

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

# Resoconto e analisi della riqualificazione energetica di un condominio

Relatore

prof. Marco Carlo Masoero

Candidato

Gianluca Giustetto

Anno Accademico 2018-2019

## Ringraziamenti

Vorrei ringraziare, per prima cosa, il Prof. Marco Carlo Masoero, relatore del presente elaborato.

Ringrazio la Tecnozenith srl, nella figura dell'Ing. Pietro Del Grosso, la cui collaborazione ha permesso la realizzazione di questa tesi e, in particolare, ringrazio Lorenzo Civalleri per la disponibilità e la pazienza nel rispondere ai miei dubbi e alle mie domande.

Un ringraziamento importante va ai miei genitori, che mi hanno sostenuto durante questi lunghi anni e hanno permesso che giungessi fino a qui, e a mio fratello, che incrocia sempre le dita per me.

Ringrazio tutti i miei compagni di avventura, Vito, John, Luca, Simo, Fabio, Gigi, Lore, Edo e quelli di via Roveda (Eli, Burlo, Riky, Lomba, Met e Paolo), che con la loro amicizia hanno reso questo percorso decisamente più piacevole.

Infine ringrazio Silvia, con le sue cassafortate, e Mana, Polly e Orla, che ci sono da sempre, da molto prima del Poli, e che sono stati fondamentali per la mia salute mentale in questi anni, sempre pronti a condividere una birra e a passare belle serate insieme.

## Indice

$\mathbf{E}$	lenco	delle figure	5									
1	Inti	roduzione	9									
<b>2</b>	Effi	cienza energetica	12									
	2.1	Riferimenti legislativi	12									
		2.1.1 In Europa	12									
		2.1.2 In Italia	14									
	2.2	Riqualificazioni: possibili interventi	17									
3	Cas	so Studio	21									
	3.1	Progetto Energheia	21									
	3.2	Comunità Energetica Pinerolese	23									
	3.3	Il condominio di via Bertairone, Pinerolo	27									
		3.3.1 Località	27									
		3.3.2 Dati Climatici	28									
		3.3.3 Contratto di riqualificazione	29									
	3.4	Situazione ante-operam	31									
		3.4.1 Diagnosi Energetica	32									
	3.5											
		3.5.1 Fotovoltaico	46									
		3.5.2 Isolamento termico	48									
		3.5.3 Impianto di riscaldamento (pdc)	48									
		3.5.4 Sistema di gestione e monitoraggio (SCS)	51									
	3.6	Situazione post-operam	55									
4	Ana	alisi e modellazione a riqualificazione ultimata	57									
	4.1	Modellazione dell'edificio	57									
		4.1.1 Energy Plus e Design Builder	58									
		4.1.2 Modellazione	60									
		4.1.3 Risultati	68									
	4.2	Dati della stagione invernale 2018/2019	72									

	4.3 I dati reali, della modellazione e della diagnosi a confronto	81
5	Possibilità e prospettive per il parco immobili italiano	88
6	Conclusioni	92
$\mathbf{A}$	Schede tecniche A.1 Scheda tecnica moduli fotovoltaici	97 99
В	Grafici completi	103

# Elenco delle figure

1.1	Consumo energetico italiano per settori	10
2.1	Schema delle leggi italiane in recepimento delle direttive europee	15
2.2	Obiettivi della SEN per le fonti rinnavabili per il 2030	16
3.1	Distribuzione degli impianti fotovoltaici nel pinerolese [18]	24
3.2	Comuni inclusi nella Comunità Energetica Pinerolese	26
3.3	Mappa di Pinerolo [21]	28
3.4	Le Zone Climatiche	29
3.5	Schema del contratto Energia Plus [25]	30
3.6	Vista frontale del condominio[25]	32
3.7	Vista posteriore del condominio[25]	33
3.8	Serramenti prima dell'intervento[25]	34
3.9	I livelli di dettaglio della simulazione rispetto ai dati in ingresso	36
3.10	Fornitura termica nei periodi di riscaldamento	37
3.11	Calcolo dei gradi giorno reali	39
3.12	Confronto tra i gradi giorno reali e teorici	40
	Consumi termici relativi ai GG teorici	40
3.14	Andamento dei consumi e della baseline termica	41
3.15	Stratigrafie delle componenti opache dell'involucro edilizio	43
3.16	Impalcature a lavori in corso[25]	45
	Fotovoltaico installato[25]	46
	Modulo fotovoltaico FuturaSun	47
	L'impianto fotovoltaico nella modellazione	47
3.20	Tariffe definite dal D.M. 24/12/2014	48
	Cappotto sulle pareti verticali	49
	Serramenti	49
	Schema dell'impianto idraulico	51
	Ciclo ad iniezione di vapore	52
	La pompa di calore HIdROS	52
	La pompa di calore nel giardino di via Bertairone	53
	Schede SCS installate	53

3.28	Software TR10
3.29	Software F4
	Software F4web, sottocentrale termica
3.31	Vista frontale del condominio al termine degli interventi 50
4.1	Energy Plus - Moduli integrati
4.2	Confronto tra le temperature medie giornaliere 6
4.3	Confronto tra le temperature minime giornaliere 69
4.4	Modello 3D
4.5	Modello 3D - frontale
4.6	Schede di Design Builder
4.7	Panoramica della scheda Attività 6
4.8	Panoramica della scheda Costruzione 6
4.9	Panoramica della scheda Aperture 6
4.10	Panoramica della scheda HVAC
4.11	Panoramica della scheda Generazione 6
4.12	Assorbimento elettrico e generazione fotovoltaica
4.13	Radiazione solare oraria dei dati meteo del software
4.14	Cumulata della generazione fotovoltaica annuale
4.15	Fabbisogno termico giornaliero annuale
4.16	Cumulata del fabbisogno termico annuale
4.17	Cumulate dell'energia termica ed elettrica
4.18	25 novembre - 1 dicembre, con pompa di calore attiva
4.19	9 - 15 gennaio, con pompa di calore attiva
4.20	28 gennaio - 3 febbraio, con pompa di calore spenta
4.21	19-26 marzo, con pompa di calore attiva
4.22	16-22 aprile, spegnimento dell'impianto
4.23	Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico
4.24	Energia giornaliera prodotta dall'impianto fotovoltaico 8
4.25	Cumulata generazione fotovoltaica e valori stimati dalle analisi 8
4.26	Produzione fotovoltaica giornaliera reale e modellazione 8
4.27	Fabbisogno termico per il riscaldamento
4.28	Fabbisogno elettrico della pompa di calore
5.1	Periodo di costruzione degli edifici residenziali italiani [30] 89
5.2	Termografie di edifici con basse efficienze energetiche
5.3	Sistema di controllo sugli APE degli edifici

#### Sommario

Il presente lavoro di tesi è stato possibile grazie alla collaborazione con la Tecnozenith srl, società con sede a Saluzzo, certificata ESCo UNI CEI 11352.

L'elaborato tratta di un condominio sito a Pinerolo, in provincia di Torino, la cui riqualificazione energetica è stata affidata alla Tecnozenith e, in particolare, al progetto Energheia, nato dalla collaborazione tra questa e ACEA Pinerolese. Il lavoro mette a confronto i dati reali della prima stagione di riscaldamento dall'attivazione degli impianti dopo la riqualificazione (2018/2019) con quelli prodotti con una simulazione dinamica tramite un software di modellazione e quelli stimati in fase di progettazione degli interventi, presentati nella diagnosi energetica.

La presente tesi è articolata come segue.

Il primo capitolo consiste in una introduzione alla situazione attuale generale e, più in particolare, al caso studio in analisi.

Il secondo capitolo prende in analisi il quadro legislativo europeo e italiano presentando le principali normative di carattere energetico-ambientale, con particolare attenzione all'efficienza energetica del parco edilizio. Dopodichè vengono mostrate alcune tra le principali possibilità di intervento di retrofit per quanto riguarda gli involucri edilizi, i sistemi di riscaldamento e ventilazione e le fonti rinnovabili.

Il terzo capitolo introduce il caso studio presentando il progetto Energheia, la Comunità Energetica Pinerolese e i dati della località e climatici. Successivamente viene affrontato il caso studio nello specifico, con la presentazione della situazione pre-retrofit, della diagnosi energetica con le proposte di intervento, l'analisi degli interventi realizzati all'atto pratico e, infine, la situazione a conclusione dei lavori di riqualificazione.

Il quarto capitolo presenta in un primo momento i dati reali, risultato del monitoraggio degli impianti del condominio durante l'intera stagione invernale, e la simulazione dinamica dell'edificio tramite software con i dati prodotti da quest'ultima. Poi i dati reali e le stime della modellazione e della diagnosi vengono confrontati per appurare l'accuratezza delle analisi.

Il quinto capitolo presenta il quadro generale degli immobili italiani e la necessità di aumentare considerevolmente il numero di interventi di riqualificazione annui,

anche in ottica del raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico nazionali e comunitari.

Il sesto e ultimo capitolo raccoglie le considerazioni conclusive dell'elaborato.

## Capitolo 1

### Introduzione

É stato appurato, ormai da tempo, come l'eccessivo consumo di combustibili fossili e il riscaldamento globale siano connessi. Il petrolio, il gas naturale e il carbone hanno consentito una crescita esponenziale dei consumi a partire dagli ultimi anni dell'Ottocento e, con questi, una crescita esponenziale delle emissioni di CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM10 e molti altri inquinanti, primari e secondari, alcuni direttamente tossici per la salute umana e altri, per le alte concentrazioni in atmosfera raggiunte ad oggi, causa di imprevedibili cambiamenti nel sistema planetario. Risulta quindi necessario e quanto mai urgente ridurre le emissioni di gas climalteranti sostituendo le fonti energetiche fossili con quelle rinnovabili oggi a disposizione e, sempre di più, competitive anche dal punto di vista economico. Soprattutto perchè la richiesta mondiale di energia, a causa della crescita costante della popolazione e della progressiva industrializzazione dei paesi emergenti, risulta in continuo aumento.

La consapevolezza di questi aspetti sta portando la politica internazionale e, sempre di più, anche i cittadini verso una consapevolezza e un'attenzione alla sostenibilità, al risparimio energetico e alle fonti rinnovabili. Il primo passo in questa direzione, a livello internazionale, è stato fatto nel 1997 con il *Protocollo di Kyoto* e l'ultimo è rappresentato dall'*Accordo di Parigi* del 2015. I pilastri portanti di questi accordi sono la transizione verso le fonti energetiche rinnovabili, l'efficienza e il risparmio energetico con l'obiettivo finale di contenere il riscaldamento globale.

La diffusione sempre maggiore delle fonti energetiche rinnovabili e della generazione distribuita richiede un adeguamento del sistema energetico che deve adattarsi alla bidirezionalità dei flussi energetici. In questo contesto, per alleggerire il sistema di trasporto energetico dallo stress della generazione distribuita, possono assumere un ruolo chiave le *Comunità Energetiche*, le quali incentivano l'autoconsumo e l'efficientamento dei sistemi all'interno dei propri territori e riducono al minimo il prelievo di energia primaria dalla rete nazionale. La completa decarbonizzazione del sistema elettrico è uno dei primi obiettivi da raggiungere e, in Italia, la chiusura delle ultime centrali a carbone è prevista dalla Strategia Energetica Nazionale per

il 2025. Diventa quindi fondamentale continuare a incentivare e favorire l'installazione di nuovi impianti energetici rinnovabili. Nel 2018 la potenza installata di fonti rinnovabili nel mondo è aumentata, soprattutto grazie alla Cina, proseguendo l'andamento positivo degli ultimi anni. Anche in Italia è aumentata la potenza installata, ma solamente di 1 GW circa, e, per la prima volta, si è riscontrato un calo nella produzione totale annua di tutte le nuove rinnovabili (non considerando l'idroelettrico) [1]. Questo fenomeno è dovuto al fatto che i nuovi impianti installati non sono sufficienti a sopperire alla perdita di efficienza di quelli più datati. Alla luce di ciò occorre aumentare l'installazione di tutte le fonti energetiche rinnovabili, incentivando la diversificazione delle fonti, così da aumentare la sicurezza e la stabilità del sistema energetica nazionale.

Anche il risparmio e l'efficientamento energetico hanno un ruolo fondamentale nelle politiche energetiche e nella riduzione delle emissioni di gas serra. Grandi risultati possono essere raggiunti tramite la riqualificazione energetica del parco edilizio, con importanti riduzioni di fabbisogno di energia primaria, efficientamento dei sistemi energetici e penetrazione delle fonti energetiche rinnovabili, in particolare solare termico e fotovoltaico. Nell'Unione Europea gli edifici sono responsabili di circa il 40% del consumo di energia primaria e circa tre quarti di questi è energeticamente inefficiente. In linea con l'Europa, l'Italia vede poco meno del 40% del consumo di energia a carico del settore domestico, commerciale e della pubblica amministrazione, come riporta l'ISTAT [2] (figura 1.1). Dei 46,89 milioni di tonnellate

<u>Tipo dato</u>		impieghi finali (tonnellate equivalenti di petrolio - valori espressi in milioni)						
Seleziona periodo		2012	2013	2014	2015	2016		
		<b>▲</b> ▼	<b>▲</b> ▼	<b>▲</b> ▼	<b>▲</b> ▼	<b>▲ ▼</b>		
Settore uso								
agricoltura		2.78	2.74	2.72	2.80	2.82		
industria		30.19	28.18	27.93	27.01	27.14		
trasporti		38.56	37.82	38.12	38.77	38.94		
usi civili	•	46.89	49.51	43.42	47.46	46.89		
usi non energetici		6.49	5.91	5.30	5.50	5.56		
bunkeraggi		2.96	2.43	2.29	2.60	2.95		
totale		127.86	126.59	119.77	124.11	124.30		

Figura 1.1: Consumo energetico italiano per settori

di petrolio equivalente (al 2016) il 70-75% viene consumato per il soddisfacimento del fabbisogno di riscaldamento e climatizzazione.

Una prima risposta, da parte dello stato, che vuole essere un esempio virtuoso,

è rappresenta dal *PREPAC* (Programma per la Riqualificazione Energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale) che ha come obiettivo la riqualificazione energetica di almeno il 3% annuo della superficie degli edifici pubblici [3]. L'Italia, inoltre, ha, nei suoi edifici, un altissimo valore culturale sociale e storico che rende necessario, in fase di riqualificazione energetica, un approccio mirato a tutelare e rinnovare questo valore, rispettando i vincoli esistenti.

## Capitolo 2

## Efficienza energetica

L'efficienza energetica e la transizione verso fonti di energia rinnovabili sono, come già detto, dei passaggi fondamentali per portare il mondo verso la sostenibilità in ogni settore delle attività umane. L'Europa, da questo punto di vista, è uno dei leader mondiali e si pone ambiziosi obiettivi di risparmio ed efficientamento energetico e di penetrazione delle rinnovabili nel sistema energetico, puntando in primo luogo alla decarbonizzazione di quest'ultimo. Questi obiettivi sono in linea con quelli degli accordi internazionali e, in alcuni casi, ancora più ambiziosi.

L'Unione Europea impone e ripartisce gli obiettivi ai paesi membri tramite le Direttive Europee (2.1.1) che vengono recepite da questi e attuate tramite leggi e strategie nazionali (2.1.2). Le leggi e le normative (2.1) hanno il compito di favorire e di incentivare gli interventi (2.2) atti a raggiungere gli scopi prefissati.

#### 2.1 Riferimenti legislativi

Il primo importante trattato a livello internazionale è stato redatto nel 1997 durante la COP3 (Conference Of Parties) e firmato da più di 180 paesi e prende il nome di Protocollo di Kyoto. Quindi è entrato in vigore nel 2005 con termine nel 2012 e prevede l'obbligo per i paesi firmatari di ridurre le emissioni di gas climalteranti rispetto a quelle del 1990. A Doha, nel 2012, durante la COP18 sono stati approvati gli obiettivi post-Kyoto, meno vincolanti e restrittivi, per il periodo 2013-2020. L'ultimo trattato realizzato, che pone gli obiettivi a partire dal 2020, è l'Accordo di Parigi, redatto durante la COP21, e vede l'adesione di 184 stati con lo scopo di contenere l'innalzamento delle temperaturea media ben al di sotto di 2 °C tramite una rapida riduzione delle emissioni globali [4].

#### 2.1.1 In Europa

L'Unione Europea, per dare seguito al Protocollo di Kyoto, nel 2009 ha ideato il *Piano 20 20 20* [5] che sarà valido dal 2013 al 2020. Con l'obiettivo di contrastare

i cambiamenti climatici, nel *Pacchetto Clima e Energia*, vengono posti tre obiettivi principali:

- 20% di riduzione delle emissioni di gas inquinanti rispetto al 2005
- 20% di riduzione del consumo di energia primaria
- 20% di aumento della quota di fonti rinnovabili nella produzione di energia

Per quanto riguarda il risparmio energetico ottenibile nel settore edilizio, ancora prima dell'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, l'Europa pubblicava la Direttiva 2002/91/CE intitolata Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) [6]. Lo scopo della direttiva era quello di favorire il miglioramento del rendimento energetico degli edifici dell'Unione introducendo un metodo di calcolo per il rendimento energetico degli edifici, la certificazione energetica, i requisiti minimi per le nuove costruzioni e le riqualificazioni.

Successivamente, con la *Direttiva 2009/28/CE* [7] viene favorita la diffusione delle fonti energetiche rinnovabili ponendo come obiettivo di ogni stato membro una quota di energia rinnovabile, calcolata in base alla situazione energetica nazionale al 2005, da raggiungere entro il 2020. La pianificazione per raggiungere gli obiettivi indicati deve essere presentata in un *Piano Energetico Nazionale* (PAN). Per l'Italia è stata fissata una quota del 17% considerando una produzione rinnovabile al 2005 pari al 5,2%.

Nel 2010 viene pubblicato l'aggiornamento del EPBD nella *Direttiva 2010/31/UE* chiamata infatti EPBD Recast [8]. Essa impone che gli stati fissino dei requisiti minimi di prestazione degli edifici, da riaggiornare ogni 5 anni. Ma soprattutto introduce la definizione di *nearly Zero Energy Building* (nZEB) ovvero:

un edificio ad altissima prestazione energetica [...]. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili [...].

