## POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

## Comunità energetica di Cedrecchia

Riqualificare il paese per aprire la strada ad un nuovo modello energetico sostenibile e decentralizzato



Relatore prof. Davide Papurello Candidato Elia Mirasoli S281286

## Indice

$\mathbf{A}$	bstra	net	8				
In	$\operatorname{trod}$	uzione	ξ				
1	Le	comunità energetiche	11				
	1.1	L'eredità storica	11				
	1.2	La vera essenza di una comunità energetica	12				
	1.3	Tre diversi livelli di scala	14				
	1.4	Ciò che di buono hanno da offrire	16				
2	Il c	aso studio di Cedrecchia	19				
	2.1	Inquadramento geografico e climatico	20				
	2.2	Stato di fatto delle strutture esistenti	26				
	2.3	Interventi di riqualificazione edilizia ed energetica	29				
3	Stir	Stima dei consumi energetici della comunità					
	3.1	Impianti di riscaldamento	35				
	3.2	Illuminazione e apparecchiature elettriche	44				
	3.3	Area sosta camper e colonnine per ricarica EV	47				
	3.4	Fabbisogno di gas metano per l'osteria "Baldini Marta"	52				
	3.5	Riepilogo e ripartizione dei carichi elettrici	53				
4	Imp	pianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica	57				
	4.1	Introduzione alla generazione fotovoltaica	57				
	4.2	Scelta e dimensionamento dei principali componenti di impianto	64				
	4.3	Localizzazione dell'impianto	72				
5	Imp	pianto mini-eolico per la produzione di energia elettrica	75				
	5.1	Introduzione alla generazione eolica	75				
	5.2	Scelta e dimensionamento dei principali componenti di impianto	82				
	5.3	Localizzazione dell'impianto	88				

6	Imp	oianto biogas per la produzione di biometano	91
	6.1	Introduzione alla produzione di biogas	91
	6.2	Stima della producibilità e della taglia dell'impianto	97
7	Svil	uppi futuri della comunità e piano di investimento	101
	7.1	Curva di consumo e di produzione a confronto	101
	7.2	Opere di completamento della comunità energetica	105
	7.3	Cenni al piano di investimento delle risorse	107
Co	onclu	ısioni	111
Bi	bliog	grafia	113



## Abstract

In Italia, il patrimonio rurale montano rappresenta un bene prezioso da difendere e valorizzare. Paesaggi naturali di straordinaria bellezza, beni culturali e tradizioni millenarie sono solo alcune delle ricchezze che questi territori possono vantare. Le comunità che vivono in questi luoghi sono la casa della biodiversità e della produzione di prodotti di alta qualità che va preservato per le generazioni future.

La riqualificazione di questi piccoli borghi montani è indispensabile per mantenerne l'integrità e l'identità culturale e per promuovere lo sviluppo sostenibile delle zone rurali. Accanto a questo, i borghi millenari si riscoprono ogni anno mete di turismo solidale, il quale rappresenta sempre più un'opportunità economica per le popolazioni locali.

Partendo da un sentimento di rispetto verso la memoria e le tradizioni di questi luoghi, il seguente lavoro si pone l'obbiettivo di realizzare il progetto di una comunità energetica per un piccolo paese dell'Appennino Tosco-Emiliano, finalizzato a promuovere un modello energetico sostenibile e decentralizzato. Attraverso l'analisi delle fonti energetiche locali e la valutazione delle esigenze energetiche della comunità, è stato sviluppato un piano di transizione energetica che prevede l'utilizzo di fonti rinnovabili, la riduzione dell'impatto ambientale e il rilancio turistico del piccolo paese e del territorio circostante.

Il progetto prevede la creazione di un sistema integrato di produzione, distribuzione e consumo di energia, basato su fonti rinnovabili come il Sole, il vento e la biomassa. Il lavoro, inoltre, non si limita alla sola progettazione degli impianti di produzione di energia, ma prevede anche la realizzazione di interventi di efficienza energetica, di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente e di sensibilizzazione della comunità sui temi dell'energia e dell'ambiente. La comunità energetica, infatti, sarà gestita in modo partecipativo e collaborativo dalla comunità stessa.

Infine, ragionando in un'ottica di progresso, il progetto si propone di diventare un modello replicabile per altre comunità rurali, offrendo una soluzione concreta e sostenibile ai problemi energetici e ambientali che l'umanità sta affrontando.

## Introduzione

Alla base di questo lavoro vi è la riqualificazione edilizia e la progettazione degli impianti di produzione di energia di un piccolo paese dell'Appennino Tosco-Emiliano, Cedrecchia, al fine di renderlo un comunità energetica operativa. In particolare, si è cercato di capire se la progettazione di apposite aree e strutture a completamento della comunità energetica possa supportare il paese nell'obiettivo di diventare un luogo di interesse per i tanti turisti e non che ogni anno scelgono di visitare l'Appennino.

Le motivazioni che stanno dietro a questo progetto possono essere racchiuse in tre punti chiave. Il primo sicuramente è rappresentato dall'immenso legame che personalmente mi lega con le terre appenniniche, luoghi dove risiedono le radici della mia famiglia e dove sono nato e cresciuto. Il secondo punto è la consapevo-lezza che il folclore di questi territori, pur rappresentando un prezioso patrimonio da conservare, stia lentamente dissolvendosi, eroso dal tempo che passa e da una società sempre più compressa nelle grandi città. Il turismo cosiddetto slow e solidale rappresenta puro ossigeno per queste piccole realtà. Infine, il terzo punto è descritto dalla necessità di mettere in pratica al più presto una soluzione al problema energetico mondiale che ogni anno fa sentire i suoi effetti sempre di più.

L'obiettivo del seguente lavoro è quello di riqualificare come moderna comunità energetica il paese di Cedrecchia. Lo scopo è renderlo non solo un luogo in cui l'energia viene impiegata in maniera razionale e consapevole, ma anche una meta rinomata per un pubblico interessato a trascorrere qualche tempo immerso nel verde ed anche volenteroso di apprendere come una comunità energetica operi nella pratica. È risaputo infatti come i temi energetici siano ancora spesso poco conosciuti e possono risultare a volte anche fonte di pregiudizi verso un futuro incerto. La costruzione di appositi spazi e servizi, come un B&B e un area sosta camper, giocheranno una parte fondamentale nel successo della comunità energetica e nel-l'incentivazione del turismo appenninico.

Al fine di rendere il lavoro il più veritiero possibile, un sopralluogo è stato svolto nel mese di settembre 2022. In quell'occasione è stata fatta una valutazione

dello stato degli immobili del paese e l'individuazione dei siti idonei all'installazione degli impianti di produzione di energia. Le informazioni recuperate in loco, combinate con opportune ipotesi di lavoro, hanno permesso di realizzare l'intero progetto della comunità.

La presentazione del lavoro è articolata in sette capitoli.

Nel primo viene fornita un introduzione al concetto di comunità energetica, evidenziandone l'eredità storica, l'essenza, i livelli su cui è articolata e le opportunità che è in grado di offrire.

Nel secondo capitolo ci si occupa dell'inquadramento al caso studio, approfondendo il contesto geografico, climatico e il patrimonio edilizio ante-operam.

Il terzo capitolo si concentra sulla stima dei consumi energetici della nuova comunità, affrontando il calcolo per ogni tipo di utenza e servizio che si rende disponibile, ottenendo al termine un grafico di consumo energetico mensile di tutto il paese.

Nel quarto, quinto e sesto capitolo il lavoro si concentra sul dimensionamento e sulla localizzazione dei principali impianti di produzione di energia: impianto fotovoltaico, eolico e produzione di biogas da reflui animali.

Nel settimo capitolo, infine, si conclude il progetto confrontando la curva di consumo e di produzione stimate nei precedenti capitoli, si indicano alcune opere di completamento a lungo termine e si accenna al piano di investimento delle risorse economiche.

Grazie al lavoro svolto è stato possibile mostrare come il concetto di comunità energetica non sia più un utopia per le piccole realtà montane, ma rappresenta invece un'opportunità di rinascita. Tuttavia, l'impiego delle risorse per la realizzazione può essere un possibile ostacolo che può essere superato con qualche accorgimento, esposto nel capitolo conclusivo.

## Capitolo 1

## Le comunità energetiche

#### 1.1 L'eredità storica

Fin dall'era preistorica, che è stata in qualche modo la culla dell'essere umano e di tutta la biosfera terrestre con cui oggi conviviamo, l'evoluzione nell'utilizzo delle diversi fonti energetiche è andata di pari passo con la crescita della nostra società. Per milioni di anni, infatti, l'unica risorsa energetica disponibile all'essere umano è stata la sua stessa forza muscolare, impiegata per mansioni per lo più manuali; questa, gradualmente, è stata affiancata dalla forza degli animali, principalmente da buoi e cavalli, in una cooperazione evolutiva che ha permesso l'avanzamento della tecnica e della società. Successivamente, utilizzata prima come innovativo modo di trasportare carichi, poi come ingranaggio per trasmettere il movimento, la ruota fu un fondamentale punto di svolta e anche un testimone di un rapporto fra uomo ed energia che stava lentamente maturando. L'eredità tecnica preistorica ha dunque aperto la strada all'applicazione dell'ingegno umano verso la meccanica e la tecnologia, concependo nuovi modi per poter sfruttare l'energia che il mondo metteva a disposizione. Strumenti come i mulini a vento e i mulini ad acqua sono figli di un'umanità che sempre più stava capendo l'importanza di sfruttare al massimo l'energia che il pianeta aveva da offrire. Non a caso, a seguire, nelle due rivoluzioni industriali del XVIII e XIX secolo, l'energia risulta essere una fra le maggiori protagoniste di un periodo storico che rappresenta la fine dell'età moderna e l'inizio della contemporanea. L'utilizzo massiccio di combustibili fossili, primi fra tutti legna e carbone, poi il petrolio, hanno permesso all'uomo di progredire sia su scala tecnologica, introducendo risorse innovative come la macchina a vapore, che produttiva, passando da un economia basata sull'artigianato a grande industrie. In ultimo, la capacità di sfruttare a pieno l'energia elettrica in un panorama sempre più vasto ha reso il mondo, la società e lo sfruttamento delle risorse a fini energetici così come quelli che conosciamo oggi e nei quali siamo perfettamente integrati. Si capisce dunque come l'energia sia stata in un certo senso una compagna di viaggio,

spesso con ruolo trainante, per l'evoluzione umana. Ciò che però è importante osservare è come la storia insegni che un qualunque stato (sociale o di fatto) non sia mai permanente e periodicamente lasci il posto a un qualcosa di diverso. È sotto questo punto di vista che il braccio umano ha lasciato il posto al bue, la macchina a vapore al motore a combustione interna, la legna al petrolio e, seguendo quest'ottica, in un futuro prossimo, la generazione elettrica clima alterante, tipica del XX e inizio XXI secolo, lascerà il posto alla generazione elettrica carbon free.

Accanto a quanto detto finora, è importante sottolineare come anche i comportamenti sociali dell'essere umano siano stati enormemente influenzati dall'evoluzione energetica e tecnologica. Si pensi per esempio al passaggio da uno stile di vita nomade a uno sedentario dopo la scoperta dell'agricoltura (resa più redditizia da risorse quali gli animali da traino e la ruota) o alla progressiva migrazione dell'uomo verso le prime città, sedi di grande industrie che richiedevano grandi quantità di manodopera. L'evoluzione nel modo di sfruttare le risorse energetiche ha dunque portato con sè anche profondi cambiamenti nella società, nel modo in cui gli esseri umani vivono e interagiscono fra di loro. La storia pertanto insegna che una qualunque evoluzione, tecnologica o sociale che sia, perché avvenga e sopratutto perché sia vera, profonda e duratura, deve in qualche modo permeare a tutto tondo nella società umana del tempo. È dunque, in questo contesto di eredità storica, che le moderne comunità energetiche si inseriscono.

#### 1.2 La vera essenza di una comunità energetica

La necessità di raggiungere un modo sempre più sostenibile di produrre e consumare energia è diventata una delle più grandi sfide dell'era in cui l'essere umano sta vivendo oggi. Questi nuovi obiettivi sono molto in contrasto con la società high carbon ed energivora che vige tutt'ora, sopratutto dal momento che la disponibilità di energia e l'approvigionamento delle materie prime energetiche ha determinato gli equilibri geopolitici mondiali degli ultimi secoli. In aggiunta, l'approccio contemporaneo di massimizzazione del profitto a qualunque altro costo, ha prodotto effetti sul pianeta Terra che oramai sono alla portata di tutti: riscaldamento globale, perdita di biodiversità, migrazioni, ecc. Tutto ciò ha portato l'umanità a rivedere molte delle modalità con le quali Stati, governi ed enti interagiscono col pianeta.

Se fino a qualche decennio fa l'energia veniva vista come un entità a sè stante, pronta da spremere fino all'ultima goccia gratuitamente, oggi ci si sta rendendo conto che spesso il prezzo da pagare per avere energia è alto, sopratutto in termini ambientali. Tali effetti sono così evidenti che sempre più persone da tutto il mondo, in qualunque stato sociale, stanno acquisendo una forte sensibilità a temi tipici del settore energetico. È da questo nuovo sentimento di responsabilità che nasce il cittadino prosumer, ovvero un utente che non si limita ad avere un ruolo passivo di consumatore energivoro, ma, attraverso azioni dirette, partecipa attivamente anche

alla produzione di energia in maniera sostenibile ed equa. Seguendo quest'ottica, entro il 2050 nella sola Unione Europea si stima che 264 milioni di cittadini saranno prosumer[5]. La loro abitazione possiederà dunque un impianto in loco di produzione di energia, elettrica o termica, della quale sarà consumatrice per una percentuale di autoconsumo e per un altra parte sarà una produttrice a tutti gli effetti, ovvero un entità che immette energia nella rete nazionale. Il vantaggio di essere un cittadino prosumer si riscontra non solo da un punto di vista dell'acquisizione di maggior autonomia energetica, ma anche in un ottica strettamente economica dovuta sia al non acquisto di energia dalla rete nazionale sia alla possibilità di vendere al gestore del servizio energetico il proprio surplus energetico generato.

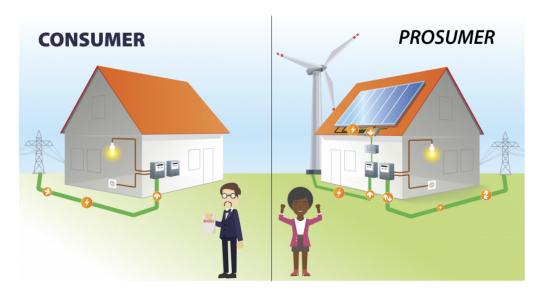


Figura 1.1. Confronto fra abitazione prosumer e consumer. Fonte: Energy.gov/eere

Quanto discusso finora è l'essenza di ciò che ha preso il nome di Comunità Energetica, ovvero un unione di utenti che cooperano con l'obiettivo di produrre, gestire e consumare l'energia che ogni istante viene prodotta dagli impianti energetici locali di loro proprietà. Se da un lato il termine "comunità" risulta autoesplicativo in questo contesto, l'aggettivo "energetica" merita un approfondimento. Una Comunità Energetica ha, come detto, lo scopo primario di trattare localmente l'energia in maniera sostenibile, ma non si ferma a questo. La Comunità Energetica è prima di tutto una comunità di interessi e di luogo, i cui cittadini condividono lo sviluppo di un progetto sostenibile che metta al primo posto la pari accessibilità a un bene prezioso quale è l'energia. Questo è agli antipodi di una società energetica tradizionale che cerca la continua massimizzazione del profitto economico e il monopolio. Al contrario, sono il raggiungimento di obiettivi sostenibili e ambientali, uniti a un profondo senso di collaborazione, la vera essenza delle Comunità Energetiche. Da un punto di vista più tecnico, le Comunità Energetiche sono invece una perfetta

entità che rappresenta la giusta integrazione della produzione e dell'utilizzazione dell'energia. I sistemi elettrici nazionali, infatti, hanno la necessità di fare incontrare istante per istante l'offerta di energia alla domanda di consumo e l'operazione è tanto più complicata tanto più i punti di produzione e di consumo sono disgiunti e sparsi sul territorio. Nelle Comunità Energetiche, grazie agli impianti di produzione, di accumulo e di utilizzo locali, è possibile ottenere una perfetta coordinazione fra domanda e offerta di energia permettendo così al sistema di funzionare in maniera ottimale.

A oggi le Comunità Energetiche sono per lo più organizzate su piccola scala o rurale. In Italia esistono già diverse piccole Comunità Energetiche situate principalmente nelle regioni settentrionali di Piemonte, Lombardia e Trentino Alto Adige.

#### 1.3 Tre diversi livelli di scala

Dopo aver inquadrato il contesto storico ereditato dalle moderne comunità energetiche e la filosofia con la quale queste devono essere intese, si passa ora a un inquadramento più fisico e tecnologico.

Si è detto che in una comunità energetica i cittadini cooperano per la produzione, la gestione e l'utilizzazione dell'energia. Queste operazioni si possono realizzare a tre livelli: individuale, collettivo e di comunità[3]. È bene chiarire che a ciascuno dei tre livelli il valore di comunità energetica rimane invariato; ciò che invece muta è il numero di cittadini appartenenti a tale comunità e la scala dimensionale.

A livello individuale, la comunità energetica è costituita da una singola abitazione in cui il cittadino prosumer possiede, oltre agli impianti di utilizzazione dell'energia, anche gli impianti di produzione della stessa, quali eolici, fotovoltaici, geotermici. Il sistema di gestione dell'energia dunque avrà lo scopo di massimizzare l'autoconsumo, anche avvalendosi di opportuni sistemi di accumulo, come batterie al litio o accumuli termici, cercando di fare incontrare la curva di produzione con quella di consumo.



Figura 1.2. Comunità energetica individuale. Fonte: QualEnergia.it

Al di sopra del livello individuale vi è il livello collettivo. Qui la scala dimensionale della comunità è maggiore e un edificio condominiale ne è un tipico esempio. I condomini condividono un unico impianto di produzione dell'energia e quest'ultima viene ripartita fra gli utilizzatori in maniera ottimale, evitando quindi sprechi. Il sistema di gestione dell'energia si occupa di svolgere al meglio questo compito. Gli impianto di produzione possono essere sia di proprietà della comunità, che di soggetti terzi e possono o meno usufruire di benefici fiscali.



Figura 1.3. Comunità energetica collettiva. Fonte: QualEnergia.it

Infine, a livello di comunità, i cittadini che ne fanno parte, possono appartenere a edifici differenti e la condivisione dell'energia avviene attraverso la rete di distribuzione esistente. A seconda poi delle dimensioni della comunità, i punti di collegamento con la rete nazionale possono essere individuali oppure unico. Nel primo caso di parla di modello di autoconsumo di tipo virtuale, cioè ogni utente è connesso alla rete tramite un personale punto di consegna e la ripartizione dell'autoconsumo è regolata da accordi contrattuali fra i componenti della comunità. Nel secondo caso invece, il punto di collegamento è unico e la gestione dei flussi interni di energia di produzione, autoconsumo e immissione o prelievo dalla rete, sono gestiti dal sistema di gestione dell'energia. In aggiunta si distinguono due tipologie di comunità energetiche:

- Comunità Energetica Rinnovabile (CER), ovvero un modello di comunità in cui i componenti si trovano in prossimità degli impianti di generazione di energia e godono di una certa autonomia nella gestione dell'energia. Condizione necessaria affinché una comunità energetica sia CER è che questa tratti fonti energetiche solo da fonte rinnovabile;
- Comunità Energetica di Cittadini (CEC), cioè un modello che non prevede i principi di prossimità e autonomia. A differenza della CER, la CEC può gestire solo l'energia elettrica, sia da fonte rinnovabile che fossile.

La CER e la CEC sono regolamentate dal pacchetto legislativo CEP (*Clean Energy Package*), varato nel 2019 dall'Unione Europea. Sebbene il CEP specifichi che la

potenza complessiva degli impianti da fonte rinnovabile non deve superare i 200 kW, il decreto 199/2021 ha esteso tale limite da 200 kW ad 1 MW, aprendo quindi alla possibilità di costruire comunità energetiche sempre più grandi. Infine, è bene specificare come la comunità energetica sia una realtà aperta e non discriminatoria. I partecipanti rimangono a tutti gli effetti clienti finali, mantenendo costantemente il loro diritto di uscire dalla comunità o scegliere il loro fornitore di energia liberamente. Proprio per questo, l'intervento da parte di aziende del settore energetico (fornitori o ESCo) non è consentito, al fine di preservare il carattere no profit delle comunità energetiche. Tali società possono, invece, prestare servizi di fornitura e di infrastruttura.



Figura 1.4. Comunità energetica (terzo livello). Fonte: QualEnergia.it

#### 1.4 Ciò che di buono hanno da offrire

Quali sono dunque i vantaggi che la formazione di una comunità energetica porta? Come si è visto, le comunità energetiche hanno ottime capacità di promuovere il risparmio e l'efficienza energetica, su tutti e tre i livelli. I vantaggi si riflettono sia a livello di singola famiglia, che banalmente pagherà una bolletta meno costosa, che a livello commerciale e industriale, dal momento che maggiore competitività genererà un adeguamento delle tariffe e dei consumi, riducendo il rischio di trovarsi in regimi di monopolio.

E stato più volte ribadito come l'autoconsumo sia uno dei più grandi vantaggi che una comunità energetica possa vantare; questo perché apre a una serie di agevolazioni economiche e ambientali importanti quali[4]:

• il risparmio economico in bolletta: più si fa coincidere la curva di produzione con quella di consumo (al netto di sistemi di accumulo) e più il costo finale della bolletta sarà basso;

- la valorizzazione dell'energia prodotta grazie a meccanismi incentivanti: generare energia da fonte fotovoltaica dà accesso a una serie di incentivi che portano un notevole risparmio economico al consumatore finale. Lo Scambio sul Posto, il Ritiro Dedicato e il Decreto Ministeriale Isole Minori ne sono esempi;
- le agevolazioni fiscali: la realizzazione di un impianto fotovoltaico da parte di un utente privato dà la possibilità di accedere a una detrazione Irpef di una percentuale dei costi di realizzazione. Il Bonus Ristrutturazione 50% e il Superbonus 110% ne sono esempi. Per le imprese invece è possibile accedere a un superammortamento del 130% del valore dell'investimento;
- la riduzione degli impatti ambientali: la produzione di energia da fonte rinnovabile evita l'emissione in atmosfera di CO<sub>2</sub> e altri gas clima alteranti.

L'autoconsumo dell'energia autoprodotta pone l'attenzione anche su di un altro tema sempre più attuale, cioè la povertà energetica, definita come "l'impossibilità da parte di famiglie o individui di procurarsi un paniere minimo di beni e servizi energetici". Secondo l'Osservatorio della Commissione Europea, 80 milioni di cittadini non hanno potuto avere accesso ai beni energetici minimi nel 2018, di questi circa il 5% sono in Italia. Sebbene questo fenomeno sia costantemente monitorato dagli istituti mondiali, si sta osservando negli anni un aumento del numero di persone in condizioni di povertà energetica e, in questo senso, le moderne comunità energetiche rappresentano un ottima opportunità. Gli evidenti vantaggi economici, sia nel momento dell'installazione dell'impianto grazie alle agevolazioni fiscali, sia durante il suo esercizio attraverso l'autoconsumo, sono un valido strumento per contrastare il crescente numero di cittadini in condizioni di povertà.

In aggiunta, è bene tenere in considerazione non solo il tema del bilancio energetico in equilibrio fra produttore e consumatore di energia all'interno della comunità, ma anche il fatto che tale bilancio, e l'intero funzionamento della comunità energetica, opera al massimo rendimento quando questo è affiancato a interventi di risparmio energetico, sia di carattere gestionale, che impiantistico/strutturale.

Gli interventi di risparmio energetico gestionale rappresentano la corretta gestione domestica nell'utilizzo dei dispositivi elettrici, come elettrodomestici o illuminazione, al fine di massimizzare l'energia autoconsumata, minimizzando gli sprechi. Recentemente questa operazione è stata agevolata o demandata, in toto o in parte, a moderni sistemi di domotica che, attraverso l'intelligenza artificiale, coordinano la produzione e l'utilizzazione dell'energia per massimizzare l'efficienza.

Dall'altro lato, le moderne tecniche di costruzione e di studio dei materiali hanno permesso di rendere le abitazioni sempre più termicamente isolate, riducendo l'energia dispersa (il carico termico dell'edificio) di quasi un ordine di grandezza e, al

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>ref. Gruppo Hera sezione Cambiamenti[10]

contempo, di massimizzare l'energia convertita nelle unità di produzione del calore, come caldaie o pompe di calore. Si pensi per esempio alle abitazioni in classe energetica G (ancora molto diffuse sul territorio) le quali hanno un consumo energetico superiore a  $162 \text{ kWh/m}^2$  a confronto con le moderne abitazioni in classe energetica A+ dove il consumo è di appena  $16.2 \text{ kWh/m}^2$ .

Essere una comunità energetica significa, dunque, tornare alle origini, tornare a quel sentimento di comunità che ha guidato la nostra evoluzione come esseri umani, al fine di percorrere nuove vie verso l'utilizzo e la produzione di energia a un livello qualitativamente superiore. Essere una comunità energetica significa ristabilire una connessione con il Pianeta, partendo dalle risorse rinnovabili e pulite per creare un nuovo approccio economico e sociale sostenibile per le generazioni avvenire. Essere comunità energetica significa vivere insieme.

## Capitolo 2

## Il caso studio di Cedrecchia

Grazie alla panoramica di approfondimento sul tema delle comunità energetiche trattata nel Capitolo 1, si è ora in grado di mettere in pratica ciò che si è visto in un caso reale.

Cedrecchia, un piccolo paesino del comune di San Benedetto Val di Sambro, nella provincia di Bologna, è una realtà appenninica molto diffusa. Le piccole dimensioni, il parco edilizio in età avanzata, il basso numero di abitanti e la vita del paese pressoché inesistente, si scontrato con l'enorme bellezza e le grandi opportunità che la cornice dell'Appennino Tosco-Emiliano ha da offrire.



Figura 2.1. Ingresso al paese di Cedrecchia

A soli 5 km dal capoluogo San Benedetto Val di Sambro e a metà strada fra Bologna e Firenze, entrambe raggiungibili in un ora di auto, Cedrecchia si inserire nel cuore del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano, fra le valli del fiume Setta e Savena, queste ultime fra le più rigogliose e soleggiate del Parco durante tutto l'arco dell'anno.

Oltre a far parte di un grande complesso naturalistico, Cedrecchia viene fiancheggiata a Ovest dal cammino della Via degli Dei, che vede a Madonna dei Fornelli, un paese a 2 km più a Sud, l'arrivo della seconda delle cinque tappe dell'itinerario. La Via degli Dei è un percorso storico naturalistico di 130 km che ripercorre l'antico percorso romano, la Flaminia Militare, che collegava le città di Bologna (Felsinea) e di Firenze. L'itinerario è percorribile in cinque giorni a piedi o in tre in bicicletta e, dopo essere stato recuperato negli anni '90, a oggi è uno fra i cammini più percorsi in Italia. Il passaggio della Via degli Dei nei pressi di Cedrecchia è forse la più grande opportunità che il paese può sfruttare. L'introito turistico generato dal passaggio della Via degli Dei, sia in termini di persone che di denaro, può essere di fondamentale importanza per il benessere della neonata comunità energetica.





