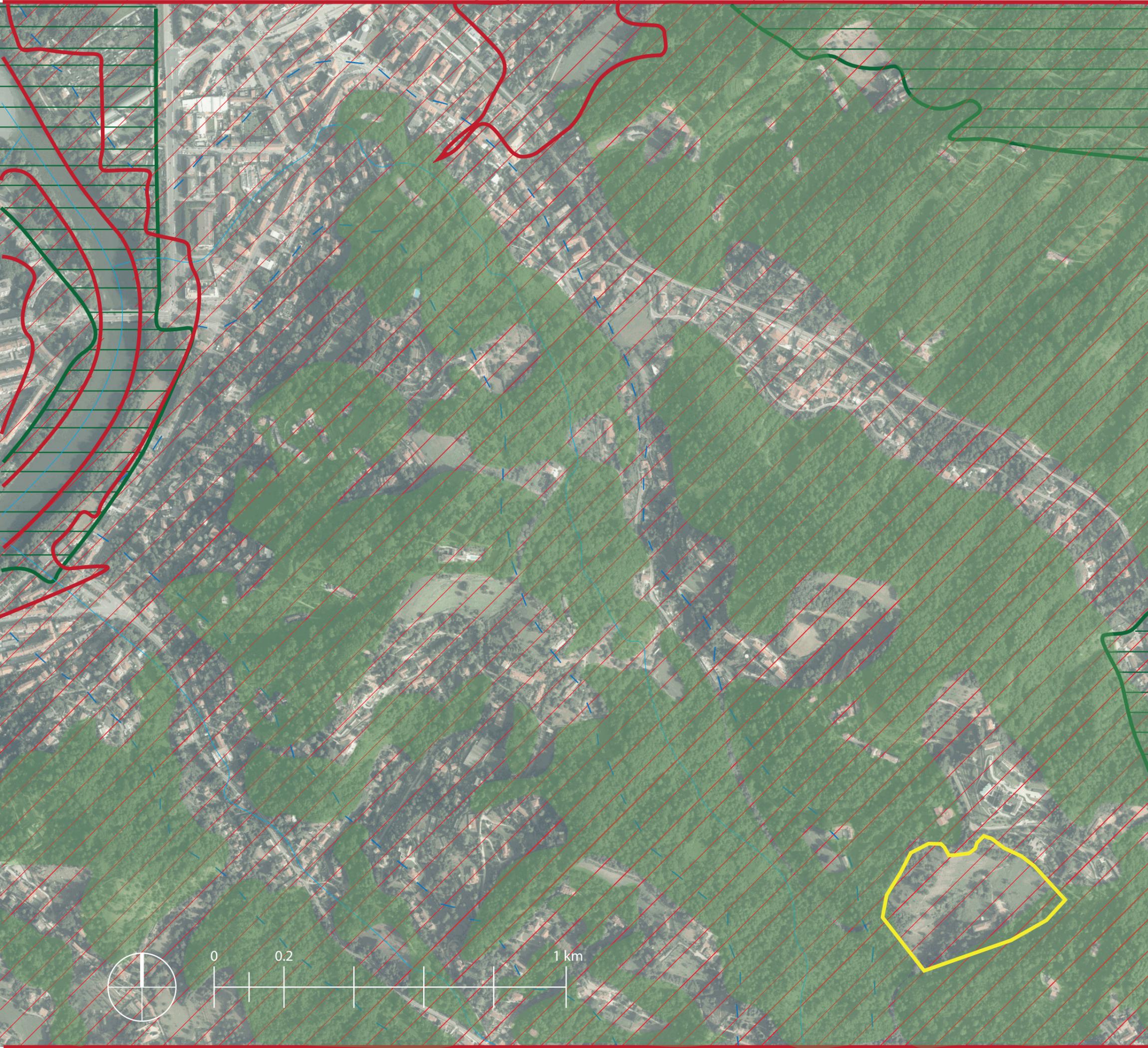
Lettera f - I parchi e le riserve nazionali o regionali nonché i territori di protezione esterna dei parchi - art 18 Nda



Lettera g - I territori coperti da foreste e da boschi - art 16 Nda



Area di progetto



SCALA 1:10000

Tavola 9  
Ambiti e unità di paesaggio

Estratto da Tavola P3 - ambiti e unità di paesaggio.  
Fonte: Piano Paesaggistico Regionale - PPR adottato nel 2015, approvato con D.C.R. n. 233-35836 del 3 ottobre 2017. Realizzazione servizio a cura del Sistema Informativo Ambientale e Geografico di Arpa Piemonte.