Viene stabilito che a partire dal 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano nZEB e viene introdotto l'*Attestato di Prestazione Energetica* (APE).

La *Direttiva 2012/27/UE* viene pubblicata per eliminare gli impedimenti presenti nel mercato dell'energia favorendo l'efficienza dell'intero sistema energetico. Gli stati membri devono recepire le disposizioni e porre gli edifici pubblici a esempio impegnandisi a riqualificarne almeno il 3% annuo a partire dal 2014.

Un aggiornamento alla precedente Direttiva viene pubblicato nel 2016 con il pacchetto *Clean Energy for All Europeans* che ha lo scopo di mantenere l'Europa in una posizione di leadership nei mercati energetici mondiali ponendo tre obiettivi da raggiungere entro il 2030 [9]:

• 32,5% di miglioramento dell'efficienza

- 40% di riduzione delle emissioni
- 32% di produzione da fonti energetiche rinnovabili

L'ultima direttiva ad oggi pubblicata è la Direttiva 2018/844/UE, modifica della precedente Direttiva 2012/27/UE. Questa sottolinea l'importanza dell'efficienza energetica per il raggiungimento degli obiettivi climatici e la necessità di proseguire con la decarbonizzazione. In particolare viene richiesto agli stati di pianificare la riqualificazione del parco immobili fino al 2050 promuovendo interventi di efficienza energetica e rispettando i requisiti minimi sia per le costruzioni esistenti che per quelle nuove. Infine viene incentivata l'adozione di sistemi intelligenti di monitoraggio e regolazione degli impianti energetici che favoriscano l'ottimizzazione dei consumi.

#### 2.1.2 In Italia

L'Italia, ormai quasi trenta anni fa, con la Legge n.10 del 1991 [10], gettava le basi per la politica energetica nazionale presentando come soluzioni il risparmio e l'uso razionale dell'energia e lo sviluppo e la diffusione delle fonti energetiche rinnovabili. Con questa legge e le successive modifiche ed integrazioni, in particolare il D.P.R. 26 agosto 1993 n.412 [11], viene introdotta la divisione in zone climatiche del territorio nazionale sulla base dei gradi giorno a cui vengono abbinate informazioni sulla durata della stagione di riscaldamento, sulle ore giornaliere di accensione degli impianti e sulle temperature massime per gli ambienti riscaldati. Inoltre viene introdotta una classificazione degli edifici in base alla destinazione d'uso:

- Edifici adibiti a residenza e assimilabili
- Edifici adibiti a residenze collettive, a uffici e assimilabili
- Edifici adibiti a ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
- Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili
- Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili
- Edifici adibiti ad attività sportive
- Edifici adibiti ad attività scolastiche
- Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali

Con il *Decreto Legislativo 192/2005* [12] l'Italia recepisce la Direttiva 2002/91/CE (EPBD), stabilendo le modalità di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, lo sviluppo delle rinnovabili e il raggiungimento degli obiettivi ambientali.

Vengono introdotte le linee guida per la certificazione energetica degli edifici e stabilito l'obbligo di questa per i nuovi edifici o quelli che subiscono una importante riqualificazione. Inoltre, vengono indicati i requisiti dei professionisti per poter svolgere queste certificazioni e le ispezioni degli impianti.

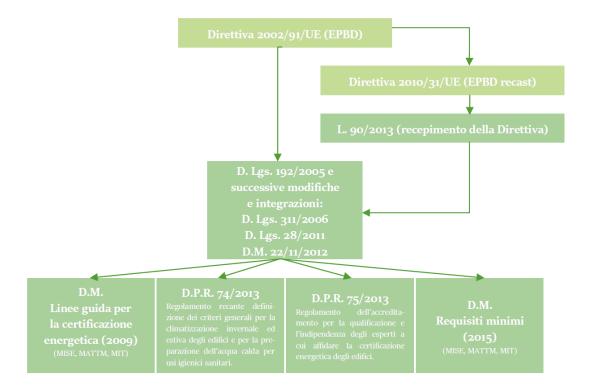


Figura 2.1: Schema delle leggi italiane in recepimento delle direttive europee

Il recepimento della Direttiva 2009/28/CE avviene con il *Decreto Legislativo* 28/2011 [13] il quale stabilisce le modalità di raggiungimento della quota obiettivo di penetrazione delle fonti rinnovabili nel sistema energetico entro il 2020. In questo modo vengono fissati gli obiettivi nazionali seguendo la ripartizione presente nella Direttiva Europea.

La Direttiva EPBC Recast viene recepita dalla Legge n.90 del 2013 [14] andando ad aggiornare il D.Lgs. 192/2005. Viene introdotta la definizione di edificio ad energia quasi zero (nearly Zero Energy Building - nZEB) e stabilito l'obbligo di presentazione dell'APE per tutti i contratti di vendita o affitto di un immobile.

Successivamente, l'emanazione del *Decreto Ministeriale 26 giugno 2015* [15] tratta la metodologia di calcolo delle prestazioni degli edifici pubblici e privati, definendo i requisiti minimi di prestazione, la redazione delle relazioni tecniche di progetto e le linee guida nazionali sulla certificazione energetica.

Un'altra importante norma è la Legge 221/2015 intitolata Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento

e l'uso eccessivo di risorse naturali. Con essa viene introdotta la possibilità di costituire delle Oil Free Zone, ovvero delle aree territoriali nelle quali, a seguito di un periodo di preparazione e di coinvolgimento delle utenze e delle istituzioni, si preveda la transizione progressiva dai combustibili fossili alle fonti energetiche rinnovabili. L'obiettivo di queste zone può essere perseguito attivando delle sperimentazioni che abbiano sempre la finalità di valorizzare il territorio locale e, una di queste sperimentazioni, può essere la realizzazione di comunità energetiche. Le Oil Free Zone sono disciplinate dalle regioni che devono porre particolare attenzione alle questioni della produzione dell'energia, dell'incentivo all'autoconsumo e dell'inserimento nel sistema di produzione della figura del prosumer.

Nel caso della regione Piemonte è stata pubblicata la Legge Regionale n.12 del 3 agosto 2018 intitolata Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche che verrà analizata nella sezione 3.2.

Infine, uno degli ultimi documenti a carattere energetico/ambientale pubblicati è la *Strategia Energetica Ambientale* (SEN), documento programmatico del 2017 di carattere generale che indica la direzione della politica nazionale in materia. Nella SEN viene rimarcato il ruolo decisivo del settore energetico nel percorso di sviluppo dell'Italia e si indicano alcune priorità per il 2030:

- efficienza energetica riduzione dei consumi di 10 MTep/anno
- fonti energetiche rinnovabili (figura 2.2)
- decarbonizzazione chiusura della produzione elettrica degli impianti termoelettrici a carbone al 2025
- sicurezza energetica integrazione delle rinnovabili e gestione della volatilità dei flussi
- ricerca ed innovazione aumentare gli investimenti in ricerca e sviluppo tecnologico clean energy

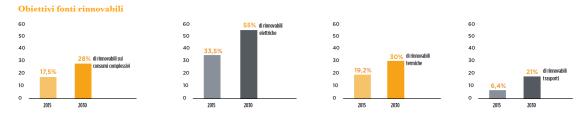


Figura 2.2: Obiettivi della SEN per le fonti rinnavabili per il 2030

#### 2.2 Riqualificazioni: possibili interventi

I possibili interventi per ridurre il fabbisogno energetico degli edifici e quindi ridurre i costi di approvvigionamento dell'energia sono innumerevoli e stanno aumentando sempre di più. Essi sono molto numerosi in quanto si rivolgono a tutti i settori della società, dal settore residenziale a quello industriale, dal terziario agli edifici pubblici. Gli interventi riguardanti il settore industriale saranno principalmente relativi ai processi di produzione specifici di ogni attività e per cui personalizzati di caso in caso. I principali obiettivi saranno il recupero dell'energia termica, anche a bassa temperatura, sfruttando i cascami termici, e la riduzione dell'assorbimento di energia elettrica tramite l'efficientamento dei sistemi. Gli interventi comuni a tutti i settori sono quelli che intervengono sul comfort ambientale degli occupanti, sull'involucro dell'edificio, sulla climatizzazione e sull'illuminazione degli spazi. Questi ambiti rappresentano il 100% dei costi di approvvigionamento energetico per il settore residenziale e possono arrivare a percentuali considerevoli anche nel terziario, dove in più intervengono gli assorbimenti della apparecchiature (da ufficio) presenti.

Per quanto riguarda l'ambito residenziale gli interventi [16] possibili e più frequentemente adottati sono:

- Interventi sull'involucro opaco: comprendendo sia le pareti verticali esterne che il tetto e il pavimento a contatto con il terrento o con le cantine. Questi permettono di ridurre il fabbisogno di energia sia in estate che in inverno minimizzando le perdite di calore e l'effetto dei ponti termici nei mesi più freddi e riducendo gli apporti solari nei mesi più caldi. Inoltre un maggiore isolamento termico corrisponde ad un migliore isolamento acustico con aumento del comfort abitativo. Le tecnologie costruttive diffuse in ambito residenziale si distinguono in base alla posizione dell'isolante rispetto al componente massivo della parete e le principali sono:
  - Parete con isolamento interno: riduce l'inerzia termica della parete e velocizza il processo di riscaldamento dell'ambiete. Viene usata quando la facciata esterna deve essere mantenuta necessariamente nelle condizioni originali.
  - Parete con isolamento in intercapedine: è la soluzione più diffusa in Italia. Molto spesso gli edifici più vecchi hanno delle pareti con intercapedine vuota e, per la riqualificazione, si procede all'insufflaggio di materiale isolante sfuso nell'intercapedine, così da non dover ricorrere a metodi più invasivi.
  - Parete con isolamento esterno (cappotto): è il metodo migliore per gli ambienti scaldati in continuo. Elimina quasi del tutto i ponti termici.

- Pareti e coperture ventilate: sfruttano il flusso d'aria, dovuto solitamente alla ventilazione naturale, per evitare la condensa e smaltire i flussi di calore.
- Interventi sull'involucro trasparente: si tratta di scegliere i migliori serramenti in base alla particolare situazione considerando l'orientamento e la percentuale di superficie trasparente in rapporto a quella opaca. L'involucro trasparente, oltre a garantire un adeguato isolamento termico, deve essere pensato per l'illuminazione naturale, il controllo del rumore e degli apporti solari. Esistono numerose tecnologie sia per la parte vetrata sia per i telai. Per la prima si fa riferimetno a finestre con doppi o tripli vetri con, nelle intercapedini, gas con minor conducibilità dell'aria (argon, esafluoruro di zolfo, kripton), inoltre le lastre di vetro possono subire trattamenti superficiali per ridurre l'emissività e controllare gli apporti solari. Per i telai le principali differenze sono nella scelta del materiale (PVC, legno, alluminio), nell'utilizzo di tecnologie di taglio termico e nella permeabilità all'aria.
- Interventi sui sistemi di ombreggiamento e schermatura solare: in base all'orientamento della superficie vetrata risulta fondamentale poter ricorrere a sistemi di ombreggiamento che limitino gli apporti solari in determinati periodi dell'anno e orari del giorno. I sistemi di schermatura possono essere esterni (tapparelle, persiane, tende da sole), interni o integrati nei serramenti. Nella maggior parte dei casi sono presenti le tapparelle avvolgibili o le persiane che possono essere utilizzate, oltre che come sistema di ombreggiamento, anche come ulteriore isolante durante le notti invernali.
- Interventi sulla produzione di energia termica: si può progettare l'impianto termico decidendo di adottare le migliori tecnologie per la produzione di energia termica:
  - Caldaia a condensazione: è ormai la soluzione standard minima per i nuovi edifici e per quelli che devono sostituire la vecchia caldaia.
  - Pompa di calore: può estrarre calore dall'aria esterna, dall'acqua o essere di tipo geotermico. Permette di rendere l'edificio indipendente dai combustibili fossili in quanto assorbe energia elettrica.
  - Pannelli solari termici: sono utilizzati come integrazione del sistema e spesso sono abbinati alla produzione di acqua calda sanitaria.
  - Teleriscaldamento: permette di delocalizzare le emissioni e di diminuirle grazie allo sfruttamento delle economie di scala e ai vincoli di legge.
- Interventi sull'impianto di riscaldamento lato utente: sono gli interventi più invasivi nel caso di una ristrutturazione perchè comportano lavori, non sempre

brevi, all'interno degli appartamenti. L'adozione di tecnologie a basse temperature permette di sfruttare al meglio i metodi di produzione termica sopra citati. Gli interventi riguardano l'adeguamento dei radiatori, aumentandone la taglia, oppure l'installazione di pannelli radianti o pavimenti radianti.

- Interventi sul sistema di ventilazione meccanica: questa tipologia di impianto in Italia è praticamente assente in ambito residenziale mentre è diffuso nel terziario. Grandi benefici possono essere ottenuti dalla semplice aggiunta di sistemi di monitoraggio e regolazione smart che ottimizzino e modulino il funzionamento dell'impianto.
- Interventi sull'illuminazione: la sostituzione delle sorgenti luminose obsolete con nuove sorgenti a LED permette un importante risparmio di energia elettrica. Inoltre possono essere installati dei sensori di presenza per la zone comuni o di passaggio in modo da limitare l'utilizzo dell'illuminazione a quando strettamente necessario.
- Interventi sui sistemi di monitoraggio e controllo: l'installazione di termovalvole e sensori ambientali di temperatura, e nei casi più sofisticati anche di qualità ambiantale, permettono di modulare gli interventi dell'impianto termico minimizzando i cicli di accensione e spegnimento e mantenendo un comfort costante. I sistemi, detti Building Management System, permettono anche di controllare a distanza i dati relativi all'impianto, programmare l'avvio dello stesso e rendicontare i consumi.
- Installazione di fonti energetiche rinnovabili: la soluzione più versatile e affermata è certamente quella dei pannelli fotovoltaici che possono essere installati pressochè ovunque e, per gli edifici di nuova costruzione, possono essere integrati nell'edificio stesso (Building Integrated Photovoltaic, BIPV). Altre soluzioni meno diffuse possono essere il mini-eolico e il mini-idroelettrico, che possono soddisfare diverse utenze. Queste soluzioni producono energia elettrica che può essere, nel migliore dei casi, autoconsumata (per esempio da una pompa di calore) o accumulata, con l'ausilio di sistemi di accumulo, o ancora immessa in rete.

Sarà comunque l'adozione combinata e la progettazione consapevole di tutte queste tecnologie e modalità di intervento a dare i risultati migliori.

Questi interventi possono essere attuati sia su edifici già esistenti e per i quali si opera una riqualificazione energetica, come per il caso studio trattato nel capitolo 3, oppure su edifici in costruzione. Ovviamente i risultati migliori si otterranno nel secondo caso in cui la progettazione degli impianti e l'adozione delle tecnologie più indicate può essere completamente volta a creare un edificio ad energia quasi zero (nearly Zero Energy Building - nZEB). Invece nel caso di riqualificazioni di edifici esistenti, la maggior parte dei quali costruiti molto prima delle prime direttive

contro lo spreco energetico, si dovranno raggiungere dei compromessi in base al grado di ristrutturazione e di investimento economico disponibili, nonchè in base allo stato della struttura e degli impianti esistenti.

## Capitolo 3

## Caso Studio

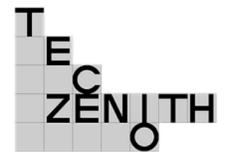
Il caso studio riguarda la riqualificazione energetica di un condominio sito in via Bertairone 49 a Pinerolo.

In questo capitolo verrà introdotto il caso studio oggetto e in particolare verranno presentati il progetto Energheia (sezione 3.1) che ha progettato, condotto e monitorato gli interventi sulla costruzione in analisi e la Comunità Energetica Pinerolese (sezione 3.2), nella quale rientra il condominio del caso studio. Poi, nella sezione 3.3, verranno presi in considerazione i dati propri della località in cui il condominio è situato e il tipo di contratto che è stato stipulato tra l'azienda e i condòmini. Infine verranno presentate le condizioni dell'immobile prima degli interventi (sezione 3.4), con particolare attenzione alle proposte di riqualificazione introdotte dalla diagnosi energetica (sezione 3.4.1), gli interventi per come sono stati sviluppati all'atto pratico (sezione 3.5) e le condizioni dell'immobile a fine lavori (sezione 3.6).

#### 3.1 Progetto Energheia



Il progetto Energheia nasce dalla collaborazione di due realtà piemontesi: Tecnozenith e Acea Pinerolese. Queste due aziende, tramite Energheia, propongono un servizio, rivolto agli edifici residenziali, di riqualificazione ed efficientamento energetico mettendo a garanzia la propria comprovata e pluriennale esperienza nel settore dell'energia. Le riqualificazioni di Energheia sono rivolte a tutti gli edifici, pubblici e privati, del pinerolese e del torinese ed, in particolare, a tutti coloro siano





- (a) Logo Tecnozenith
- (b) Logo Acea Pinerolese

o vogliano diventare clienti di Acea Pinerolese per quanto riguarda la fornitura di energia.

Proprio di questo servizio ha usufruito il condominio di Pinerolo oggetto del caso studio: esso rappresenta il *primo intervento* realizzato da Energheia, che, con la riqualificazione, ha reso l'edificio un esempio virtuoso di risparmio energetico e di transizione verso le fonti rinnovabili.

Il progetto Energheia ha due importanti finalità:

- contribuire alla transizione verso fonti energetiche rinnovabili e alla riduzione dei consumi tramite l'efficientamento
- riqualificare sul piano urbanistico il territorio, in particolare il pinerolese ma non solo

Entrambe le realtà che costituiscono il progetto Energheia offrono a garanzia delle proprie competenze e capacità la certificazione come *ESCo* UNI CEI 11352 (Energy Service Company). Le ESCo certificate sono attività con una capacità riconosciuta di gestione dell'energia e dei servizi energetici e possono svolgere diversi compiti:

- diagnosi energetiche
- verifica della rispondenza degli impianti
- studi di fattibilità con analisi tecnico/economiche
- progettazione e realizzazione di interventi
- conduzione degli impianti
- manutenzione e monitoraggio dei sistemi energetici
- gestione degli incentivi e dei finanziamenti pubblici
- certificazione energetica degli edifici

Inoltre le ESCo forniscono la garanzia che gli interventi raggiungano determinati obiettivi di risparmio energetico e possono offrire anche il servizio di *Finanziamento Tramite Terzi* che, a tutti gli effetti, permette al proprietario dell'immobile di ripagare gli interventi tramite i risparmi generati, senza dover affrontare la spesa dei lavori prima che essi inizino a produrre i vantaggi garantiti.