Figura 2.2. A sinistra l'itinerario completo della Via degli Dei (fonte: nove.firenze.it; a destra la visione satellitare del paese di Cedrecchia fiancheggiata a Ovest dalla Via degli Dei (Google Earth)

#### 2.1 Inquadramento geografico e climatico

La piccola frazione di Cedrecchia, nel Comune di San Benedetto Val di Sambro, sorge sugli Appennini Tosco-Emiliani, nella parte meridionale della Regione Emilia Romagna, a circa 6 km in linea d'aria dal confine con la Regione Toscana. Il paese è inserito fra le valli del fiume Setta e Savena, a un altitudine di 862 metri sul livello del mare, e l'urbanistica comprende perlopiù piccole abitazioni, mono o bifamiliari, raggruppate attorno a una piccola piazza e a un parcheggio per auto. Ufficialmente, Cedrecchia conta 36 abitanti, in maggioranza lavoratori pendolari, pensionati, contadini e cacciatori. Tutto intorno, ampie distese di prati e campi coltivati. L'orografia di Cedrecchia è tipica collinare/montuosa, alternando aree pianeggianti a piccoli altopiani sopraelevati. A ridosso, sul lato Est del paese, sorge una piccola collina su cui si leva la chiesa e il cimitero del paese.



Figura 2.3. Inquadramento del paese di Cedrecchia nel contesto dell'Appennino Tosco Emiliano (Google Earth)

In un contesto in cui si prevede l'insediamento di una comunità energetica sul territorio, nella valutazione complessiva, risulta di fondamentale importanza l'aspetto legato al clima della particolare area geografica di interesse. Avendo per lo più a che fare con fonti energetiche rinnovabili che, per loro natura, rispondono in primo luogo al clima, si capisce come questo aspetto non sia assolutamente da trascurare o svalutare.

I dati relativi al clima di Cedrecchia presentati di seguito e di cui ci si servirà, fanno riferimento a un *DataSet* di *report* storici provenienti sia da fonte Arpae Emilia Romagna[2] che *Weather Spark*[14]. I dati coprono un arco temporale di dieci anni per Arpae e di trentasei anni per *Weather Spark*.

Tipicamente, la stagione estiva corrisponde a quella termicamente più calda. I mesi più caldi vanno da giugno a settembre. Storicamente, il mese più caldo è luglio dove, di recente, sono stati registrati valori di picco intorno ai 35 °C. La stagione più fredda invece si concentra nel periodo dell'anno diametralmente opposto a quello più caldo, da novembre a marzo. Il mese più freddo storicamente è gennaio dove si sono registrati valori di temperatura notturna fino a -10 °C. Indipendentemente dai picchi minimi e massimi di temperatura, che di norma sono legati alla situazione meteorologica piuttosto che climatica, la figura 2.4 mostra i valori di temperatura media mensile, su un arco temporale di dieci anni, i quali sono decisamente più rappresentativi. Si vede come luglio e agosto siano effettivamente i due mesi più caldi dell'anno, con temperatura media piuttosto simili. Viceversa, dicembre, gennaio e febbraio sono i tre mesi in cui la temperatura media mensile è più bassa. Complessivamente, a Cedrecchia la temperatura media annuale è pari a

circa 11 °C.

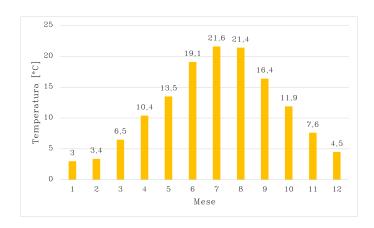


Figura 2.4. Temperature medie mensili a Cedrecchia. Fonte: Arpae-ER

La figura 2.5 mostra la temperatura media oraria durante l'anno, evidenziando anche le ore notturne (ombreggiate) e diurne (non ombreggiate).

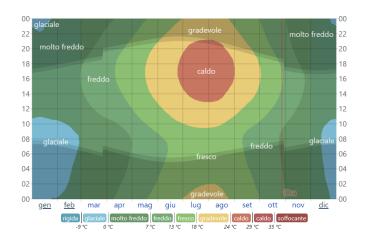


Figura 2.5. Temperatura oraria media a Cedrecchia. Fonte: weatherspark.com

I dati climatici relativi alla radiazione solare incidente sono di fondamentale importanza per quanto riguarda lo sviluppo di un efficiente sito di produzione elettrica da fotovoltaico. La radiazione solare, espressa in  $W/m^2$ , rappresenta l'energia che, nell'unità di tempo, colpisce un  $m^2$  di superficie terrestre. Questa dipende sia dalla località che dalle condizioni atmosferiche. La località influenza i valori di radiazione solare dal momento che questi dipendono dall'angolo con cui i raggi solari colpiscono la superficie terrestre. Più questi sono perpendicolari, più i valori di radiazione solare saranno elevati (a parità di condizioni meteo). La figura 2.6 mostra infatti i

valori annuali di elevazione solare (l'angolo che il Sole forma con la superficie orizzontale in una data località) e l'azimut (l'angolo che la proiezione verticale della posizione del Sole forma con la direzione Sud). A Cedrecchia, il massimo valore di elevazione solare, dal quale dipenderà la posizione di installazione dei pannelli fotovoltaici è pari a 69°, raggiunti il giorno del solstizio d'estate.

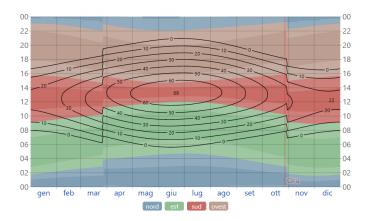


Figura 2.6. Elevazione solare e azimut a Cedrecchia. Fonte: weatherspark.com

La figura 2.7 mostra i valori di radiazione solare media durante i diversi mesi dell'anno. Il valore è calcolato dalle ore 5 alle 19 di ogni giorno al fine di evitare che le ore notturne influenzino negativamente i valori. Come si può notare, i valori rispecchiano in maniera molto evidente il susseguirsi delle stagioni. Il massimo valore è raggiunto nel mese di giugno, quando il Sole è nel suo punto più alto del cielo, mentre il valore minimo è toccato a dicembre, mese in cui cade il solstizio d'inverno. .

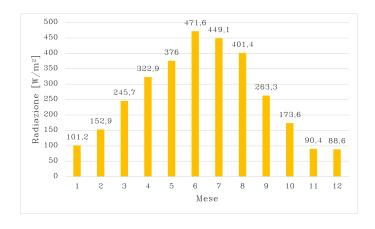


Figura 2.7. Radiazione solare media mensile dalle 5 alle 19. Fonte: Arpae-ER

Se per la produzione fotovoltaica la radiazione solare rappresenta un fattore determinante, la direzione e la velocità del vento sono i due fattori che maggiormente influenzano la produzione eolica. La figura 2.8 mostra la rosa dei venti mensile nei pressi di Cedrecchia, in cui sono indicati direzione e velocità del vento. I colori freddi corrispondono a velocità del vento più basse, mentre colori caldi rappresentano velocità più elevate.

A causa dell'orografia del territorio, la direzione SW-NE in cui spira il vento prevale su tutte le altre. Tuttavia, venti intensi, con punte fino a 15/20 km/h, giungono anche da direzione Sud-Est. L'installazione di aerogeneratori elettrici nei pressi di Cedrecchia dovrà sicuramente tenere in conto di queste evidenze.

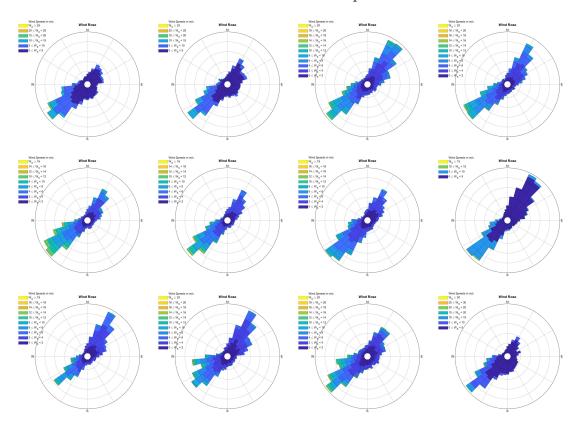


Figura 2.8. Rosa dei venti mensile a Cedrecchia. Fonte: Arpae-ER

La nuvolosità del cielo di Cedrecchia varia moderatamente durante l'anno. Il periodo più sereno è quello estivo, fra i mesi di giugno e settembre, mentre quello più nuvoloso è novembre. Tuttavia, la nuvolosità risulta essere piuttosto omogenea nei mesi non estivi. I dati relativi alla nuvolosità sono di estrema importanza se affiancati a quelli relativi alla radiazione solare; questo perché forniscono una stima della quantità di luce che, durante la giornata, incide sul suolo come diretta o come diffusa. Questo ricade su determinate scelte a livello impiantistico, come la scelta

del modello di pannelli fotovoltaici (capitolo 4). La figura 2.9 mostra la percentuale di copertura nuvolosa, o di cielo sereno, distribuita durante l'arco dell'anno.

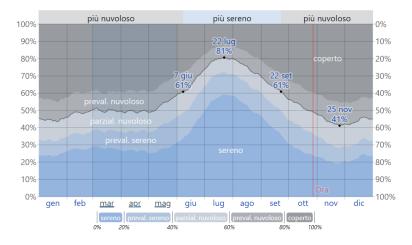


Figura 2.9. Categorie di nuvolosità a Cedrecchia. Fonte: weatherspark.com

Sul fronte precipitazioni, la stagione più piovosa a Cedrecchia dura circa nove mesi, da settembre a giugno con una probabilità media del 23% che un giorno sia piovoso. Il mese più piovoso risulta essere novembre con in media otto giorni e mezzo di pioggia. Si ricorda che per giorno di pioggia si intende una giornata in cui sia caduto almeno un millimetro di acqua (pioggia o neve che sia). Il periodo più asciutto corrisponde a quello estivo, dove luglio, con una media di cinque giorni di pioggia, è il mese in cui piove meno durante l'anno. La figura 2.10 mostra la percentuale mensile dei diversi fenomeni di precipitazioni (pioggia, neve o misto) osservati durante l'anno.



Figura 2.10. Probabilità giornaliera di pioggia a Cedrecchia. Fonte: weatherspark.com

A completamento del quadro climatico sulle precipitazioni, si riporta anche la figura 2.11 che mostra la quantità media di pioggia (e neve) che cade durante l'anno. Il mese con la maggior quantità di pioggia caduta (che non corrisponde necessariamente col mese più piovoso, cioè con più giorni di pioggia) è ottobre con una media di 75 mm di pioggia. Il mese invece con la minor quantità di acqua riversata è gennaio con una media di 25 mm di pioggia.

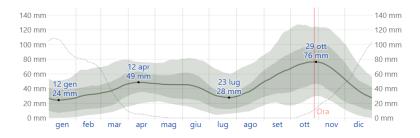


Figura 2.11. Precipitazioni mensili medie a Cedrecchia. Fonte: weatherspark.com

#### 2.2 Stato di fatto delle strutture esistenti

Dopo aver inquadrato Cedrecchia da un punto di vista geografico e climatico, evidenziando come il paese possa essere un buon candidato a ospitare una futura comunità energetica, ci si concentra ora sulla descrizione del patrimonio edilizio.



Figura 2.12. Cedrecchia. In giallo evidenziata la chiesa, in viola le attività agricole, in verde il parcheggio e in arancione l'osteria (Google Earth)

Cedrecchia è un piccolo paese in cui lo stato del patrimonio edilizio è piuttosto datato. Nonostante alcune abitazioni siano in ottimo stato, sono presenti case in

mattoni pieni o in sasso, alcune di queste da ristrutturare completamente. Gli edifici sono tutti raccolti nel centro del paese, dove le vie sono strette e una sola strada, Via Romana Antica, conduce all'interno del paese, fino alla piazza centrale e al parcheggio pubblico. Insieme agli edifici residenziali sono presenti anche due edifici destinati ad attività agricole, un'osteria e una chiesa sul colle a Est del borgo.

Iniziando dal lato Nord, con riferimento alla figura 2.12, in alto a sinistra è presente un edificio residenziale abitato e in buono stato, composto da due unità abitative poste al primo piano, con a piano terra locali garage e cantine. L'abitazione è sprovvista di isolamento termico. In alto al centro, invece, si vede un deposito agricolo di circa  $150m^2$  circondato da un ampio giardino e campo coltivato. Proseguendo, verso Sud si trova un piccolo stabile non abitato da ristrutturare. Quest'ultimo, insieme all'ampio prato che lo circonda, rappresenta un ottima opportunità per la costruzione di una struttura ricettiva turistica, ad esempio un'area per sosta camper o caravan.





Figura 2.13. A sinistra il casolare abitato, a destra il deposito agricolo

Passando poi al lato Est del paese, alla fine di una piccola strada in salita, troviamo la chiesa con il cimitero. Più a sinistra, circa a metà della piccola via in pendenza, si trova un complesso di tre abitazioni, ciascuna di circa  $120m^2$ . Sia la chiesa che il complesso di case si trova complessivamente in un buono stato edilizio.

A Sud invece sono presenti un grande edificio utilizzato come deposito agricolo, stalle e fienili e un'abitazione ristrutturata recentemente su due piani abitati. Il complesso agricolo e di allevamento rappresenta una buona opportunità per poter sfruttare a pieno i liquami e i residui vegetali prodotti per la produzione di biogas. A Nord di queste, cinque piccole case sono in avanzato stato di decadimento e quindi poco sfruttabili al momento.

Sul lato Ovest sorgono tre edifici residenziali di cui due in buono stato ed uno poco sfruttabile al momento. Gli edifici sono su due piani di cui solo il primo è abitato. A piano terra si trova il garage o cantina.

Accanto a questi, l'osteria "Baldini Marta". Sopra all'osteria inoltre sorgono due appartamenti su due piani.





Figura 2.14. A sinistra la chiesa, a destra due delle tre case del complesso



Figura 2.15. Edificio ristrutturato di recente





Figura 2.16. Edifici residenziali

Infine, al centro, insieme ad altri due complessi abitativi su due piani e bifamiliari, si trovano il parcheggio e la piazza del paese. Sempre in centro, una struttura su tre piani da ristrutturare. Quest'ultima potrebbe essere ristrutturata e ospitare un

edificio adibito ad albergo o B&B, utile al fine di poter ospitare i numerosi trekker che ogni giorno percorrono la vicina Via degli Dei.





Figura 2.17. A sinistra l'osteria "Baldini Marta" e a destra la piccola piazza ed il parcheggio pubblico

# 2.3 Interventi di riqualificazione edilizia ed energetica

Nei paragrafi precedenti si è posta l'attenzione sulla situazione ante-operam di Cedrecchia. Si è visto come il paese sia piuttosto arretrato da un punto di vista energetico-edilizio e come questo stia facendo perdere alla comunità l'ottima occasione di sfruttare un ampio bacino di turisti che costantemente durante l'anno sopraggiunge da ogni parte di Italia e di Europa. La progettazione e la messa in opera degli interventi di riqualificazione edilizia ed energetica citati di seguito rappresentano una sfida che l'intera comunità turistica dell'Appennino rivolge al paese di Cedrecchia, donandogli l'opportunità di diventare un polo turistico-energetico all'avanguardia.

In primo luogo, riprendendo il paragrafo 2.2, si rivelano necessari interventi di riqualificazione energetica degli edifici, migliorando sia l'involucro trasparente che opaco. Come è noto, l'involucro di un edificio, costituito da pareti, finestre, porte, soffitti, solai e coperture, ha la capacità di condurre il calore. Ogni materiale che forma la stratigrafia di un elemento di involucro, possiede una propria conducibilità termica  $\lambda$  che misura l'attitudine del corpo a scambiare calore per conduzione. Ha unità di misura W/mK, ovvero esprime quanta potenza viene scambiata dal materiale per ogni metro di lunghezza e per ogni grado di differenza di temperatura. Quando  $\lambda$  viene associata allo spessore del materiale, come nel caso di una parete di un edificio, si parla di resistenza termica dell'elemento di involucro, che deve essere intesa come l'opposizione che la parete esercita al passaggio del calore. L'inverso della resistenza termica fornisce il valore di trasmittanza termica, intesa

come la potenza che un metro quadro di superficie disperde per ogni grado Kelvin di differenza fra interno ed esterno.

$$U\left[\frac{W}{m^2K}\right] = \frac{1}{R} = \frac{\lambda}{s} \tag{2.1}$$

Questa grandezza è la stessa a cui la normativa UNI EN ISO 6946 fa riferimento per il calcolo della prestazione energetica degli elementi di involucro. L'appendice A del  $DM\ 26/06/2015\ Requisiti\ Minimi$  fissa proprio i valori minimi che la trasmittanza termica di ogni singolo elemento di involucro deve avere per rispondere ad adeguati standard di qualità energetica. Tali limiti dipendono dalla zona climatica a cui la località in cui ci si appresta a effettuare l'intervento appartiene. In Italia esistono sei zone climatiche: la zona A rappresenta le località dove le temperature sono meno rigide, come al Sud d'Italia, e dove quindi i limiti sono meno stringenti; viceversa, la zona F raggruppa tutte le aree in cui il clima necessita di vincoli più serrati. A titolo di esempio, si riporta la Tabella 1 dell'appendice A del  $DM\ 26/06/2015\ Requisiti\ Minimi\ che fissa i valori di trasmittanza termica per le strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non riscaldati e contro terra.$ 

Zona climatica	$U(W/m^2K)$			
Zona chinatica	2015(1)	2019/2021(2)		
A e B	0,45	0,43		
C	0,38	0,34		
D	0,34	0,29		
Е	0,30	0,26		
F	0,28	0,24		

Figura 2.18. Tabella 1 Appendice A del DM 26/06/2015 Requisiti Minimi

I valori di trasmittanza limite imposti dalla legge sono stati resi sempre più stringenti. Questo fenomeno ha avuto inizio quando il tema del risparmio e del efficientamento energetico ha cominciato a imporsi nel panorama delle costruzioni edilizie. Parallelamente, lo studio di nuovi materiali e nuove tecnologie di rivestimento dell'involucro degli edifici ha fatto si che valori sempre più performanti potessero essere applicati.

Nel caso di Cedrecchia, il patrimonio edilizio risulta essere ben lontano dal rispettare i moderni limiti imposti dalla legge. Con l'eccezione di un edificio (figura 2.15), tutte le costruzioni non posseggono superfici opache e trasparenti consone ai moderni standard. La ristrutturazione parziale o totale di alcuni immobili è un punto fondamentale che nei capitoli seguenti verrà trattato. Inoltre, la possibilità di accedere a bonus fiscali (come il Superbonus 110%) renderà questi interventi economicamente sostenibili.

Parallelamente alla riqualificazione edilizia dell'involucro degli edifici, per favorire il risparmio energetico è necessario anche intervenire sugli impianti termotecnici.
Rientrano all'interno di questi tutti gli impianti dedicati al riscaldamento, raffrescamento e ventilazione degli ambienti e di approvigionamento dell'acqua sanitaria,
con annessa produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

In estrema sintesi, i moderni impianti di climatizzazione prevedono un generatore di calore e i dispositivi di emissione. Al giorno d'oggi, i generatori di calore sono sempre più spesso rappresentati dalle pompe di calore. Sono tuttavia ancora utilizzate e installate le tradizionali caldaie a gas (metano o GPL) e a biomassa (legna o pellet). Nell'ottica di una comunità energetica, dove vi è produzione e autoconsumo di energia elettrica, la pompa di calore risulta sicuramente essere la miglior candidata per svolgere il compito di generatore. Quest'ultima infatti sfrutta un ciclo frigorifero per trasferire calore da un ambiente a minor temperatura (l'esterno) a uno più caldo (l'interno dell'abitazione), mediante l'impiego di energia elettrica che aziona un compressore.

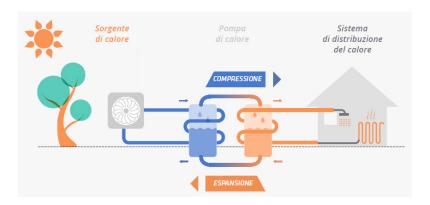


Figura 2.19. Funzionamento pompa di calore. Fonte: ecosolare.biz

Per dispositivo di emissione si intende invece l'apparecchio in grado di trasferire il calore, originato dal generatore di calore e trasmesso al fluido termovettore (solitamente acqua tecnica), all'ambiente circostante. Anche in questo ambito le tecnologie oggi disponibili sono diverse: radiatori, convettori e pannelli radianti sono oggi i dispositivi più utilizzati. In un contesto di ristrutturazione come quello in esame, i pannelli radianti, sebbene si presentino come i migliori candidati all'accoppiamento con una pompa di calore, per vie delle basse temperature richieste al fluido termovettore, si rivelano invece poco adatti, dal momento che la loro installazione prevede il completo rifacimento dei pavimenti delle abitazioni, azione spesso non necessaria quando si ristruttura un edificio. La scelta in questi casi ricade spesso su radiatori o convettori opportunamente dimensionati per lavorare con temperature di esercizio ridotte, intorno ai 55 °C, compatibili con una pompa di calore.

La produzione di ACS viene spesso fatta direttamente dal generatore di calore, tramite un circuito sanitario dedicato. A volte l'impianto viene integrato con un sistema solare termico che sfrutta la radiazione solare per produrre acqua calda. L'ammodernamento impiantistico è un punto fondamentale che nei capitoli seguenti verrà trattato. Inoltre, la possibilità di accedere a bonus fiscali (come il Superbonus 110%) renderà questi interventi economicamente sostenibili.

Al fine di offrire un servizio di alta qualità che spesso è assente sul territorio dell'Appennino, è stata prevista l'installazione di apposite stazioni di ricarica per veicoli elettrici (sia auto che e-bike) e la costruzione di un ampia zona di sosta per camper, caravan e van. Se, a prima vista, questo può sembrare un investimento a fondo perduto, in realtà è un'ottima opportunità che la comunità energetica ha per autoconsumare energia prodotta e, allo stesso tempo, fare da calamita per una grossa fetta di mercato turistico presente in Appennino. Si ricorda che la vicina Via degli Dei ogni giorno è percorsa da ciclisti a cavallo di una bicicletta elettrica, i quali possono trovare a Cedrecchia un luogo in cui soggiornare, ricaricando la batteria dei loro mezzi per il giorno successivo. Allo stesso modo, l'intero Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano è attraversato ogni anno da turisti che scelgono il camper come mezzo per trascorrere le vacanze. L'area di sosta permetterebbe ai camperisti di poter rifornire il camper, scaricare i liquami, avere accesso a bagni e docce con acqua calda e avere un posto sicuro dove poter campeggiare in totale libertà. Nei capitoli successivi, si cercherà di stimare la potenza elettrica necessaria ai due tipi di strutture, cercando anche di capire a quanto ammonta l'investimento economico.



Figura 2.20. Area del paese in cui è possibile costruire l'area per la sosta dei camper

Fino a questo momento è stata svolta una panoramica sugli interventi necessari da effettuare al paese di Cedrecchia, soffermandosi sui cosidetti "carichi", ovvero tutti gli interventi che agiscono sul fabbisogno finale di energia che la futura comunità necessiterà. Di seguito, invece, verranno descritti brevemente gli interventi che riguarderanno la produzione di energia in loco, riservando ai capitoli successivi

l'analisi impiantistica e il loro dimensionamento.

In primo luogo, la costituzione di un efficiente campo fotovoltaico, correttamente dimensionato, fungerà da principale risorsa energetica per tutta la comunità. Come è noto, un impianto fotovoltaico converte l'energia solare (radiazione solare) in energia elettrica (corrente continua). La quantità di corrente elettrica prodotta dall'impianto dipende sia da fattori meteorologici e geografici, come la località d'installazione e la sua orientazione, sia dalla effettiva superficie occupata, dipendente dal numero di pannelli installati. Le attuali tecnologie fotovoltaiche permettono di raggiungere una potenza installata di picco di circa 130W ogni metro quadro di superficie occupata dai pannelli. Se ne deduce che, una volta calcolato il fabbisogno di energia dell'utenza, l'area da destinare al campo fotovoltaico sia di facile deduzione. Come sarà più chiaro nel corso del capitolo 3, la scelta di un giusto sito di installazione influenza molto la producibilità dell'impianto. In linea di massima si consideri, come configurazione ottimale, l'orientazione a 0° Sud del pannello con un inclinazione  $\beta$  di[15]:

$$\beta = 3.7 + (0.69 \cdot LAT) \tag{2.2}$$

dove LAT sono i gradi di latitudine del sito.

Idealmente, l'angolo perfetto di inclinazione sarebbe lo stesso che rende i raggi solari incidenti perpendicolari alla superficie dei pannelli. Questo non è possibile in linea di massima, dal momento che ciò richiederebbe una variazione dell'angolo di inclinazione quotidiano, attuabile solo con sistemi di staffaggio motorizzati, i cui costi di acquisto e installazione non coprono l'effettivo guadagno in efficienza del pannello.

In figura 2.21 è riportata un'immagine del prato, totalmente esposto a Sud, che ospiterà l'impianto fotovoltaico di Cedrecchia.



Figura 2.21. Prato che ospiterà il campo fotovoltaico di Cedrecchia.

Oltre alla costituzione di un campo fotovoltaico, che sarà la principale risorsa energetica della comunità, è prevista anche l'installazione di un parco mini-eolico. Cedrecchia, sopratutto nei mesi invernali (figura 2.8), dispone di venti che raggiungono

velocità interessanti al fine della produzione di energia. Questo fattore rappresenta sicuramente un vantaggio dal momento che ci si aspetta una produzione eolica maggiore nel periodo dell'anno in cui la produzione fotovoltaica è nel suo minimo (mesi invernali), ponderandosi a vicenda. La direzione del vento costante durante tutto l'arco dell'anno è, a sua volta, un ulteriore punto a favore. Nel corso dei capitoli successivi, si affronterà il dimensionamento, la localizzazione e la scelta del corretto modello di turbina. Quest'ultimo infatti dipende in misura maggiore dalla distribuzione di probabilità della velocità del vento (detta distribuzione di Weibull) e richiede analisi più approfondite che saranno affrontate nel capitolo 5 dedicato.

Infine, la comunità ha intenzione di sfruttare al meglio la disponibilità di matrici organiche, sia di origine animale che vegetale, per la produzione di una quantità di biogas che possa essere impiegata nelle cucine delle abitazioni del paese.

La presenza di attività agricole e di allevamento in opera garantisce la costante disponibilità di rifiuti organici adatti allo scopo. L'impianto di produzione di biogas sfrutta il processo di digestione anaerobica che, a differenza del compostaggio, avviene in assenza di ossigeno molecolare. Seguendo le quattro fasi di idrolisi, acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi, i batteri anaerobici producono, a partire dalla sostanza organica, metano, acqua e anidride carbonica. Nel corso del capitolo 6 verrà affrontata la scelta e la localizzazione dell'impianto di produzione di biogas.

Dopo aver inquadrato il paese di Cedrecchia da un punto di vista geografico, meteorologico ed edilizio, e aver illustrato brevemente gli interventi necessari alla realizzazione di una moderna comunità energetica, si è ora in grado di affrontare approfonditamente ciascun intervento di riqualificazione. I seguenti capitoli illustreranno passo per passo questo aspetto.