LEGENDA

Unità di Paesaggio



Tipologie normative delle UP

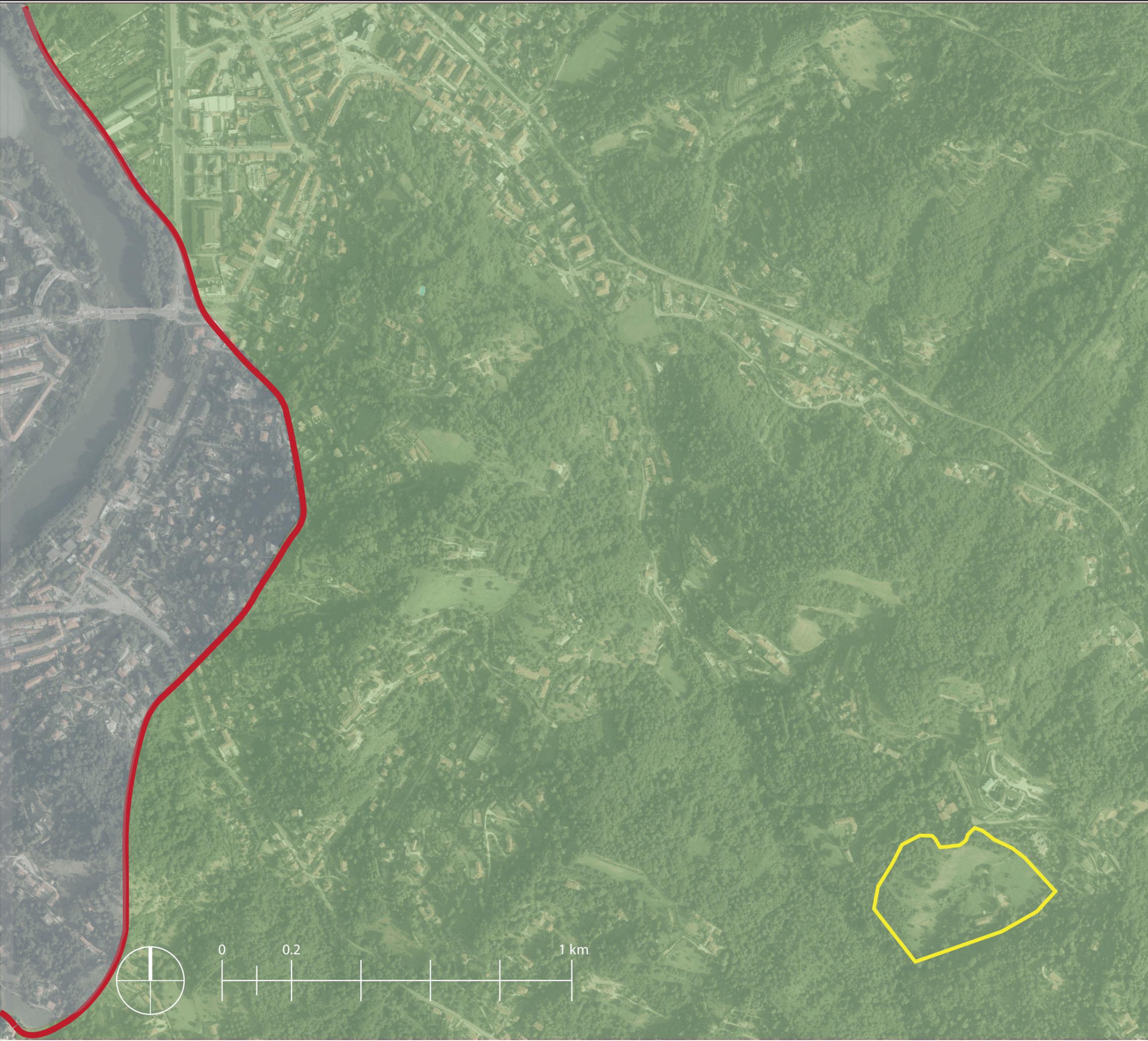
Urbano rilevante alterato



Naturale/rurale alterato episodicamente da insediamenti



Area di progetto



SCALA 1:10000

# Tavola 10

## Componenti paesaggistiche e Componenti naturalistico ambientali

Estratto da Tavola P4 - componenti paesaggistiche, componenti naturalistico ambientali.  
Fonte: Piano Paesaggistico Regionale - PPR adottato nel 2015, approvato con D.C.R. n. 233-35836 del 3 ottobre 2017. Realizzazione servizio a cura del Sistema Informativo Ambientale e Geografico di Arpa Piemonte.

### LEGENDA

Zona fluviale allargata - perimetro



Zona fluviale allargata - simbolo



Zona fluviale interna



Territori a prevalente copertura boscata



Praterie - prato-pascoli - cespuglieti



### COMPONENTI STORICO-CULTURALI

Viabilità storica e patrimonio ferroviario  
SS12



Sistemi di testimonianze storiche del territorio rurale



Sistemi di ville giardini e parchi



### COMPONENTI PERCETTIVO-IDENTITARIE

Percorsi panoramici



Sistema di crinali collinari principali



Sistema di crinali collinari secondari



SV4 - Aree rurali di specifico interesse paesaggistico



Assi prospettici



### COMPONENTI MORFOLOGICO-INSEDIATIVE

Morfologie insediative

Urbane consolidate dei centri maggiori - m.i. 1



Tessuti urbani esterni ai centri - m.i. 3



Area a dispersione insediativa prevalentemente residenziale - m.i. 6



Area di progetto



SCALA 1:10000



Tavola 11  
Mappa Cabine primarie

Città di Torino, Piemonte  
Fonte: GSE (Gestore Servizi Energetici)  
Ultimo aggiornamento 29 Settembre 2023

Cabina riferita alla zona di interesse N°: AC020E00006

Il GSE, in collaborazione con le imprese distributrici, mette a disposizione la mappa interattiva delle aree convenzionali sottese alle cabine primarie presenti sul territorio nazionale. Inserendo un indirizzo specifico o le coordinate geografiche, è possibile visualizzare la relativa area convenzionale e il codice di riferimento (composto da 11 cifre alfanumeriche, ad esempio "AC001E00934").