Una ESCo certificata è in definitiva un'impresa che fornisce tutti i servizi tecnici, finanziari e commerciali utili a realizzare la riqualificazione energetica, facendosi carico dell'investimento e del rischio di mancato risparmio.

#### 3.2 Comunità Energetica Pinerolese

Il caso studio in oggetto rientra nel progetto più ambizioso di creazione di una Comunità Energetica Pinerolese [17].

Le comunità energetiche consistono in una unione di utenze energetiche di varie tipologie (terziare, industriali, residenziali) che collaborano con lo scopo di conseguire benefici economici, ambientali e sociali rispondendo al proprio fabbisogno energetico. Allo sviluppo di queste comunità energetiche segue un cambio di paradigma, infatti, nel passato, le comunità locali vedevano il proprio fabbisogno energetico sopperito grazie alla rete nazionale, la quale si basava su un sistema centralizzato che utilizzava principalmente l'energia prodotta in grandi centrali elettriche alimentate da combustibili fossili, rese convenienti dalle economie di scala. L'energia così prodotta veniva e viene tuttora trasportata per grandi distanze dal sistema di distribuzione fino a raggiungere le utenze, a fronte di una perdita proporzionale alla distanza percorsa. Questa struttura centralizzata, oggi, sta lasciando sempre più spazio alle *smart grid* e al concetto di generazione distribuita dell'energia. Gli utenti non sono più dei semplici consumatori ma diventano consumatori/produttori, ovvero prosumer, contribuendo attivamente alla comunità energetica. Il successo delle smart grid è dovuto soprattutto allo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, ed in particolare del fotovoltaico, il quale permette una microgenerazione distribuita a prezzi sempre più competitivi. Nella figura 3.1 è possibile vedere la distribuzione degli impianti fotovoltaici nell'area del pinerolese alla fine del 2018.

La decentralizzazione della rete comporta una evoluzione del sistema verso un sistema ibrido, con possibili complicazioni per la rete di trasmissione e per la gestione, ma la creazione di smart grid e comunità energetiche può ridurre l'utilizzo della rete di trasmissione, puntando su efficienza e autoconsumo e, necessariamente, supera l'attuale sistema basato sui combustibili fossili affidandosi alle fonti energetiche rinnovabili (FER), rimanendo in linea con gli obiettivi europei e nazionali in materia energetico-ambientale.

Le comunità energetiche basate su fonti rinnovabili vengono dette *comunità* energetiche rinnovabili e presentano una serie di vantaggi sociali, ambientali ed

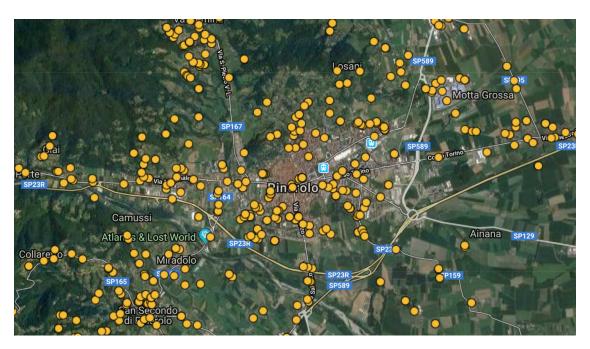


Figura 3.1: Distribuzione degli impianti fotovoltaici nel pinerolese [18]

economici che ricadono sul sistema nazionale, sul territorio delle comunità e sugli stessi utenti:

- riduzione delle perdite di trasmissione
- minore pressione e minori interventi di potenziamento sulla rete di distribuzione
- maggiore efficienza complessiva del sistema
- maggiore sicurezza e diversificazione energetica
- riduzione della dipendenza energetica da paesi esteri
- efficientamento energetico
- sviluppo delle industrie legate alle rinnovabili e creazione di posti di lavoro
- scelta oculata dei siti di produzione
- riduzione delle emissioni di gas climalteranti
- riduzione della dipendenza dai combustibili fossili
- benefici ambientali locali
- decisioni prese a livello locale con rappresentanti della comunità

- riduzione del costo dell'energia, della manutenzione e del trasporto
- accesso a contributi europei, statali, regionali
- possibilità di reinvestire parte dei ricavi nel territorio locale

Tutti questi vantaggi rendono più che mai appetibili le comunità energetiche e, per questo, la Regione Piemonte, il 3 agosto 2018, ha promulgato la Legge n.12 Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche [19] che ha come finalità promuovere la nascita di nuove comunità energetiche cui possono partecipare soggetti pubblici e privati. La legge pone obiettivi molto ambiziosi fissati nell'articolo 2 comma 2:

Le comunità energetiche acquisiscono e mantengono la qualifica di soggetti produttori di energia se annualmente la quota dell'energia prodotta destinata all'autoconsumo da parte dei membri non è inferiore al 70 per cento del totale.

Va notato come l'articolo non faccia distinzione tra energia elettrica e termica quindi l'energia da considerare sarà quella totale.

La legge stabilisce degli incentivi regionali per l'istituzione di nuove comunità energetiche ma anche delle sanzioni nel caso di mancato raggiungimento della quota di autoconsumo.

I dati sulla riduzione dei consumi energetici, la quota di autoconsumo e la quota di rinnovabili verranno analizzati da un Tavolo Tecnico, come previsto nell'articolo 5, che verificherà il buon andamento delle comunità imponendo, se necessario, gli opportuni aggiustamenti.

La Comunità Energetica Pinerolese comprenderà tutta l'area limitrofa la città di Pinerolo raggiungendo 47 comuni e circa 150 mila abitanti, su una superficie di 1348 chilometri quadrati (figura 3.2). In questa zona è già presente il Consorzio Pinerolese Energia (CPE) che raggruppa più di cento soci con capofila ACEA Pinerolese e, senza scopo di lucro, ha come obiettivo stimolare lo sviluppo tecnologico e organizzativo dei soci, aumentandone la competitività e la cooperazione per un rilancio dell'area pinerolese, come stabilito dallo Statuto del Consorzio [20].

La Comunità Energetica Pinerolese sarà basata sulle tecnologie rinnovabili e, in particolare, sul biogas prodotto dal trattamento dei rifiuti organici, sul fotovoltaico e sull'idroelettrico e la sua realizzazione, come quella di qualsiasi altra comunità energetica, prevede diverse fasi:

- Raccolta dati riguardanti tutte le fonti di produzione esistenti e le utenze
- Elaborazione dati fino ad ottenere il fabbisogno globale della comunità e gli andamenti di energia prodotta e consumata

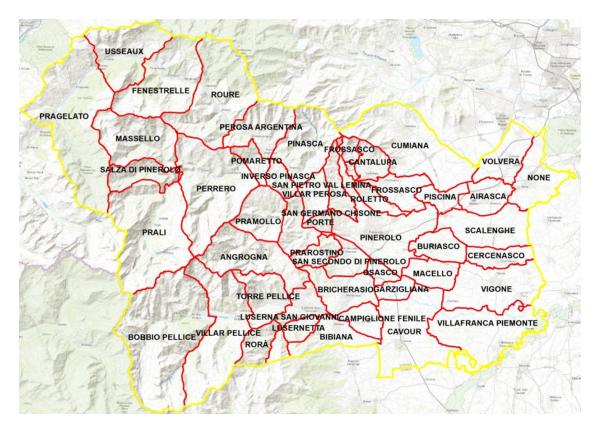


Figura 3.2: Comuni inclusi nella Comunità Energetica Pinerolese

- Analisi qualitativa tramite l'utilizzo di Indicatori di Prestazione (Key Performance Indicator, KPI) energetici, economici, ambientali e sociali. L'unico indicatore espressamente citato nella legge regionale n.12 del 2018 è quello riferito all'autoconsumo
- Individuazione degli interventi di preparazione del territorio, nella fase transitoria, e di installazione di nuovi siti produttivi, nella fase successiva.

Gli interventi di riqualificazione energetica, che permettono di diminuire la domanda di energia e contestualmente di installare nuovi impianti rinnovabili, rientrano in quest'ultimo punto, a cavallo tra la preparazione del territorio e la vera e propria attuazione della comunità energetica. L'intervento in analisi nel caso studio, la riqualificazione energetica del condominio di Pinerolo in via Bertairone 49, si inserisce proprio in questa fase in quanto consente all'utenza di diminuire considerevolmente il fabbisogno energetico e di passare da essere un semplice consumatore a essere un prosumer.

La fase di efficientamento, finalizzata alla diminuzione dei consumi, è fondamentale per poter rispettare il limite minimo di autoconsumo del 70%, stabilito dalla legge regionale. Il fabbisogno di energia è molto influenzato dalla quota dovuta al

riscaldamento degli edifici (in particolare ad uso ufficio e residenziali) e interventi diffusi di efficientamento permetterebbero di diminuire fortemente la domanda di energia oltre che di migliorare il comfort abitativo degli ambienti. Inoltre, risulta fondamentale effettuare una mappatura di tutti i potenziali partecipanti alla comunità energetica, per poter ottenere degli indicatori affidabili e poter individuare gli interventi di miglioramento, non solo in ambito residenziale e terziario, ma anche in quello industriale. Infine, per la realizzazione delle comunità energetica, è importante la partecipazione del settore privato come di quello pubblico, enti locali e comuni per primi.

#### 3.3 Il condominio di via Bertairone, Pinerolo

Il caso studio trattato in questa tesi rientra perfettamente nella fase di preparazione della comunità energetica pinerolese, che è stata analizzata nella sezione 3.2. Il caso in questione riguarda la riqualificazione energetica di un condominio di Pinerolo, baricentro della comunità energetica e, nelle seguenti sezioni, saranno introdotti i dati propri della città di Pinerolo e le normative che regolano questo genere di interventi. In particolare nella sezione 3.3.1 si analizzano le caratteristiche geografiche della località, nella sezione 3.3.2 vengono introdotte le caratteristiche climatiche relative al comune e, infine, nella sezione 3.3.3 si presentano le normative che regolano i contratti di riqualificazione energetica fra proprietari dell'immobile e società che realizza gli interventi e ne garantisce l'efficacia. Più avanti verranno trattate nel dettaglio le condizioni del condominio pre-retrofit e post-retrofit, con una attenta analisi della diagnosi energetica e degli interventi realizzati.

#### 3.3.1 Località

Pinerolo è un comune piemontese di circa 36.000 abitanti della città metropolitana di Torino, dalla quale dista circa 37 chilometri in direzione sud-ovest. É posto allo sbocco in pianura della Val Chisone e, per questo, il clima può essere classificato come prealpino. L'esatta posizione rispetto al capoluogo piemontese è visibile nella mappa in figura 3.3. Per la sua posizione rappresenta un punto di unione fra le economie montane della Val Chisone, Valle Germanasca e Val Pellice e la pianura ed è un importante centro di commerco scelto, infatti, come sede della Comunità montana Pinerolese, un ente che riuniva svariati comuni del territorio con lo scopo di favorire lo sviluppo della fascia prealpina salvaguardando il patrimonio culturale e ambientale (l'ente è stato soppresso nel 2012 con una legge regionale insieme alle altre comunità montane [22]).

I dati della localià sono i seguenti:

• Latitudine: 44°53'5" N

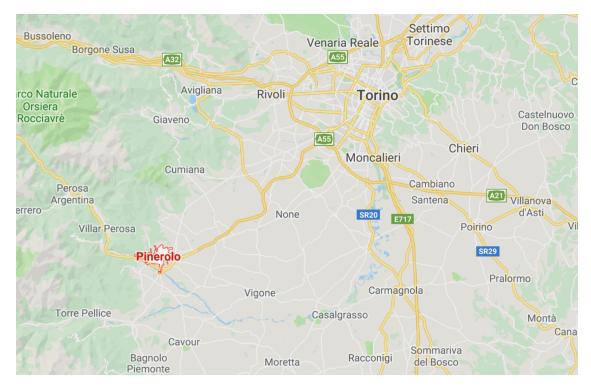


Figura 3.3: Mappa di Pinerolo [21]

• Longitudine: 7°20'3" E

• Altitudine: 376 m s.l.m. (minima 290 m, massima 1364 m)

• Superficie comunale: 50,34 km2

#### 3.3.2 Dati Climatici

I dati climatici [23] caratterizzano la località e stabiliscono il periodo di esercizio degli impianti di riscaldamento con lo scopo di contenere il consumo energetico. Il periodo di accensione degli impianti termici viene stabilito in base alla zona climatica che a sua volta si individua a partire dai Gradi Giorno (GG) secondo il D.P.R. 26 agosto 1993 n. 421 e successivi aggiornamenti. La definizione ed il calcolo dei Gradi Giorno verranno approfonditi nella sezione 3.4.1.

I dati climatici sono i seguenti:

• Gradi Giorno: 2815 GG

• Zona Climatica: E

• Periodo di riscaldamento convenzionale: 15 ottobre - 15 aprile

• Temperatura esterna di progetto: -8,8 °C

Sone presenti sei zone climatiche e tutti i comuni italiani rientrano in una di queste in base ai Gradi Giorno registrati senza considerare l'ubicazione geografica. Le zone climatiche e i rispettivi periodi di riscaldametno sono visibili nella figura 3.4. Si nota come il comune di Pinerolo rientri nel range di Gradi Giorno della zona climatica E 2100 < GG < 3000 e come, oltre al periodo di riscaldamento, venga indicato anche il numero di ore giornaliere massimo di funzionamento degli impianti.

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

Figura 3.4: Le Zone Climatiche

#### 3.3.3 Contratto di riqualificazione

Il contratto di riqualificazione energetica è un contratto Energia Plus, anche detto Contratto di rendimento energetico, introdotto per la prima volta dal Decreto Legislativo 115/2008 [24] e perfettamente riassunto nella figura 3.5. Questo contratto è un accordo vicolante tra il beneficiario e il fornitore, rispettivamente il condominio e la ESCo, tramite cui il primo affida al secondo il compito di progettare e realizzare i lavori e monitorare il sistema per tutta la durata del contratto stesso, al fine di raggiungere una percentuale di risparmio energetico prevista in fase di stipula. Il contratto è descritto nell'Allegato II del Decreto Legislativo di cui sopra, in particolare nel paragrafo 5, punto 1:

- 5. Requisisti e prestazioni del contratto servizio energia «Plus»
- 1. Ai fini della qualificazione come contratto servizio energia «Plus», un contratto deve includere [...] le seguenti prestazioni aggiuntive:
  - a) per la prima stipula contrattuale, la riduzione dell'indice di energia primaria per la climatizzazione invernale di almeno il 10 per cento rispetto al corrispondente indice riportato sull'attestato di certificazione [...];

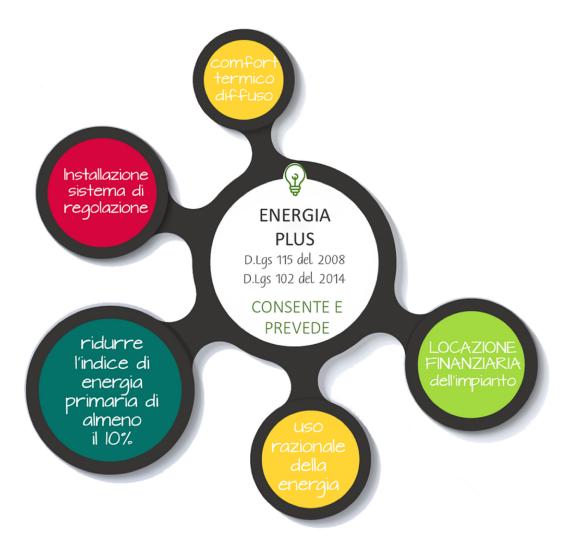


Figura 3.5: Schema del contratto Energia Plus [25]

- b) l'aggiornamento dell'attestato di certificazione energetica dell'edificio, [...];
- c) per rinnovi o stipule successive alla prima la riduzione dell'indice di energia primaria per la climatizzazione invernale di almeno il 5 per cento rispetto al corrispondente indice riportato sull'attestato di certificazione [...];
- *d)* l'installazione, laddove tecnicamente possibile, ovvero verifica e messa a numero se già esistente, di sistemi di termoregolazione [...].

Ricorrere a questo tipo di contratto presenta svariati vantaggi poichè permette di accedere all'*Ecobonus* anche nel caso in cui il beneficiario non disponga di sufficiente disponibilità economica, in quanto sarà il fornitore a farsi carico anche del rischio finanziario, ricorrendo a capitali propri o per mezzo del *Finanziamento* 

Tramite Terzi (FTT), il cui utilizzo è perfettamente introdotto nella guida dell'E-NEA Il ricorso al Finanziamento Tramite Terzi [26]. Il contratto Energia Plus, infatti, per quanto riguarda le detrazioni fiscali, è paragonabile ad un leasing e non inibisce il diritto ad accedere all'Ecobonus. Il beneficiario otterrà quindi un risparmio energetico garantito, senza dover affrontare l'investimento finanziario, il quale verrà ripagato alla ESCo con un canone annuale, generato dal risparparmio sulle bollette, fino all'estinzione del contratto. La durata del contratto, specificata nel paragrafo 6, punto 1 del Decreto, varia da un minimo di un anno ad un massimo di dieci anni ma può anche essere maggiore nel caso delle deroghe al punto 2. La ESCo manterrà la proprietà dell'impianto fino alla scadenza del contratto.

Un ulteriore e fondamentale vantaggio è la cessione del credito. L'Ecobonus, infatti, dà diritto al beneficiario del contratto alla restituzione di una percentuale variabile (50-65%) dei costi sostenuti per la riqualificazione energetica tramite uno sgravio fiscale sull'irpef per dieci anni. Per utilizzare questo meccanismo bisogna avere una consistente capienza irpef e si otterrà l'intera somma rateizzata nel tempo. Invece, con il contratto Energia Plus, il beneficiario può cedere al fornitore il credito, che sarà usato in compensazione, e sarà l'impresa stessa ad erogare al contribuente l'importo totale dello sgravio in un unica soluzione.