## Capitolo 3

# Stima dei consumi energetici della comunità

Il seguente capitolo vuole valutare, a una a una, la stima delle energie, per diversi usi, che verranno impiegate, dalla futura comunità energetica di Cedrecchia, come effettivi consumi energetici. A questo proposito si intenda, per consumo energetico, la quantità di energia che, in uno specifico periodo di tempo, viene assorbita (e quindi utilizzata) da tutte le utenze che se ne devono servire per poter operare. La stima dei consumi energetici è il primo passo fondamentale per permettere il corretto dimensionamento degli impianti autonomi di produzione di energia locali. Un calcolo corretto permette alla comunità energetica di evitare inutili sprechi, di massimizzare l'autoconsumo e ridurre i tempi di ritorno degli investimenti effettuati. Così come riportato nel Capitolo 1, una buona coordinazione fra i sistemi di utilizzazione e di produzione di energia è fondamentale per un buon funzionamento di tutto l'ecosistema della comunità.

A Cedrecchia le principali fonti di consumo energetico derivano dagli impianti di riscaldamento delle abitazioni e delle strutture ricettive, dalle varie utenze accessorie come illuminazione e apparecchiature elettriche degli immobili (elettrodomestici, ...), dalla stazione di ricarica veicoli elettrici ed *e-bike* nella piazza della paese, dall'area sosta per camper e dal consumo di gas metano nelle cucine dell'osteria "Baldini Marta".

Nei seguenti paragrafi verranno approfonditi i metodi con cui si è scelto di affrontare la stima dei consumi energetici relativi a ogni settore di consumo.

#### 3.1 Impianti di riscaldamento

Nel corso del capitolo 2 è già stata chiarita la necessità di intervenire sul parco edilizio di Cedrecchia al fine di renderlo più moderno e adatto agli attuali standard edilizi ed energetici. Per questo motivo, è stato spiegato come le opere di

ristrutturazione degli edifici permettano un risparmio energetico in termini di minore energia dispersa, mentre gli interventi sugli impianti tecnici permettono un risparmio dovuto alle moderne apparecchiature (sia di generazione che di emissione) sempre più performanti e ad alti rendimenti. È stato anche aggiunto come gli incentivi fiscali (come il Superbonus 110%) siano di grande aiuto economico in questa fase di realizzazione.

Il cappotto termico e la sostituzione degli infissi sono le due opere che maggiormente influenzano il valore di energia dispersa dall'involucro edilizio e per questo devono essere presi in considerazione con priorità. Come riportato nel paragrafo 2.3, adeguando i valori di trasmittanza U, sia degli elementi opachi che trasparenti, ai valori di legge (appendice A del DM 26/06/2015 Requisiti Minimi) l'energia dispersa risulta essere due, anche tre volte inferiore alla situazione ante operam. Partendo dunque dal presupposto che gli interventi di ristrutturazione sugli involucri opachi e trasparenti del comparto edilizio di Cedrecchia siano stati effettuati, è necessario ora calcolare quanto sia la potenza che l'impianto di riscaldamento deve avere al fine di fornire la giusta energia agli ambienti per mantenere la temperatura di set-point desiderata (di norma  $20^{\circ}$ C). Dopo aver correttamente dimensionato gli impianti, sulla base della potenza (in kW), sarà possibile calcolare, tramite software, il consumo energetico annuale degli stessi, in termini di energia (in kWh). Per fare questo, dopo aver svolto il sopralluogo nel paese, gli edifici interessati sono stati suddivisi in tre categorie:

- edifici a due piani di cui il piano terra adibito ad autorimessa/cantina non riscaldata e il piano primo abitato e riscaldato;
- edifici a due piani entrambi abitati e riscaldati;
- edificio a tre piani di cui il piano terra adibito a osteria e il primo e secondo abitati e riscaldati.

Per ognuno dei tre modelli di edifici è stato creato un modello geometrico su *software SketchUp v2019* che potesse rappresentare al meglio l'edificio tipo per ogni categoria menzionata.

Dopo aver generato i tre modelli, si è passato alla simulazione su software OpenStudio v1.1.0 in cui è stato possibile inserire tutti i dati relativi all'involucro, nonché il file climatico contente tutti i dati necessari per svolgere la simulazione in corrette condizioni climatiche. Al fine di stimare la corretta potenza necessaria agli impianti di riscaldamento, la simulazione viene svolta utilizzando la temperatura esterna di progetto, cioè "il valore minimo delle medie delle decadi annuali più fredde registrate nella località", pari a -4,8°C, la quale cade nel cosiddetto giorno di progetto che, per la località, corrisponde al 21 gennaio.

Sono state poi inserite all'interno del *software* tutte le stratigrafie degli involucri trasparenti e opachi degli edifici. I materiali e gli spessori sono stati scelti al fine di rispettare il valore di trasmittanza U imposto dalla legge, mantenendo comunque



Figura 3.1. Modelli di edifici su  $SketchUp\ v2019$ . A sinistra l'edificio su due piani di cui uno riscaldato ed uno no, al centro l'edificio a due piani riscaldato e a destra l'edificio su tre piani riscaldati con l'osteria al piano terra.

il vincolo della struttura muraria esistenze (principalmente in mattone pieno). Di seguito, in tabella 3.1, 3.2 e 3.3, si riportano alcune delle principali stratigrafie progettate, con a fianco indicato il relativo spessore, valore di conducibilità termica  $\lambda$ , la resistenza termica R, la densità  $\rho$ , il calore specifico c e la trasmittanza U. Per le strutture trasparenti sono indicate l'area del telaio  $(A_f)$ , del vetro  $(A_g)$  e della finestra  $(A_w)$ , le relative trasmittanze  $(U_f, U_g \in U_w)$ , il valore della lunghezza del telaio  $(l_g)$  e il valore del coefficiente lineico del ponte termico fra il vetro e il telaio secondo norma EN ISO 10077-1  $(\Psi_g)$ .

Si ricorda inoltre che la trasmittanza U per gli elementi opachi viene calcolata secondo l'equazione 3.1, mentre per gli elementi trasparenti è calcolata come segue, come indicato dalla norma EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \Psi_g}{A_w} \tag{3.1}$$

Pareti esterne							
	Spessore [m]	$\lambda \ [W/mK]$	$R [m^2K/W]$	$\rho \; [kg/m^3]$	c $[J/kgK]$	U $[W/m^2K]$	
$R_{si}$			0.13				
Intonaco calce e cemento	0.01	0.9	0.011	1 800	840		
Mattoni pieni	0.3	0.7	0.429	830	1000		
Collante	0.01	0.45	0.022	1400	1000	0.22	
Stiferite SK	0.1	0.026	3.846	35	1464		
Intonaco calce e cemento	0.008	0.9	0.011	1 800	840		
$R_{se}$			0.04				
TOTALE	0.428		4.487				

Tabella 3.1. Stratigrafia delle pareti esterne degli edifici

		(	Copertura			
	Spessore [m]	$\lambda \ [W/mK]$	$R [m^2 K/W]$	$\rho \; [kg/m^3]$	c $[J/kgK]$	$\mathrm{U}\ [W/m^2K]$
$R_{si}$			0.10			
Intonaco calce e cemento	0.01	0.9	0.011	1 800	840	
Tavellone	0.03	0.355	0.085	830	1000	
Strato aria	0.12		0.154	1.225	1005	
Tavellone	0.03	0.355	0.085	830	1000	
Sottofondo in CLS	0.03	1.4	0.021	1 000	1 000	
Barriera al vapore PE	0.0005	0.4	0.001	940	1 800	0.16
Stiferite B	0.14	0.025	5.600	44	1458	
Collante	0.01	0.45	0.022	1400	1 000	
Stiferite SK	0.1	0.026	3.846	35	1464	
Guaina bituminosa	0.004	0.2	0.020	1 200	900	
Tegole	0.01	0.99	0.010	2000	800	
$R_{se}$			0.04			
TOTALE	0.375		6.127			

Tabella 3.2. Stratigrafia della copertura degli edifici

	Superfici trasparenti						
	$U_W[W/m^2K]$	$A_g [m^2]$	$U_g[W/m^2K]$	$A_f[m^2]$	$U_f[W/m^2K]$	$l_g[m]$	$\Psi_g[W/mK]$
Finestre	1.02	2.25	0.6	0.99	1	12.24	0.08
Porte	0.98	3.93	0.6	1.30	1	18.6	0.08

Tabella 3.3. Stratigrafia di alcune superfici trasparenti degli edifici

Gli impianti vengono dimensionati e installati solo per far fronte alla stagione invernale, in quanto sull'Appennino le estati sono miti e l'isolamento dell'involucro dell'edificio permette di ottenere un buon riparo dalle giornate estive più intense, le quali sono comunque rare. Per questo motivo, i carichi endogeni relativi all'occupazione, alle apparecchiature elettriche, all'illuminazione e all'attività metabolica, non vengono inseriti nella simulazione in quanto questi costituiscono un guadagno, dal punto di vista energetico, che l'ambiente ottiene durante l'inverno. È tuttavia stato conteggiato un ricambio orario dovuto alle infiltrazioni di  $0.05\ h^{-1}$ .

Sempre dal punto di vista dell'impianto e del comfort all'interno degli ambienti, è stato inserito un termostato che regola la temperatura interna a 20°C dalle ore 7 alle 20 con un *setback* a 17.5°C (figura 3.2).

La simulazione restituisce il valore di potenza termica specifica (in  $W/m^2$ ) per ognuna delle zone termiche considerate, le quali sono corrispondenti a ciascun piano di ogni edificio.

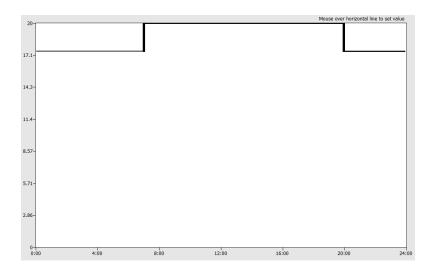


Figura 3.2. Grafico orario di setting del termostato.

Conoscendo dunque il valore di potenza specifica per ciascuna delle categorie di edifici determinate e la superficie in pianta degli edifici (in  $m^2$ ), è stato possibile risalire, con un buon grado di approssimazione, alla potenza termica "invernale" necessaria agli impianti di riscaldamento di ciascun edificio e, cumulando, di tutta la comunità. La seguente tabella mostra il valore del carico termico totale (in W) e quello specifico (in  $W/m^2$ ).

Output Software carico termico					
Zona termica	Carico termico [W]	Carico termico specifico $[W/m^2]$			
1 PIANO TZ	2125	21.25			
2 PIANO TZ	2891	28.91			
OSTERIA TZ	2030	20.30			
PIAN TERRENO $2~\mathrm{TZ}$	1954	19.54			
PIANO ABITATO 1 TZ	4005	40.05			
PIANO ABITATO 2 TZ	2988	29.88			

Tabella 3.4. Potenza termica per ogni zona termica

In tabella 3.4, le zone termiche "1 PIANO TZ", "2 PIANO TZ" e "OSTERIA" corrispondono ai tre piani dell'edificio a destra in figura 3.1; le zone termiche "PIAN TERRENO 2 TZ" e "PIANO ABITATO 2 TZ" rappresentano i due piani dell'edificio al centro in figura 3.1; la zona termica "PIANO ABITATO 1 TZ" corrisponde al primo piano dell'edificio a sinistra in figura 3.1. Il pian terreno dello stabile a sinistra in figura 3.1, in quanto non riscaldato, non compare fra le zone termiche. Una volta ottenuto il valore di potenza termica specifica per ciascuna zona termica

simulata, è stato possibile calcolare un valore univoco per ogni categoria di edifici considerati, partendo dai valori in figura 3.4:

- per tutti gli edifici a due piani di cui il piano terra adibito ad autorimessa/cantina non riscaldata e il piano primo abitato e riscaldato, il valore di potenza specifica corrisponde al valore della zona termica "PIANO ABITATO 1 TZ", ovvero  $40.05 \ W/m^2$ ;
- per gli edifici a due piani entrambi abitati e riscaldati, il valore di potenza termica specifica di fatto risulta essere la media fra i valori corrispondenti alle zone termiche "PIANO ABITATO 2 TZ" e "PIAN TERRENO 2 TZ", cioè  $24{,}71~W/m^2$ ;
- per l'osteria al pian terreno nell'edificio a tre, il valore di potenza specifica è quello della corrispettiva zona termica, ovvero  $20.30~W/m^2$ . Per i due piani abitati e riscaldati ai piani superiori, il valore corrispondente corrisponde alla media dei risultati delle zone termiche "1 PIANO TZ" e "2 PIANO TZ", ovvero  $25.08~W/m^2$ .

Si noti come i valori di potenza termica specifica degli appartamenti su due piani riscaldati siano piuttosto simili  $(24.71 \ W/m^2 \ e \ 25.08 \ W/m^2)$ .

Infine, moltiplicando i valori di potenza specifica determinati dalla simulazione per i valori delle superfici in pianta degli edifici, rilevati durante il sopralluogo, si ottiene una stima della potenza termica necessaria per climatizzare gli ambienti nel giorno di progetto.



Figura 3.3. ID edifici Cedrecchia

La figura 3.3 mostra una mappa di Cedrecchia con i numeri identificativi degli edifici, mentre la tabella 3.5 riporta i risultati ottenuti in termini di carico termico dell'intero paese.

	Carico termico edifici Cedrecchia						
ID Edificio	Descrizione	Piani	Superficie $[m^2/piano]$	Superficie $[m^2]$	Carico termico [W]		
1	В&В	4	200	800	20 000		
2	Residenziale	2	270	540	13500		
3	Villette a schiera	2	180	360	9 000		
4	Chiesa	1	225	225	\		
5	Area camper	2	48	96	\		
6	Residenziale	1	200	200	8 0 1 0		
7	Deposito agricolo	1	150	150	\		
8	Residenziale	1	200	200	8 0 1 0		
9a	Osteria	1	225	225	4567.5		
9b	Residenziale	2	225	450	11250		
10	Parcheggio	\	\	\	\		
11	Residenziale	4	200	800	20000		
12	Residenziale	1	150	150	6007.5		
13	Residenziale	2	100	200	5000		
14	Azienda agricola	\	\	\	\		
15	Residenziale	2	300	600	24030		
			TOTALE	4996	129 375		

Tabella 3.5. Risultati valori carico termico edifici Cedrecchia

Gli impianti del paese di Cedrecchia dovranno dunque essere dimensionati per fornire in totale circa 130kW termici.

Come spiegato nel corso del paragrafo 2.3, la miglior soluzione che a oggi risponde ai requisiti di generazione di calore da fonte elettrica rinnovabile è la pompa di calore. Si è detto che la pompa di calore utilizza energia elettrica  $(kWh_e)$  per produrre energia termica  $(kWh_t)$ . Il fattore di conversione fra energia elettrica in input ed energia termica in output è detto Coefficient of performance (COP) e indica quanti  $kWh_t$  si ottengono dall'impiego di un  $kWh_e$ . La tecnologia è molto avanzata negli ultimi anni e i valori di COP hanno visto un notevole incremento. Tuttavia, nei calcoli svolti si è tenuto conto di un COP sì performante, ma che rispecchi comunque i valori che il mercato a oggi è in grado di offrire a prezzi concorrenziali. Il valore scelto è pari a  $3.5^1$ , pertanto:

$$E_e \left[ kW h_e \right] = \frac{E_t \left[ kW h_t \right]}{COP} \tag{3.2}$$

considerando l'energia nell'unità di tempo si ottengono i valori in potenza:

$$P_e[kW_e] = \frac{P_t[kW_t]}{COP} = \frac{130kW_t}{3.5} = 37.1kW_e$$
 (3.3)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>sulla base del catalogo Daikin - divisione riscaldamento[7]

Il carico elettrico dovuto alla sola climatizzazione invernale degli edifici di Cedrecchia è dunque pari a circa 37kW.

Al fine di poter capire quanto la potenza elettrica richiesta dagli impianti di riscaldamento impatti sulla potenza richiesta da ciascuna unità immobiliare alla rete locale, è stata calcolata la potenza termica (in kW) necessaria a ciascuna abitazione e, successivamente, anche la potenza elettrica (tabella 3.6). Si ricorda che questi valori di potenze sono da considerarsi di picco, in quanto fanno riferimento al giorno di progetto, dove la temperatura è la minore statisticamente raggiunta dalla località.

Si noti come la potenza elettrica richiesta non superi quasi mai i 2kW. Uniche eccezioni sono due ampie unità immobiliari e il B&B, dove le grandi superfici da riscaldare fanno sì che la potenza elettrica necessaria sia superiore alla media del paese.

	Carico elettrico edifici Cedrecchia						
ID edifici	Descrizione	Superficie $[m^2]$	Unità immobiliari	Carico termico [kW]	Carico elettrico [kW]	Carico elettrico [kW/UI]	
1	В&В	800	1	20	5.7	5.7	
2	Residenziale	540	2	13.5	3.9	1.9	
3	Villette a schiera	360	3	9	2.6	0.9	
4	Chiesa	225	1	\	\	\	
5	Area camper	96	1	\	\	\	
6	Residenziale	200	2	8.01	2.3	1.1	
7	Deposito agricolo	150	1	\	\	\	
8	Residenziale	200	2	8.01	2.3	1.1	
9a	Osteria	225	1	4.5675	1.3	1.3	
9b	Residenziale	450	2	11.25	3.2	1.6	
10	Parcheggio	\	\	\	\	\	
11	Residenziale	800	2	20	5.7	2.9	
12	Residenziale	150	1	6.0075	1.7	1.7	
13	Residenziale	200	1	5	1.4	1.4	
14	Azienda agricola	\	\	\	\	\	
15	Residenziale	600	3	24.03	6.9	2.3	
			TOTALE	129.4	37.0		

Tabella 3.6. Risultati valori carico elettrico edifici Cedrecchia

Dopo aver correttamente dimensionato gli impianti di riscaldamento, si procede ora allo stesso modo per calcolare il carico termico invernale, inteso come "il flusso di energia che occorre immettere in uno spazio confinato per mantenere al suo interno le desiderate condizioni ambientali". La simulazione viene ripetuta ora su l'arco temporale di un anno, e non più solo per il giorno di progetto: questo permette di stimare l'energia che annualmente viene spesa per il riscaldamento dei locali.

Il software OpenStudio v1.1.0 restituisce i valori di energia in GigaJoule (GJ) e pertanto si riporta il fattore di conversione con la più utilizzata unità di misura per l'energia, i kWh:

$$1GJ = 277.8kWh \tag{3.4}$$

In questo caso, il *software* non restituisce i valori di consumo energetico specifico (in  $kWh/m^2$ ), pertanto questi vengono calcolati sapendo che i modelli geometrici sono stati costruiti assegnando a ciascuna zona termica una superficie in pianta di  $100m^2$ . Dunque si avrà:

- per tutti gli edifici a due piani di cui il piano terra adibito ad autorimessa/cantina non riscaldata e il piano primo abitato e riscaldato, il valore di consumo energetico specifico corrisponde al valore della zona termica "PIANO ABITATO 1 TZ", ovvero  $46,75 \text{ } kWh/m^2$ ;
- per gli edifici a due piani entrambi abitati e riscaldati, il valore di consumo energetico specifico risulta essere la somma fra i valori corrispondenti alle zone termiche "PIANO ABITATO 2 TZ" e "PIAN TERRENO 2 TZ", cioè 28,50  $kWh/m^2$ ;
- per l'osteria al pian terreno nell'edificio a tre, il valore di consumo energetico specifico è quello della corrispettiva zona termica, ovvero  $24,50 \ kWh/m^2$ .

  Per i due piani abitati e riscaldati ai piani superiori, il valore corrispondente
  corrisponde alla somma dei risultati delle zone termiche "1 PIANO TZ" e "2
  PIANO TZ", ovvero  $25.70 \ kWh/m^2$ .

Infine, procedendo come nel caso del calcolo della potenza termica, si è moltiplicato il valore di consumo energetico specifico per gli effettivi  $m^2$  di ciascun edificio, ottenendo così un valore cumulato di 149 302 kWh/anno. Dividendo per il valore di COP indicato in precedenza, pari a 3.5, si ottiene il consumo energetico effettivo che gli impianti di produzione di energia locali dovranno fornire annualmente:

$$E_e[kWh_e] = \frac{E_t[kWh_t]}{COP} = \frac{149\,302kWh_t}{3.5} = 42\,658kWh_e$$
 (3.5)

La tabella 3.7 mostra i risultati ottenuti a livello di singole unità immobiliari.

Il consumo in kWh è espresso sottoforma di energia termica. Come sempre, per stimare il consumo elettrico risulta necessario dividere l'energia termica per il valore di Coefficient of Performance scelto. Si noti, giustamente, come il B&B sia l'edficio singolo che più di tutti ha un consumo energetico elevato. Questo è principalmente dovuto alla più ampia superficie da riscaldare.

Infine, i valori non sono riportati per tutti quelle strutture che non prevedono un impianto di riscaldamento, oppure il cui consumo relativo alla climatizzazione invernale è inserito all'interno dei carichi elettrici per illuminazione e apparecchiature elettriche (si veda paragrafo 3.2). Quest'ultimo è il caso dell'azienda agricola (ID edficio 14).

ID Edificio	Descrizione	Piani	Superficie $[m^2/piano]$	Superficie $[m^2]$	Consumo [kWh]
1	В&В	4	200	800	22864
2	Residenziale	2	270	540	15433
3	Villette a schiera	2	180	360	10289
4	Chiesa	1	225	225	\
5	Area camper	2	48	96	\
6	Residenziale	1	200	200	9350
7	Deposito agricolo	1	150	150	\
8	Residenziale	1	200	200	9350
9a	Osteria	1	225	225	5512
9b	Residenziale	2	225	450	12861
10	Parcheggio	\	\	\	\
11	Residenziale	4	200	800	22864
12	Residenziale	1	150	150	7013
13	Residenziale	2	100	200	5716
14	Azienda agricola	\	\	\	\
15	Residenziale	2	300	600	28050
			TOTALE	4996	149 302

Tabella 3.7. Risultati valori consumi energetici annui edifici Cedrecchia

## 3.2 Illuminazione e apparecchiature elettriche

Per completare il quadro del consumo energetico di ogni unità immobiliare, si passa ora alla stima del carico elettrico necessario agli impianti di illuminazione e delle apparecchiature elettriche. Naturalmente, tale stima dipende dalla destinazione d'uso dell'immobile: un'unità abitativa, infatti, avrà un consumo minore rispetto a un ristorante o a un albergo. Il consumo energetico da parte di un utenza è strettamente connesso con la tipologia di contratto stipulato con il fornitore di energia, il quale fissa la potenza massima impegnata dall'utenza. Si ricorda che la potenza impegnata contrattuale, espressa in kW, rappresenta la potenza elettrica massima che il fornitore di energia rende disponibile all'utenza, secondo un contratto stipulato. Il valore di potenza più frequente per le unità abitative è pari a 3kW. Tuttavia, tale valore può essere modificato, seguendo scaglioni di 0.5kW (dal 1 gennaio 2017)[8], da chiunque abbia necessità di aumentare (più raramente di diminuire) il proprio valore di potenza impegnata. Si capisce quindi come, conoscendo il valore di potenza impegnata contrattuale, sia possibile conoscere quali utenze siano ad alto consumo energetico e quali invece siano a consumo moderato. Questa è la ragione per la quale, edifici che necessitano di più energia, siano costretti ad aumentare la propria potenza contrattuale. E piuttosto frequente, infatti, l'interruzione dell'erogazione di energia elettrica dovuta a un eccessivo carico elettrico contemporaneo (superamento del valore di potenza contrattuale), con conseguente riarmo del contatore. Una soluzione potrebbe dunque essere quella di incrementare il valore di potenza impegnata, evitando quindi di incorrere nell'interruzione dell'erogazione di energia; tuttavia, l'impiego di alti valori di potenza impegnata sono una misura economicamente sconveniente dal momento che una buona gestione dei carichi (e del fattore di contemporaneità) risulta sufficiente per poter rimanere all'interno di valori di potenza convenzionali. Tutto ciò ne va anche a totale vantaggio del consumo diretto di energia. Nel caso invece in cui si rilevi un uso costante di alcuni carichi elettrici (come ad esempio la pompa di circolazione di un acquario domestico o del ricircolo dell'impianto sanitario) può essere conveniente valutare l'adeguamento della potenza impegnata contrattuale a un valore idoneo alle proprie necessità, al quale ne conseguirà un incremento nei consumi energetici, in questo caso però previsti.

Per quanto esposto dunque, al fine di evitare stime e calcoli molto approssimativi, che richiederebbero diverse ipotesi non sempre realistiche, per calcolare il carico elettrico dovuto agli impianti di illuminazione e delle apparecchiature elettriche, si è deciso di assegnare a ogni unità abitativa residenziale un valore in potenza che deve essere garantita di 3kW. Come spiegato, una potenza di 3kW è standard per le abitazioni ed è il valore che statisticamente più rappresenta il quadro dei valori di potenze impegnate in Italia. In aggiunta, al fine di quantificare un consumo annuo per abitazione, tenuto conto del basso numero di residenti e del diffuso trasferimento verso le città per lavoro nei mesi invernali, si è deciso di adottare il valore della media nazionale di una famiglia, fornito da ARERA e pari a  $2\,700kWh/anno$ , ma corretto al ribasso per tenere conto di quanto detto. Si è perciò deciso di scendere a un valore pari a  $2\,200kWh/anno \cdot abitazione$ .

Il valore di potenza elettrica impegnata per illuminazione e utilizzo di apparecchiature elettriche nel caso del Bed&Breakfast viene fissato a 6.5kW. Le seguenti ipotesi sono state avanzate per determinare il valore corretto:

- l'edificio dispone di una dozzina di camere per gli ospiti (quattro ogni piano);
- l'illuminazione all'interno delle camere non deve essere eccessivamente intensa e le uniche apparecchiature installate sono una TV e un piccolo asciugacapelli;
- l'illuminazione risulterà più intensa a piano terra dove sono collocate la reception e la sala comune le quali, a parte qualche computer, non dispongono di apparecchiature elettriche energivore;
- la struttura provvede solo alla colazione per gli ospiti e dunque la cucina non necessita di elettrodomestici ad alto assorbimento;
- le lavatrici e le asciugatrici disponibili sono ad alta efficienza.

Dalle ipotesi fatte si deduce come la struttura sia stata concepita a basso impatto energetico; d'altronde, dovendo essere ristrutturata completamente, non c'è modo di pensare che gli impianti e i dispositivi installati non siano performanti. Per queste ragioni, basandosi sul documento ENEA "Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in Italia" e applicando i ragionamenti fatti, si è stimato il consumo energetico annuo del Bed&Breakfast, in  $4\,000kWh/camera^2$ . Nel caso del Bed&Brekfast di Cedrecchia si avrà:

$$E_e = 4000kWh/camera \cdot 12camere = 48000kWh \tag{3.6}$$

Passando invece all'osteria "Baldini Marta", si è deciso di fornire una potenza disponibile pari a 15kW. Il settore della ristorazione è molto energivoro, principalmente per l'ampia presenza e utilizzo di elettrodomestici, quali forni elettrici, microonde, lavastoviglie, abbattitori, ...). D'altra parte però, l'osteria "Baldini Marta" a Cedrecchia è di modeste dimensioni e serve principalmente cucina casereccia a un numero limitato di commensali, rispetto alla media dei ristoranti. Per queste ragioni, si è ritenuto opportuno stimare il consumo energetico annuo dell'osteria in  $20\,000kWh/anno$ , rivedendo al ribasso il dato di consumo medio dei ristoranti italiani, comunicato dalla Federazione Italiana Pubblici Esercizi (FIPE).