Lo strumento consente di localizzare le aree convenzionali e di verificare che i punti di connessione siano inclusi nell'area sottesa alla medesima cabina primaria.

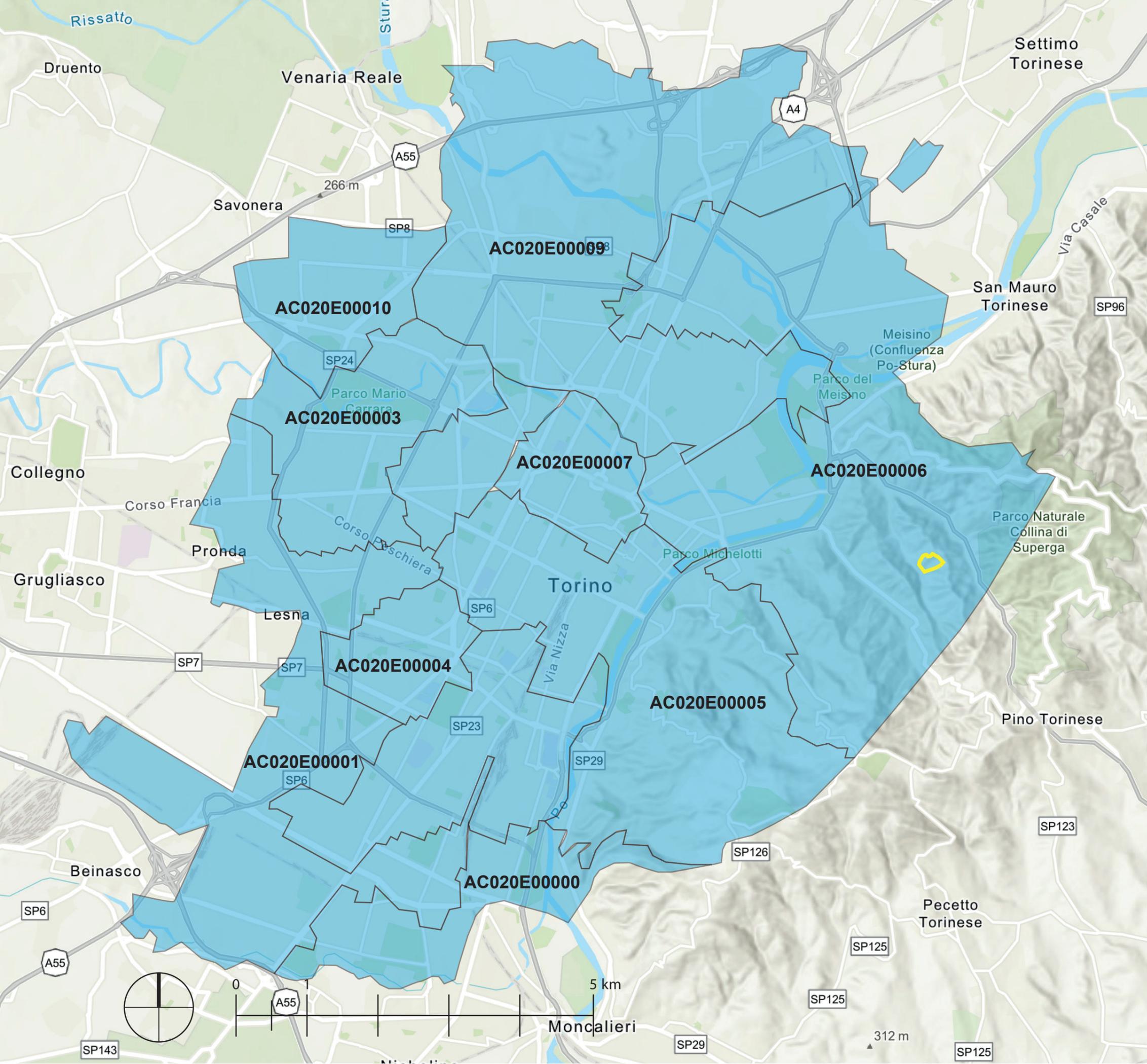
Si ricorda che, fino alla data di entrata in vigore del Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica previsto ai sensi dell'articolo 8 del Decreto Legislativo 199/2021, resta in vigore la disciplina transitoria, definita dalla Delibera 318/2020/R/eel dell'A-RERA che limita le configurazioni ammissibili alla cabina di trasformazione in media/bassa tensione (cabina secondaria).

LEGENDA

Area della cabina primaria



Area di progetto



SCALA 1:50000