Alla scadenza del contratto i condòmini cesseranno di versare la quota annuale alla ESCo, diventeranno proprietari a tutti gli effetti dell'impianto e inizieranno a beneficiare pienamente dei risparmi energetici raggiunti. Inoltre, vedranno il valore dei propri immobili aumentato considerevolmente grazie alla nuova classe energetica raggiunta dopo gli interventi. Si stima che il passaggio di un edificio dalla classe energetica F alla A comporti fino a  $+500 \in /m^2$  di plusvalore immobiliare [27].

#### 3.4 Situazione ante-operam

Il caso studio analizza la riqualificazione energetica di un condominio di edilizia residenziale pubblica della metà degli anni Settanta sito in via Bertairone 49 a Pinerolo. L'edificio è una costruzione indipendente di cinque piani più uno interrato realizzata tramite pannelli prefabbricati che prima dell'intervento si presentava come un edificio popolare nella sua accezione più negativa, stando a significare un basso valore architettonico ed estetico e un comportamento energetico insoddisfacente, con conseguente scarso confort abitativo per i 32 appartamenti presenti (figure 3.6 e 3.7). Di questi 32 appartamenti, circa la metà appartengono alla Agenzia Territoriale per la Casa (ATC) mentre i restanti sono privati. Le inadeguatezze rispetto agli standard attuali sono evidenti, a partire dai serramenti a vetro semplice in alluminio (figura 3.8), fino all'isolamento termico insufficiente per le pareti verticali e assente per il piano cantina e il solaio.



Figura 3.6: Vista frontale del condominio[25]

Il progetto energetico, sviluppato per mezzo di una diagnosi energetica, presentata nella seguente sezione 3.4.1, si propone di intervenire sull'impianto termico e sull'involucro affrontando, così, sia l'aspetto energetico che quello estetico/architettonico.

#### 3.4.1 Diagnosi Energetica

La diagnosi energetica è uno strumento che ha l'obiettivo di ottenere una conoscenza completa del fabbisogno energetico, e del suo andamento nel tempo, di un edificio o di un gruppo di edifici, siano essi residenziali o ad uso terziario, o di un impianto industriale, permettendo di analizzare le opportunità si risparmio energetico per mezzo di interventi mirati. Tramite la diagnosi si riescono ad isolare i consumi energetici e le cause di spreco ottenendo indicatori di performance che facilitano l'individuazione dei possibili interventi e del loro valore economico, a fronte dell'utilizzo di dati adeguati al livello di dettaglio voluto.

Riferimenti legislativi e normativi La diagnosi energetica è stata resa obbligatoria per molti settori con il *Decreto Legislativo 102/2014*, attuazione della Direttiva Europea 2012/27/UE sull'efficienza energetica, già analizzata nella sezione 2.1.1. Successive modifiche e integrazioni sono state apportate al decreto appena citato con il *D.lgs. 141/2016*.

Fondamentale risulta l'Articolo~4 del Decreto 102/2014 e, in particolare, i $commi~1,~2~e~3\colon$ 

Art. 4 Promozione dell'efficienza energetica negli edifici



Figura 3.7: Vista posteriore del condominio[25]

- 1. L'ENEA [...] elabora una proposta di interventi di medio-lungo termine per il miglioramento della prestazione energetica degli immobili [...].
- 2. La proposta di interventi di cui al comma 1 riguarda gli edifici, sia pubblici che privati, e comprende almeno:
  - a) una rassegna del parco immobiliare nazionale [...];

...

• c) un elenco aggiornato delle misure, esistenti e proposte, di incentivazione, di accompagnamento e di sostegno finanziario messe a disposizione da soggetti pubblici e privati per le riqualificazioni energetiche e le ristrutturazioni importanti degli edifici [...];

..

• e) una stima del risparmio energetico e degli ulteriori benefici conseguibili annualmente per mezzo del miglioramento dell'efficienza energetica del parco immobiliare nazionale basata sui dati storici e su previsioni del tasso di riqualificazione annuo;



Figura 3.8: Serramenti prima dell'intervento[25]

3. Le proposte di cui al comma 1 tengono conto del Piano d'azione destinato ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero [...] e del programma di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione centrale [...].

Anche gli articoli successivi del Decreto risultano essere significativi già a partire dal titolo degli stessi:

- Art. 5 Miglioramento della prestazione energetica degli immobili della pubblica amministrazione;
- Art. 7 Regime obbligatorio di efficienza energetica;
- Art. 8 Diagnosi energetiche e sistemi di gestione dell'energia;
- Art. 10 Promozione dell'efficienza per il riscaldamento e il raffreddamento;
- Art. 14 Servizi energetici ed altre misure per promuovere l'efficienza energetica;
- Art. 15 Fondo nazionale per l'efficienza energetica.

Dall'analisi del precedente decreto si nota come l'attenzione per i comportamenti energetici virtuosi sia alta e si punti ad una massiccia diminuzione dei consumi energetici nazionali.

Alla diffusione della pratica di diagnosi energetica sono seguite le norme tecniche che indicano i corretti passaggi per la redazione della stessa, la  $UNI\ CEI/TR$ 

11428 prima e la UNI CEI EN 16247 [28] poi. La 11428 introduceva una serie di indicazioni e linee guida generali che hanno standardizzato la redazione delle diagnosi energetiche ma è con la 16247 che viene introdotta la metodologia di regole per la redazione di diagnosi di ogni tipo. Entrando più nel dettaglio la norma è divisa in cinque parti:

- 1. Requisiti generali
- 2. Edifici
- 3. Processi
- 4. Trasporti
- 5. Competenze degli energy auditor

Ogni parte entra nel merito delle diagnosi di un certo settore, eliminando qualsiasi possibile fraintendimento e limitando al minimo le libere interpretazioni, in modo da uniformare il più possibile gli elaborati dei professionisti del settore. L'unico settore che ancora non è incluso nella norma è quello della abitazioni monofamiliari.

I possibili interventi di retrofit individuati dalla diagnosi energetica possono essere divisi, sempre secondo la norma UNI 16247, in varie categorie:

- Misure ad alto costo
- Misure a basso costo
- Requisiti di comfort ambientale
- Informazione, coinvolgimento e formazione

Facendo riferimento invece solamente agli interventi di ristrutturazione veri e propri, viene introdotta un'altra classificazione dal  $Decreto\ Ministeriale\ 26/06/2015\ [29]$ :

- Ristrutturazione importante di primo livello: Intervento che interessa gli elementi e i componenti dell'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 50 per cento della superficie lorda dell'edificio e comporta il rifacimento dell'impianto termico;
- Ristrutturazione importante di secondo livello: Intervento che interessa gli elementi e i componenti dell'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie lorda dell'edificio e può comportare il rifacimento dell'impianto termico;
- Riqualificazione energetica: Intervento di minore portata rispetto ai casi precedenti ma che comporti comunque una diminuzione del fabbisogno energetico.

Per sviluppare una adeguata diagnosi si ricorre sempre più spesso alla simulazione energetica degli edifici che può essere utile sia per scopi diagnostici sia per prevedere possibili risparmi energetici. Uno dei metodi più significativi è sicuramente la simulazione dell'intero edificio, tramite software di simulazione, per creare un modello del fabbisogno energetico dell'immobile. Questa simulazione viene normalmente sviluppata prima dei lavori di efficientamento e, con lo sviluppo del modello, si ipotizza la domanda di energia nelle condizioni di post-operam, andando così a valutare quali potrebbero essere le conseguenze, positive e negative, di un determinato intervento di riqualificazione. Come ovvio, l'accuratezza della simulazione diminuisce all'aumentare della complessità del sistema simulato. Va-

Dati di input disponibili					
Dollotto	Dati	Sopralluoghi	Audit	Monitoraggio di	Monitoraggio di
bollette	As-Built	e ispezioni	dettagliato	breve termine	lungo termine
X	X				
X	X	X			
X	X	X	X		
X	X	X	X	X	
X	X	X	X	X	X
	X X X	Sollette As-Built  X X X X X X X X X X X X	BolletteDati As-BuiltSopralluoghi e ispezioniXXXXXXXXXXXXXX	BolletteDati As-BuiltSopralluoghi e ispezioniAudit dettagliatoXXXXXXXXXXXXXXXXXX	BolletteDati As-BuiltSopralluoghi e ispezioniAudit dettagliatoMonitoraggio di breve termineXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Figura 3.9: I livelli di dettaglio della simulazione rispetto ai dati in ingresso

riando la quantità e la qualità dei dati di ingresso si può variare il livello di dettaglio dell'analisi, ma più il modello sarà complesso e dettagliato, maggiore sarà il costo della modellazione. I diversi livelli di dettaglio sono visibili nella figura 3.9.

La diagnosi energetica nel caso studio La diagnosi energetica del caso studio [31] può essere considerata ad un livello di dettaglio tra 1 e 2, secondo la classificazione della figura 3.9. Essa, già nella premessa, esprime l'interesse nell'analizzare la fattibilità di un sistema di riscaldamento basato su una pompa di calore e su sistemi di coibentazione delle pareti esterne e sostituzione dei serramenti.

La ricerca di risparmio energetico va di pari passo con quella di risparmio economico e gli interventi che verranno realizzati saranno, ovviamente, solo quelli economicamente sostenibili.

La diagnosi energetica prende in esame per prima cosa i dati relativi alla località e i dati climatici, già analizzati rispettivamente nella sezione 3.3.1 e nella sezione 3.3.2. Successivamente passa ad analizzare la situazione energetica pre-retrofit grazie ai dati delle bollette del gas, che provvede a soddisfare l'intero fabbisogno termico dell'edificio. Le bollette raccolgono i dati di tre stagioni di riscaldamento, in particolare la stagione 2014 - 2015, quella 2015 - 2016 ed infine quella 2016 - 2017. La tabella in figura 3.10 riassume il consumo totale di metri cubi di gas per il fabbisogno termico del condominio, quindi i kWh erogati mensilmente e la potenza

Periodo	m³ gas	costo gas	Tot (con_IVA)	energia	consumata	giorni riscaldamento	potenza media mensile
Periodo	[m³]	[€/m³]	[€]	[kWh]	[kJ]	mensili	[kW]
ott-14	872,62	0,6412	682,62	8350,97	30063504,24	17	35,09
nov-14	3268,41	0,6412	2.556,76	31278,68	112603261,32	30	74,47
dic-14	4968,61	0,6412	3.886,76	47549,60	171178551,72	31	109,56
gen-15	5260,89	0,6412	4.115,40	50346,72	181248182,28	31	116,01
feb-15	4634,44	0,6412	3.625,36	44351,59	159665726,88	28	113,14
mar-15	3377,36	0,6412	2.641,99	32321,34	116356806,72	31	74,47
apr-15	1005,67	0,6412	786,70	9624,26	34647342,84	15	45,83
TOT 14-15	23388,00	-	18.295,59	223823,16	805763376,00	183	-
ott-15	1364,83	0,6412	1.067,66	13061,42	47021123,16	17	54,88
nov-15	3873,15	0,6412	3.029,83	37066,05	133437763,80	30	88,25
dic-15	5179,39	0,6412	4.051,65	49566,76	178440344,28	31	114,21
gen-16	5482,08	0,6412	4.288,43	52463,51	188868620,16	31	120,88
feb-16	4341,84	0,6412	3.396,47	41551,41	149585071,68	29	102,34
mar-16	3800,46	0,6412	2.972,96	36370,40	130933447,92	31	83,80
apr-16	1025,25	0,6412	802,02	9811,64	35321913,00	15	46,72
TOT 15-16	25067,00	-	19.609,01	239891,19	863608284,00	184	-
ott-16	1280,43	0,6412	1.001,63	12253,72	44113374,36	17	51,49
nov-16	3645,47	0,6412	2.851,72	34887,15	125593732,44	30	83,06
dic-16	4981,14	0,6412	3.896,57	47669,51	171610235,28	31	109,84
gen-17	5790,58	0,6412	4.529,76	55415,85	199497062,16	31	127,69
feb-17	4049,19	0,6412	3.167,54	38750,75	139502693,88	28	98,85
mar-17	2615,10	0,6412	2.045,70	25026,51	90095425,20	31	57,66
apr-17	964,09	0,6412	754,17	9226,34	33214828,68	15	43,93
TOT 16-17	23326,00	-	18.247,09	223229,82	803627352,00	183	-

Figura 3.10: Fornitura termica nei periodi di riscaldamento

media mensile basata su una domanda di quattordici ore al giorno. Inoltre due colonne vengono dedicate alla parte economica presentando il costo specifico del gas e il costo totale comprensivo di IVA.

Un altro importante fattore che si vuole ottenere è il consumo specifico rispetto ai metri cubi dell'edificio. Per trovarlo serve conoscere anche l'ammontare dei Gradi Giorno (GG) durante la stagione di riscaldamento. Il grado-giorno di una località è una grandezza che aiuta a stimare il fabbisogno energetico necessario per mantenere un comfort abitativo adeguato nell'edificio. Il totale dei Gradi Giorno si individua come la somma, estesa a tutti i giorni del periodo annuale di riscaldamento, degli incrementi giornalieri necessari a raggiungere la soglia di 20°C rispetto alla temperatura esterna media [23]. Questa grandezza può essere sfuttata per vari scopi:

 Individuare la zona climatica della località in esame (per Pinerolo si veda la sezione 3.3.2);

- Definire la durata del periodo di accensione degli sistemi di riscaldamento centralizzati (3.4);
- Definire i requisiti di efficienza energetica per edifici di nuova costruzione o soggetti a riqualificazione.

Per calcolare i GG di una località si procede misurando i valori delle temperature medie giornaliere, registrando tutti i valori, a partire dal primo giono autunnale in cui la temperatura media giornaliera è minore di 12°C fino ad arrivare all'ultimo giono primaverile in cui la temperatura è ancora inferiore a questa soglia, come  $t_{ej}$ . Quindi si procede a sommare tutte le differenze secondo la seguente formula:

$$GG = \sum_{j=1}^{N} (20 - t_{ej})$$

I Gradi Giorno teorici di riferimento vengono calcolati mediando il valore su numerosi anni di dati termici registrati, nel caso di Pinerolo, come visto nella sezione 3.3.2, sono 2815. Da questo valore si possono quindi discostare i valori reali rilevati per il singolo periodo di riscaldamento.

Il passo successivo della diagnosi energetica è proprio il calcolo dei gradi giorno reali per le tre stagioni di riscaldamento in analisi. Per diminuire la quantità di dati da analizzare si utilizza la temperatura media mensile, anzichè quella giornaliera, la quale viene sottratta alla temperatura di riferimento per trovare la differenza media mensile. Poi, essendo già a conoscenza della zona climatica del comune di Pinerolo e sapendo quindi la durata del periodo riscaldamento, si moltiplica la differenza media mensile per i giorni mensili di riscaldamento trovando così i gradi giorno mensili e quindi il totale per l'intera stagione. I risultati delle operazioni appena descritte sono visibili nella figura 3.11 mentre il grafico in figura 3.12 evidenzia le differenze fra i tre periodi analizzati e la distribuzione convenzionale dei gradi giorno teorici. Una volta ottenuti i gradi giorno reali, conoscendo la volumetria totale dell'edificio  $8985,25m^3$ , possiamo ottenere i consumi specifici delle varie stagioni di riscaldamento e il consumo specifico medio, come si vede nella tabella 3.1. Con il

Tabella 3.1: Consumi specifici

Periodo	Consumo specifico $[kWh/kGG/m^3]$
2014/2015	11,16
2015/2016	11,56
2016/2017	10,70
Valore medio	11,27

Periodo	T media mensile	T riferimento	ΔT medio	giorni riscaldamento	gradi giorno
	[C°]	[C°]	[C°]	mensili	[GG]
ott-14	15,1	20	4,9	17	83,3
nov-14	9,6	20	10,4	30	312,0
dic-14	4,7	20	15,3	31	474,3
gen-15	3,8	20	16,2	31	502,2
feb-15	4,2	20	15,8	28	442,4
mar-15	9,6	20	10,4	31	322,4
apr-15	13,6	20	6,4	15	96,0
TOT 14-15	-	-	-	-	2232,6
ott-15	12,6	20	7,4	17	125,8
nov-15	8,1	20	11,9	30	357
dic-15	4,6	20	15,4	31	477,4
gen-16	3,7	20	16,3	31	505,3
feb-16	6,2	20	13,8	29	400,2
mar-16	8,7	20	11,3	31	350,3
apr-16	13,7	20	6,3	15	94,5
TOT 15-16	-	-	-	-	2310,5
ott-16	12,5	20	7,5	17	127,5
nov-16	7,9	20	12,1	30	363
dic-16	4,0	20	16,0	31	496
gen-17	1,4	20	18,6	31	576,6
feb-17	5,6	20	14,4	28	403,2
mar-17	11,6	20	8,4	31	260,4
apr-17	13,6	20	6,4	15	96
TOT 16-17	-	-	-	-	2322,7

Figura 3.11: Calcolo dei gradi giorno reali

consumo specifico medio e i GG teorici si può calcolare l'ammontare dei kWh consumati in un periodo di riscaldamento convenzionale che costituiranno la baseline termica:

$$Consumo_{baseline} = \frac{2815*11,\!27*8985,\!25}{1000} = 285133,\!38kWh$$

I dati, visibili nella tabella in figura 3.13, sono stati inseriti in un grafico per renderli più facilmente comprensibili (figura 3.14). Si nota immediatamente come l'andamento della baseline termica sia del tutto simile a quello dei consumi nelle tre stagioni di riscaldamento in analisi ma con valori sempre superiori al maggiore dei consumi reali. Questo comportamento è semplicemente giustificabile alla luce dell'ammontare dei Gradi Giorno teorici il cui valore risulta essere mediamente maggiore del 23% rispetto quello dei gradi giorno reali, si veda il grafico in figura 3.12.