Infine, considerando l'azienda agricola all'ingresso del paese di Cedrecchia (ID edificio 14 in figura 3.5), questa presenta una serie di macchinari ausiliari, impiegati sia nell'allevamento del bestiame che nella produzione di seminativo per l'alimentazione degli animali, tali rendere anche questa attività ad alto impatto energetico sulla comunità. Impianti di mungitura, di agitazione e di refrigerazione del latte, macinatori, condotti di carico del mangime e di scarico dei reflui, ruspe di pulizia e ventilazione della stalla sono i principali carichi elettrici a cui l'azienda deve far fronte. In aggiunta, devono anche essere presi in considerazione un buon sistema di illuminazione delle stalle e di tutti i locali. Complessivamente, basandosi anche sullo studio "Rilevazione in campo consumi elettrici e termici di aziende agricole campione" [9] in particolare sull'" analisi dei fabbisogni energetici dell'azienda agricola "Riccianico" nel Comune di Firenzuola" si è ritenuto opportuno prevedere una potenza disponibile pari a 15kW. Inoltre, sebbene l'azienda agricola "Riccianico" possieda circa il doppio degli animali rispetto a quella presente a Cedrecchia, il consumo energetico non può essere rapportato al solo numero di bovini, in quanto gli apparecchi elettrici necessari alla produzione del latte e al mantenimento della stalla devono comunque essere presenti, nonostante le ore di funzionamento e la

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Ref. fig. 31 p16. Il documento riferisce tutti i consumi energetici dell'intera struttura ricettiva al numero di camere. Il consumo "a camera" è dunque da intendere comprensivo di tutto ciò che comprende la struttura. Nel valore indicato inoltre si è tenuto conto della sola componente legata all'uso diretto di elettricità e per produzione di ACS.[1]

taglia possano essere inferiori. Per questo, si è deciso di stimare il consumo energetico dell'azienda agricola in  $25\,000kWh/anno$ , il 30% in meno rispetto al consumo dell'azienda "Riccianico". La tabella 3.8 riassume le potenze disponibili e i consumi energetici stimati annui per gli edifici di Cedrecchia.

	Potenza impegnata e consumo energetico edifici Cedrecchia					
ID edifici	Descrizione	Unità immobiliari	Potenza [kW/UI]	Potenza [kW]	Consumo [kWh/UI]	Consumo [kWh]
1	В&В	1	6.5	6.5	48 000	48 000
2	Residenziale	2	3	6	2200	4400
3	Villette a schiera	3	3	9	2200	6600
4	Chiesa	1	3	3	\	\
5	Area camper		Vedi	paragrafo 4	3	
6	Residenziale	2	3	6	2200	4400
7	Deposito agricolo	1	3	3	\	\
8	Residenziale	2	3	6	2200	4400
9a	Osteria	1	15	15	20000	20000
9b	Residenziale	2	3	6	2200	4400
10	Parcheggio	\		\	\	\
11	Residenziale	2	3	6	2200	4400
12	Residenziale	1	3	3	2200	2200
13	Residenziale	1	3	3	2200	2200
14	Azienda agricola	1	15	15	25000	25000
15	Residenziale	3	3	9	2200	6 600
			TOTALE	96.5		132 600

Tabella 3.8. Risultati valori carico elettrico edifici Cedrecchia

Il consumo energetico annuo stimato per illuminazione e apparecchiature elettriche a Cedrecchia è dunque pari a 132.6MWh.

# 3.3 Area sosta camper e colonnine per ricarica EV

Uno degli obiettivi principali della comunità di Cedrecchia è rendere il paese un nuovo polo turistico che possa attrarre i tanti viaggiatori che ogni anno visitano l'Appennino in libertà o che percorrono la Via degli Dei, a piedi o in bicicletta. Naturalmente, questo intento deve andare di pari passo con lo sviluppo di un'adeguata infrastruttura attua a fornire i giusti servizi ai turisti. A questo proposito, il Bed&Breakfast e l'osteria, citati in precedenza, forniscono vitto e alloggio a chiunque voglia, per qualunque motivo, trascorrere una notte in paese, sia che siano camminatori della Via degli Dei o famiglie che fanno tappa in paese per una o più notti. Si è dunque pensato di sviluppare, dati gli ampi spazi nei pressi del paese,

strutture che possano ampliare il campo di possibili fasce di turisti, i quali possono trovare in Cedrecchia un ottimo luogo per trascorrere alcune ore o qualche giorno. L'area di sosta camper e caravan nasce dalla consapevolezza che il turismo itinerante si sta affermando nelle persone come opportunità di viaggiare in tranquillità, a prezzi contenuti, senza tuttavia precludersi l'opportunità di visitare luoghi suggestivi in autonomia. È da questo sentimento che si è pensato di dedicare un area del paese non edificata, ma comunque centrale, alla costruzione di cinque piazzole per la sosta dei camper, comprensiva di allacciamento elettrico, di superficie per lo scarico dei reflui e impianto idrico. In aggiunta, si è previsto di ristrutturare un piccolo stabile, presente nei pressi della zona, da adibire a servizi igienici con doccia e lavatoio.

La totale area verde copre una superficie di circa  $1\,000\,m^2$ , posizionata su un lieve dislivello. Ciascuna piazzola copre un'area di  $50\,m^2$  ( $5m\times 10m$ ), per un totale di  $550\,m^2$ , comprensivi anche di una superficie, sempre di  $50\,m^2$ , dedicata allo scarico dei reflui. I restanti metri quadri sono adibiti alle zone di manovra dei mezzi e ad aree verdi.

Ogni piazzola sarà equipaggiata con una colonnina di allacciamento elettrico con potenza di 1.5kW, per un totale complessivo di 7.5kW. Ulteriori 3kW vengono impiegati per la produzione di acqua calda sanitaria e l'utilizzo della lavatrice all'interno dello stabile dedicato ai servizi igienici.

Al fine di stimare il consumo energetico annuale dell'intera area sosta camper, si è ritenuto opportuno valutare i consumi sia durante la stagione invernale che estiva, a causa delle evidenti differenze in termini di tempi di utilizzo della struttura. Per effettuare la stima dunque, le seguenti ipotesi sono state seguite:

- la domanda media di energia che un camper richiede all'allacciamento è di circa 3kWh/giorno;
- durante la stagione estiva, le piazzole che mediamente vengono occupate contemporaneamente sono 4, mentre, durante la stagione invernale, queste si riducono a 2;
- la lavatrice dell'area ha un consumo di  $0.5kWh/lavaggio^3$  ed esegue mediamente 3 lavaggi al giorno, durante la stagione estiva, ed 1 durante quella invernale;
- il consumo energetico per la produzione di ACS è pari a  $1000kWh/anno^4$ .

La figura seguente mostra la superficie di circa  $1\,000\,m^2$  dove è stata prevista la costruzione dell'area sosta per camper.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>considerando un lavaggio a 40°C con lavatrice Whirlpool

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>sulla base dei dati relativi a scalda acqua in pompa di calore BOSCH



Figura 3.4. Area sosta camper: foto e pianta

Dalle ipotesi fatte, il consumo energetico annuale stimato dell'area sosta camper viene calcolato come segue:

• stima della domanda di energia annuale richiesta dai camper che sostano nell'area:

$$E_{estate} = 3kWh/g \cdot 4 = 12kWh/g = 360kWh/m_{estivi}$$

$$E_{inverno} = 3kWh/g \cdot 2 = 6kWh/g = 180kWh/m_{invernali}$$

$$E_{camper} = 360kWh/m_{estivi} \cdot 6 + 180kWh/m_{invernali} \cdot 6 = 3240kWh/anno$$
(3.7)

• stima del consumo annuo della lavatrice all'interno dell'area:

$$E_{estate} = 0.5kWh/l \cdot 3l/g = 1.5kWh/g = 45kWh/m_{estivi}$$

$$E_{inverno} = 0.5kWh/g \cdot 1l/g = 0.5kWh/g = 15kWh/m_{invernali}$$

$$E_{lavaggi} = 45kWh/m_{estivi} \cdot 6 + 15kWh/m_{invernali} \cdot 6 = 360kWh/anno$$
(3.8)

Sommando ai consumi appena calcolati anche i circa  $1\,000$  kWh annui per la produzione di ACS, si ottiene un fabbisogno di energia annuale pari a circa  $4\,600kWh/anno$ .

Il paese di Cedrecchia ha l'opportunità di sfruttare diverse categorie di viaggiatori. Come detto, se si presta sufficiente attenzione, è possibile fornire i giusti servizi per un ampio spettro di richieste "turistiche". Dopo aver previsto un Bed&Breakfast e un ristorante per i camminatori, o per chiunque voglia trascorrere qualche giorno in paese, e un area di sosta per camper per le persone che intendono godersi la natura dell'Appennino, si è pensato di fornire anche un servizio di ricarica per auto elettriche e/o e-bike. È noto come la rete di colonnine di ricarica per veicoli elettrici sia in continuo ampliamento; tuttavia, un territorio ampio e non pianeggiante come

l'Appennino, dispone ancora oggi di una bassissima densità di punti di ricarica per veicoli elettrici. In aggiunta, la geologia montana, con ripide salite e frequenti curve, mette a dura prova le già limitate autonomie delle batterie al Litio dei veicoli elettrici. Si ricorda, inoltre, come la Via degli Dei venga percorsa tutti i giorni da ciclisti a cavallo di una *e-bike*, la quale, a fine tappa, necessita di essere ricaricata per poter ripartire il giorno seguente, nel percorso verso Firenze.

L'installazione di un punto di ricarica per auto e biciclette elettriche rappresenta un ulteriore servizio che la comunità di Cedrecchia vuole offrire al turismo appenninico. Per questi motivi, due colonnine di ricarica da 22kW ciascuna e una docking station da 3.5kW sono state previste per l'installazione nel parcheggio centrale del paese. Questo consente la ricarica contemporanea di due auto elettriche e tre e-bike. Anche in questo caso, al fine di stimare il consumo energetico annuale dell'intera area di ricarica veicoli e biciclette elettriche, si è ritenuto opportuno valutare i consumi sia durante la stagione invernale che estiva, a causa delle evidenti differenze in termini di tempi di utilizzo. Per effettuare la stima dunque, le seguenti ipotesi sono state seguite:

- la capacità media delle batterie di un auto elettrica di buona fascia di mercata è di  $80kWh^5$ ;
- durante la stagione estiva, vengono effettuate mediamente 4 ricariche al giorno, mentre, in inverno, queste si riducono a 2;
- la capacità media delle batterie di una bicicletta elettrica è di 360Wh;
- durante la stagione estiva, vengono effettuate mediamente 8 ricariche al giorno, mentre, in inverno, queste si riducono a 1.

Dalle ipotesi fatte il consumo energetico annuale stimato dell'area di ricarica veicoli e biciclette elettriche viene calcolato come segue:

• stima della domanda di energia annuale richiesta dalle auto elettriche:

$$E_{estate} = 80kWh/ric \cdot 4ric/g = 320kWh/g = 9600kWh/m_{estivi}$$

$$E_{inverno} = 80kWh/ric \cdot 2ric/g = 160kWh/g = 4800kWh/m_{invernali}$$

$$E_{auto} = 9600kWh/m_{estivi} \cdot 6 + 4800kWh/m_{invernali} \cdot 6 = 86400kWh/anno$$
(3.9)

 $<sup>^5\</sup>mathrm{prendendo}$ in considerazione diversi modelli e livelli di auto elettriche commercializzate dal 2020[6]

• stima del consumo annuo per ricariche le *e-bike*:

$$E_{estate} = 0.36kWh/ric \cdot 8ric/g = 2.88kWh/g = 86.4kWh/m_{estivi}$$

$$E_{inverno} = 0.36kWh/g \cdot 1ric/g = 0.36kWh/g = 10.8kWh/m_{invernali}$$

$$E_{bike} = 86.4kWh/m_{estivi} \cdot 6 + 10.8kWh/m_{invernali} \cdot 6 = 583.2kWh/anno$$
(3.10)

Sommando i consumi appena calcolati si ottiene un fabbisogno di energia annuale pari a circa  $86\,983kWh/anno$ .



Figura 3.5. Parcheggio e piazzetta centrale, dove verranno installate le stazioni di ricarica EV e EB

La tabella 3.9 riassume le potenze elettriche previste per quanto riguarda l'area per sosta camper e le colonnine di ricarica veicoli elettrici ed *e-bike*.

Potenza e cor	Potenza e consumo energetico area camper e ricarica EV				
Area	Potenza [kW]	Consumo [kWh]			
Sosta camper	7.5	3 240			
Servizi	3	1 360			
Ricarica EV	44	86 400			
Ricarica EB	3.5	583			
TOTALE	58	91 583			

Tabella 3.9. Potenza impegnata e consumo energetico area camper e ricarica EV

# 3.4 Fabbisogno di gas metano per l'osteria "Baldini Marta"

Insieme all'elettricità, il gas naturale è la fonte energetica più richiesta e utilizzata nelle abitazioni. Quest'ultimo, rispetto all'energia elettrica, risulta essere una fonte energetica primaria, ovvero una risorsa naturale dalla quale è possibile ottenere un determinato prodotto energetico secondario, come appunto l'elettricità o semplicemente calore per combustione dello stesso. Nelle applicazioni domestiche, infatti, il gas naturale, costituito in larga parte da metano  $(CH_4)$ , viene impiegato per la produzione di calore per la preparazione dei cibi in cucina, oppure per la produzione di acqua calda sanitaria o tecnica.

Il gas naturale si trova confinato fisicamente in giacimenti tra i quali, i più conosciuti ed estesi, sono quelli nel Golfo Persico (Iran e Qatar), in Russia e, negli ultimi decenni, dopo l'intensificazione della produzione di *shale gas*, negli Stati Uniti d'America. Si capisce quindi come la sua estrazione e distribuzione sia enormemente influenzata dagli equilibri geopolitici mondiali, dal momento che i grandi Paesi estrattori possono esercitare un grande potere su tutti quei Paesi che ne sono consumatori (a oggi tutti gli Stati mondiali hanno la necessità di ottenere una percentuale di gas naturale per usi interni). Inoltre, i Paesi produttori sono in competizione per accaparrarsi porzioni sempre più ampie di mercato. I recenti fatti geopolitici, come la guerra in Ucraina, sono figli di questa battaglia energo-economica.

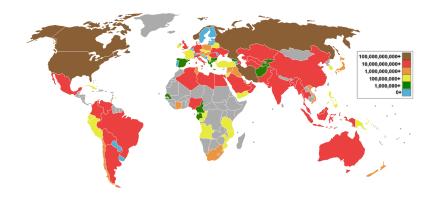


Figura 3.6. Produzione di gas naturale per Paese. Fonte: CIA Factbook

All'interno della comunità energetica di Cedrecchia, al fine di sfruttare al massimo l'energia elettrica prodotta in loco, l'utilizzo di gas metano è stato fortemente ridotto. Come spiegato nei paragrafi precedenti, la produzione di calore per il riscaldamento degli ambienti sfrutta dei moderni impianti a pompa di calore e la preparazione di cibi nelle abitazioni avviene attraverso l'impiego di piani elettrici a induzione. Tuttavia, si è pensato di mantenere operante con gas metano la cucina

dell'osteria "Baldini Marta". I motivi dietro a questa scelta sono essenzialmente due:

- le cucine industriali, intese come piano cottura, dei ristoranti sono molto energivore e molto raramente sfruttano l'energia elettrica come fonte energetica;
- mantenendo la cucina a gas metano è possibile valutare l'installazione di un impianto di produzione locale di biogas ricavato attraverso la digestione anaerobica dei liquami bovini presenti nell'azienda agricola all'ingresso del paese.

Al fine dunque di dimensionare correttamente l'impianto di produzione di biogas (Capitolo 6) è necessario fare una stima del consumo annuo di gas naturale della cucina dell'osteria "Baldini Marta".

Partendo dall'ipotesi che il piano cottura presente nel locale sia a otto fuochi, per una potenza complessiva pari a 41.8kW, e stimando il tempo di utilizzo giornaliero di tali fuochi a 4h/g, si è ottenuto quanto segue:

$$E_{gas} = P_{fuochi} \cdot ore/giorno \cdot giorni/anno = 41.8kW \cdot 4h/g \cdot 365g/y = 61028kWh/anno$$
(3.11)

Il relativamente basso tempo di utilizzo dei fuochi è frutto delle seguenti considerazioni:

- il valore si riferisce a un uso nominale del piano cottura, con tutti e otto i fuochi accesi e al massimo della potenza;
- è logico pensare che la cucina sia in funzione per più di 4 ore al giorno. Tuttavia, tenendo conto della considerazione precedente, il valore è, in qualche modo, un dato che cumula tutte le ore di funzionamento a potenza nulla o minore di quella nominale.

Infine, dividendo il consumo energetico calcolato per il potere calorifico medio del gas metano, è possibile ottenere una stima dei metri cubi di gas che annualmente consuma la cucina dell'osteria:

$$V_{gas} = \frac{E_{gas}}{PCI_{ng}} = \frac{61\,028kWh/anno}{9.94kWh/Sm^3} \approx 6\,000Sm^3/anno$$
 (3.12)

## 3.5 Riepilogo e ripartizione dei carichi elettrici

L'intero capitolo ha permesso, passo dopo passo, di determinare la quantità di energia che, annualmente, la futura comunità energetica di Cedrecchia, utilizza. L'energia utilizzata, principalmente elettrica, viene impiegata dalla comunità per riscaldarsi in inverno, per utilizzare tutte le apparecchiature elettriche e di illuminazione presenti negli immobili e per fornire servizi turistici come un'area di sosta



Figura 3.7. Esempio di cucina industriale a otto fuochi con potenza 41.8kW

per camper e sei colonnine di ricarica auto e biciclette elettriche. La figura 3.8 mostra la ripartizione annuale dei consumi energetici nelle categorie sopra citate.

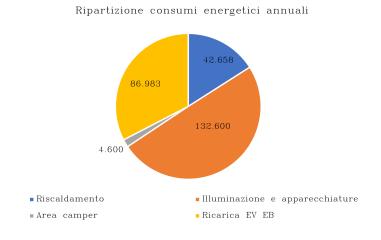


Figura 3.8. Ripartizione consumi energetici annuali (valori in kWh)

Si noti come la scelta di installare le colonnine per ricaricare i veicoli elettrici si rifletta molto sul consumo energetico totale della comunità, incrementandolo di circa il 33%.

Infine, al fine di capire come i consumi energetici si ripartiscano durante i mesi dell'anno, ne è stata fatta una distribuzione sui 12 mesi dell'anno. Questa operazione facilita il successivo dimensionamento degli impianti di produzione di energia in quanto è risaputo come la disponibilità di fonti rinnovabili sia estremamente variabile durante l'arco dell'anno. Avere una stima mensile del consumo energetico è di grande aiuto per capire se l'impianto di produzione sia correttamente dimensionato, anche nei mesi più critici.

Per fare questo, ciascuna categoria di consumo energetico è stata ripartita secondo alcuni criteri:

- il consumo energetico per riscaldamento è stato ripartito sulla base della temperatura esterna media mensile (figura 3.4): più rigide saranno le temperature, più alto sarà il consumo energetico;
- per suddividere il consumo energetico per illuminazione e apparecchiature elettriche sono state rapportate le curve di carico estiva e invernale di un abitazione tipo (fornita da ARERA). Si è notato come, rispetto al totale di energia richiesta, il 40% viene richiesto durante la stagione estiva e il restante 60% durante l'inverno. La ripartizione dei consumi è stata eseguita seguendo questo criterio;
- la distribuzione dei consumi energetici per l'area sosta camper e per le colonnine di ricarica EV ed *e bike* è stata effettuata seguendo le ipotesi e i calcoli riportate nel paragrafo 4.3.

La figura 3.9 mostra i risultati ottenuti dopo la suddivisione.

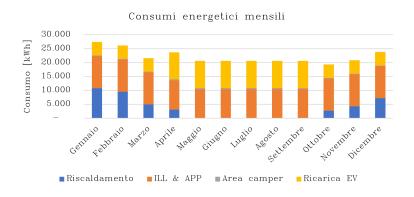


Figura 3.9. Consumi energetici mensili

Si noti come il picco di energia richiesta si verifica nel mese di gennaio, statisticamente più freddo, e raggiunge i circa  $27\,500kWh$ .

È dalla figura 3.9 che i prossimi capitoli, dedicati al dimensionamento dei sistemi di produzione di energia, si baseranno. Ciascuna scelta tecnica e impiantistica presa in futuro avrà l'obbiettivo di massimizzare l'autoconsumo e dunque la contemporaneità fra produzione e consumo.

## Capitolo 4

## Impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica

All'interno dell'immaginario collettivo, la produzione di energia da fonte fotovoltaica ha sempre assunto, in qualche modo, un ruolo da leader di tutte quelle fonti di energia cosiddette rinnovabili. Effettivamente, nell'ultima decade, si è assistito a un vero e proprio exploit di questa tecnologia e, a oggi, molti impianti sono quotidianamente sotto gli occhi dei cittadini. Alcuni addirittura sono di loro proprietà, installati sui tetti delle loro abitazioni. D'altro canto, la Terra riceve dal Sole ogni istante un quantitativo di energia che è circa diecimila volte più grande di tutto il fabbisogno dell'umanità. Sfruttare anche una piccolissima porzione di questa enorme quantità di energia rappresenterebbe un enorme aiuto nella sfida al diminuire l'utilizzo di fonti energetiche ad alto impatto clima alterante. Il fotovoltaico, oltre a essere carbon free, risulta essere una fonte di energia a bassi costi di esercizio, affidabile, silenziosa, facile da installare e da mantenere.

Il seguente capitolo vuole affrontare il tema del dimensionamento dell'impianto fotovoltaico di Cedrecchia, cercando di vederne le problematiche e i concetti che stanno alla base della progettazione. Partendo da una sintetica introduzione, si procederà passo dopo passo alla progettazione dell'impianto, cercando di far fronte ai principali problemi che si possono incontrare in un caso reale.

#### 4.1 Introduzione alla generazione fotovoltaica

Un impianto fotovoltaico utilizza l'energia del Sole per produrre energia elettrica sfruttando l'effetto fotovoltaico, un fenomeno per il quale alcuni materiali semiconduttori opportunatamente "drogati" generano corrente elettrica se investiti dalla radiazione solare[12].

Un impianto fotovoltaico è generalmente costituito dai moduli fotovoltaici e dalla

loro struttura di supporto, dal sistema di controllo e condizionamento della potenza, dai quadri elettrici, cavi e sistemi di protezione e manovra. Eventualmente, è possibile prevedere un sistema di accumulo dell'energia prodotta tramite batterie. L'energia solare che viene "captata" dai moduli fotovoltaici proviene dal Sole, mediante irraggiamento, ovvero attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche di una certa intensità. Per irraggiamento solare si intende appunto l'intensità della radiazione elettromagnetica, espressa in  $kW/m^2$ , su una superficie unitaria. Integrando l'irraggiamento su un periodo di tempo definito si determina la radiazione solare, espressa in  $kWh/m^2$ . L'irraggiamento è dunque una potenza specifica, la radiazione un energia specifica. Naturalmente, l'atmosfera riflette e filtra diverse lunghezze d'onda della radiazione e l'intensità della stessa a terra risulta essere minore di quella che giunge pura dal Sole. Inoltre, le nuvole diffondono la radiazione generando la cosiddetta luce diffusa, la quale concorre comunque, sebbene con meno efficacia rispetto alla diretta, all'effetto fotovoltaico. Inoltre, in piccole quantità, se si è lontani da specchi d'acqua, anche la radiazione riflessa collabora alla produzione di energia. Complessivamente, dopo essere stata filtrata dall'atmosfera, è la somma fra radiazione solare diretta, diffusa e riflessa a generare il valore utile di radiazione solare all'impianto fotovoltaico.

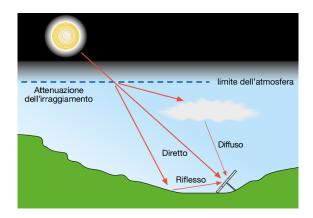


Figura 4.1. Componenti radiazione solare. Fonte: ABB

Al fine di dare un idea concreta, si tenga presente come i valori medi di radiazione solare in Italia oscillino fra i circa  $3.6kWh/m^2$  in Pianura Padana e i circa  $5.4kWh/m^2$  in Sicilia[12]. La producibilità energetica in Sicilia è pertanto equivalente a 1.5 barili di petrolio al metro quadro. Si capisce quindi l'enorme potenziale che l'energia fotovoltaica dispone in un contesto di transizione ecologica.

Il principale componente di un impianto fotovoltaico è il generatore, detta cella fotovoltaica. Una cella fotovoltaica è costituita da un sottile strato di Silicio (0.3mm) che viene opportunamente "drogato" in modo da avere, su di un lato, una atomo di Boro trivalente e, sull'altro, un atomo di Fosforo pentavalente. Questa

configurazione crea una diffusione spontanea di elettroni dalla zona più densa (lato Fosforo - N) a quella meno densa (lato Boro - P). All'interno della giunzione pn vi è dunque un campo elettrico dovuto allo squilibrio di cariche. Quando la radiazione solare colpisce la cella, per effetto fotovoltaico<sup>1</sup> si creano nuove coppie elettrone-lacuna che, come conseguenza del campo elettrico interno alla cella, si separano. Se la cella viene connessa ad un carico, gli elettroni lo sfruttano come percorso per poter fluire naturalmente[12]. Il flusso di elettroni è ciò che origina la corrente elettrica.

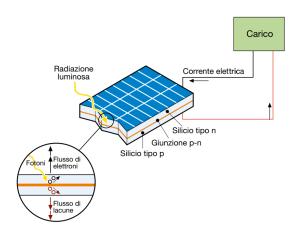


Figura 4.2. Funzionamento cella fotovoltaica. Fonte: ABB

La corrente elettrica generata è direttamente proporzionale alla superficie della cella. Pertanto, per produrre grandi quantitativi di energia è necessario disporre di superfici ampie. Per questo motivo, le celle vengono organizzate in moduli e questi ultimi uniti insieme a formare pannelli. Più pannelli collegati in serie generano una stringa. Più stringhe collegate in serie o parallelo, a seconda delle esigenze di potenza, formano una generatore fotovoltaico.

Nonostante la tecnologia relativa ai materiali fotovoltaici sia in continuo progredire, a oggi, i moduli in Silicio cristallino sono i più impiegati. Questi si suddividono in tre categorie: monocristallini, policristallini e quasi-monocristallini. I pannelli in Silicio monocristallino sono, come dice la parola, costituiti da un unico e omogeneo cristallo di Silicio ad alta purezza. Hanno il vantaggio di essere ad alta efficienza (16-20%) ed essere durevoli nel tempo. Il prezzo è di circa  $0.7 \le /W$  e si riconoscono dal caratteristico colore blu scuro. I pannelli policristallini sono formati da cristalli di Silicio aggregati fra loro con forma e orientamenti diversi. Sebbene l'efficienza

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> "L'effetto fotovoltaico si realizza quando un elettrone presente nella banda di valenza di un materiale semiconduttore passa nella banda di conduzione a causa dell'assorbimento di un fotone sufficientemente energetico incidente sul materiale." [12]

sia inferiore al monocristallino (15-18%), anche il prezzo risulta minore  $(0.67 \in /W)$ , sebbene le prestazioni in termini di durabilità e affidabilità siano ottime. I pannelli policristallini si riconoscono per il colore blu, più chiaro rispetto al monocristallino, e per la presenza dei cristalli di Silicio all'interno della cella. Infine, i pannelli quasi-monocristallini presentano struttura e prestazioni intermedie fra il mono e il policristallino. Sebbene sul mercato vi siano ulteriori tecnologie di pannelli fotovoltaici, a oggi i pannelli in Silicio ne occupano circa il 90%.

Dopo il generatore fotovoltaico, il sistema di condizionamento e controllo della potenza, costituito da un inverter, è il componente principale di tutto l'impianto. L'inverter trasforma la corrente continua prodotta dalle celle fotovoltaiche in corrente alternata compatibile con le utenze e i carichi. Inoltre, l'inverter ha il compito di controllare la qualità della potenza in uscita al fine di ottimizzare il collegamento con la rete. L'inverter utilizza la tecnica Pulse Width Modulation (PWM) per generare un onda il più possibile simile a una sinusoidale partendo da un segnale continuo. Il principale vantaggio della tecnica PWM è che garantisce un controllo totale sia sulla frequenza che sul valore efficace (ampiezza) della forma d'onda in output. Inoltre, gli inverter fotovoltaici sono dotati di Maximum Power Point Tracking (MPPT), il quale consente di individuare in ogni istante la coppia tensione corrente che permette di ottene il maggior valore di potenza in uscita. Nel caso di impianti fotovoltaici stand alone, l'inverter viene concepito con lo scopo di generare un onda il più possibile costante al variare del carico e dell'energia prodotta. Nel caso invece di impianti connessi in rete, l'inverter deve riprodurre il più fedelmente possibile la tensione di rete, cercando contemporaneamente di massimizzare la produzione locale dei moduli[12].

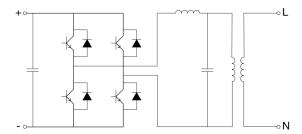


Figura 4.3. Schema di principio di un inverter monofase. Fonte: ABB

Come detto, uno degli obbiettivi di un inverter fotovoltaico è quello di massimizzare la produzione energetica dei moduli. Per fare questo, è necessario conoscere in ogni istante la potenza prodotta dal modulo fotovoltaico. La caratteristica tensione-corrente mostra proprio questo e fa comprendere facilmente quali siano i dati caratteristici di un modulo fotovoltaico. Si noti inoltre come la caratteristica

tensione corrente, e di conseguenza tutti i dati caratteristici del modulo fotovoltaico, dipendano dal valore di radiazione solare e dalla temperatura dei moduli. Questo è il motivo per il quale si fa riferimento alle condizioni standard del modulo. Le condizioni di prova standard (STC) fanno riferimento a un irraggiamento di  $1kW/m^2$  perpendicolare ai moduli, a una temperatura delle celle di 25°C e a una massa d'aria pari a 1,5.

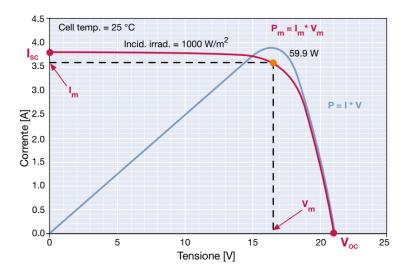


Figura 4.4. Generica caratteristica V-I di un modulo fotovoltaico Fonte: ABB

Servendosi della figura 4.4 è immediato capire quali siano i dati caratteristici di un modulo:

- Corrente di corto circuito  $(I_{SC})$ , ovvero la corrente che il modulo eroga quando viene cortocircuitato e quindi la tensione ai capi è nulla;
- Tensione a vuoto $(V_{OC})$ , ovvero la tensione ai capi del modulo quando nessun carico è presente e dunque in condizioni di corrente nulla;
- Potenza massima prodotta in condizioni standard  $(P_m)$ , ovvero il valore massimo del prodotto  $V \cdot I$  in corrispondenza del quale il modulo eroga la massima potenza;
- Corrente prodotta nel punto di massima potenza  $(I_m)$ ;
- Tensione nel punto di massima potenza  $(V_m)$ .

Si noti come le condizioni standard di funzionamento, a cui i dati di targa di un modulo fanno riferimento, sono difficilmente raggiungibili. Questo è il motivo per il quale le etichette dei moduli contengono dati che quasi mai corrispondono alla realtà operativa dell'impianto. In particolare, una variazione dei valori di irraggiamento tende a influenzare la corrente prodotta dal modulo, mantenendo invariata la tensione. Viceversa, una variazione della temperatura dei moduli, influenza maggiormente la tensione rispetto alla corrente.

I moduli fotovoltaici devono essere orientati e inclinati in maniera da captare più irraggiamento solare possibile durante l'arco dell'anno. Come spiegato nel paragrafo 2.3, la posizione ottimale è quella con i pannelli rivolti totalmente a Sud e inclinati di un angolo  $\beta$  espresso dall'equazione 2.2. Inoltre, nel caso di pannelli installati a terra, è opportuno prevedere una certa distanza fra pannelli, in modo da evitare effetti di ombreggiamenti reciproci.

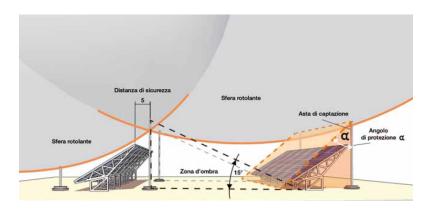


Figura 4.5. Installazione moduli fotovoltaici. Fonte: ABB

I moduli fotovoltaici vengono collegati in serie a formare stringhe e queste ultime in parallelo in modo da ottenere, ai capi di queste, valori di tensione e corrente compatibili con l'inverter installato. Ogni modulo fotovoltaico genera, a una tensione di 30-40 Volt, dai 4 ai 10 Ampere di corrente[12].

L'impianto fotovoltaico risulta essere molto versatile all'installazione e il tema dell'integrazione architettonica si è molto evoluto negli ultimi anni. Si distinguono dunque impianti totalmente, parzialmente o non integrati, a seconda del luogo di installazione e di quanto questi si fondano con la superficie di installazione. Pertanto, gli impianti non integrati fungono semplicemente da frangisole, i parzialmente integrati sono installati in maniera complanare alla superficie d'appoggio, mentre i totalmente integrati sostituiscono, tutto o in parte, la funzione dell'elemento architettonico sui quali sono installati.

Infine, un ultimo aspetto da tenere presente, in un quadro introduttivo alla generazione fotovoltaica, è la configurazione del campo solare, ovvero le modalità con cui le stringhe vengono collegate al solo o ai più inverter di campo.

I campi fotovoltaici possono essere configurati in diverse modalità, ognuna delle

quali presenta caratteristiche e qualità che meglio si adattano a impianti con diverse dimensioni, budget e garanzia di continuità del funzionamento.

Un impianto fotovoltaico mono inverter utilizza un singolo inverter per gestire l'intero campo. Questa configurazione è semplice e poco costosa, tuttavia, in caso di guasto o malfunzionamento dell'inverter, l'intero campo risulta inattivo e sarà necessario sostituire l'inverter per ripristinarne il funzionamento. La soluzione si adatta bene a campi di piccole dimensioni. Inoltre, l'impianto mono inverter non è in grado di gestire in modo ottimale l'energia prodotta da tutte le stringhe a cui fa capo, poiché esso deve necessariamente gestire, e ottimizzare, le diverse tensioni generate dall'intero campo. Questo lo porta a operare spesso a una tensione media, il che provoca una perdita di rendimento.

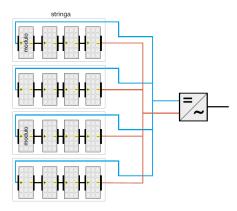


Figura 4.6. Configurazione mono-inverter. Fonte: ABB

Gli impianti con inverter per ogni stringa dispongono di un inverter per ogni singola stringa di moduli fotovoltaici e si adattano a campi di medie dimensioni. Questa configurazione consente di ottenere una maggiore efficienza energetica, poiché ogni inverter può lavorare a una tensione ottimale per la stringa di moduli a cui è collegato. Inoltre, in caso di guasto o malfunzionamento di un inverter, solo la stringa di moduli a cui è collegato sarà interessata, il che significa che il resto dell'impianto continuerà a funzionare. Tuttavia, questa configurazione è più costosa rispetto all'impianto mono inverter e richiede una maggiore manutenzione.

Infine, gli impianti multi inverter utilizzano più inverter per gestire l'intero campo fotovoltaico, il quale viene suddiviso in sottocampi, con a capo di ciascuno un inverter. Risulta essere la soluzione migliore per campi di grandi dimensioni. Questa configurazione risulta meno costosa degli impianti con inverter per ogni stringa, in quanto queste ultime vengono raggruppate in sottocampi. Anche in questo caso, in presenza di guasto o malfunzionamento di un inverter, l'impianto continuerà a funzionare grazie agli altri inverter. Inoltre, come nel caso precedente, gli impianti multi inverter possono essere configurati in modo da ottenere una maggiore efficienza energetica, poiché ogni inverter può lavorare a una tensione ottimale per il

sottocampo a cui è collegato[12].

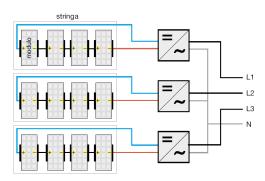


Figura 4.7. Configurazione impianto con inverter per ogni stringa. Fonte: ABB

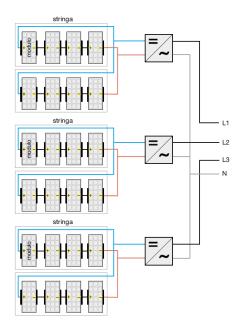


Figura 4.8. Configurazione impianto multi inverter. Fonte: ABB

# 4.2 Scelta e dimensionamento dei principali componenti di impianto

Dopo aver introdotto e compreso meglio i principi e i funzionamenti alla base di un impianto fotovoltaico, ci si concentra ora sull'impianto del paese di Cedrecchia.

Questo verrà dimensionato, inserito nel contesto territoriale e verranno selezionati i principali componenti di impianto.

Nel paragrafo 3.5 è stata indicata la figura 3.8 come punto di partenza per la scelta della taglia dell'impianto. È stato specificato come gli impianti di produzione di energia locali abbiano il compito di far fronte alla richiesta di energia che ogni mese la comunità di Cedrecchia richiede. Una maggiore corrispondenza fra la curva di produzione e quella di consumo rende minime le richieste della comunità alla rete nazionale con ovvi benefici sul piano economico e ambientale. Tuttavia, è noto come le energie rinnovabili non rispondano ai bisogni istantanei dell'uomo, bensì alla natura, ed è per questo che si è detto come un impianto fotovoltaico presenti picchi di produttività durante i giorni soleggiati, ma sopratutto durante i mesi estivi, quando il Sole è alto nel cielo. La curva dei consumi di figura 3.8 si scontra dunque con la realtà. La generazione fotovoltaica non potrà mai fornire più energia nei mesi invernali, quando il Sole è molto inclinato, rispetto ai mesi estivi, ed è per questo che risulta impensabile sovrapporre perfettamente la curva di produzione con quella di consumo, non chiamando mai in causa la rete elettrica. D'altra parte, l'ipotesi di dimensionare l'impianto sulla base della richiesta di energia invernale è estremamente sconsigliata. Da un lato questo comporterebbe comunque dei rischi che nascono da una situazione meteorologica di per sé instabile durante l'inverno; dall'altro, ci si scontrerebbe con un impianto eccessivamente sovradimensionato con una ricaduta degli effetti in primis sul rapporto costi benefici che rende poco condivisibile questa scelta.

All'atto pratico, la scelta migliore risulta quella di dimensionare l'impianto sulla base della richiesta estiva, prevedendo un leggero sovradimensionamento, e demandare alla rete nazionale, o ad altre fonti energetiche, una quota della componente invernale non coperta. Questa opzione permette di mantenere un costo dell'impianto contenuto, o quantomeno ponderato all'esigenza.

Il consumo energetico estivo della comunità energetica di Cedrecchia è pari a circa  $20\,600kWh$ . Questo è il dato a cui si è scelto di fare riferimento. Dal momento che, durante la stima dei consumi energetici, si è visto come questo sia circa costante fra i mesi di maggio e settembre, ci si riferirà a questi ultimi, in quanto normalmente meno produttivi. Per le simulazioni di producibilità si è fatto riferimento al tool EU: Photovoltaic Geographical Information System. PVGIS è un applicativo web, promosso dall'Unione Europea, il quale consente all'utente di ottenere informazioni e dati sui valori di radiazione solare e producibilità di un qualunque impianto fotovoltaico localizzato ovunque nel mondo. Il tool può essere utilizzato per svolgere simulazioni in diverse condizioni di utilizzo dell'impianto, sia grid connected che off grid, restituendo risultati di ottimo sia in termini di orientazione e inclinazione dei pannelli, sia in relazione al costo unitario del kWh prodotto. L'applicativo è ottimo per avere un idea di massima della taglia di impianto che si vuole installare, potendo verificare molto facilmente se la curva di produzione rispetta i requisiti che ci si era posti durante la costruzione della curva di consumo.

L'interfaccia, mostrata in figura 4.9, è molto intuitiva e prevede l'inserimento delle coordinate del luogo scelto per l'installazione, la scelta del *database* di radiazione solare, la tecnologia, la potenza e la resa del sistema fotovoltaico. Vi è poi la possibilità di specificare l'orientamento e l'inclinazione dei pannelli, oppure lasciare che sia l'applicativo a trovare la miglior combinazione. Fatto questo, il grafico di curva di producibilità mensile viene mostrato.

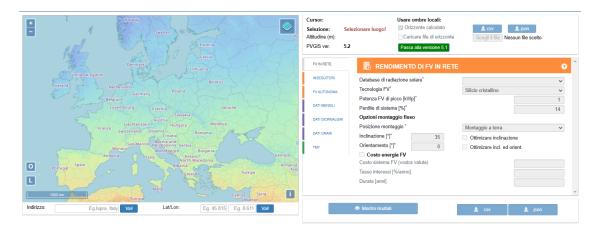


Figura 4.9. Interfaccia di *PVGIS* 

Al fine di sfruttare l'applicativo per il caso in esame, i seguenti dati sono stati inseriti:

- Coordinate geografiche di Cedrecchia: 44.2183, 11.2616;
- Database di radiazione solare: PVGIS-SARAH2, intervallo temporale 2005-2020;
- Tecnologia FV: silicio cristallino;
- Potenza FV di picco [kWp]: 200kWp, sulla base della potenza massima impegnata stimata al capitolo 3;
- Perdite di sistema: 14%, valore medio e conservativo, non essendo ancora disponibile quello reale;
- Posizione di montaggio: montaggio a terra;
- Orientamento: 0°, essendo il sito scelto esposto completamente a Sud;
- Inclinazione: ottimizzata dal sistema.

Ogni altro *input* è stato lasciato invariato.

L'immagine 4.10 mostra il grafico di producibilità media mensile dell'impianto fotovoltaico simulato. In alto, sulla cima della colonna di ogni istogramma, è presente il valore, in kWh, della producibilità stimata per quel mese.

L'angolo ottimale di inclinazione dei pannelli scelto dall'applicativo è pari a 35°.

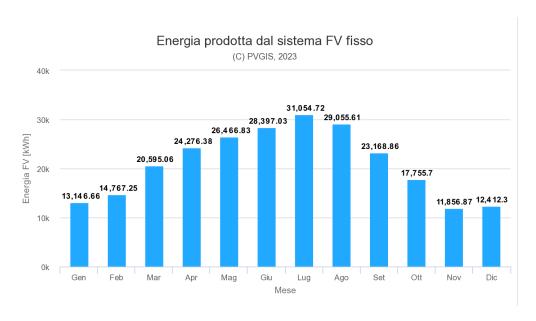


Figura 4.10. Producibilità dell'impianto fotovoltaico di Cedrecchia

Ricordando dunque l'obbiettivo di ottenere una produzione mensile, nei mesi di maggio e settembre, di almeno  $20\,600kWh$ , è possibile notare come la taglia dell'impianto sia stata scelta correttamente, prevedendo un leggero sovradimensionamento. La figura 4.10 infatti mostra la producibilità del mese di maggio pari a  $26\,467kWh$ , mentre quella di settembre pari a  $23\,169kWh$ . L'impianto di taglia 200kW si rivela corretto. Nel proseguo avverrà dunque la scelta del modello e della quantità di pannelli fotovoltaici, dell'inverter e delle altre principali componenti di impianto.

I moduli fotovoltaici scelti sono pannelli in silicio monocristallino, modello Q.PEAK  $DUO\ ML-G11$  dell'azienda tedesca  $Hanwha\ Qcells$ , leader nel settore.

Il modello risulta essere uno dei migliori sul mercato. L'azienda dichiara rendimenti fino al 21.5% in condizioni standard, una garanzia di durata ai massimi rendimenti fino a venticinque anni e un ottima resa anche in condizioni di luce diffusa. Non meno importante, dato il sito di installazione, il *frame* dei moduli è progettato per resistere ad ampi accumuli di neve e a forti raffiche di vento.

Ciascun modulo, compreso di cornice, ha dimensioni 2054mm x 1134mm x 32mm,

una massa di 26kg ed è composto da una matrice di 6 x 22 celle fotovoltaiche monocristalline Q.ANTUM. La figura 4.11 riporta il disegno dimensionale del modulo, dove vengono indicate le quote utili, sia del modulo che dei connettori e cablaggi, e la posizione degli staffaggi.

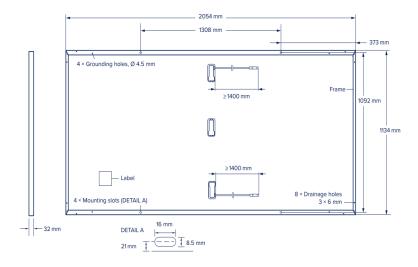


Figura 4.11. Disegno dimensionale del modulo fotovoltaico

È stata scelta per tutti i moduli la classe di potenza 500, corrispondente a 500Wp a condizioni standard. Questo valore viene impiegato per il calcolo del numero totale dei moduli fotovoltaici necessari all'impianto come segue:

$$N_m = \frac{P_p}{P_{MPP}} = \frac{200\,000W}{500Wp} = 400moduli \tag{4.1}$$

Si rivela necessario ora organizzare i 400 moduli in stringhe al fine di ottenere ai capi di queste, valori di tensione e corrente compatibili con gli inverter di stringa. La tabella 4.1 riporta i dati elettrici del modulo classe 500 in condizioni standard.

Caratteristiche elettriche classe 500				
Potenza di picco	$P_{MPP}$ [W]	500		
Corrente di corto circuito	$I_{CC}$ [A]	13.63		
Tensione a vuoto	$V_{OC}$ [V]	45.70		
Corrente di MPP	$I_{MPP}$ [A]	13.00		
Tensione di MPP	$V_{MPP}$ [V]	38.45		
Efficienza	$\eta$ [%]	$\leq 21.5$		
Coefficiente di T	$\beta$ [V/°C]	-0.27		

Tabella 4.1. Caratteristiche elettriche classe 500

Considerando le dimensioni del singolo pannello e il numero totali dei moduli necessari, la superficie totale necessaria all'impianto viene calcolata come segue:

$$S_{tot} = N_m \cdot S_m \cdot 1.5 = 400 \cdot 2.33m^2 \cdot 1.5 \approx 1400m^2 \tag{4.2}$$

Nell'equazione 4.2, il coefficiente 1.5 viene aggiunto al fine di tenere in considerazione gli spazi tecnici di installazione e le adeguate distanze fra i moduli per evitare effetti di ombreggiamento.

Il calcolo del *range* di tensione del modulo fotovoltaico, rispetto alle condizioni standard, viene effettuato nel seguente modo:

- Tensione a vuoto massima:  $V_{OCMAX} = V_{OC} \beta \cdot (T_{STD} T_{MIN})$
- Tensione di MPP minima:  $V_{MPPMIN} = V_{MPP} \beta \cdot (T_{STD} T_{MAX})$
- Tensione di MPP massima:  $V_{MPPMAX} = V_{MPP} \beta \cdot (T_{STD} T_{MIN})$

Ipotizzando un range di temperatura di esercizio del pannello compreso fra  $-5^{\circ}C$  e  $+60^{\circ}C$  e ricordando che la temperatura operativa standard è pari a  $+25^{\circ}C$ , si ottengono i seguenti valori di tensione:

- Tensione a vuoto massima:  $V_{OCMAX} = 53.80V$
- Tensione di MPP minima:  $V_{MPPMIN} = 29.00V$
- Tensione di MPP massima:  $V_{MPPMAX} = 46.55V$

Tenendo in considerazione la corrente totale delle stringhe in parallelo e la tensione totale di stringa, si è scelto di raggruppare i 400 pannelli in 20 stringhe da 20 pannelli ciascuno. Moltiplicando i valori trovati finora per il numero di pannelli che compongono ogni stringa si ottengono le caratteristiche elettriche della stringa, riassunte in tabella 4.2.

Caratteristiche elettriche della stringa				
Tensione MPP	$V_{MPP}$ [V]	$20 \cdot 38.45 = 769$		
Corrente MPP	$I_{MPP}$ [A]	13.00		
Corrente di CC massima	$I_{CCMAX}$ [A]	$1.25 \cdot 13.63 = 17.04$		
Tensione a vuoto massima	$V_{OCMAX}$ [V]	$20 \cdot 53.80 = 1076$		
Tensione di MPP minima	$V_{MPPMIN}$ [V]	$20 \cdot 29.00 = 580$		
Tensione di MPP massima	$V_{MPPMAX}$ [V]	$20 \cdot 46.55 = 931$		

Tabella 4.2. Caratteristiche elettriche della stringa

Gli inverter di stringa scelti per l'impianto sono il modello *PRO-33.0-TL-OUTD* dell'azienda ABB, le cui caratteristiche della corrente in ingresso (dall'impianto fotovoltaico) sono riportate in tabella 4.3. È importante dunque accertarsi che

le tensioni delle stringhe siano compatibili con le stesse dell'inverter. Inoltre, è possibile collegare più stringhe in parallelo allo stesso inverter, purché i valori di corrente siano compatibili. Si ricorda che, in un collegamento elettrico in parallelo, ai suoi capi la tensione è la medesima, ma la corrente risulta essere la somma di tutte le correnti che percorrono le n linee del parallelo.

Caratteristiche elettriche ingresso all'inverter				
Massima tensione assoluta	1100V			
Intervallo operativo di tensione	$520950\mathrm{V}$			
Potenza nominale	$33700\mathrm{W}$			
Massima corrente in ingresso	70A			
Massima corrente di cortocircuito	80A			

Tabella 4.3. Caratteristiche elettriche inverter in ingresso

Al fine di verificare il corretto accoppiamento fra le stringhe e l'inverter, occorre verificare che la massima tensione assoluta sopportata dall'inverter sia maggiore della massima tensione a vuoto delle stringhe:

$$1076V \le 1100V(OK) \tag{4.3}$$

Inoltre, la tensione MPP minima della stringa deve essere maggiore della minima tensione dell'inverter:

$$580V > 520V(OK)$$
 (4.4)

Mentre, la tensione MPP massima della stringa deve essere inferiore alla massima tensione dell'inverter:

$$931V < 950V(OK)$$
 (4.5)

Infine, per calcolare quante stringhe è possibile collegare a un singolo inverter, si divide la massima corrente sopportata in ingresso dall'inverter con la massima corrente di corto circuito della stringa:

$$N_s = \frac{58A}{17.04A} \approx 3stringhe \tag{4.6}$$

Come diretta conseguenza, si verifica che la corrente di corto circuito massima delle quattro stringhe sia inferiore a quella massima supportata in ingresso dall'inverter:

$$3 \cdot 17.04A = 51.12A < 58A(OK) \tag{4.7}$$

Dunque, nel suo complesso, l'impianto sarà composto da 400 moduli, raggruppati in 20 stringhe da 20 moduli ciascuna. Poiché a ciascun inverter scelto è possibile collegare tre stringhe, verranno installati 6 inverter da 33kW per coprire così 18 stringhe. Le rimanenti 2 stringhe faranno invece capo a un inverter di taglia inferiore da 20kW, modello TRIO-20.0/27.6-TL-OUTD, sempre marchio ABB. La

compatibilità viene garantita da un controllo sulla corrente massima in ingresso, così come nell'equazione 4.7, poiché i valori di tensione sono i medesimi sia per le stringhe che per l'inverter:

$$2 \cdot 17.04A = 34.08A \le 36A(OK) \tag{4.8}$$

La figura  $4.12~{\rm mostra}$  un macro-schema unifilare dell'impianto. spiegazione collegamento con MTBT

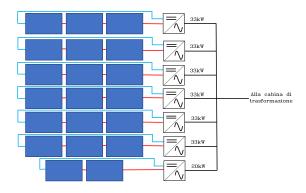


Figura 4.12. Macro-schema unifilare impianto fotovoltaico

Infine, poiché l'impianto fotovoltaico produce energia elettrica in trifase a bassa tensione, le utenze, a parte alcune eccezioni, sono tutte in monofase a bassa tensione e la consegna dell'energia elettrica avviene da un unico punto in trifase a media tensione, sarà necessario prevedere una cabina di trasformazione MTBT, nel punto di consegna. Quest'ultima dovrà gestire i flussi energetici da e verso la rete, innalzando o abbassando la tensione tramite opportuni trasformatori. Il sistema di gestione dell'energia si occuperà inoltre di "smistare" l'energia proveniente dall'impianto fotovoltaico verso le utenze per l'autoconsumo o verso la rete per lo scambio sul posto. Il dimensionamento dell'impianto elettrico attuo a questo scopo esula dagli obbiettivi di questo elaborato.

In figura 4.13 viene mostrata la logica dei flussi di energia in diverse condizioni di utilizzo dell'impianto. Le frecce in giallo indicano una situazione di totale autoconsumo, dove tutta l'energia prodotta in loco è auto consumata dal paese; le frecce verdi rappresentano una situazione in cui tutta l'energia prodotta è venduta e immessa in rete; le frecce arancioni indicano una situazione in cui l'energia prodotta è maggiore di quella richiesta e pertanto una quota viene auto consumata e una parte ceduta alla rete; le frecce rosse, infine, rappresentano una situazione in cui non vi è produzione di energia locale (come durante la notte) e tutta l'energia consumata è acquistata dalla rete.



Figura 4.13. Flussi energetici

## 4.3 Localizzazione dell'impianto

Già nel corso del paragrafo 2.3 è stata mostrata (in figura 2.21) la porzione di prato dove verrà installato l'impianto fotovoltaico. Il campo si trova in direzione Nord rispetto al centro del paese e risulta essere inclinato di qualche grado in direzione Sud. Questo rappresenta un ottimo vantaggio da un punto di vista dell'installazione in quanto permette di avere pannelli non eccessivamente inclinati, favorendo la loro integrazione paesaggistica ed evitando l'effetto vela nelle giornate ventose. Inoltre, gli ampi spazi garantiscono un ottima comodità di installazione dei dispositivi necessari al funzionamento e al collegamento in rete dell'impianto, come il locale inverter e i locali di consegna dell'energia in ingresso e in uscita alla comunità. Come previsto dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE), il punto di connessione della comunità energetica con la rete nazionale deve far riferimento alla stessa cabina secondaria MT/BT. Gli ampi spazi dunque permettono un agevole costruzione di tutte le strutture necessarie per il collegamento alla rete nazionale. La figura 4.14 mostra una vista in pianta dell'impianto così come è stato immaginato. Si osservano le venti stringhe costituite da 20 moduli ciascuna, il locale inverter con all'interno i dispositivi di sicurezza necessari sia sul lato CC che CA e la cabina secondaria MT/BT.