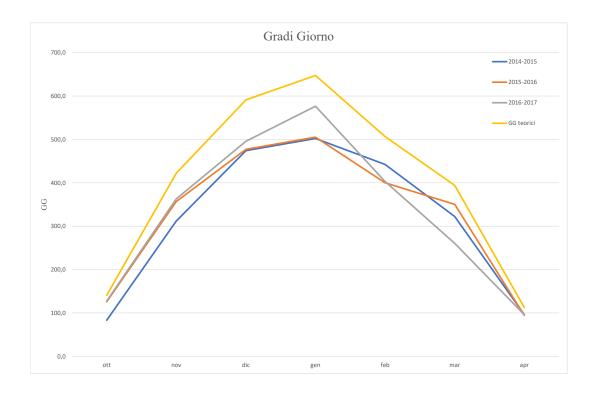


Figura 3.12: Confronto tra i gradi giorno reali e teorici

Periodo		costo gas	Tot (con_IVA)	gradi giorno	distribuzione	energia	
	[m <sup>3</sup> ]	[€/m³]	[€]	[GG]		[kWh]	[kJ]
ott	1489,73	0,6412	1165,358	140,75	0,05	14256,67	51324008,40
nov	4469,18	0,6412	3496,075	422,25	0,15	42770,01	153972025,20
dic	6256,85	0,6412	4894,505	591,15	0,21	59878,01	215560835,28
gen	6852,74	0,6412	5360,648	647,45	0,23	65580,68	236090438,64
feb	5363,01	0,6412	4195,29	506,70	0,18	51324,01	184766430,24
mar	4171,23	0,6412	3263,003	394,10	0,14	39918,67	143707223,52
apr	1191,78	0,6412	932,2866	112,60	0,04	11405,34	41059206,72
TOT	29794,50	-	23307,17	2815,00	-	285133,38	1026480168,00

Figura 3.13: Consumi termici relativi ai GG teorici

Una volta stabiliti tutti i dati precedentemente analizzati la diagnosi energetica introduce le proposte di intervento per il contenimento energetico. Gli interventi proposti saranno suddivisi in due categorie:

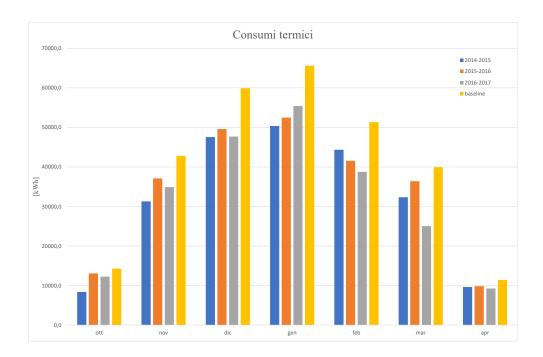


Figura 3.14: Andamento dei consumi e della baseline termica

- Interventi sul contenimento energetico dell'involucro
- Interventi sulla produzione di energia

Per quanto riguarda gli interventi della prima categoria si pongono come obiettivi i valori dettati dal Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 che permettono di accedere agli incentivi fiscali.

- Trasmittanza superfici opache verticali =  $0.30 \frac{W}{m^2 K}$
- Trasmittanza superfici opache orizzontali =  $0.26 \frac{W}{m^2 K}$
- Trasmittanza superfici trasparenti = 1,90 $\frac{W}{m^2K}$

Per le pareti verticali, già provviste di un cappotto in poliestere espanso di 4cm, viene proposta una aggiunta di altri 7cm di poliestere estruso con pelle e uno strato di 0,5cm di intonaco plastico per cappotto. Così facendo il valore di trasmittanza termica totale diventerebbe  $0,254\frac{W}{m^2K}$ , rientrando nei limiti sopra citati.

Per le superfici orizzontali, che in origine non prevedevano alcuna coibentazione, viene proposta l'aggiunta di isolate. Per il soffitto delle cantine si consiglia

l'aggiunta di 5cm di poliestere estruso con pelle e uno strato di 0,5cm di intonaco plastico per cappotto mentre per il solaio l'installazione di 16cm di pannelli semirigidi in fibra di vetro. Le trasmittanze termiche raggiungerebbero quindi i valori rispettivamente di  $0,427\frac{W}{m^2K}$  per il pavimento esterno e  $0,162\frac{W}{m^2K}$  per il solaio esterno.

Completa la serie di interventi proposti per l'involucro dell'edificio la sostituzione dei serramenti. Vengono consigliati serramenti con doppi vetri, trattamento superficiale, argon nell'intercapedine e telaio in PVC con taglio termico. Una tipologia di serramento del genere presenta una trasmittanza termica di circa  $1,4\frac{W}{m^2K}$ , anch'essa minore dei limiti di legge.

Nella figura 3.15 sono rappresentate tutte le stratigrafie degli elementi opachi dell'involucro edilizio così come apparirebbero dopo gli interventi consigliati.

Il nuovo fabbisogno termico totale dopo questi interventi risulta essere pari a circa 108MWh rispetto ai 285MWh della baseline calcolata, con un risparmio di 177MWh, equivalente al 62% del fabbisogno pre-retrofit.

La seconda categoria di interventi riguarda la produzione energetica ed in particolare l'installazione di una pompa di calore (pdc) e di un impianto fotovoltaico con l'obiettivo di sfruttarli in modo combinato. L'impianto fotovoltaico produce, durante tutto il corso dell'anno, una quantità di energia elettrica pari se non superiore all'assorbimento della pompa di calore che, attraverso il COP (Coefficient Of Performance), produce in inverno l'energia termica necessaria all'edificio. Questa applicazione porterebbe ad un consumo quasi nullo di combustibili fossili e ad un utilizzo praticamente esclusivo di fonti rinnovabili, con grandi vantaggi in termini di emissioni evitate.

L'impianto fotovoltaico viene dimensionato in base al fabbisogno termico precedentemente individuato (108MWh) utilizzando alcuni dati di prima approssimazione:

- $COP_{stagionale.pdc} = 2.6$
- Produzione energetica media annua del fotovoltaico =  $1150 \frac{kWh}{anno}$

A partire da questi dati si possono ricavare i kWp di fotovoltaico da installare:

$$kWp\ da\ installare = \frac{108000}{2.6*1150} = 36.12kWp$$

Viene quindi proposto di installare un impianto fotovoltaico di 36kWp.

Con l'ausilio di simulatori di produzione fotovoltaica, prendendo in considerazione i dati di latitudine e longitudine, i dati climatici e altri via via più dettagliati, si può ottenere una stima più accurata dell'energia prodotta durante tutto l'anno dall'impianto fotovoltaico rispetto a quella di massima usata per il dimensionamento. L'impianto risulta quindi produrre  $46MWh_{el}$  e il fabbisogno di energia elettrica

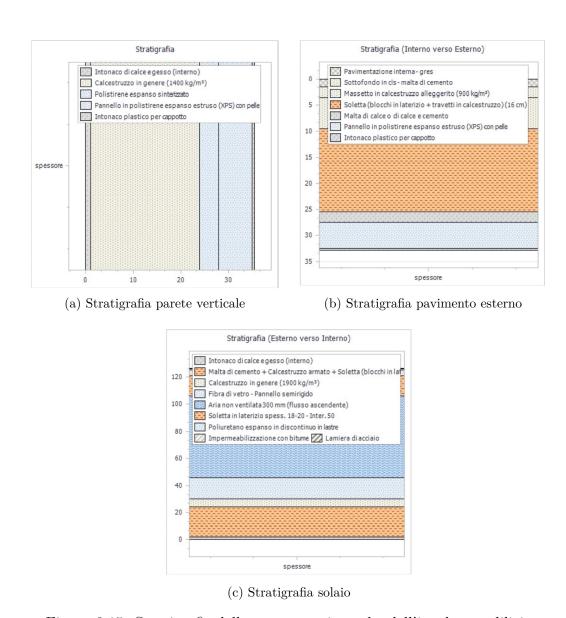


Figura 3.15: Stratigrafie delle componenti opache dell'involucro edilizio

della pompa di calore è  $39,1MWh_{el}$  (con una COP media di 2,8). La pompa assorbirà dunque  $13MWh_{el}$  autoconsumati direttamente e i restanti  $26,1MWh_{el}$  saranno assorbiti dalla rete ma compensati dalla produzione fotovoltaica nel periodo fuori dalla stagione di riscaldamento. Inoltre, secondo questa stima,  $6,9MWh_{el}$  risulteranno in esubero e verranno venduti in rete contribuendo all'abbassamento del costo dell'energia per i condòmini.

Risparmi energetici ed economici attesi Se tutti gli interventi precedentemente ipotizzati venissero effettuati se ne trarrebbero importanti vantaggi sia in

termini di risparmio energetico che di risparmio economico.

In termini energetici si possono calcolare le *Tonnellate equivalenti di petrolio* (Tep) consumate prima e dopo l'intervento considerando che l'utenza, dopo le operazioni di retrofit non sarà più un semplice consumatore di energia ma diventerà un prosumer.

$$Energia\ fossile\ consumata\ pre-retrofit = \frac{29433,14[m_{gas}^3]*0,82}{1000} = 24,135Tep$$

Il fattore di conversione tra  $m^3$  di gas e Tep è fornito nell'Allegato A del Decreto Ministeriale 27 marzo 2014.

 $Energia\ fossile\ consumata\ post-retrofit=0 Tep$ 

Energia prodotta dal fotovoltaico = 
$$\frac{46017[kWh_{el}]}{5347} = 8,606Tep$$

Il fattore di conversione tra  $kWh_{el}$  e Tep è fornito dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas con la Delibera EEN 3/08 del 20 marzo 2008.

Fabbisogno energetico della pompa di calore = 
$$\frac{39125,53[kWh_{el}]}{5347} = 7,317Tep$$

Quindi si avrà un fabbisogno energetico dello stabile dopo gli interventi di riqualificazione pari a:

Fabbisogno energetico post-retrofit = 
$$0 - 8,606 + 7,317 = -1,289$$
Tep

Il risparmio energetico dell'edificio può allora essere calcolato come la differenza tra il fabbisogno energetico prima degli interventi e quello dopo.

Risparmio energetico dell'edificio = 
$$24,135 - (-1,289) = 25,424$$
Tep

Volendo riportare il risultato ai gradi giorno (teorici) si può definire l'*indice di* risparmio energetico dello stabile come rapporto tra il risparmio energetico e i gradi giorno.

Indice di risparmio energetico = 
$$\frac{25,424[Tep]}{2,815[kGG]} = 9,032\frac{Tep}{kGG}$$

In termini economici, invece, sulla base dei dati ipotizzati nella tabella 3.2, si può ottenere una stima del risparmio annuo atteso.

Costo non rimborsabile per l'energia elettrica scambiata sul posto = 26068\*0,05 = 1303,45€

Ricavo per la vendita energia elettrica = 
$$6892 * 0.055 = 379.07 \in$$

Considerando anche che il costo dell'energia acquistata dalla rete e di quella autoconsumata è nullo, si possono ottenere il costo per l'energia post-retrofit e quindi il risparmio stimato.

Costo approvvigionamento energetico post intervento =  $1303,45-379,07 = 924,38 \in$ 

Risparmio economico stimato = 
$$18872,53 - 924,38 = 17948,15 \frac{\textbf{}}{anno}$$

Tabella 3.2: Ipotesi commerciali dei costi dell'energia

$0.050 \stackrel{\bullet}{\underset{kWh}{\underline{\leftarrow}}}$
$0.050 \underset{kWh}{\overset{}{}} 0.210 \underset{kWh}{\overset{}{}}$
$0 \frac{\epsilon}{kWh}$
$0.055 \frac{1}{kWh}$
$26068 \ kWh$
18872,53 €

## 3.5 Interventi di riqualificazione

Gli interventi di retrofit sono stati realizzati nell'arco di circa sei mesi e sono in linea con le proposte della diagnosi energetica, analizzata nella sezione precedente, fatta eccezione per il fotovoltaico che è stato installato con una potenza di picco leggermente maggiore. Questi e tutti gli altri interventi sono analizzati nel dettaglio nelle seguenti sezioni.

La riqualificazione viene effettuata tramite l'allestimento di un ponteggio perimetrale continuo da cielo a terra (figura 3.16) al fine poter installare in sicurezza i nuovi serramenti, il cappotto esterno e i pannelli fotovoltaici. Grazie al fatto che



Figura 3.16: Impalcature a lavori in corso[25]

gli interventi sono di varia natura e l'edificio è di grandi dimensioni, diversi di questi possono essere portati avanti contemporaneamente in modo da ottimizzare la velocità di esecuzione e minimizzare il disturbo per gli abitanti. In linea di massima, quest'ultimo è già ridotto al minimo perchè l'unico intervento invasivo per i condòmini è la sostituzione dei serramenti, mentre non sono previste modifiche all'impianto di distribuzione del calore dal lato utenza.

I costi complessivi per gli interventi di riqualificazione ammontano a circa 600.000€, che equivalgono a poco meno di 19.000€ad appartamento.

### 3.5.1 Fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico viene installato sulla copertura dell'edificio sfruttando l'inclinazione e l'orientamento del tetto, ricoprendo gran parte dell'area utile (figura 3.17). Nella diagnosi energetica, come visto nella sezione 3.4.1, veniva proposto



Figura 3.17: Fotovoltaico installato[25]

di installare 36kWp ma alla fine si è deciso di installarne quasi 39kWp. I pannelli sono moduli in silicio policristallino a 60 celle della FuturaSun da 270Wp, la scheda tecnica è visibile nell'Appendice A. La scelta di installare una potenza di picco maggiore dell'8% viene giustificata dal fatto che la stima di produzione annua dell'impianto fotovoltaico presente nella diagnosi, probabilmente, è stata fatta considerando azimut e inclinazione ottimali e senza ombreggiamenti (per le stime di produzione si vedano le sezioni 3.4.1 e 4.2). Nella figura 3.19 si nota il posizionamento dei moduli fotovoltaici sul tetto e l'orientamento dell'intero edificio rispetto al nord, indicato dalla freccia in basso a destra.

L'energia prodotta dal sistema fotovoltico viene gestita tramite un contratto di Scambio Sul Posto (SSP) [32]. Il servizio di Scambio Sul Posto è una modalità di autoconsumo dell'energia prodotta da un prosumer che consente di utilizzare il



Figura 3.18: Modulo fotovoltaico FuturaSun

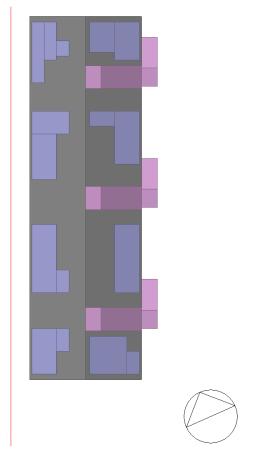


Figura 3.19: L'impianto fotovoltaico nella modellazione

sistema elettrico nazionale come strumento per l'immagazzinamento virtuale dell'energia elettrica prodotta ma non immediatamente autoconsumata, permettendo di disaccoppiare la produzione e il consumo dell'energia. Perchè il servizio sia fornito è necessaria la presenza di un unico punto di connessione alla rete per produzione e consumo dell'energia. Il contratto ha una durata di un singolo anno ed è tacitamente rinnovabile. A seguito del Decreto Ministeriale 24/12/2014 le utenze con impianti di produzione con potenza superiore ai 3kW devono pagare al GSE (Gestore Servizi Energetici) una tariffa annuale, composta da una voce fissa e una variabile, per far fronte agli oneri di gestione, controllo e verifica, come visibile nella figura 3.20.

kW	Corrispettivo fisso	Corrispettivo variabile	
	€/anno	€/kW	
P≤3	0	0	
3 <p≤20< td=""><td>30</td><td>0</td></p≤20<>	30	0	
20 <p≤500< td=""><td>30</td><td>1</td></p≤500<>	30	1	

Figura 3.20: Tariffe definite dal D.M. 24/12/2014

#### 3.5.2 Isolamento termico

L'intervento di miglioramento delle prestazioni energetiche della costruzione non può prescindere dall'implementare un adeguato sistema di isolamento termico, andando ad agire sia sulle componenti opache che su quelle trasparenti dell'involucro. In questo caso la riqualificazione è stata effettuata attenendosi rigorosamente alle proposte della diagnosi installando un cappotto sulle pareti verticali di 7cm e coibentando il soffitto delle cantine e il solaio (figura 3.21).

Per quanto riguarda le componenti trasparenti sono state tutte sostituite con serramenti nuovi più performanti, migliorando la trasmittanza termica e minimizzando la permeabilità all'aria. I nuovi serramenti sono a doppio vetro con argon nell'intercapedine, telaio in PVC e taglio termico forniti dalla Nobento (figura 3.22).

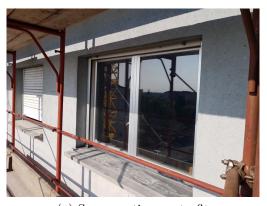
Durante l'esecuzione di questi interventi, in particolare durante la posa del cappotto, si affrontano piccoli contrattempi quali l'allungamento dei davanzali in cemento e l'installazione delle relative finizioni in acciaio.

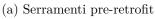
## 3.5.3 Impianto di riscaldamento (pdc)

L'intervento sull'impianto di riscaldamento è basato sull'installazione di una pompa di calore (pdc) che, con le opportune modifiche al sistema, si integra nell'impianto senza la necessità di rimuovere la caldaia già presente. L'obiettivo della modifica



Figura 3.21: Cappotto sulle pareti verticali







(b) Serramenti post-retrofit



(c) Nobento serramenti

Figura 3.22: Serramenti

del sistema è quello di utilizzare sempre la pompa di calore e di far intervenire come integrazione la caldaia solo in casi di temperature estremamente basse o di malfunzionamenti della pompa stessa. In condizioni di normale funzionamento, invece,

la caldaia viene bypassata minimizzando, se non quasi annullando, il consumo di combustibili fossili per il riscaldamento.

Il sistema riguarda solo il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento e sfrutta l'impianto monotubo esistente integrandolo con la pompa di calore, mentre, per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria, tutti gli appartamenti sono dotati di scaldacqua a gas a condensazione. Il fabbisogno di combustibili fossili dell'intero edificio, quindi, non viene completamente annullato ma considerevolmente diminuito.

Nella figura 3.23 è visibile lo schema dell'impianto idraulico comprensivo della pompa di calore, della caldaia e dello scambiatore.

Il lato utenza del sistema di riscaldamento non viene modificato e vengono pertanto mantenuti i radiatori già presenti negli ambienti. A causa di ciò deve essere scelta una pompa di calore con la capacità di produrre acqua ad alta temperatura, mentre normalmente le pdc sono utilizzare in presenza di pannelli o pavimenti radianti o ventilconvettori, che necessitano di una temperatura più bassa [33]. É stata scelta quindi una pompa di calore aria/acqua ad alta efficienza con compressore E.V.I. (Enhanced Vapor Injection). Questa tecnologia consiste nell'iniettare il fluido, sotto forma di vapore, durante la compressione, per migliorare sensibilmenre i rendimenti e, in particolar modo, le performance a basse temperature, durante il funzionamento per il riscaldamento. Il ciclo con iniezione di vapore diventa simile ad un ciclo a due stadi di compressione con interrefrigerazione. Nella figura 3.24 si può vedere il ciclo rappresentato nel diagramma P/h.

In particolare viene installata una pompa di calore HIdROS LZT 1202/XL/P2U, specifica per impianti che non comprendono la produzione di acqua calda sanitaria. La scheda tecnica del modello installato è presente in Appendice A e descrive la serie di pompe di calore LZT come particolarmente adatte per avere la miglior efficienza in modalità riscaldamento e pienamente funzionanti fino a una temperatura di -20°C. Il modello è fornito di una valvola di inversione ciclo per la funzione di sbrinamento invernale e inoltre la rumorosità è molto limitata grazie ad uno speciale sistema di smorzamento delle vibrazioni.

La pompa di calore viene installata a terra nel giardino del condominio (figura 3.26) e viene collegata con la sottocentrale allestita al piano cantine in un locale adiacente all'attuale centrale termica. A causa delle possibili basse temperature e della conseguente formazione di ghiaccio, nella piastra su cui e adagiata la pompa di calore e nei tratti fuori terra delle condutture, sono installate delle resistenze, attivabili in funzione della temperatura esterna.

Nell'Appendice A è presente anche la scheda tecnica dello scambiatore presente nell'impianto fra i due circuiti, primario e secondario.

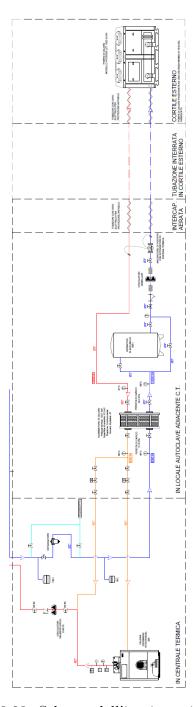


Figura 3.23: Schema dell'impianto idraulico

## 3.5.4 Sistema di gestione e monitoraggio (SCS)

L'ultimo e importante intervento consiste nell'installazione di un sistema di controllo e monitoraggio degli impianti. Per questo sono stati installati prodotti della

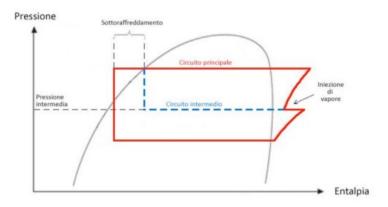


Figura 3.24: Ciclo ad iniezione di vapore



Figura 3.25: La pompa di calore HIdROS

Swiss Control System (SCS) [34], in particolare una scheda madre EXD10 e una scheda di espansione EXD100, visibili in figura 3.27

Swiss Control System nasce nel 2010 da Tecnozenith srl e ReglaSystem SA, e si specializza in Building Management System (BMS) avvalendosi di controllori EXD, basati su BACnet, il protocollo di comunicazione dati sviluppato da ASHRAE, e di software di programmazione e supervisione sviluppati internamente. Con l'installazione dei propri prodotti, SCS mette a disposizione anche alcuni software che



Figura 3.26: La pompa di calore nel giardino di via Bertairone



(a) Scheda madre EXD10

(b) Scheda di espansione

Figura 3.27: Schede SCS installate

permettono la programmazione della strategia di regolazione e la supervisione degli impianti:

- TR10 software che permette di programmare la strategia di regolazione e configurare i controllori mettendo a disposizione del progettista diagrammi di flusso e funzioni matematiche, booleane e termodinamiche. Il risultato è una pagina a blocchi logici come quella nella figura 3.28
- F4 software di supervisione con interfaccia tabellare per il monitoraggio, il controllo dell'impianto e la modifica dei parametri messi a disposizione dalla strategia di regolazione. L'interfaccia è visibile nella figura 3.29

• F4web software per la creazione di pagine ed elementi grafici intuitivi visibili da remoto su qualsiasi web browser. Dalle pagine si può interagire modificando parametri e visualizzando dati in tempo reale o storici, anche in formato grafico. Un esempio del software per la sottocentrale elettrica è visibile nella figura 3.30.

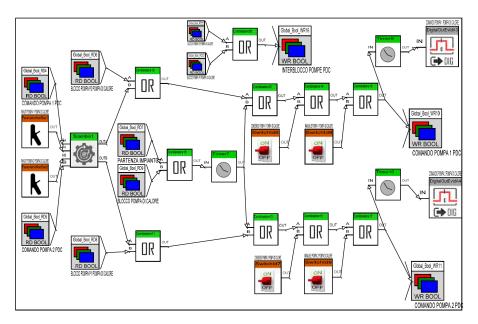


Figura 3.28: Software TR10

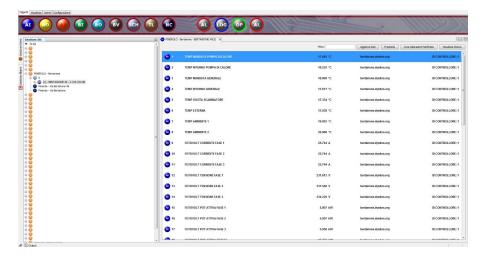


Figura 3.29: Software F4

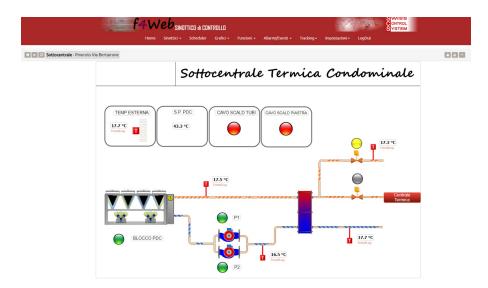


Figura 3.30: Software F4web, sottocentrale termica

## 3.6 Situazione post-operam

Dopo circa sei mesi di lavori le impalcature vengono smontate, il sistema di riscaldamento viene attivato e si può iniziare a beneficiare dei cambiamenti apportati. Il condominio di via Bertairone, alla fine degli inteventi risulta migliore su più fronti: quello delle prestazioni energetiche impiantistiche e quello estetico architettonico. Per quanto riguarda le prestazioni energetiche, i vantaggi stimati sono stati analizzati nella diagnosi energetica (sezione 3.4.1) e quelli reali saranno presentati nella sezione 4.2. Per l'aspetto estetico l'importante miglioramento è reso possibile dalla posa del cappotto che permette di decorare e rifinire le pareti verticali esterne dell'immobile. Il cappotto, infatti, viene decorato con diverse colorazioni al fine di evidenziare le parti in aggetto, verticali e orizzontali, e, insieme con l'installazione dei nuovi serramenti con telai in PVC bianco e con i frontalini in acciaio per balconi e davanzali, migliora l'estetica del condominio, dando un senso di freschezza e ordine.

Anche la pompa di calore viene mascheata da una recinzione verde che la rende meno impattante con il resto del giardino e inaccessibile ai soggetti non autorizzati.

Gli interventi di riqualificazione sono stati conclusi ad ottobre 2018 e immediatamente è entrato in funzione l'impianto di riscaldamento integrato con la nuova pompa da calore. Per quanto riguarda l'impianto fotovoltaico, invece, l'attivazione, a causa di lungaggini burocratiche, è avvenuta solo a fine marzo 2019.

Il risultato finale è un fabbricato di classe A con alte prestazioni energetiche e un apprezzabile risultato estetico architettonico (figura 3.31).



Figura 3.31: Vista frontale del condominio al termine degli interventi

# Capitolo 4

# Analisi e modellazione a riqualificazione ultimata

In questo capitolo verranno presentati i dati riguardanti il sistema di riscaldamento e l'impianto fotovoltaico oggetto della riqualificazione energetica del condominio di via Bertairone. In particolare verranno analizzati i dati reali, rilevati dal sistema di monitoraggio e gestione (sezione 4.2), i dati ottenuti dalla simulazione con un software di modellazione e la metodologia della modellazione stessa (sezione 4.1) ed infine i dati reali, quelli teorici del modello e quelli previsti dalla diagnosi energetica verranno confrontati nella sezione 4.3.

## 4.1 Modellazione dell'edificio

Uno dei metodi più diffusi ed efficaci per analizzare il comportamento energetico di un sistema è sicuramente la modellazione. Questa può essere usata sia per simulare sistemi residenziali, come nel caso studio, ma anche per sistemi industriali complessi. Naturalmente in base al grado di dettaglio dei dati inseriti e al costo computazionale si possono ottenere simulazioni molto accurate con margini di errore molto piccoli.

Normalmente la modellazione viene utilizzata per prevedere gli effetti di possibili interventi partendo dalle condizioni di partenza e procedendo sondando le possibili soluzioni. Inoltre, come nel caso in analisi, può essere utilizzata per fare delle analisi di verifica dopo gli interventi andando ad appurare la bontà degli interventi stessi in relazione con i dati reali ottenuti dal monitoraggio degli impianti una volta attivati.

Una simulazione che ha alla base una modellazione accurata e i dati del monitoraggio dei sistemi di una stagione di riscaldamento diventa, facendo riferimento alla tabella nella figura 3.9, di *livello 4*.

## 4.1.1 Energy Plus e Design Builder

Energy Plus è un software open source di analisi energetica e simulazione dinamica dei carichi termici sviluppato dal Dipartimento di Energia americano (DOE) [35]. Attualmente è uno dei programmi più diffusi a livello mondiale in questo ambito in quanto consente di modellare gli edifici residenziali o commerciali, l'involucro edilizio, le fonti rinnovabili, i sistemi HVAC e idraulici ottenendo un'analisi completa delle prestazioni energetiche, compresa la generazione in loco. La prima versione di Energy Plus è stata rilasciata nel 2001, ma il programma ha le sue radici in due programmi sviluppati in risposta alla crisi energetica americana dei primi anni Settanta:

- BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) sviluppato dal Dipartimento della Difesa
- DOE-2 sviluppato dal Dipartimento di Energia

Energy Plus deve la sua diffusione anche alla struttura modulare che permette di ottenere una soluzione simultanea e non sequenziale dei moduli integrati, così facendo gli impianti possono avere un impatto diretto sulla risposta termica dell'edificio. I tre moduli principali che compongono la struttura sono:

- Surface Heat Balance Manager che simula i flussi termici in corrispondenza delle superfici, siano esse opache o trasparenti;
- Air Heat Balance Manager che simula gli scambi termici radianti e convettivi nel volume di analisi;
- Building Systems Similation Manager che simula i sistemi impiantistici.

Interviene quindi tutta una serie di moduli secondari che contribuisce alla modellazione fornendo informazioni sulla posizione del Sole, la radiazione solare, l'illuminazione diurna, la ripartizione in zone dell'edificio, i flussi d'aria, l'apporto delle rinnovabili e molto altro.

Un altro fondamentale aspetto di Energy Plus è quello di avere la possibilità di includere nelle analisi i dati meteo delle località oggetto del progetto edilizio. Questi dati possono essere caricati in formato .epw oppure estratti direttamente dall'archivio Weather Data presente sul sito di Energy Plus e forniscono informazioni orarie di temperatura, umidità, vento, irraggiamento e altre ancora.

Energy Plus è un programma developer friendly che facilità il continuo sviluppo del software e la creazione di programmi di terze parti basati su di esso, ma di per sé manca di una interfaccia user friendly. Le maggiori difficoltà nell'utilizzo diretto di Energy Plus si riscontrano nella creazione della geometria della struttura che richiede l'inserimento delle coordinate cartesiane di ogni vertice, rendendo insidiosa

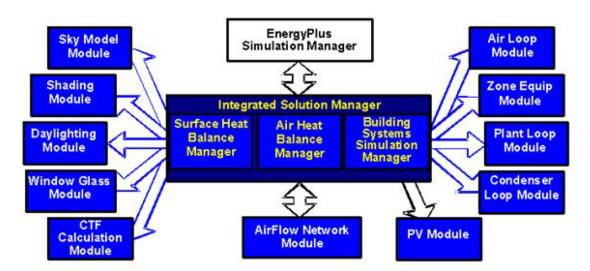
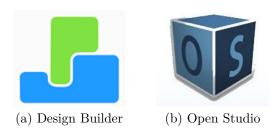


Figura 4.1: Energy Plus - Moduli integrati

anche la realizzazione di una semplice struttura, per non parlare di edifici o gruppi di edifici complessi, e l'inserimento puntuale di tutti i dati utili attingendo a liste sterminate di parametri e opzioni. Per questo, nella maggior parte dei casi, si utilizzano interfaccie grafiche che includono software di modellazione 3D e mettono a disposizione modelli predefiniti e strumenti user friendly che rendono l'utilizzo più intuitivo e pratico.



Una delle principali interfacce è Design Builder, software con licenza sviluppato nel Regno Unito che permette di creare modelli 3D degli edifici e, appoggiandosi dall'elaborazione dati di Energy Plus, genera risultati in forma grafica e di report del programma di riscaldamento, di raffrescamento o di un intero anno di praticamente tutti i parametri dell'edificio in analisi e degli impianti in esso installati. Un'altra interfaccia molto diffusa è Open Studio, estensione di SketchUp, sviluppata dal Dipartimento di Energia americano e dal National Renewable Energy Laboratory (NREL) che permette di realizzare modelli 3D con ancora maggiore facilità rispetto a Design Builder. Questo programma, però, non si appoggia direttamente a Energy Plus quindi si rende necessario convertire i modelli creati nel formato congeniale

a Design Builder (.gbxml) così da poter avviare l'analisi vera e propria attraverso quest'ultimo.

Nel caso studio si è optato per l'utilizzo diretto di Design Builder [36], senza passare attraverso SketchUp, poichè la geometria del condominio, nonostante sia di dimensioni importanti, non è eccessivamente complessa. Il software permette, come approfondito nella sezione 4.1.2, di costruire il modello in tre dimensioni e di inserire molti parametri tra cui i dati meteo, le stratigrafie dell'involucro opaco e trasparente, i dati di generazione fotovoltaica, le specifiche degli impianti di riscaldamento, illuminazione, acqua calda sanitaria e molto altro. Uno dei grandi vantaggi è la possibilità di usare direttamente o di modificare, anche solo parzialmente, i template precompilati con molti dati di default.

### 4.1.2 Modellazione

L'utilizzo di Design Builder [37] permette di inserire tutte le proprietà e i dati utili alla modellazione dinamica. La prima schermata del programma permette di scegliere se creare un nuovo progetto, aprirne uno creato o modificato in precedenza o accedere a modelli di esempio predefiniti presenti nel database del software.

Località e dati climatici Dopo aver deciso di creare un nuovo progetto, la prima informazione da inserire, dopo il nome del progetto stesso, è la località. Questa può essere scelta tra le oltre 2100 nel mondo, disponibili sul sito di Energy Plus https: //energyplus.net/weather, comportando l'immediato caricamento dei relativi dati climatici, oppure si possono inserire manualmente latitudine e longitudine e, successivamente, caricare un file di dati climatici opportuno. Qualora si scegliesse questa seconda opzione si deve essere certi che il formato del file climatico sia .epwovvero Energy Plus Weather. Può sucedere che si abbiano a disposizione dati in formato diverso da .epw. uno fra i più comuni è il formato .csv (Comma Separated Values), in questo caso si può ricorrere a Weather Converter, uno strumento messo a disposizione da Energy Plus e installato automaticamente insieme al pacchetto del programma principale. Questo convertitore, se la composizione del file .csv è corretta secondo gli standard di Energy Plus, trasforma i dati generando il file utile all'analisi. I dati, per essere accettati da Energy Plus, devono avere come minimo cadenza oraria. Nel caso in analisi si è optato per l'utilizzo dei dati climatici di una delle località già presenti nei database di Design Builder: Torino Caselle. Questi dati provengono da una stazione meteorologica sita a circa 40km da Pinerolo e per questo si è ritenuto necessario verificarne la validità anche per la località in questione. Dal sito dell'ARPA (https://www.arpa.piemonte.it/) è possibile scaricare l'applicativo Meteo Web [38] che dà accesso ai dati giornalieri e mensili dei vari parametri di tutte le stazioni di rilevamento della regione. La banca dati meteorologica viene aggiornata una volta ogni sei mesi e permette di usufruire sia dei dati controllati solo automaticamente che di quelli validati manualmente. A

partire dall'applicativo, quindi, sono stati scaricati i dati gionalieri del 2018 di temperatura media e minima di tre stazioni:

- Pinerolo
- Torino Caselle
- Torino Vallere

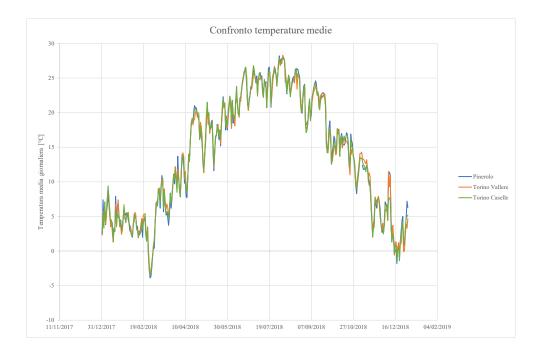


Figura 4.2: Confronto tra le temperature medie giornaliere

Dal grafico di confronto delle temperature medie in figura 4.2 e da quello delle temperature minime in figura 4.3 è possibile notare che gli andamenti sono pressochè gli stessi. Si deve porre particolare attenzione alle temperature minime che sono quelle che più incidono nel dimensionamento dell'impianto di riscaldamento. Durante il 2018 la temperature più basse sono state registrate il 28 febbraio: -7,6°C per Pinerolo e -7,3°C per entrambe le stazioni di Torino. Queste temperature sono ancora maggiori della temperatura esterna di progetto che, come detto nella sezione 3.3.2, per Pinerolo è di -8,8°C e per Torino è -8°C. Inoltre la stazione di rilevamento di Pinerolo è dotata di sensori termici, igrometrici, pluviometrici, barometrici e anemometrici ma, al contrario di quella di Torino Caselle, non ha il radiometro nè

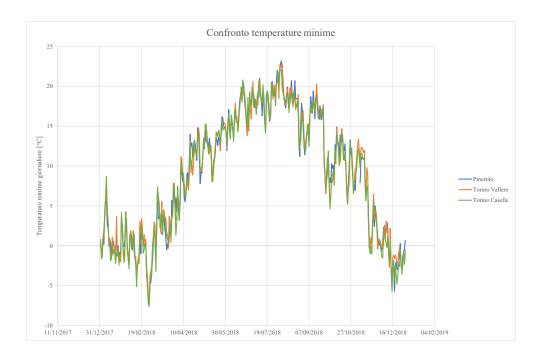


Figura 4.3: Confronto tra le temperature minime giornaliere

il nefoipsometro per misurare la radiazione diretta, riflessa e diffusa e la copertura del cielo dovuta alle nuvole. Questi ultimi dati sono però importanti per il calcolo degli apporti solari e della produzione fotovoltaica.