La principale questione sulla quale è bene fare chiarimento è relativa all'impatto ambientale, da un punto di vista paesaggistico, che l'impianto può avere. È lecito aspettarsi, da un impianto installato a pochi metri da un paese, l'installazione dei 400 pannelli suddivisi sulle falde delle coperture delle diverse abitazioni di Cedrecchia. Tutto ciò, a parità di energia prodotta, avrebbe mantenuto l'impatto paesaggistico del tutto inalterato. Il dubbio quindi è opportuno ed è altrettanto giusto che venga ora data spiegazione a questa scelta.

In primo luogo, è bene specificare che il sopralluogo, effettuato nel mese di Settembre 2022, ha confermato la non esistenza di una destinazione d'uso del campo



Figura 4.14. Posizionamento dell'impianto fotovoltaico in loco

utilizzato per l'installazione dell'impianto. Il prato non è coltivato e viene utilizzato saltuariamente dal proprietario per produrre foraggio. Essendo una proprietà privata dunque, è possibile iniziare un processo di trattative col proprietario, anche spiegando il progetto ambizioso legato alla comunità energetica per ottenere il terreno. Di conseguenza, nessuna particolare attività agricola deve essere interrotta al fine di garantire l'installazione dell'impianto.

In secondo luogo, meno del 40% dell'intera superficie della proprietà è stata utilizzata per la posa dei pannelli. La restante porzione è totalmente libera dagli impianti e rigogliosa.

In terzo luogo, osservando dall'alto l'intero territorio comunale di San Benedetto Val di Sambro (figura 4.15), si nota come le zone verdi, costituite sia da prati che boschi, siano assolutamente predominanti e anche i centri abitati risultano di piccole dimensioni, incastonati nella cornice verde dell'Appennino. Pertanto, l'inserimento di un impianto fotovoltaico, in una zona già urbanizzata e che copre un area di circa  $1\,400m^2$  è praticamente ininfluente da un punto di vista paesaggistico, considerando anche che Cedrecchia risulta completamente circondata da boschi e prati verdi, ben più ampi di poco più di un migliaio di metri quadrati.

In ultimo, non per importanza, è bene ribadire l'obbiettivo che l'intero progetto della comunità energetica si prefigge, ovvero quello di fungere da sorta di apripista e da testimone in questo contesto. Significa dunque mostrare alle persone come la società possa a trecentosessanta gradi affidarsi a una comunità energetica, sfruttandola anche come trampolino di lancio per i suoi scopi che, nel caso di Cedrecchia,



Figura 4.15. In giallo, il paese di San Benedetto Val di Sambro; in arancione, il paese di Cedrecchia; in viola, il terreno dove è stato installato l'impianto

sono turistici. La presenza di un impianto di produzione di energia da fonte rinnovabile "a vista", e non "nascosto" sui tetti delle abitazioni del paese, funge da
testimone e, in qualche modo, da attrazione per tutte quelle persone che hanno
desiderio di scoprire come un impianto fotovoltaico e una comunità energetica operano. Con queste premesse, l'intera comunità assume un po' il ruolo di museo e
l'impianto quello di oggetto da esposizione da cui imparare e prendere esempio.
Tutto ciò non può che giovare al nome e alla "fama" di Cedrecchia e dell'intero
comune di San Benedetto Val di Sambro.

In conclusione il limitato, seppur esistente, impatto paesaggistico dell'impianto viene dunque compensato dalle ragioni sovraesposte e dal nobile scopo ultimo dell'intera comunità.

## Capitolo 5

# Impianto mini-eolico per la produzione di energia elettrica

Accanto all'energia fotovoltaica, lo sfruttamento dell'energia eolica sta conoscendo un intenso sviluppo. Questo grazie al sempre più crescente interesse verso nuove fonti di energia sicure e relativamente poco costose e alle politiche di incentivazione che Paesi come l'Italia promuovono.

Bisogna dire però che, se da un lato l'energia fotovoltaica è riuscita bene a integrarsi in piccoli impianti domestici, lo stesso ancora non si può dire per l'eolico, che sta vedendo una grande crescita sopratutto in impianti di grossa taglia, le cosiddette Wind Farm. In Italia questo è principalmente dovuto dalla combinazione di due fattori: le poco omogenee caratteristiche anemologiche del nostro Paese peninsulare e alla scarsa conoscenza di opportunità che un impianto mini-eolico ha da offrire. A questo proposito, il seguente capitolo vuole dunque introdurre alla generazione di energia da mini-eolico, procedendo poi al dimensionamento e alla localizzazione di un piccolo impianto nei pressi del paese di Cedrecchia.

#### 5.1 Introduzione alla generazione eolica

La sempre più crescente diffusione dell'energia eolica nel mondo è sicuramente dovuta all'affidabilità della tecnologia e al suo basso rapporto fra costi d'investimento e rendimenti attesi. Sebbene, come detto, la tecnologia eolica sia poco sfruttata a livello privato, sia a causa della scarsa conoscenza che della generale preferenza per altre fonti di energia, se bene valutata in termini di fattibilità, può risultare un ottima risorsa per privati cittadini o aziende per autoprodurre una buona quota energetica in loco.

Il vento è, per definizione, il movimento di masse d'aria generato dal non uniforme riscaldamento della superficie terrestre da parte del Sole. Un impianto eolico sfrutta l'energia cinetica del vento che, passando attraverso le pale di una turbina, la

mette in rotazione insieme a un generatore elettrico. Le turbine sono costituite da un numero variabile di pale e sono progettate per estrarre più energia cinetica possibile dal vento. Se, come detto, per gli impianti di grossa taglia, cosiddette Wind Farm, le potenze prodotte sono importanti e i siti di installazione sono spesso in aree remote, con il termine mini-eolico si intendono tutti quegli impianti di ridotte potenze che possono essere installati in aree abitate o in prossimità di queste. L'intervallo di potenze va solitamente da 1kW a 20kW[11]: per potenze inferiori si parla di micro-eolico; per potenze superiori si parla semplicemente di eolico.

Così come per gli impianti fotovoltaici, l'idea alla base di un impianto mini-eolico è l'autoconsumo. Si possono avere pertanto impianti eolici domestici, industriali o a servizio di un'area più o meno vasta. Quest'ultimo caso è ciò a cui la comunità energetica di Cedrecchia aspira. Lo studio di fattibilità di un sito eolico richiede analisi territoriali più approfondite rispetto a un impianto fotovoltaico. Questo perché la risorsa primaria, il vento, è molto più irregolare e difficile da prevedere rispetto alla radiazione solare. È quindi essenziale una buona analisi al fine di non vanificare gli sforzi fatti in fase di progettazione e di impiego di denaro. L'importanza di valutare molto bene le condizioni di vento a priori è data anche dalla scelta del modello di turbina, in quanto ognuna di queste ha un range di operabilità che dipende direttamente dalla velocità del vento. Sbagliare dunque a prevedere la velocità media e la sua distribuzione durante l'anno compromette la scelta del giusto modello di turbina e, di conseguenza, la producibilità del sito, con conseguenti ricadute economiche importanti.

Un impianto mini-eolico, da un punto di vista di componenti, non si differenzia molto da un impianto fotovoltaico, se non per la presenza di una turbina eolica al posto dei moduli fotovoltaici.

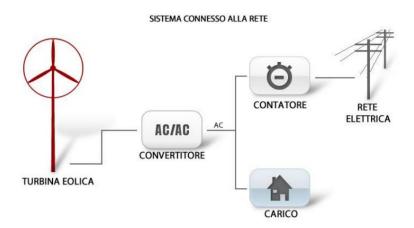


Figura 5.1. Sistema connesso alla rete. Fonte: FIRE

Ciò che viene inteso come turbina eolica, in realtà è l'insieme di diversi componenti

atti alla conversione dell'energia cinetica del vento in energia elettrica. Innanzitutto, macroscopicamente, una turbina eolica è costituita dal generatore vero e proprio e da una torre di sostegno ancorata al terreno o a un edificio. Il generatore è costituito dal rotore con le pale, il generatore in sè e una coda. Vi sono poi altri componenti, complessivamente denominati *Balance of System*, che corredano l'intero complesso. Si elencano ad esempio:

- i convertitori e sistemi di controllo, che hanno il compito di coordinare la corrente elettrica prodotta dal generatore con la rete nazionale;
- i dispositivi di sicurezza e allaccio, che garantiscono la qualità dell'energia prodotta e immessa in rete;
- il contatore fiscale, che misura la quantità di energia prodotta.

In campo mini-eolico esitono una moltitudine di tipologie di turbine e ognuna si adatta meglio di altre a determinate caratteristiche anemologiche. In generale però, è possibile dividere i modelli in due grandi famiglie: turbine ad asse orizzontale (HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine) e ad asse verticale (VAWT - Vertical Axis Wind Turbine)[11].

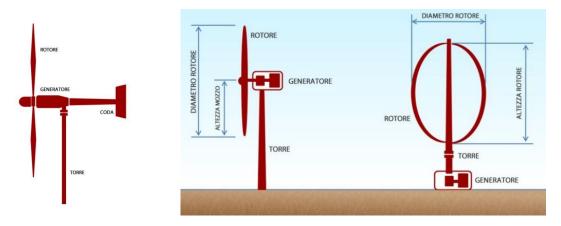


Figura 5.2. A sinistra, lo schema di una turbina eolica. A destra, OAWT e VAWT. Fonte: FIRE

Le turbine ad asse orizzontale sono le più diffuse e le più conosciute. Possiedono solitamente pale in vetroresina o poliestere e in numero e lunghezza variabile in base alle condizioni di vento per le quali sono progettate. Sono disponibili sia per l'installazione sopravento che sottovento. Nel caso di installazione sopravento, la coda risulta solidale col rotore e permette la giusta orientazione delle pale, solidale con la direzione del vento; per le installazioni sottovento invece, è la pala stessa che è progettata appositamente per "auto orientarsi". Inoltre, le turbine ad asse orizzontale sono sempre provviste di un sistema di controllo nel caso in cui la velocità del vento diventi eccessiva. Fra questi si ricordano:

- il controllo di stallo, in cui le pale sono progettate per realizzare una separazione del flusso dal bordo sottovento della pala, quando la velocità supera un valore limite;
- il controllo di passo, in cui le pale vengono inclinate fino al raggiungimento di una posizione parallela alla direzione del vento, in modo da non generare resistenza;
- il controllo di beccheggio, in cui è l'intera turbina a inclinarsi orizzontalmente o verticalmente per annullare la resistenza delle pale.

Le turbine ad asse verticale, benché siano meno note, rappresentano un'ottima opportunità in ambito mini-eolico. Presentano forme dei rotori molto varie ed hanno il vantaggio di possedere il generatore elettrico alla base del complesso. Questo permette alla torre di reggere solamente il peso del rotore stesso. Le pale sono generalmente realizzate in alluminio o materiale composito e, grazie alla loro silenziosità nel ruotare, sono preferibili in ambito urbano.



Figura 5.3. A sinistra, una OAWT. A destra, una VAWT. Fonte: FIRE

Andando ora più nel dettaglio delle prestazioni di una turbina eolica, la potenza generata da questa viene espressa tramite la legge di Betz:

$$P = \eta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \tag{5.1}$$

dove:  $\eta$  è l'efficienza del generatore,  $\rho$  è la densità dell'aria in  $kg/m^3$ , A è l'area spazzata in  $m^2$  e v è la velocità del vento in m/s.

Si osserva come la velocità del vento sia il fattore che maggiormente influenza il valore di potenza: variazioni minime di questa comportano significative variazioni della potenza. Questa è la ragione per la quale le torri delle turbine sono spesse molto alte.

Anche l'area spazzata dalla turbina rappresenta un fattore molto importante, in

quanto influenza gli ingombri effettivi della pala. Inoltre, ricordando che l'area di un cerchio è proporzionale al quadrato del raggio, si deduce come una buona progettazione geometrica della pala possa influenzare molto la sua produttività.

La densità dell'aria viene spesso riferita al livello del mare e a temperatura di 15°C. Esistono comunque appositi grafici per stimare la variazione di questa al variare di altitudine e temperatura. A livello fisico, la densità dell'aria influenza la producibilità in quanto, più l'aria è rarefatta, meno sarà la quantità che andrà fisicamente a mettere in movimento le pale della turbina.

Infine, l'efficienza del generatore è il paramento che esprime la capacità della turbina di catturare la potenza del vento. La si può immaginare come la quota di potenza che il vento, con velocità  $v_1$ , possiede prima di impattare le pale e che viene trasformata dal rotore in potenza meccanica, diminuendo la velocità del vento da  $v_1$  a  $v_2$ . A livello teorico quindi, un efficienza pari a 1 significa che la turbina è riuscita a catturare tutta la potenza del vento, rallentandolo fino a velocità  $v_2 = 0m/s$ . Questo ovviamente è impensabile ed è per questo che esiste un valore massimo teorico dell'efficienza, detto limite di Betz, che la turbina realizza in condizioni ideali, cioè in assenza di qualunque dissipazione. Il valore, pari a 0.59, rimane comunque teorico, in quanto l'efficienza solitamente delle turbine è compresa fra 0.15 e 0.35[11].

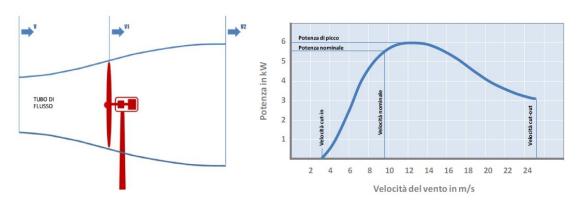


Figura 5.4. A sinistra, efficienza di una turbina eolica. A destra, curva di potenza di una turbina. Fonte: FIRE

Con riferimento all'immagine a destra in figura 5.4, si osserva come il valore di potenza sviluppato dalla turbina in condizioni di velocità nominale, cioè la velocità con cui la turbina è progettata per lavorare, è detto potenza nominale. La velocità nominale è solitamente compresa fra 10 e 15 m/s. La potenza di picco è la massima potenza che la turbina è in grado di generare e viene solitamente utilizzata per dimensionare i componenti dell'impianto a favore di sicurezza. La velocità di cut-in è la minima velocità alla quale la turbina inizia a produrre potenza e si aggira solitamente attorno ai 3 m/s. Viceversa, la velocità di cut-out è la massima velocità alla quale la turbina è in grado di produrre energia. Superata la velocità

di *cut-out*, intervengono i sistemi di controllo.

La curva di potenza rappresenta un elemento chiave nella scelta del giusto aerogeneratore per il sito scelto. Accanto a questa però, al fine di stimare la convenienza o meno dell'intero impianto, è necessario calcolare la produttività, generalmente su base annua. La produttività viene stimata combinando sia la curva di potenza della turbina scelta che il calcolo della velocità media del vento e della sua distribuzione di probabilità nel corso del periodo. Indicativamente, con venti alla velocità di 5-6 m/s, la produttività di un impianto mini eolico si aggira tra i 1000 e i 1800 kWh/annui, il che significa che l'impianto ha lavorato per 1000-1800 ore equivalenti in un anno alla potenza nominale.

E facile intuire come la stima della velocità del vento sia il calcolo più complesso da attuare, in quanto il vento cambia molto rapidamente, in direzione e in velocità, ed è complesso avere valori precisi su un arco di tempo di un anno. La varianza dei dati è molto alta.

Detto questo, esistono diverse risorse che è possibile utilizzare per avere un idea della distribuzione della velocità del vento in un sito, primo fra tutti un'analisi diretta, tramite anemometri. Registrando per diverso tempo i dati eolici di un sito è possibile avere un buon database di dati a cui fare riferimento. Esistono poi risorse meno precise, ma che raccolgono una quantità di dati storicamente molto più ampia, come l'Atlante Eolico Italiano o il sito web Global Wind Atlas. Tramite queste risorse è possibile stimare la velocità e la frequenza del vento, combinare i dati con la curva di potenza e ottenere una stima dell'energia annua producibile.

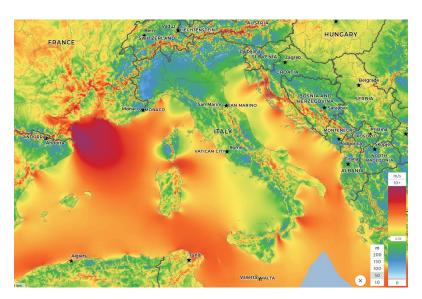


Figura 5.5. I venti in Italia all'altezza di 50 metri dal suolo. Fonte: GWA

La scelta del luogo adatto all'installazione di un aerogeneratore deve, oltre a tenere

in considerazione quanto detto finora, evitare il più possibile la presenza di turbolenze, siano esse naturali, come alberi, o artificiali, come edifici. In linea generale è sempre bene installare la turbina eolica sopravento e a dieci metri al disopra di qualunque altra cosa nel raggio di cento metri. Questo perché gli ostacoli generano turbolenze che sono molto più alte rispetto all'altezza dell'ostacolo stesso.



Figura 5.6. Turbolenze generate da un ostacolo. Fonte: FIRE

Per concludere il paragrafo introduttivo alla generazione eolica, viene affrontato ora l'impianto elettrico che collega l'aerogeneratore con l'utenza. Così come per gli impianti fotovoltaici, anche gli impianti eolici possono essere connessi alla rete (on grid) o a isola (off grid). In entrambi i casi, la presenza di un sistema di controllo dell'energia prodotta è necessaria per garantire una buona qualità dell'output. Dal momento che l'impianto mini-eolico di Cedrecchia sarà on grid, ci si concentrerà in particolare su quest'ultimo, essendo anche il più complesso da realizzare.

La logica con cui opera un impianto mini-eolico è basata sul fatto che l'energia prodotta è estremamente variabile nel breve termine. Per questo motivo, l'energia prodotta dalla turbina viene riversata direttamente in rete, la quale viene vista come un accumulo di capacità infinita. In questo modo, tramite il sistema di scambio sul posto, il bilancio viene fatto al contatore.

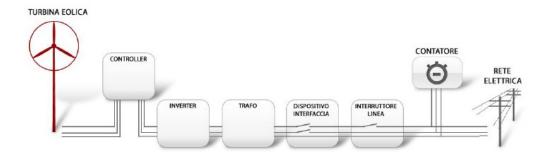


Figura 5.7. Impianto connesso alla rete. Fonte: FIRE

Come detto, la tensione e la corrente prodotte dalla turbina sono estremamente

irregolari. Per questo motivo, viene inserito nell'impianto un convertitore statico che ha il compito di convertire le grandezze elettriche in entrata in valore di tensione e corrente idonei, secondo normativa, per la rete elettrica nazionale. La tipologia di convertitore statico più adatto all'impianto dipende dal tipo di generatore installato, se asincrono oppure a magneti permanenti. In un caso esso sarà semplicemente AC/AC, nel secondo caso sarà AC/DC e verrà accoppiato con un inverter DC/AC[11].

L'impianto deve essere corredato da diversi dispositivi di sicurezza, fra i quali il dispositivo di interfaccio (DIB). Esso ha la funzione di separare l'impianto di produzione dalla rete elettrica ed è costituito da una protezione (interruttore automatico o contattore), azionato da una protezione di interfaccio (PIB), solitamente un relè. Infine, il contatore di energia misura l'energia prodotta, quella immessa in rete e quella prelevata. Il collegamento può essere sia in monofase che in trifase a seconda della taglia dell'impianto e solitamente la gestione è affidata al Gestore della rete.

#### 5.2 Scelta e dimensionamento dei principali componenti di impianto

Dopo aver introdotto e compreso meglio i principi e i funzionamenti alla base di un impianto mini-eolico, ci si concentra ora sull'impianto del paese di Cedrecchia. Questo verrà dimensionato, inserito nel contesto territoriale e verranno selezionati i principali componenti di impianto.

Come detto, reperire i dati anemologici da una buona fonte è fondamentale per poter scegliere il giusto aerogeneratore e stimare la producibilità annua. Nel corso del capitolo 2, sono state esposte le caratteristiche climatiche del paese di Cedrecchia, includendo anche i dati di velocità e direzione del vento (figura 2.8). I dati, forniti dal servizio Arpae-ER, coprono un arco temporale di dieci anni e fanno riferimento a un area di pochi chilometri quadrati attorno al paese. Il fatto che i valori siano nel complesso una media superficiale dell'area coperta, fa capire come i risultati che saranno ottenuti siano effettivamente sottostimati rispetto all'effettiva producibilità dell'impianto. Questo perché l'impianto sarà installato sì nei pressi del paese, ma in un area in cui la velocità del vento presenta valori che sono al di sopra di quelli medi presenti nel dataset. Come spiegato nel paragrafo introduttivo, uno studio di fattibilità più preciso può essere eseguito prevedendo delle misure dirette in loco. Questo rende più precisi i dati, ma meno affidabili, in quanto l'orizzonte temporale coperto sarà minore.

Una volta reperito il dataset contenente i dati di velocità del vento, è necessario poter tracciare una curva di distribuzione di probabilità, detta di Weibull. Il calcolo della distribuzione di probabilità è necessario dal momento che la potenza erogata da una turbina non è lineare con la velocità del vento e dunque non è possibile fermarsi al calcolo della velocità media del vento. La distribuzione di Weibull

determina la probabilità di avere una certa velocità del vento nell'area, sulla base di due parametri: A, fattore di scala, e k fattore di forma:

$$p(v) = \frac{k}{A^k} v^{k-1} e^{\left(-\frac{v}{A}\right)^k} \tag{5.2}$$

La funzione p(v) e i relativi valori viene calcolata tramite l'utilizzo di uno script MatLab del Professor Davide Papurello<sup>1</sup>. Lo script calcola i valori della funzione p(v) utilizzando un fattore di scala A=4.1253m/s e di forma k=1.3797.

La figura 5.8 mostra l'output dello script. Sono rappresentati sia l'istogramma dell'occorrenza dei valori di velocità del vento, sia la loro distribuzione di probabilità p(v).

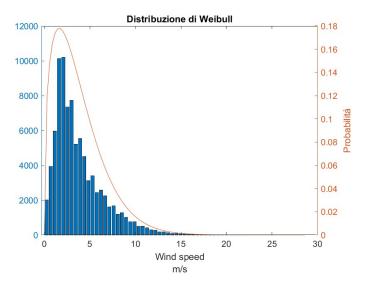


Figura 5.8. Occorrenza e distribuzione di probabilità

Lo script restituisce anche le coppie (v; p(v)) per ogni valore di velocità del vento. Di seguito sono riportate le prime cinque coppie (v; p(v)):

Al fine di rendere il *file* di *output* maggiormente confrontabile con la curva di potenza della turbina eolica, i valori di probabilità vengono discretizzati su intervalli interi di velocità del vento tramite l'equazione 5.3, dove *a* rappresenta l'intero inferiore e *b* l'intero superiore di velocità del vento. Inoltre, viene calcolato il numero di ore equivalenti (OE) di funzionamento per ciascun valore di velocità.

$$p'(v) = \frac{\sum_{v=a}^{v < b} p(v)}{\sum p(v)}$$
 (5.3)

$$OE_v = p'(v) \cdot 8760 \tag{5.4}$$

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>disponibile per gli allievi del corso Laboratorio di Impianti Energetici

Velocità [m/s]	Probabilità
$2.22 \cdot 10^{-16}$	$2.23 \cdot 10^{-7}$
0.29	0.12
0.58	0.15
0.87	0.16
1.16	0.17

Tabella 5.1. Coppie velocità - probabilità

La tabella 5.2 mostra i risultati ottenuti:

Velocità [m/s]	Probabilità	$\mathbf{OE}$
0	0.13	1102
1	0.15	1351
2	0.20	1712
3	0.12	1091
4	0.13	1151
5	0.07	649
6	0.07	627
7	0.04	328
8	0.03	298
9	0.02	148
10	0.01	128
11	0.01	61
12	$4.60\cdot10^{-3}$	40
13	$3.77\cdot 10^{-3}$	33
14	$1.69\cdot 10^{-3}$	15
15	$1.34\cdot 10^{-3}$	11
16	$5.83\cdot10^{-4}$	5
17	$4.49\cdot 10^{-4}$	4
18	$1.89\cdot 10^{-4}$	2
19	$1.42\cdot 10^{-4}$	1
20	$5.82\cdot10^{-5}$	1
21	$4.26\cdot10^{-5}$	0
22	$1.70\cdot10^{-5}$	0
23	$1.22\cdot 10^{-5}$	0
24	$4.75\cdot 10^{-6}$	0
25	$2.71\cdot 10^{-6}$	0
26	$1.88\cdot10^{-6}$	0
27	$7.10\cdot10^{-7}$	0
28	$3.95\cdot 10^{-7}$	0
Totale	1	8760

Tabella 5.2. Coppie velocità - probabilità discrete

Si nota immediatamente come le ore effettivamente utili alla produzione siano una percentuale che oscilla fra il 25 e il 40% delle ore annue. Il valore percentuale dipende dalla velocità di cut-in e dalla curva di potenza della turbina scelta. Confrontando il database utilizzato per la valutazione, il cui proprietario è Arpae-ER, con i dati della medesima area, ma forniti da  $Global\ Wind\ Atlas$ , si nota come quelli utilizzati siano effettivamente sottodimensionati relativamente alla probabilità di avere venti di velocità compresi fra 5 e 7m/s. Come detto, la precisione di queste tipologie di database non sempre è elevata, sopratutto in zone rurali dove i dati vengono ottenuti per interpolazione fra più siti di registrazione dati, i quali sono in basso numero e sporadici sul territorio. Come sempre, la registrazione in loco dei valori di velocità e direzione del vento risulta essere la miglior strada da percorrere in questo frangente. Nel proseguo, si stimerà la producibilità energetica sulla base dei dati a disposizione, ricordando però la probabile sottostima dei risultati.

Sulla base dei calcoli effettuati in relazione al sito, è stato scelto il modello MA-GNUM5 dell'azienda TESUP. Il generatore è una turbina ad asse orizzontale a tre pale di diametro 2350mm e di lunghezza complessiva, da fronte a coda, pari a 1550mm. Il generatore è montato su di una torre di altezza variabile su cui è in grado di ruotare di  $360^{\circ}$  per allinearsi perfettamente alla direzione del vento.



Figura 5.9. TESUP Magnum5

La tabella 5.3 mostra le principali caratteristiche del modello:

Caratteristiche TESUP Magnum5				
<b>Tipo di generatore</b> $5kW$ magneti permanenti				
27kg				
220V trifase				
3m/s				
1500rpm				
56dB				

Tabella 5.3. Caratteristiche TESUP Magnum5

Al fine di stimare la producibilità annua del generatore eolico, come visto, è necessario disporre della curva di potenza, fornita dal costruttore. Moltiplicando la potenza erogata dal generatore a un dato valore di velocità del vento per il corrispondente valore di ore equivalenti annue, si ottiene l'energia producibile in un anno.

$$E_e = \sum_{v=0}^{28} P(v) \cdot OE_v \tag{5.5}$$

La figura 5.10 riporta la curva di potenza del modello di turbina scelto.

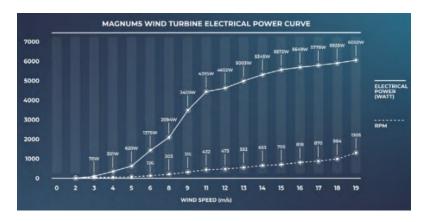


Figura 5.10. Curva di potenza TESUP Magnum5

Eseguendo i calcoli descritti, la producibilità della singola turbina eolica nel sito di Cedrecchia è pari a  $4.63MWh_e$ . Tale valore si ricorda essere il frutto di un dataset climatico approssimativo. Geograficamente quindi non rappresenta i dati anemologici del sito scelto per l'installazione, ma solo una media dell'area che circonda il sito. Ciò significa che i valori di velocità del vento nel sito scelto, individuabile su un crinale e in posizione di sopravento, saranno più elevati, con ovvie conseguenze sull'energia prodotta annualmente.

Infine, dal momento che le dimensioni del singolo aerogeneratore sono molto contenute, risulta essere sicuramente una buona idea prevedere almeno quattro aerogeneratori disposti vicini. Questo aumenta la producibilità annua del sito a  $18.5MWh_e$ . Tale energia è sufficiente a ricoprire il fabbisogno energetico annuo di tutta l'area sosta camper, della colonnina di ricarica e-bike e di sei unità residenziali di Cedrecchia. Nel complesso, dunque, l'impianto eolico risulta essere un buon alleato di "backup" del più grande e principale impianto fotovoltaico.

Come spiegato nel corso del paragrafo 5.1, dal momento che il generatore del modello scelto è di tipo a magneti permanenti, a valle di questo è necessaria la presenza di un raddrizzatore DC/AC, che avrà funzione anche di regolatore di carica, e di un inverter DC/AC.

Il raddrizzatore e regolatore di carica scelto è sempre di marca TESUP. Esso dispone di un sistema di protezione della turbina automatico e di un arresto di emergenza manuale. Il modello è compatibile con turbine eoliche con potenza fino a 5kW ed è predisposto sia per l'accoppiamento con pacchi batterie che con inverter di rete.

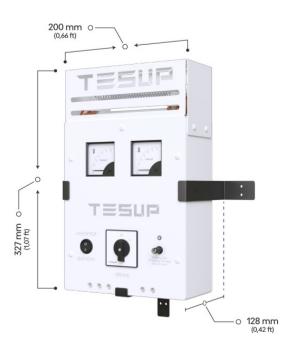


Figura 5.11. Regolatore di carica TESUP

Infine, a valle del regolatore di carica, è presente un inverter TESUP da 5kW in grado di ricevere in *input* la corrente elettrica alternata prodotta dalla turbina eolica e resa continua e regolare dal raddrizzatore in corrente alternata 220V trifase, pronta per essere auto consumata o immessa in rete.

Da un punto di vista puramente dimensionale, le verifiche di compatibilità fra i

vari dispositivi installati non si rivela necessaria dal momento che il generatore, il regolatore di carica e l'inverter sono forniti dalla stessa azienda che ne garantisce la compatibilità.



Figura 5.12. Inverter 5kW TESUP

Avendo stabilito che l'impianto eolico di Cedrecchia disporrà di quattro generatori eolici, sarà necessario provvedere anche all'acquisto di quattro regolatori di carica e quattro inverter.

L'energia prodotta dal complesso di turbine verrà poi convogliata nel locale MT/BT descritto nel corso del capitolo 4 e seguirà tutte le logiche di funzionamento precedentemente descritte.

#### 5.3 Localizzazione dell'impianto

Il corretto inserimento di un impianto mini-eolico risulta fondamentale in termini di produttività. Come visto nel paragrafo introduttivo, e come si ha avuto modo di verificare durante il dimensionamento dell'impianto, anche una piccola variazione della distribuzione di probabilità della velocità del vento può incidere molto sulla produttività energetica annua. Per questo motivo è bene posizionare i quattro aerogeneratori in un'area, nei dintorni del paese di Cedrecchia, il più possibile priva di ostruzioni geologiche e non, che possono creare turbolenze. Inoltre, se è possibile, è bene installare i generatori sulla sommità sopravento di una collina in modo da "catturare" più vento anche ad altezze non elevate.

Dal momento che il sito eolico di Cedrecchia disporrà di quattro aerogeneratori, risulta fondamentale anche gestire la posizione reciproca fra i dispositivi, evitando che questi generino turbolenze che possano influenzare i generatori vicini. Si prevederà dunque una distanza minima fra le turbine di almeno tre volte il diametro del rotore delle stesse e la loro disposizione in fila, perpendicolare alla direzione

principale del vento.

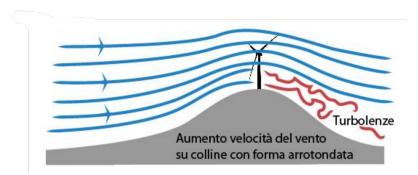


Figura 5.13. Posizione favorevole di installazione mini-eolico. Fonte: FIRE

L'area prescelta per l'installazione dell'impianto si trova a circa 300m dal centro del paese e rispecchia fortemente molti criteri per un ottima resa energetica. L'impianto verrà infatti disposto sulla sommità di una collina, dove il vento spira dal versante Ovest, risale il crinale ricco di campi, investe le turbine e prosegue la sua corsa in direzione Est, verso Cedrecchia. Vicino ai generatori, disposti a 8 metri l'uno dall'altro, un piccolo locale conterrà i quadri elettrici, i quattro inverter e tutti i dispositivi necessari all'impianto in loco. Questo verrà poi collegato, tramite cavi interrati, ai locali vicini all'impianto fotovoltaico, prossimi alla cabina di consegna MT/BT. Si capisce ora ancor di più quanto sia fondamentale un'anali-



Figura 5.14. Posizionamento dell'impianto mini-eolico in loco. Dimensioni delle turbine non in scala.

si locale della velocità del vento per stimare accuratamente la producibilità di un sito. Come si è visto, un cambio di orografia del terreno può fare la differenza

in termini produttivi sulla piccola scala degli impianti mini-eolici. Di tutti questi fattori, sfortunatamente, i dataset regionali e nazionali non riescono a tenerne in considerazione, specialmente su scale ridotte.

Infine, si ribadisce anche in questo frangente come l'impatto paesaggistico sia stato tenuto in considerazione attraverso le considerazione fatte nel corso del paragrafo 4.3. Si aggiunge inoltre che il luogo di installazione delle turbine eoliche, che copre un area di poco meno di  $1000m^2$ , risulta essere totalmente incolta e in corrente stato di abbandono.



Figura 5.15. Stato attuale dell'area destinata all'impianto mini-eolico. Fonte: Google Maps

## Capitolo 6

## Impianto biogas per la produzione di biometano

Gli impianti biogas sono strutture dove, al loro interno, vengono sfruttati alcuni processi naturali per produrre biometano, attraverso la decomposizione di materiali organici di scarto, come rifiuti alimentari, residui agricoli e letame animale.

Il biogas prodotto, costituito principalmente da metano e anidride carbonica, è una fonte di energia rinnovabile che può essere impiegato per generare elettricità, calore o come carburante per i trasporti.

Nel corso del capitolo verrà approfondito il processo, chiamato di digestione anaerobica, che permette la trasformazione dei rifiuti organici in biogas. Inoltre, sfruttando gli escrementi solidi e liquidi dei bovini presenti all'interno dell'azienda agricola nei pressi di Cedrecchia, verrà stimata la producibilità di un impianto installato in loco al fine di fornire biogas alla cucina dell'osteria "Baldini Marta".

Gli impianti di biogas, sopratutto in Italia, stanno diventando sempre più popolari e impiegati come ulteriore risorsa per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili, gestire i flussi di rifiuti organici e sostenere la crescita delle energie rinnovabili.

#### 6.1 Introduzione alla produzione di biogas

La digestione anaerobica è un processo naturale che scompone la materia organica in un ambiente privo di ossigeno ed è solitamente sfruttata per convertire i rifiuti organici in energia. Il processo ha come protagonisti alcuni microrganismi che consumano materia organica e la convertono in biogas, composto principalmente da metano e anidride carbonica. La percentuale di metano contenuta nel biogas varia dal 50 al 75% a seconda delle condizioni ambiente in cui si sviluppa la digestione e dal tipo di sostanza organica di partenza.

Il processo di digestione anaerobica avviene tipicamente in un recipiente chiuso,

detto digestore anaerobico. I rifiuti organici vengono immessi nel digestore, dove vengono mescolati con acqua e riscaldati a una temperatura ottimale per la proliferazione dei microrganismi. I microrganismi scompongono quindi la materia organica in una serie di passaggi, rilasciando biogas come sottoprodotto. Quest'ultimo, dopo essere stato pulito e purificato, può essere bruciato per ottenere energia termica o elettrica, mediante l'impiego di un cogeneratore, oppure può essere stoccato per il trasporto e l'utilizzo come carburante. In estrema sintesi, il processo di

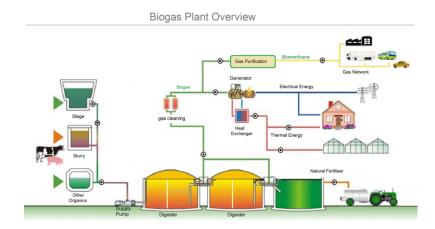


Figura 6.1. Schema produzione e utilizzo biogas. Fonte: nexuspmg.com

digestione anaerobica può essere descritto dalla seguente reazione chimica:

$$C_6H_{12}O_6 \to CO_2 + CH_4$$
 (6.1)

dove una molecola di materiale organico, come il glucosio, viene scomposta in anidride carbonica e metano.

In realtà, il processo che porta i batteri anaerobici a trasformare la materia organica in biogas, attraversa quattro fasi:

- Idrolisi: in questa fase, gli enzimi decompongono le molecole di materia organica complessa in componenti più semplici come zuccheri, amminoacidi e acidi grassi. Durante questa fase vengono creati i substrati necessari (molecole più semplici) per la produzione di biogas;
- Acidogenesi: i prodotti dell'idrolisi sono convertiti in acidi organici a catena corta come acido lattico, acido acetico e acido propionico. Questi acidi sono prodotti dai cosidetti batteri acidogeni e rappresentano una tappa intermedia nella produzione di biogas;
- Acetogenesi: in questa fase, i batteri acetogeni convertono gli acidi organici a catena corta in acido acetico e idrogeno;

• Metanogenesi: in questa fase, i batteri metanogeni convertono l'acido acetico e l'idrogeno in metano, il principale componente del biogas.

Il materiale rimanente dopo il processo di digestione, noto come digestato, è un fertilizzante ricco di sostanze nutritive che può essere utilizzato per scopi agricoli. Un'azienda agricola che dunque intende installare un impianto di produzione locale di biogas può beneficiare dell'auto produzione di energia e della disponibilità di un composto puro e ricco di sostanze nutritive da poter utilizzare per i propri scopi produttivi, in un ciclo naturale chiuso.

Gli impianti di produzione di biogas, come detto, ricoprono un ottimo ruolo in termini energetici, ambientali ed ecologici.

Da un punto di vista energetico, il biogas contribuisce a un mix energetico disponibile più sostenibile, riducendo la dipendenza da fonti di energia fossile.

A livello ambientale, la produzione di biogas può aiutare a gestire i flussi di rifiuti organici. Gli impianti di biogas trattano questi flussi di rifiuti, riducendone l'impatto ambientale e gli spazi necessari nelle discariche.

Infine, da un lato ecologico, il digestato, ricco di sostanze nutritive, prodotto da un impianto di biogas può essere utilizzato come fertilizzante di alta qualità, riducendo la necessità di fertilizzanti sintetici e migliorando la salute del suolo.

Accanto a tali benefici, da un punto di vista economico, la produzione di biogas può avere impatti rilevanti, fra cui la creazione di posti di lavoro e la generazione di entrate economiche derivanti dalla vendita del biogas stesso (o di elettricità) e di fertilizzanti.

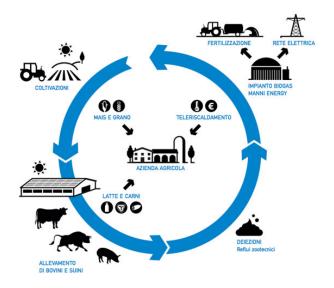


Figura 6.2. Filiera di produzione del biogas. Fonte: mannienergy.it

Tuttavia, spesso le nuove tecnologie presentano non pochi punti critici, sopratutto durante le prime fasi di sviluppo.

Gli impianti di biogas, in misura maggiore su piccola scala, possono richiedere significativi investimenti iniziali di capitale, che possono renderli poco profittevoli. In aggiunta, il processo dietro la produzione di biogas può essere complesso e richiede un'attenta e costante gestione per ottimizzarne le prestazioni e mantenere l'integrità del sistema.

Infine, non per ultimo, la disponibilità e il costo delle materie prime adatte, nonché la produzione di odori ed emissioni che possono influire sulla qualità dell'aria locale, sono fattori che possono giocare a sfavore nella diffusione di queste tipologie di impianti.

Nel complesso, sopratutto in applicazioni su piccola scala, un'attenta pianificazione, gestione e comunicazione con la comunità circostante sono essenziali per mitigare i potenziali inconvenienti e garantire il corretto funzionamento dell'impianto di biogas e della filiera che ne è alle spalle.

Dopo aver introdotto i processi su cui si basa la produzione di biogas e averne elencati aspetti positivi e criticità, si passa ora ad approfondire la composizione strutturale e componentistica dell'impianto di produzione in sé.

Avendo compreso come il processo di digestione anaerobica sia composto da diverse fasi che si susseguono in scala, è immediato ora capire come un impianto di produzione di biogas sia tipicamente costituito da diversi componenti chiave, ciascuno dei quali svolge un ruolo importante nel processo chimico di digestione. Nonostante i componenti necessari, il design specifico e le dimensioni dell'impianto dipenderanno successivamente dal tipo e dalla quantità di materiale organico da trattare, nonché dalla produzione desiderata.

Il primo componente di un impianto di produzione di biogas è rappresentata dall'area di ricezione della materia prima, dove il materiale organico di scarto viene consegnato e stoccato prima di essere introdotto nel digestore vero e proprio. Come più volte ribadito, il materiale di scarto può provenire da una varietà di fonti, inclusi rifiuti agricoli, rifiuti alimentari e liquami.

Una volta controllato che la materia prima sia priva di qualunque componente estraneo, come plastica o metalli, questa entra nel cuore dell'impianto di produzione: il digestore anaerobico. Qui il materiale organico di scarto viene scomposto dai microrganismi in assenza di ossigeno attraverso le quattro fasi già descritte. Normalmente, il digestore può essere una vasca in cemento o in acciaio, interrata o fuori terra, o un sistema più complesso di vasche interconnesse, a seconda del tipo di rifiuto in lavorazione e della resa desiderata.

Per quanto riguarda l'*HRT*, *Hydraulic Retention Time*, ovvero il periodo di tempo che la sostanza organica trascorre all'interno del digestore anaerobico, questo dipende dalle caratteristiche della materia prima e dalle condizioni operative del digestore, come la temperatura e la presenza dei batteri. In genere, l'*HRT* varia da

pochi giorni a diverse settimane: ad esempio, un digestore anaerobico che gestisce rifiuti alimentari può avere un HRT di 20-30 giorni, mentre un impianto che tratta reflui zootecnici può avere un HRT di 60 giorni o più[13].

Al termine del processo vero e proprio di produzione del biogas, che si ricorda essere un sottoprodotto del lavoro attuato dai microrganismi, il gas può essere immagazzinato in un serbatoio separato fino a quando non è pronto per essere utilizzato o venduto. È importante notare però come il biogas prodotto dal digestore contenga tipicamente impurità come idrogeno solforato, umidità e altri gas, che devono essere rimossi prima che il gas possa essere utilizzato. I sistemi di trattamento del gas sono solitamente rappresentati da *scrubber*, filtri e sistemi di essiccazione per purificare il biogas e prepararlo per l'uso.

Infine, una volta prodotto il biogas, questo può essere utilizzato in diverse modalità: è possibile alimentare un cogeneratore per la produzione simultanea di elettricità e calore, oppure stoccarlo e venderlo come carburante o per gli utilizzi in cucina. A seconda quindi delle esigenze specifiche dell'operatore dell'impianto, queste apparecchiature possono includere generatori, turbine o motori.

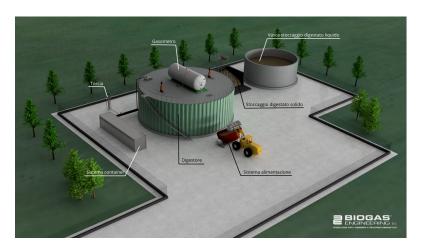


Figura 6.3. Esempio impianto biogas e di suoi componenti principali. Fonte: biogasengineering.it

A completamento del quadro introduttivo alla produzione di biogas, si riportano ora alcune informazioni circa le caratteristiche chimiche e l'idoneità alla digestione anaerobica delle materie prime impiegate negli impianti.

La sostanza organica idonea alla digestione anaerobica è rappresentata solitamente da due tipologie di prodotti: gli effluenti zootecnici e i residui agroalimentari vegetali[13].

La quantità e la qualità degli effluenti zootecnici che un animale produce dipende da una serie di fattori, tra cui la taglia e il peso dello stesso, la qualità e la quantità del suo mangime e le modalità con cui viene allevato. Al fine di avere una quantificazione delle produzioni, il criterio di calcolo che può essere applicato si basa sull'applicazione del Dlgs 152/2006, del quale ne è riportata una tabella di seguito.

Caratteristiche indicative	<b>Liquami suini</b> Valore medio Intervallo		Liquami bovini Valore medio Intervallo	
Sostanza secca - ST (%)	4,4	2,8 - 6,0	8,2	5,7 - 10,7
Sostanza organica - SV (% ST)	70	63 - 77	73	64 - 82
Azoto totale - NTK (% ST)	8,0	6,3 - 9,7	4,7	2,8 - 6,6
Coefficienti di produzione	Quantità	Condizione	Quantità	Condizione
A. $[m^3/anno \cdot tp.v.]$	37 - 44	Pavimento fessurato	20 - 33	Libera senza paglia
B. $[m^3/anno \cdot tp.v.]$	55 - 73	Rimozione con acqua	9 - 16	Libera con paglia
Produzione biogas $[m^3/kg \text{ SV input}]$	0,45 - 0,55 (di d	eui 60-65% <i>CH</i> <sub>4</sub> )	0,30 - 0,45 (di d	cui 55-60% CH <sub>4</sub> )

Tabella 6.1. Composizione e rateo di produzione di effluenti zootecnici

I punti di forza che più caratterizzano i liquami suini e bovini sono sicuramente la loro produzione regolare e continuativa, la quale va a beneficio della disponibilità; inoltre, presentano un'ottima propensione tecnica alla digestione anaerobica dal momento che dispongono di un buon potere tampone, di una significativa frazione organica e una inesistente frazione di componenti inerti.

D'altra parte, le modalità di allevamento di queste tipologie di animale influenza moltissimo la quantità di sostanza secca presente nei reflui. Questo può incidere parecchio sulla produttività dell'impianto. Per queste ragioni è bene controllare la materia prima e garantire una frazione di secco pari ad almeno il 3-4% per i suini e il 7-8% dei bovini. Inoltre, il ciclo di produzione di biogas deve essere coordinato in maniera efficiente con il ciclo di produzione degli effluenti in quanto, per ottimizzare le rese, la digestione anaerobica deve essere avviata con deiezioni fresche, evitando stoccaggi.

Accanto agli effluenti zootecnici, l'industria agroalimentare ogni giorno produce ingenti quantità di scarti e reflui che sono idonei alla digestione anaerobica. Questi comprendono il siero del latte, gli scarti organici liquidi o semiliquidi della macellazione, i residui della lavorazione dei succhi di frutta o della produzione di alcolici, scarti di lavorazione di pomodori, patate, mais, cipolle, ... Tutte queste sostanze sono classificate come "sottoprodotti" ai sensi dell'art. 183, comma 1, lettera n) del Dlgs 152/06 e del Dlgs n. 4/08 e pertanto sono utilizzabili ai fini della produzione di biogas.

La tabella seguente mostra alcune caratteristiche chimiche e di producibilità di diverse sostanze vegetali.

	Scarti di Mais dolce	Scarti di Patate	Scarti di Frutta
Caratteristiche	Valore medio	Valore medio	Valore medio
$_{ m pH}$	3,9	4,5	3,6
Sostanza secca - ST (%)	17,2	22,3	13,1
Sostanza organica - SV (%ST)	96,5	95,8	94,5
Azoto totale - NTK (%ST)	2,0	1,6	1,8
Produzione biogas	0,45 - 0,55	0,50 - 0,60	0,50 - 0,60
$[m^3/kg \; { m SV \; input}]$	(di cui 50-55% $CH_4$ )	(di cui 50-53% $CH_4$ )	(di cui 55-60% $CH_4$ )

Tabella 6.2. Composizione residui agroindustriali vegetali

Fra i punti di forza dei sottoprodotti indicati in tabella 6.2 vi sono l'ottima idoneità alla digestione anaerobica e l'abbondante disponibilità sul territorio. Tuttavia, la ciclicità stagionale nella loro produzione rappresenta un fattore da non trascurare al fine di garantire una produzione di biogas costante durante l'anno. Questa può essere fatta attraverso la conversazione in silos del mais, ma non può essere garantita dagli scarti di frutta, che devono essere impiegati in un arco di tempo ristretto e la loro conservazione non può essere protratta per più di qualche giorno.

Dopo aver introdotto gli aspetti principali relativi agli impianti di produzione di biogas, ci si concentra ora sull'impianto che può essere installato a Cedrecchia.

#### 6.2 Stima della producibilità e della taglia dell'impianto

A Cedrecchia è presente un'azienda agricola che dispone di circa trenta capi di bovini da latte adulti. Questi sono contenuti all'interno di una stalla dove sono garantiti gli spazi adatti alla loro crescita. Partendo dal numero di bovini, e da alcuni dati presentati nel paragrafo introduttivo, si procede ora a stimare la producibilità annua di biogas dell'impianto da installare a Cedrecchia.

La Tabella 1 dell'allegato 1 del Dlgs 12/05/2006 riporta, per diverse specie di animali e per diverse condizioni di allevamento, la loro massa media e il rateo di produzione di liquami e di letame. Nel caso di bovini adulti da latte questi sono:

- Peso vivo medio: 600kq/capo;
- Rateo di produzione di liquame:  $9m^3/t_{pv}/anno$ ;
- Rateo di produzione di letame:  $26t/t_{pv}/anno$ .

Al fine di facilitare i calcoli, si riporta il rateo di produzione di liquami in tonnellate, utilizzando il valore di densità pari a  $1,035t/m^3$ . Tale valore dipende dal contenuto di sostanza secca nel liquame. Nel caso in esame è stata assunta una percentuale ST media pari a  $8,2\%^1$  (tabella 6.1).

$$RPL = 9m^{3}/t_{pv}/anno \cdot 1,035t/m^{3} = 9,315t/t_{pv}/anno$$
 (6.2)

Moltiplicando per il numero di capi presenti nell'azienda agricola si ottiene:

- Peso vivo medio totale: 18t;
- Rateo di produzione di liquame: 168t/anno;
- Rateo di produzione di letame: 468t/anno.

Dal momento che la resa specifica di biogas è spesso riferita alla massa di sostanza organica presente nei reflui, questa viene calcolata sia nel caso dei liquami che nel caso del letame. Per quanto riguarda i liquami, con riferimento alla tabella 6.1, questa rappresenta mediamente il 73% della sostanza secca, la quale risulta essere mediamente l'8,2% della massa totale. Per quanto concerne il letame, invece, la sostanza organica è in media il 18% della massa totale. Svolgendo i calcoli si ottiene:

$$SV_{liquami} = 168t/anno \cdot 0.082 \cdot 0.73 = 10.06t/anno$$
  
 $SV_{letame} = 468t/anno \cdot 0.18 = 84.24t/anno$ 
(6.3)

Complessivamente dunque la produzione annua di sostanza secca, utile alla produzione di biogas è pari a 94,30t/anno.

La quantità di biogas prodotta da una tonnellata di sostanza secca dipende dalla composizione della sostanza e dalle condizioni del processo di digestione anaerobica. In generale, si stima che la produzione di biogas possa variare tra 300 e 450 metri cubi per tonnellata di sostanza secca (tabella 6.1). Ai fini dei calcoli verrà dunque utilizzato il valore medio pari a  $375m^3/t_{SV}$ .

La producibilità annua stimata per l'impianto di Cedrecchia risulta pertanto essere pari a:

$$V_{biogas} = 94,30t_{SV}/anno \cdot 375m^3/t_{SV} = 35362m^3/anno$$
 (6.4)

di questi, mediamente il 57,5% è rappresentato da metano.

$$V_{CH_4} = 35362m^3/anno \cdot 0.575 = 20333m^3/anno$$
 (6.5)

Si osserva dunque come l'azienda agricola rappresenti un'ottima opportunità che la comunità energetica può sfruttare al fine della produzione biogas. Come detto,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Fonte: Università degli studi di Milano - Facoltà di Agraria

una parte del biogas prodotto viene utilizzato nelle cucine dell'osteria "Baldini Marta" per la cottura dei cibi (circa  $6\,000m^3/anno$ ). Il restante quantitativo, dopo essere stato purificato, una parte può venire impiegata per mantenere il digestore alla ottimale temperatura di esercizio, e un'altra può essere venduta all'ingrosso ed essere fonte di ricavo.



Figura 6.4. L'azienda agricola di Cedrecchia. Fonte: Google Maps

Dopo aver stimato sia il quantitativo di sostanza organica prodotta annualmente dagli animali che di biogas generato nel digestore, ci si chiede ora quale possa essere la taglia esatta di quest'ultimo. A differenza degli impianti fotovoltaici ed eolici trattati in precedenza, gli impianti di biogas non si prestano molto alla modularità. Se a ogni pannello fotovoltaico era associata una potenza prodotta, così come per ciascuna pala eolica scelta, lo stesso non si può dire per gli impianti biogas, il cui volume e forma del digestore vengono dimensionati spesso di volta in volta a seconda della materia prima disponibile.

Nel caso dell'impianto di Cedrecchia, si è stimata la quantità di materia prima disponibile in circa 636t/anno. Tale valore risulta essere la somma del rateo di produzione dei liquami e del rateo di produzione di letame. Inoltre, si è considerato un HRT pari a 30 giorni, valore medio nel caso di materia prima proveniente da bovini da latte.

Pertanto, calcolando una produzione giornaliera di materia prima pari a:

$$636t/anno: 365d/anno = 1,74t/d$$

e considerando un tempo di ritenzione idraulica pari a 30 giorni, si ottiene il volume di sostanza che, a regime, è presente all'interno del digestore.

$$1,74t/d \cdot 30d = 52t$$

Considerando la densità della materia all'interno del digestore di poco superiore a quella dell'acqua, pari a  $1t/m^3$ , è lecito prevedere un volume del digestore pari ad

almeno  $100m^3$ . Il sovradimensionamento viene attuato al fine di considerare anche il volume di biogas che progressivamente andrà formarsi e occuperà il volume del digestore. Il volume di  $100m^3$  può essere dunque assimilato a un cilindro di raggio circa 3.3m e alto 3m.