Quindi, vista la somiglianza dei dati termici delle tre stazioni di rilevamento e la mancanza dei dati solari per quella di Pinerolo, può essere confermata la scelta di utilizzare i dati climatici di Torino Caselle anche per Pinerolo, cambiando manualmente i dati di latitudine, longitudine, altitudine e temperatura esterna di progetto come mostrato in tabella:

	Pinerolo	Torino Caselle
Latitudine	44°53'5" N	45°11'1"N
Longitudine	$7^{\circ}20'3$ " E	$7^{\circ}39'0"$ E
Altitudine	376  m.s.l.m.	300  m.s.l.m.
Temperatura esterna di progetto	-8,8°C	-8°C

Modello 3D Dopo aver modificato i parametri precedenti si passa alla creazione vera e propria di un modello in tre dimensioni. Per fare ciò Design Builder mette a disposizione una interfaccia grafica in cui si possono disegnare figure piane per

poi estruderle, tagliarle, trascinarle e modificarle, si possono aggiungere proprietà e funzioni ai singoli componenti creando pareti, aperture, componenti aggiuntivi e altro ancora. Tutto questo è facilitato dalla presenza di barre degli strumenti personalizzabili con icone intuitive per quasi tutte le operazioni possibili. Inoltre è possibile importare modelli creati in altri programmi o anche piantine e schemi di tipo CAD in formato .dwg per avere delle linee guida nella realizzazione del modello.

Il condominio presentato nella sezione 3.3 viene realizzato come da figura 4.4. Il

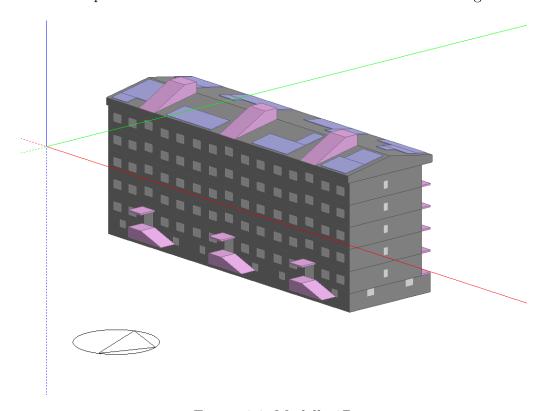


Figura 4.4: Modello 3D

software rappresenta le componenti opache in grigio scuro, mentre le aperture, siano esse porte o finestre, in gragio chiaro. I solidi rosa sono i componenti aggiunti per rappresentare le rampe di accesso alle porte d'ingresso, le tettoie, i balconi e l'accesso ai tetti e quelli viola rappresentano i pannelli fotovoltaici. Infine è visibile l'indicazione dell'orientamento dell'intero edificio rispetto al nord grazie al simbolo in basso a sinistra nella figura 4.4. La struttura, come si può apprezzare nella figura 4.5 ha un piano seminterrato nel quale i locali sono per lo più cantine ma vi sono anche la centrale termica il locale inverter e un locale comune.

Scheda Attività Una volta completato il modello grafico, visibile nella scheda Layout, si procede inserendo i dati utili alla simulazione nelle schede successive,

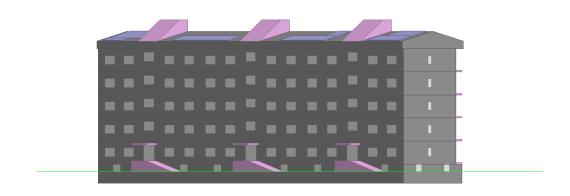


Figura 4.5: Modello 3D - frontale

visibili nella figura 4.6. La prima scheda presente è la scheda Attività che permette



Figura 4.6: Schede di Design Builder

di inserire un grande ammontare di dati relativi a moltissimi aspetti del modello, dalle temperature di controllo dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento agli apporti termici dei dispositivi in uso, dal controllo dell'acqua calda sanitaria al tasso metabolico degli occupanti (figura 4.7). Questi parametri possono essere aggiunti puntualmente ma è molto improbabile averli tutti a disposizione a questo livello di dettaglio, perciò, spesso si ricorre a un template, ovvero un modello che, una volta caricato, imposta tutti i parametri su valori di default variabili in base al tipo di template scelto. Un grande vantaggio di Design Builder consiste nella possibilità di copiare i template esistenti e modificarli così da poter cambiare solo i dati di cui si è a conoscenza e lasciare inalterati gli altri. Nel caso studio si parte dal template di attività in spazi residenziali dedicato alla sala da pranzo procedendo ad alcune modifiche, considerando che, nel caso in analisi, il modello modificato si rivolgerà all'intero appartamento e non alla sola sala da pranzo, e si ottiene il template rinominato Pinerolo. Essendo l'obiettivo del caso studio l'analisi del sistema di riscaldamento vengono deselezionati i parametri relativi all'acqua calda sanitaria e all'illuminazione. Per quanto riguarda le scale, il tetto e le cantine viene selezionato

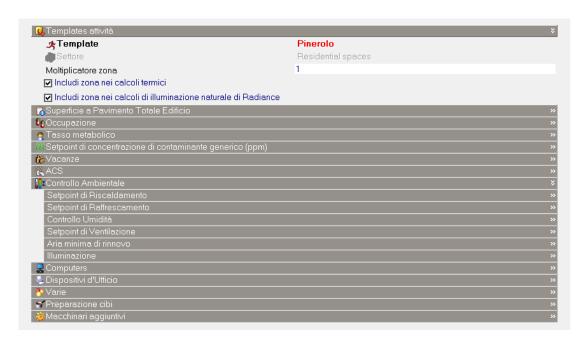


Figura 4.7: Panoramica della scheda Attività

il tipo di zona Semi-esterno non climatizzato che comprende un pacchetto di dati idonei a zone di questo genere.

Schede Costruzione e Aperture Le successive due schede sono quella Costruzione e quella Aperture. La prima consente di definire tutte le superfici opache rappresentate nel modello indicando le stratigrafie e le caratteristiche termiche a partire dal database di materiali presente in Design Builder o inserendone di nuovi. La seconda permette di definire le caratteristiche dei componenti trasparenti, finestre e telai, ma anche delle porte interne ed esterne e dei sistemi di schermatura. Nella figura 4.8 è visibile la scheda Costruzione che permette di specificare puntualmente le caratteristiche di ogni superficie opaca. Inizialmente viene utilizzato il template della costruzione di progetto al quale vengono apportate alcune modifiche:

- Pareti esterne viene sostituita la stratigrafia delle pareti esterne di progetto con quella presentata nella sezione 3.5.2 e il nuovo pacchetto di dati viene chiamato Pareti esterne Pinerolo;
- Tetto inclinato (non occupato) vengono sostituiti i dati di progetto con quelli trattati nella sezione 3.5.2 rinominandoli Tetto Pinerolo;
- Pavimento esterno questa voce viene sostituita solo per il primo piano in cui il pavimento confina con il piano seminterrato non climatizzato e sul quale viene attuato l'intervento di isolamento termico. I dati inseriti rispettano quelli già



Figura 4.8: Panoramica della scheda Costruzione

visti nella sezione 3.5.2 e il nuovo oggetto viene nominate *Pavimento isolato Pinerolo*;

• Permeabilità all'aria viene considerato un valore sostanzialmente più basso di volumi orari di aria dovuti da infiltrazioni in quanto la sostituzione dei serramenti originali con quelli di classe 4 riducono drasticamente la permeabilità all'aria dell'edificio. Il valore assunto è di 0,125vol/h.

Nella figure 4.9 è visibile la scheda Aperture che permette di specificare tutte le caratteristiche delle finestre esterne, interne, delle porte e delle bocchette di ventilazione. Per il caso studio, trattandosi di un edificio residenziale italiano, si può immediatamente deselezionare la voce delle bocchette di ventilazione che non sono presenti in quanto il ricambio d'aria è affidato alla ventilazione naturale. La voce più importante dell'intera scheda è quella riguardante le finestre esterne al cui interno si trovano numerose sottovoci importanti. Per prima cosa si deve selezionare il tipo di vetro di cui sono composte le finestre attingendo al database di Design Builder o aggiungendone di nuovi (si possono introdurre le caratteristiche del telaio direttamente nell'oggetto Tipo di vetro o nella voce dedicata successiva). Nel



Figura 4.9: Panoramica della scheda Aperture

caso in cui si voglia velocizzare la creazione del modello, si può ricorrere alla voce Layout che, a fronte dell'indicazione percentuale della superficie vetrata voluta, genera automaticamente le aperture, rispettando le indicazioni della voce dimensioni. Nei modelli più accurati, invece, le aperture vengono solitamente disegnate direttamente durante la realizzazione in tre dimensioni dell'edificio.

Infine è possibile inserire un programma di utilizzo dei sistemi di schermatura, siano essi interni, esterni o posti nell'intercapedine della finestra. Nel caso in esame vengono inserite delle schermature esterne, tapparelle, con un programma di utilizzo molto basico di apertura nelle ore diurne (dalle ore 8.00) e chiusura in quelle notturne.

Nel caso in cui non siano disponibili i dati puntuali delle stratigrafie, sia nel caso delle componenti opachi che trasparenti, al posto di usare la modalità di descrizione per strati, si può ricorrere a quella *semplice* che permette di inserire direttamente i valori totali di trasmittanza senza dover conoscere tutti i singoli materiali di cui sono composti gli strati del componente.

Scheda HVAC Un'altra importante scheda è quella HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning). Anche in questo caso è possibile scegliere un template direttamente dal database di Design Builder. Questi template permettono di scegliere il sistema di introduzione del calore nelle zone riscaldate (radiatori, pavimenti o soffitti radianti, sistemi a tutta aria e molti altri), la modalità di produzione dell'acqua calda sanitaria e il tipo di ventilazione. Nel caso del condominio di Pinerolo è stato scelto il template Radiator heating, Boiler HW, Nat Vent come visibile in figura 4.10. Il template comprende anche la produzione di acqua calda che verrà poi



Figura 4.10: Panoramica della scheda HVAC

disattivata nelle voci successive, in quanto il progetto di riqualificazione riguarda solamente l'impianto di riscaldamento. Il sistema di riscaldamento è stato pensato per rispondere all'intero fabbisogno termico dell'edificio tramite pompa di calore, come descritto nella sezione 3.5.3, quindi nella voce riscaldamento della scheda viene inserito come combustibile elettricità e come COP del sistema di riscaldamento viene inserito il valore assunto in fase di diagnosi energetica 2,6. Il programma di funzionamento dell'impianto di riscaldamento rispetta i criteri del D.P.R. 26 agosto 1993 n. 421 che in base alla zona climatica indica il numero di ore di funzionamento del sistema, in questo caso 14h/giorno. Infine vengono disattivate le voci riguardanti la ventilazione meccanica e il raffrescamento, non previsti dal progetto.

Scheda Generazione L'ultima scheda analizzata è quella di Generazione, visibile nella figura 4.11, nella quale si seleziona il tipo di quadro elettrico. All'interno della sezione di modifica di quest'ultimo si va a compilare la lista di generatori aggiungendo tutti i componenti rappresentanti pannelli fotovoltaici presenti nel modello.

Tra le schede visibili nella figura 4.6 non verrà analizzata nel dettaglio la scheda *Illuminazione* che comporta la sola deselezione dell'illuminazione dalla simualzione di Design Builder in quanto l'apporto dovuto all'illuminazione non è di interesse nel caso studio in analisi.

#### 4.1.3 Risultati

Dopo aver inserito tutti i dati nelle schede, analizzate nella sezione precedente, si può avviare la simulazione vera e propria. Al momento del lancio della simulazione

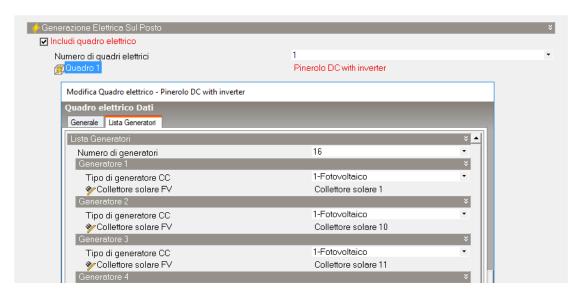


Figura 4.11: Panoramica della scheda Generazione

Design Builder chiede di impostare alcune impostazioni, le più importante delle quali sono la lunghezza degli intervalli di simulazione e il periodo di simulazione. Il modello può essere analizzato con step:

- mensile ed annuale
- giornaliero
- orario
- sotto-orario

Aumentando il numero di step aumenterà il dettaglio della simulazione e, di conseguenza, aumenterà la mole di dati prodotti dal software, soprattutto nel caso di modelli complessi e dettagliati già dal punto di vista delle informazioni inserite a monte.

Nel caso studio in analisi si procede ad una simulazione oraria che permette, con un semplice menù a tendina, di passare eventualmente ai livelli superiori (giornaliero e mensile/annuale) impostando il periodo di simulazione sull'intero anno, così da poter analizzare il fabbisogno di energia termica, durante la stagione di riscaldamento, e la generazione fotovoltaica, durante tutto l'anno. Anche se la simulazione è stata condotta con step orari i grafici presentati in questa sezione sono stati generati a partire dai dati giornalieri per renderli maggiormente comprensibili.

Il risultato complessivo della modellazione è visibile in figura 4.12, nella quale sono presentati i dati dell'assorbimento annuale della pompa di calore per soddisfare il fabbisogno di energia termica dell'edificio e la produzione annuale dell'impianto

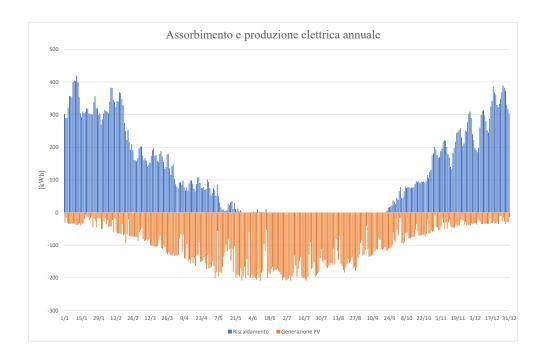


Figura 4.12: Assorbimento elettrico e generazione fotovoltaica

fotovoltaico posto sul tetto del condominio. Risulta evidente, come era già stato previsto in fase di diagnosi energetica, che l'autoconsumo dell'energia prodotta dal fotovoltaico non sia sufficiente a soddisfare l'assorbimento della pompa di calore, quindi si ricorre allo Scambio Sul Posto (sezione 3.3.3) che permette di sfasare la generazione e il consumo dell'energia. I picchi di produzione e di assorbimento, infatti, sono agli opposti durante il corso dell'anno: mentre il fabbisogno per il riscaldamento è massimo a dicembre/gennaio, la produzione fotovoltaica raggiunge i più alti valori di generazione a luglio. Inoltre, passando dal punto di vista stagionale a quello giornaliero, la pompa di calore assorbe energia anche nelle prime ore del mattino e la sera dopo il tramonto, quando i pannelli fotovoltaici, in assenza di radiazione solare, non producono energia. Quindi il contratto di Scambio Sul Posto permette uno sfasamento sia stagionale che giornaliero tra la generazione e l'assorbimento dell'energia elettrica.

La radiazione solare, che permette la produzione di energia elettrica ai moduli fotovoltaici, viene simulata a partire dai dati meteo della località caricata in Design Builder nei primi passaggi della modellazione. Nel caso studio, como già spiegato nella sezione 4.1.2, viene caricato il file meteo di Torino Caselle con alcune modifiche manuali. Dal file meteo .epw, utilizzando il weather converter messo a disposizione

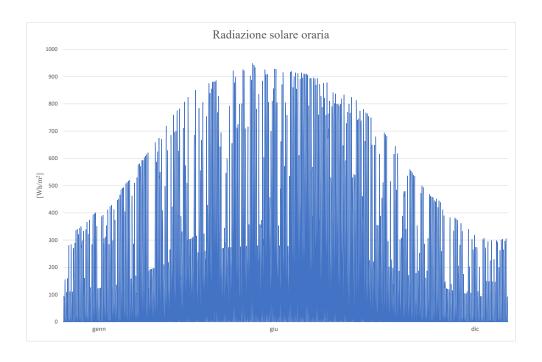


Figura 4.13: Radiazione solare oraria dei dati meteo del software

da Energy Plus e passando al formato .csv, editabile con Excel, si può elaborare il grafico in figura 4.13 che mostra la radiazione solare oraria nel corso dell'intero anno. Da questi dati di radiazione e dai restanti del file meteo, Design Builder genera la simulazione, che tiene conto degli ombreggiamenti causati dagli ostacoli disegnati nel modello, permettendo di valurate la produzione annua attesa. Nel caso studio la cumulata in figura 4.14 mostra che la produzione totale durante l'arco dell'anno di energia elettrica ammonta a circa 36500~kWh. Ovviamente la produzione, come già visto nella figura 4.12, non è omogenea nel corso dell'anno e per questo la cumulata presenta una inclinazione variabile.

Il fabbisogno termico giornaliero è direttamente ricavabile da quello elettrico (figura 4.12) in quanto il modello su Design Builder è stato programmato in modo da calcolare gli assorbimenti elettrici della pompa di calore per la quale il COP è stato impostato a 2,6 come nella diagnosi energetica. Nella figura 4.15 è visibile la produzione giornaliera della pompa di calore per soddisfare il fabbisogno termico del condominio e, come ci si poteva facilmente aspettare, i massimi si presentano a gennaio e a dicembre.