Le dimensioni contenute lo rendono adatto all'installazione nei pressi dell'azienda agricola dove la materia prima viene prodotta tutti i giorni.



Figura 6.5. L'azienda agricola di Cedrecchia e localizzazione impianto biogas. Fonte: Google Maps

## Capitolo 7

## Sviluppi futuri della comunità e piano di investimento

Al termine del capitolo 3, in cui sono stati stimati i consumi energetici della neonata comunità di Cedrecchia, era stato riportato il grafico dei consumi stimati mensile, indicando che sarebbe stato quello il punto di partenza per il dimensionamento degli impianti di produzione dell'energia. Ebbene, nel seguente capitolo, si cercherà di capire se i dimensionamenti, compiuti nei capitoli 4, 5 e 6, siano stati eseguiti coerentemente con la curva di consumo energetico. Questo sarà il punto di partenza per una serie di spunti per sviluppi futuri, a lungo termine, della comunità energetica. In ultimo, è doveroso svolgere alcune considerazioni in termini economici e su un ipotetico piano di investimento di risorse che porteranno, in alcuni anni, la comunità energetica a essere completa.

# 7.1 Curva di consumo e di produzione a confronto

La figura 7.1 richiama la curva di consumo stimata al capitolo 3. Si ricorda come questa sia il risultato di una combinazione di contributi che mensilmente variano il loro peso. Si osserva infatti come il contributo energetico al fine del riscaldamento degli ambienti sia concentrato nei mesi invernali, per rispondere a esigenze climatiche del luogo. Viceversa, la richiesta di energia da parte delle colonnine di ricarica per auto elettriche ed *e-bike* vede il suo massimo durante i mesi estivi, periodo durante il quale il paese è maggiormente frequentato da turisti. Per le medesime ragioni, lo stesso si dica per il consumo energetico dell'area sosta camper, particolarmente occupata durante il periodo estivo.

Come conseguenza delle diverse quantità di energia impiegate al variare dei mesi dell'anno, la curva di consumo assume una naturale forma a U, dove i mesi invernali

risultano i più energivori, a differenza di quelli estivi.

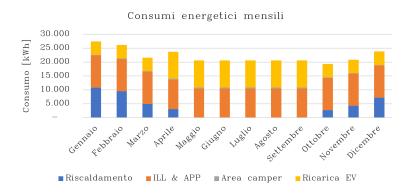


Figura 7.1. Consumi energetici mensili

Al fine di fornire un grafico simile, ma che rappresenti la curva di produzione elettrica stimata mensile, è necessario combinare il contributo di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e dall'impianto eolico. Questa è riportata in figura 7.2.

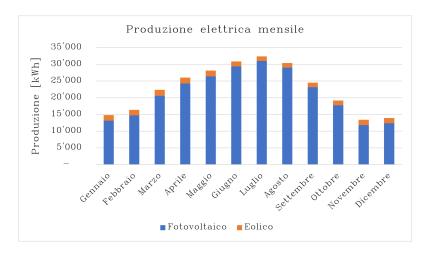


Figura 7.2. Produzione energetica mensile

La figura 7.2 presuppone la disponibilità dei dati di produzione energetica su base mensile, sia per l'impianto fotovoltaico che eolico.

Sebbene, in figura 4.10, sia già stata riportata una curva di produzione relativa all'impianto fotovoltaico, lo stesso non si può dire dell'impianto eolico, dove la stima di produzione risulta essere su base annua.

Per avere una stima mensile della produzione di energia elettrica da fonte eolica si è cercato di ripartire la produzione annua nei dodici mesi dell'anno, sulla base della velocità media del vento nei diversi mesi. Avendo più volte ribadito come la velocità del vento sia il fattore climatico chiave nel determinare la produttività di un impianto eolico, ripartire l'energia prodotta secondo questo criterio è stata la scelta più sensata da attuare.

Pertanto, ricordando che il valore annuale di energia prodotta dall'impianto eolico è di circa  $18\,500kWh$ , la tabella 7.1 mostra come questo valore sia stato ripartito sui dodici mesi dell'anno.

Ripartizione produzione annuale			
Mese	Velocità media $[m/s]$	Energia prodotta $[kWh]$	
Gennaio	4,09	1 663	
Febbraio	4,00	1627	
Marzo	4,36	1 773	
Aprile	4,27	1737	
Maggio	4,12	1 676	
Giugno	3,65	1 484	
Luglio	3,33	1354	
Agosto	3,36	1367	
Settembre	3,40	1 383	
Ottobre	3,49	1 419	
Novembre	3,74	1521	
Dicembre	3,72	1513	
Totale		18 517	

Tabella 7.1. Ripartizione produzione eolica annuale

Si osservi come, in figura 7.2, la quota maggioritaria di produzione di energia sia fornita dall'impianto fotovoltaico. Questo fattore determina la caratteristica forma a campana della curva, in cui l'energia prodotta è concentra durante i mesi estivi, maggiormente soleggiati. Sebbene, dalla figura, la quota parte di eolico possa sembrare molto piccola, si ricorda che questa è sufficiente a ricoprire il fabbisogno elettrico annuale di tutta l'area sosta camper, della colonnina di ricarica e-bike e di sei unità residenziali di Cedrecchia.

Le curve di produzione e di consumo vengono ora messe a confronto per poter verificare il corretto dimensionamento degli impianti. In figura 7.3 sono riportate le curve, in arancione quella di consumo, in blu quella di produzione.

Si osserva subito, come previsto, che durante i mesi invernali la quota di consumo supera quella di produzione, viceversa durante i mesi estivi.

Confrontando le due curve si rivela confermata e corretta la scelta impiantistica di non dimensionare l'impianto fotovoltaico sul fabbisogno energetico invernale. Questo avrebbe portato un eccessivo sovradimensionamento del sistema durante i mesi estivi, facendo lievitare in maniera eccessiva i costi. In questo modo si vede come il sistema produzione-consumo sia effettivamente più equilibrato sull'arco dell'anno.

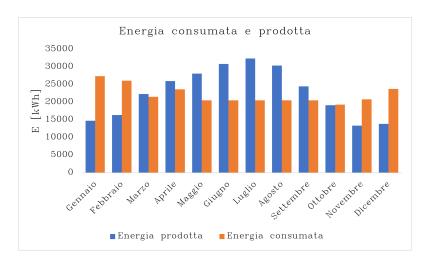


Figura 7.3. Confronto fra energia prodotta ed energia consumata

È lecito chiedersi ora se, su base annuale, il bilancio energetico sia a favore dell'energia prodotta, e quindi in positivo, o dell'energia consumata, e quindi in negativo. Dal grafico in figura 7.3 questo non è di immediata osservazione. Svolgendo un bilancio mensile, e infine annuale, si è in grado di determinare per ogni mese, e nell'arco dell'anno, se si è in eccesso o in difetto e di quale quantità. In tabella 7.2 vengono riportati i bilanci energetici complessivi.

Ripartizione produzione annuale				
Mese	Produzione $[kWh]$	Consumo $[kWh]$	Eccesso/difetto $[kWh]$	
Gennaio	14810	27 418	-12608	
Febbraio	16394	26146	-9752	
Marzo	22368	21597	771	
Aprile	26013	23706	2306	
Maggio	28142	20588	7554	
Giugno	30882	20588	10293	
Luglio	32409	20588	11 821	
Agosto	30422	20588	9834	
Settembre	24552	20588	3 963	
Ottobre	19175	19333	-158	
Novembre	13378	20875	-7497	
Dicembre	13925	23815	-9889	
Totale	272 471	265 834	6 636	

Tabella 7.2. Ripartizione produzione eolica annuale

Complessivamente, dunque, si osserva come l'intero sistema, su base annua, presenti un bilancio positivo, in cui l'energia prodotta è maggiore di quella consumata.

Non vi è dubbio, pertanto, di come questo sia una caratteristica intrinseca e a favore della comunità: il sistema, nel complesso, produce più energia di quanta ne consumi. È necessario fare attenzione però a due temi. In primo luogo, questa caratteristica non rende la comunità indipendente dal punto di vista energetico; in secondo luogo, tutto ciò non è detto che si riveli un guadagno di tipo economico per la comunità.

Come è noto, la quantità di energia prodotta da fonti rinnovabili risponde in maniera rigorosa a specifiche condizioni climatiche. Nel caso di un impianto fotovoltaico, questa dipende dalla presenza o meno di luce solare; in un impianto eolico, questa dipende dalla presenza e dall'intensità del vento. Pertanto, avendo già discusso di come l'energia prodotta nella comunità energetica di Cedrecchia sia prevalentemente di origine fotovoltaica, è immediato capire come questa sia disponibile solo nelle ore di luce e quando il cielo è schiarito. D'altra parte, la richiesta di energia della comunità è continua, sia di giorno che di notte, sia che il cielo sia sereno che nuvoloso. Per questi motivi, e per il fatto che, per impianti di tale potenza, risulta sconveniente la presenza di batterie di accumulo, l'allacciamento alla rete elettrica nazionale diventa indispensabile. In questo modo, come già illustrato in figura 4.13, i deficit e i surplus di produzione di energia sono compensati dalla rete nazionale, che tramite il meccanismo dello Scambio sul Posto, valorizza l'energia immessa nella rete.

Il meccanismo dello Scambio sul Posto, tramite il Contributo in Conto Scambio, valorizza l'energia che viene prelevata e immessa in rete da un utente al fine di determinare se quest'ultimo sia in credito o in debito con il Gestore dei Servizi Energetici. Il saldo economico, in positivo o in negativo che sia, non è però strettamente legato al bilancio di energia con la Rete. In altre parole, se l'utente ha immesso più energia di quanta ne abbia consumata, non è detto che questo abbia maturato un credito verso il Gestore. La ragione sta nel fatto che molto spesso il singolo kWh immesso in Rete viene valorizzato meno del singolo kWh prelevato. Pertanto, al fine di capire se il bilancio energetico della comunità di Cedrecchia si trasformi in un debito o in un credito, è necessario capire come sia regolato il contratto fra la comunità energetica e il Gestore della Rete.

# 7.2 Opere di completamento della comunità energetica

Il lavoro fino a qui svolto, come si è visto, è in grado di porre la comunità energetica a un ottimo livello di autonomia. Questo ha sicuramente conseguenze sul piano del risparmio energetico, dell'impatto ambientale e dei ritorni economici diretti e indiretti. In un ottica a lungo termine però, dopo aver valutato con l'esperienza i profitti della comunità così come presentata, è certamente possibile prevedere alcune opere di completamento che possono far bene all'intero progetto.

La prima opera di completamento che viene presa in considerazione riguarda l'installazione di un cogeneratore a gas nei pressi dell'impianto di produzione biogas. Un cogeneratore (o CHP, Combined Heat and Power) è un sistema combinato di produzione di energia sia elettrica che termica. La produzione avviene contemporaneamente utilizzando la stessa fonte di combustibile. In pratica, un cogeneratore, spesso assimilabile a un motore a combustione interna, sfrutta il calore di combustione generato durante la produzione di energia elettrica, che altrimenti sarebbe disperso nell'ambiente, per produrre energia termica. Questa qualità rende il cogeneratore una soluzione molto efficiente dal punto di vista energetico. La conversione di energia meccanica in energia elettrica avviene attraverso un generatore, mentre il calore residuo viene utilizzato per vari scopi come riscaldare edifici, acqua o per altri usi termici.

L'installazione di un cogeneratore a valle di un impianto di produzione di biogas è una soluzione spesso praticata perché permette di produrre notevoli quantità di energia da una fonte completamente rinnovabile. Da  $1Nm^3$  di biogas infatti è possibile ottenere circa 1.5-2kWh di energia elettrica e 2-3kWh di energia termica[13]. Un cogeneratore potrebbe aiutare la comunità a eliminare definitivamente l'utilizzo del metano come utenza, sostituendo la cucina a gas dell'osteria in una completamente elettrica. Inoltre, annullerebbe la richiesta di energia termica per mantenere il digestore a una temperatura idonea alla digestione dal momento che questa sarebbe generata dal cogeneratore stesso e non da altri sistemi meno performanti. Infine, riprendendo quanto detto nel paragrafo 7.1, un cogeneratore ha la possibilità di operare indipendentemente dalle condizioni meteorologiche e pertanto può essere sfruttato come carico di base al fine di diminuire la richiesta di energia alla Rete quando l'impianto fotovoltaico ed eolico non forniscono sufficiente energia. Nel caso dell'impianto installato a Cedrecchia, da un dimensionamento di massima sulla base dei risultati ottenuti in precedenza, è possibile prevedere una produzione elettrica annua pari a circa  $61\,883kWh$  di energia elettrica e  $88\,405kWh$  di energia termica.

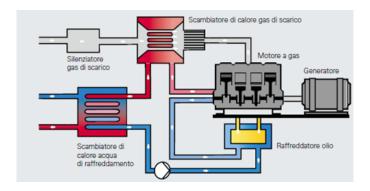


Figura 7.4. Schema cogeneratore a gas. Fonte: Viessmann

La seconda opera di completamento che è possibile valutare riguarda lo sfruttamento delle falde di copertura delle abitazioni per l'ampliamento della potenza fotovoltaica installata. L'esigenza di aumentare la produzione di energia elettrica da fotovoltaico nasce dalla consapevolezza che, nei prossimi anni, la mobilità elettrica sarà sempre più presente e che, a poco a poco, sostituirà i veicoli a motore termico. A questo proposito, il Parlamento e il Consiglio Europeo hanno raggiunto l'accordo per decretare nel 2035 la fine della vendita di auto nuove con motore termico.

Come si è potuto osservare nel corso del paragrafo 3.3, l'energia annua necessaria per ricaricare le batteria delle auto elettriche non è trascurabile e pertanto, nell'ipotesi che gradualmente ciascuna abitazione sia dotata di almeno una nuova auto, l'installazione di una potenza fotovoltaica aggiuntiva sui tetti delle abitazioni risulta necessaria per mantenere l'equilibrio della comunità, senza intaccarne l'impatto visivo.

Per le stesse ragioni che hanno spinto a valutare l'aumento della potenza fotovoltaica installata, è possibile valutare l'aumento o quantomeno un maggior sfruttamento dell'energia eolica del vento. Avendo, col tempo, accumulato una banca dati anemologici ampia, ma sopratutto riferita in maniera precisa alla località nella quale l'impianto è installato, risulta in futuro possibile aumentare l'energia elettrica da fonte eolica. Questo ha ricadute positive su quanto già esposto in precedenza.

Infine, da un punto di vista comunitario, il funzionamento a regime della comunità energetica apre alla possibilità di ampliare l'offerta turistica e abitativa di Cedrecchia. A lungo termine, infatti, l'obbiettivo è quello di attrarre sempre più persone in paese e la speranza è che questo inneschi un circolo virtuoso che porti vantaggi turistici, civili ed economici.

Si ricorda che diverse unità abitative in paese non erano state prese in considerazione in relazione alla riqualificazione edilizia. Questo perché la loro condizione edilizia era troppo di degrado e la bassa densità di popolazione del paese non rendeva necessario questo tipo di investimento. In un auspicabile futuro positivo di Cedrecchia, questi immobili possono sicuramente fungere da punto di partenza per un ampliamento strutturale.

#### 7.3 Cenni al piano di investimento delle risorse

Sebbene non sia effettivamente possibile stimare il costo totale di investimento di un progetto così ambizioso e su larga scala come quello proposto, è importante tenere presente alcune linee guida che la figura di un ingegnere energetico deve essere in grado di fornire per evitare che le risorse da destinare al progetto vengano sotto o sovrastimate.

Deve essere comunque chiaro come la stima dei costi di realizzazione di una comunità energetica sia un aspetto fondamentale per garantire la sostenibilità e l'efficienza del progetto. Questo perché, in primo luogo, la conoscenza più o meno precisa dei costi dell'intero progetto consente di valutare l'effettiva realizzabilità economica e, sopratutto, di determinare la sua convenienza rispetto ad altre alternative energetiche. Inoltre, da un punto di vista economico, una stima accurata dei costi consente di pianificare in modo adeguato le risorse necessarie da stanziare per la realizzazione e la gestione degli impianti e per definire un piano di investimenti nel lungo termine.

Inoltre, stimare i costi totali di realizzazione di una comunità energetica prima che i lavori di realizzazione inizino, consente di identificare le principali voci di spesa e di individuare eventuali aree di miglioramento o di ottimizzazione dei costi. Infine, un nodo cruciale di fondamentale importanza in materia di interventi di riqualificazione energetica riguarda la possibilità di accedere agli incentivi e alle agevolazioni fiscali disponibili per le comunità energetiche. Queste possono rappresentare una significativa fonte di finanziamento per il progetto, ma per eccedervi, è essenziale avere una stima dei costi di investimento.

A titolo indicativo si è cercato in ogni caso di fornire alcune informazioni circa i costi di realizzazione. Si noti comunque come queste stime siano al netto di qualunque tipo di incentivo o agevolazione e, dunque, è importante tenere presente come questi costi non siano totalmente a carico della comunità o dell'ente gestore. Suddividendo il progetto in macro-aree di intervento, i seguenti costi vengono stimati:

- $250 400 \in /m^2$  per la riqualificazione energetica degli edifici, comprendente cappotto termico, sostituzione infissi e installazione pompa di calore;
- $1500 2000 \in /kWp$  per l'acquisto e l'installazione dell'impianto fotovoltaico, comprendente pannelli, strutture di sostegno, inverter e accessori;
- ≈ 80 000€ per la cabina di trasformazione MT/BT e dispositivi di allacciamento alla Rete Elettrica Nazionale;
- ≈ 20 000€¹ per l'acquisto e l'installazione dell'impianto eolico, comprensivo di cablaggio di collegamento alla cabina MT/BT;
- 0,4-0,8€/m³ per l'acquisto e l'installazione dell'impianto biogas comprensivo di digestore e accessori²;

 $<sup>^{1}</sup>$ basandosi sui prezzi riportati sul sito del produttore del modello selezionato

 $<sup>^2</sup>$ la stima di costo, pari a 0.6-1€/ $m^3$ , è stata rivista al ribasso in quanto l'iniziale installazione non prevede la presenza di un cogeneratore

- 5000 − 6000€/piazzola per l'area sosta camper comprensiva di un allacciamento elettrico per piazzola, zona per scarico reflui e area lavaggio e servizi;
- ≈ 6 000€ per la colonnina di ricarica auto elettrica e per la colonnina di ricarica e-bike comprensive di installazione.

La stima totale, basata sui costi sopra indicati, ammonta a circa 2 150 000€. Se da un lato è vero che tale cifra è al netto di agevolazioni fiscali, risulta altrettanto vero che non sono stati considerati gli eventuali imprevisti o arrotondamenti, i costi di progettazione, i costi di allacciamento alla Rete Nazionale, la percentuale di IVA,... Come detto, tale cifra vuole rappresentare una stima che l'ingegnere energetico comunica alle figure professionali che si occupano della determinazione precisa dei costi. Accanto a ciò, non è da dimenticare che si prevede, nel corso degli anni, un aumento degli indotti della comunità, e quindi del Comune o del gestore, dovuto all'aumento del turismo e della maggiore frequentazione da parte di nuove persone dell'area, le quali apportano un enorme valore al progetto, non solo economico.

Sebbene tale cifra possa a prima vista sembrare eccessiva, va precisato che l'impiego delle risorse economiche è un processo che non avviene in un breve periodo di tempo. La costruzione e la messa in opera di un progetto così ambizioso è un processo che richiede diversi anni e pertanto anche le risorse economiche vengono investite gradualmente, rivalutando di volta in volta il nuovo ammontare di spese. Per questa ragione, il calcolo di un tempo di ritorno dell'investimento rappresenta un operazione che non ha senso fare, in quanto i tempi di esborso delle risorse è troppo ampio. Infine, nel considerare la convenienza o meno di un investimento di questa entità, è fondamentale tenere a mente quanto espresso al capitolo 1, e cioè che il sentimento attorno a una comunità energetica va oltre alla pura massimizzazione del profitto a breve termine. Sono invece il raggiungimento di obiettivi sostenibili e ambientali, uniti a un profondo senso di collaborazione, la vera essenza delle Comunità Energetiche.

### Conclusioni

Nel corso dei sette capitoli di questo progetto, si è cercato di rispondere alla domanda: "Il modello della comunità energetica è applicabile alle piccole realtà rurali al fine di favorire la loro rinascita e riscoperta?"

A tale scopo, il lavoro ha voluto porre le sue radici nel territorio appenninico intorno a Cedrecchia, evidenziandone le qualità e le criticità sia climatiche e territoriali, che turistiche e demografiche. Il progetto ha poi cercato di dare un senso alla riqualificazione edilizia, cercando di elevarne le performance energetiche, senza stravolgere l'assetto visivo e urbanistico. Tutto questo, nonostante sia stato previsto l'inserimento di servizi non esistenti, come l'area camper e le colonnine di ricarica EV. Infine, il lavoro è andato a compimento attraverso la progettazione degli impianti di produzione di energia, a servizio del paese e dell'ambiente, trasformando di fatto Cedrecchia in una moderna comunità a basso impatto ambientale ed energetico.

Lo studio ha messo in luce innanzitutto l'effettiva fattibilità del progetto, anche senza mettere in gioco eccessivi stravolgimenti urbanistici o impiantistici. Si è visto infatti come il bilancio energetico annuale sia di circa  $6\,600kWh$  in favore dell'energia prodotta, con un mix energetico completamente rinnovabile. In secondo luogo, il progetto apre a diverse opportunità turistiche, confermando quindi come, l'individuazione di una serie di interventi mirati, possa effettivamente contribuire alla rinascita di un piccolo paese montano. Inoltre anche il progetto ingegneristico è stato concepito per essere un possibile polo attrattivo, sia turistico che culturale. Attraverso questo, l'idea alla base è quella di aumentare ulteriormente le visite in paese e la sua notorietà, tramite l'invito a visitare la comunità energetica e a toccare con mano quello che sarà parte del futuro dell'umanità. Tutto ciò, con il nobile fine di eliminare quel pregiudizio, spesso dettato dall'ignoranza, verso qualcosa di nuovo che dà un taglio netto col passato.

Il lavoro svolto ha dunque una sua rilevanza, dal momento che abbatte quella barriera che spesso si tende a frapporre fra tecnica e cultura. Il progetto della comunità energetica di Cedrecchia rappresenta la perfetta collaborazione fra due facce della

stessa medaglia. Da un lato, l'ingegneria che allarga i propri orizzonti, modellando il proprio lavoro in base alle richieste di una comunità bisognosa di ritrovare una propria unità culturale. Dall'altro lato, una "vecchia" comunità appenninica si affida alla moderna ingegneria per ritornare a essere un punto di riferimento sul territorio. Si dà quindi vita a un ottima prospettiva di progresso nello scenario energetico. Fra queste, nuove soluzioni energetiche sostenibili che dovranno essere rispettose della cultura e delle esigenze specifiche della comunità, ma anche fornire una maggiore consapevolezza dell'importanza dell'energia sostenibile.

Quello che ci si auspica per il futuro di Cedrecchia è un contributo non solo ambientale ed energetico, ma anche sociale, aiutando in qualche modo a superare i pregiudizi verso i nuovi temi energetici che spesso sono privi di fondamento. Per superare tale ostacolo, è importante promuovere una maggiore educazione e consapevolezza, riguardo alle diverse fonti di energia e alle loro implicazioni, nonché promuovere il dialogo e la discussione aperta. In questo, la comunità di Cedrecchia può dare un enorme contributo.

Tuttavia, non si può fare a meno di notare come i tempi di realizzazione siano piuttosto lunghi (circa dieci anni) e le risorse da impiegare siano molte (più di  $2\,150\,000$ ). Questo, in uno scenario energetico e politico italiano molto dinamico e poco prevedibile, può rappresentare un problema. È comunque da tenere in considerazione che la filosofia delle comunità e delle politiche energetiche, non solo italiane, siano temi tutto sommato ancora acerbi, che richiedono ancora tempo per raggiungere una fase più stabile. In questo senso, pertanto, Cedrecchia risulta essere estremamente innovativa e investire risorse su questo progetto può far fare un buon salto in avanti al  $know\ how$  in questo settore.

Inoltre, si ribadisce come sia necessario cambiare il punto di vista riguardo all'impiego di risorse economiche, quando si tratta il tema delle comunità energetiche. L'investimento in denaro non deve essere visto come una futura fonte di guadagno, per lo meno non solo economico. È necessario fare uno sforzo e intendere l'investimento ripagato con il benessere ambientale del territorio e dell'uomo, ristabilendo una connessione col Pianeta che per oltre un secolo sembra essere stata dimenticata.

Futuri studi o approfondimenti potrebbero ripartire proprio da questo punto: adattare il progetto presentato a uno scenario energetico e politico che cambia continuamente. Non si può fare a meno di notare come la ricerca sia fondamentale, al fine di avere impianti con processi e materiali sempre più performanti e sostenibili, sia da un punto di vista ambientale che economico. In questo senso, ulteriori ricerche possono trovare terreno fertile nelle nuove tecnologie impiantistiche, impiego di materiali e nell'approfondire le modalità con cui la tecnica si mette in gioco su temi sociali, dal momento che l'energia sembra ormai essere diventata un perfetto tema ibrido, a cavallo fra il tecnico e il sociale.

## Bibliografia

- [1] Marcello Aprile. Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in italia. Enea-Ministero dello sviluppo economico, Politecnico di Milano, 2009.
- [2] Arpae-ER. Disponibili nuovi dati meteo-climatici, 2022.
- [3] Felipe Barrico, F Cappellaro, Carmen Palumbo, et al. Le comunità energetiche in italia. una guida per orientare i cittadini nel nuovo mercato dell'energia. 2020.
- [4] Francesca Cappellaro, Carmen Palumbo, Sara Trincheri, et al. La comunità energetica. vademecum 2021. 2021.
- [5] Aura Caramizaru, Andreas Uihlein, et al. *Energy communities: an overview of energy and social innovation*, volume 30083. Publications Office of the European Union Luxembourg, 2020.
- [6] Marco Coletto. Capacità batteria auto elettriche, 2021.
- [7] Daikin. Listino, cataloghi e documentazione riscaldamento, 2023.
- [8] Enel energia. Aumento o riduzione potenza contatore, 2022.
- [9] G Grazzini, C Balocco, and D Paganini. Rilevazione in campo consumi elettrici e termici di aziende agricole campione. *Progetto MODERNO*, 2021.
- [10] Gruppo Hera. Più di 50 milioni di famiglie si trovano in una condizione di povertà energetica, 2020.
- [11] FIRE Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia. *Impianti eolici e fotovoltaici di piccola teglia: guida tecnica.* 2011.
- [12] ABB Power and Productivity for a better world. Quaderni di applicazione tecnica N.10 Impianti fotovoltaici. 2013.
- [13] C.R.P.A. SpA. Biogas: l'analisi di fattibilità tecnico-economica. 2008.
- [14] Weather Spark. Condizioni climatiche e meteo medie tutto l'anno a san benedetto val di sambro, 2022.
- [15] Francesco P Vivoli, S Castello, F De Lia, G Graditi, A Scognamiglio, L Zingaretti, R Schioppo, P Signoretti, and F Spinelli. Progettare e installare un impianto fotovoltaico. *Enea editore*, 2008.