Dal fabbisogno giornaliero viene creata la cumulata dell'energia termica annuale (figura 4.16) che permette di vedere chiaramente l'ammontare del fabbisogno

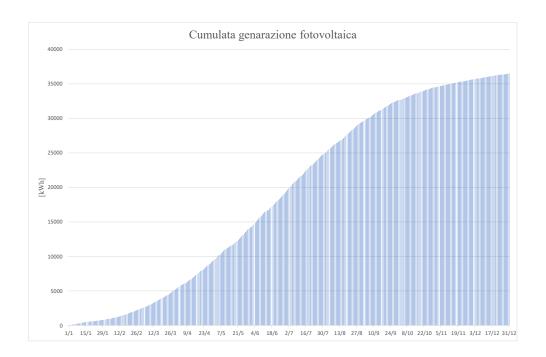


Figura 4.14: Cumulata della generazione fotovoltaica annuale

termico annuo dell'edificio, pari a poco meno di 120 MWh. Il plateau centrale corrisponde al periodo dell'anno al di fuori della stagione di riscaldamento in cui non c'è richiesta di energia termica per il riscaldamento mentre i tratti con maggiore pendenza corrispondono ai mesi invernali con maggiore richiesta, dicembre e gennaio.

# 4.2 Dati della stagione invernale 2018/2019

Gli impianti sono stati attivati durante la prima metà di novembre, alla conclusione dei lavori di riqualificazione energetica. Grazie al sistema di monitoraggio e di regolazione SCS installato, sono stati raccolti i dati dell'intera stagione di riscaldamento, in particolare le temperature di mandata e di ritorno della pompa di calore e dell'impianto generale, la temperatura di uscita dallo scambiatore posto tra il circuito idraulico primario e quello secondario, le energie elettriche assorbite dalle pompe di circolazione, dalla pompa di calore e dai sensori e l'energia termica prodotta dalla pompa di calore. Tutti questi dati sono utili per verificare che il comportamento degli impianti segua le previsioni della diagnosi energetica e della simulazione di Design Builder.

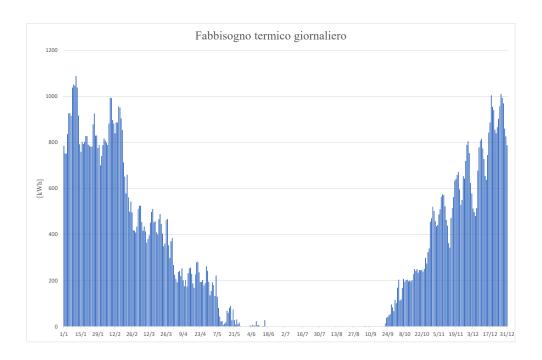


Figura 4.15: Fabbisogno termico giornaliero annuale

Energia termica e elettrica pompa di calore I primi dati interessanti da analizzare sono quelli relativi all'energia termica prodotta dalla pompa di calore. La strategia di riscaldametno, inizialmente proposta dalla diagnosi energetica, consisteva nel soddisfare l'intero fabbisogno di energia termica attraverso la pompa di calore e di far intervenire la caldaia solo in caso di temperature particolarmente basse o di malfunzionamenti. La pdc per produrre energia termica assorbe energia elettrica e il sistema in esame è configurato per produrre questa energia tramite i pannelli fotovoltaici, una parte autoconsumata direttamente e una parte utilizzando la rete come accumulo virtuale secondo un contratto di Scambio Sul Posto, come descritto nella sezione 3.5.1. Nel caso reale, però, l'impianto fotovoltaico è stato attivato solo nella seconda metà di marzo a causa dei tempi, non sempre brevi, per le pratiche del gestore dell'energia e dell'agenzia delle dogane. Quindi in un primo momento è stata utilizzata la pompa di calore, comprando l'energia elettrica dalla rete, in un secondo momento, considerato l'allungarsi dei tempi di attivazione del fotovoltaico, si è optato per l'utilizzo esclusivo della caldaia. La scelta è giustificata dal fatto che il prezzo del gas utilizzato dalla caldaia, risulta essere più conveniente per la produzione termica in assenza dell'autoconsumo dovuto al fotovoltaico. Questa scelta è ben visibile nelle cumulate dell'energia termica e dell'energia elettrica,

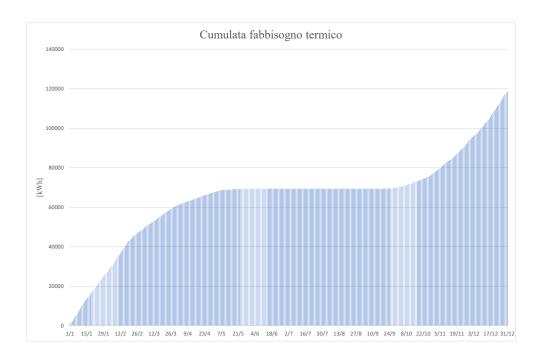


Figura 4.16: Cumulata del fabbisogno termico annuale

in figura 4.17. La cumulata dell'energia elettrica include non solo l'assorbimento della pompa di calore ma anche l'energia utilizzata dalle resistenze poste alla base della pdc e sulle porzioni di condotti fuori terra per evitare il congelamento, nonchè l'energia delle pompe di circolazione del primario e del sistetema di monitoraggio SCS. Quindi si ha un leggero consumo di energia elettrica anche quando la pompa di calore è ferma.

Le due cumulate hanno un andamento pressochè identico e sono chiaramente visibili i periodi in cui la pompa di calore è stata attiva rispetto a quelli in cui è stata ferma. Il primo e più lungo periodo di stop è quello che va dal 18/01 al 12/03 mentre il secondo inizia il 16/04 in corrispondenza della fine del periodo di riscaldamento della zona climatica E. Soprattutto nel primo periodo di funzionamento della pompa di calore, quello che va dal 6/11 al 18/01, si nota un andamento a gradini dei consumi. Questo è solamente dovuto alla cadenza della registazione dei dati, infatti, l'energia termica e quella elettrica, vengono registrate ogni 12 ore. Logicamente la strategia di regolazione prevede di attivare il sistema di riscaldamento durante il giorno e per questo le 12 ore tra una registrazione e l'altra che più si accavallano al periodo diurno rileveranno una maggiore produzione di energia termica rispetto a quelle che coprono principalmente il periodo notturno.

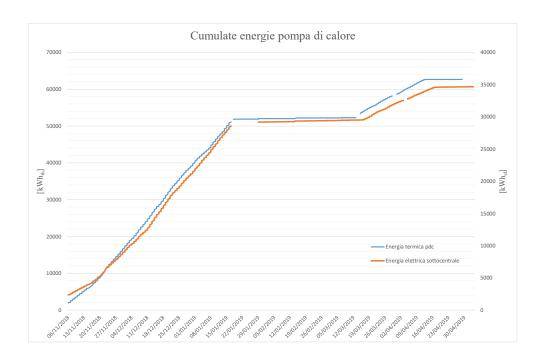


Figura 4.17: Cumulate dell'energia termica ed elettrica

Gli assorbimenti elettrici e, di conseguenza, la produzione termica sono maggiori nel primo periodo in cui la pompa di calore è attiva perchè la strategia tenta di sopperire al fabbisogno termico interamente con la pcd che, per arrivare a piena potenza, soprattutto nelle ore iniziali di riscaldamento al mattino, deve fare diversi cicli di sbrinamento, aumentando l'assorbimento e riducendo il COP. Nel secondo periodo in cui la pompa è funzionante, parte dei cicli di sbrinamento è evitata facendo intervenire la caldaia nelle prime ore del mattino, quando la temperatura esterna è particolarmente bassa.

Le temperature del sistema Il comportamento del sistema nei vari periodi può essere compreso con più chiarezza analizzando l'anadamento delle temperature dell'impianto di riscaldamento nell'arco di periodi relativamente brevi, come potrebbe essere una settimana. Il Building Management System raccoglie ogni 15 minuti i seguenti dati:

- Temperatura di mandata della pompa di calore
- Temperatura di ritorno della pompa di calore

- Temperatura di mandata generale
- Temperatura di ritorno generale
- Temperatura di uscita dallo scambiatore

Rappresentando questi dati in grafici settimanali, in particolare le due temperature di mandata e quella di uscita dallo scambiatore, si possono chiaramente identificare le diverse strategie di regolazione adottate.

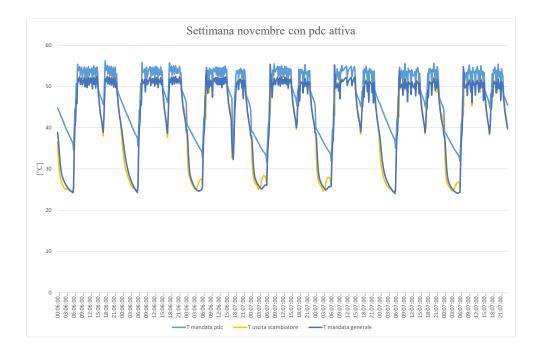


Figura 4.18: 25 novembre - 1 dicembre, con pompa di calore attiva

Nel primo periodo in cui la pompa di calore è attiva (dal 6 novembre al 18 gennaio) la strategia di regolazione segue quella proposta nella diagnosi energetica, cercando di sopperire al fabbisogno di energia termica solo tramite la pdc, facendo intervenire la caldaia solo quando necessario. Nel mese di novembre questa strategia è facilmente attuabile poichè le temperature esterne non sono ancora troppo rigide e quindi la pompa di calore, come visibile nella figura 4.18, riesce quasi sempre a produrre la totalità dell'energia termica necessaria. Dal grafico, infatti, si nota che la temperatura di mandata della pompa di calore è sempre maggiore di quella di mandata generale e quindi si deduce che non ci siano interventi da parte

della caldaia. Un eventuale intervento della caldaia, avvenendo al secondario, influenzerebbe solo la temperatura di mandata generale creando nel grafico dei picchi in cui la mandata generale diventa superiore alla mandata della pdc. Un comportamento simile a quello appena descritto, suppur poco accentuato, si nota negli ultimi quattro giorni del grafico 4.18 quando, all'accensione del sistema, intorno alle 6.00 del mattino, interviene la caldaia per mandare a regime più velocemente il sistema. Inoltre nel grafico si possono ancora notare dei minimi ripetuti nelle ore pomeridiane di ogni giorno a testimonianza che le temperature esterne non troppo basse permettono di interrompere il riscaldamento per qualche ora.

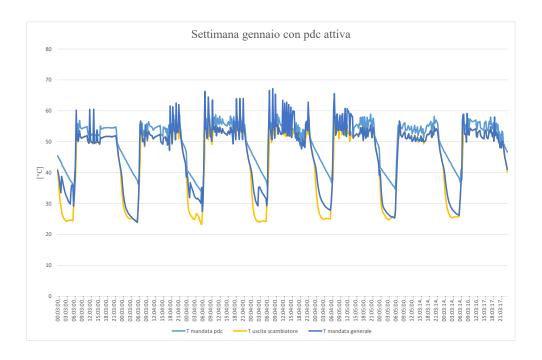


Figura 4.19: 9 - 15 gennaio, con pompa di calore attiva

Per quanto riguarda gennaio invece, come si vede nella figura 4.19, la caldaia deve intervenire molto spesso nell'arco della giornata a causa delle basse temperature esterne. Il primo intervento della caldaia si ha all'accensione dell'impianto di riscaldamento, la mattina, quando il sistema cerca di arrivare a regime e la pompa di calore effettua diversi cicli di sbrinamento (il primo picco della temperatura di mandata generale è visibile quasi tutti i giorni alle 7.00). Poi durante il corso della giornata ci possono essere altri numerosi interventi della caldaia, testimoniati da altri picchi nel grafico, in particolare la sera tra le 18.00 e le 20.00 ma, in alcuni casi anche durante il giorno. A differenza della settimana di novembre, inoltre, si

nota che il sistema di riscaldamento rimane sempre acceso, sfruttando a pieno le 14 ore di riscaldamento consentite dal D.P.R. 26 agosto 1993 n. 421 e s.m.i. in base alla zona climatica.

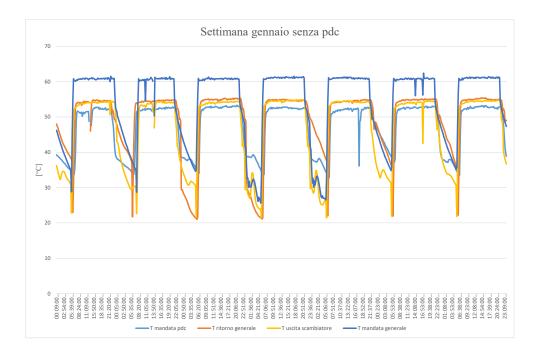


Figura 4.20: 28 gennaio - 3 febbraio, con pompa di calore spenta

Dal 18 gennaio al 13 marzo è stato deciso di mantenere la pompa di calore spenta e di produrre l'energia termica necessaria per il riscaldamento dell'edificio unicamente con la caldaia. Nella figura 4.20, infatti, appare evidente come la temperatura di mandata generale sia sempre ben al di sopra della temperatura di mandata della pompa di calore e, inoltre, sia molto costante rispetto ai continui picchi e minimi locali presenti nella settimana di gennaio con la pdc attiva (figura 4.19). In questo periodo, ad ulteriore prova che la pompa di calore sia spenta, si può notare che la temperatura di mandata della pdc è minore di quella di uscita dallo scambiatore e l'andamento di quest'ultima quasi coincide con quello della temperatura di ritorno generale. La temperatura di mandata della pdc ha anch'essa un andamento ciclico dovuto al fatto che lo scambiatore non è bypassabile quando la pdc è spenta e quindi una piccola parte dell'energia termica del circuito secondario passa al primario.

Nel secondo periodo in cui la pompa di calore è attiva (dal 13/3 al 15/4) viene attuato un cambio nella strategia di regolazione, decidendo di utilizzare in modo

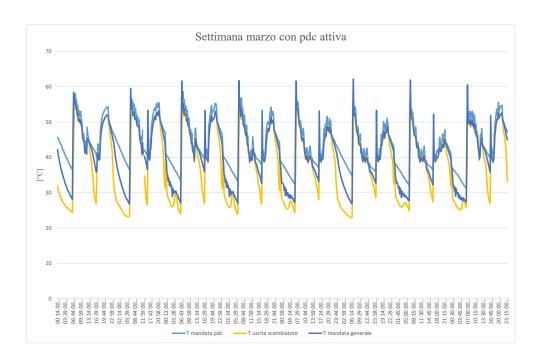


Figura 4.21: 19-26 marzo, con pompa di calore attiva

combinato e sistematico caldaia e pompa di calore. La nuova strategia prevede di utilizzare entrambe le sorgenti di energia termica all'accensione dell'impianto, in particolare alla mattina, così da non dover richiedere alla pompa di calore la massima potenza, evitando un eccessivo ricorso ai cicli di sbrinamento. Poi, una volta a regime, il sistema viene mantenuto in tale condizione unicamente dalla pdc. Questa nuova strategia è chiaramente visibile nella figura 4.21 in cui si nota un picco iniziale, intorno alle 7.00, della temperatura di mandata generale ma poi, nel restante periodo in cui il sistema è acceso, è sempre la temperatura di mandata della pompa di calore a essere maggiore. Si vede, inoltre, che l'andamento generale delle temperature durante il corso del giorno presenta una caratteristica simile a quello nel grafico della settimana di novembre, nella figura 4.18, ovvero un minimo locale nelle ore pomeridiane. Questo comportamento è giustificato, come nel caso precedente, dalle temperature esterne più miti rispetto a gennaio e al conseguente spegnimento dell'impianto di riscaldamento nelle ore centrali della giornata. In corrispondenza della riaccensione del sistema, viene applicata la stessa strategia illustrata sopra e si nota un primo picco della temperatura generale di mandata, dovuto all'intervento della caldaia, e poi un assestamento dell'andamento a ricalcare quello della temperatura di mandata della pompa di calore.

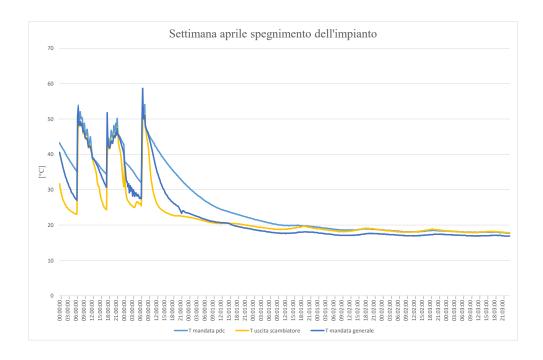


Figura 4.22: 16-22 aprile, spegnimento dell'impianto

Infine, nel grafico 4.17 delle cumulate, è presente un secondo periodo a pendenza orizzontale, che corrisponde alla fine della stagione di riscaldamento a partire dal 17 aprile. Con lo spegnimento dell'impianto tutte le temperature monitorate si riducono con lo stesso andamento, come si può notare nel grafico in figura 4.22, fino ad assestarsi a dei valori tra i 15 e i 17 °C.

I grafici presentati in questo paragrafo sono riproposti nell'appendice B nella loro forma più ricca e completa, includendo gli andamenti storici di tutte e cinque le temperature monitorate dal sistema di gestione e controllo.

Produzione fotovoltaica L'impianto fotovoltaico posto sul tetto del condominio, come già spiegato in precendenza, è stato attivato solo a partire dal 21 marzo e, da quel momento, il sistema di monitoraggio ha registrato l'ammontare di energia prodotta. La cumulata in figura 4.23 evidenzia i kilowattora totali prodotti nell'intero periodo dall'attivazione dell'impianto (dal 21/03 al 3/05).

La figura 4.24, invece, mostra l'energia giornaliera prodotta dall'impianto. Naturalmente la produzione di energia da parte dei moduli fotovoltaici dipende dall'irraggiamento solare ed è per questo variabile in base alle condizioni meteo giornaliere. Non essendo disponibili per la stazione meteo di rilevamento di Pinerolo i



Figura 4.23: Energia prodotta dall'impianto fotovoltaico

dati dell'irraggiamento, si procede inserendo nel grafico i dati delle precipitazioni, forniti dall'ARPA [38]. Ed effettivamente si nota che la produzione dell'impianto fotovoltaico è minore nei giorni in cui è piovuto, e quindi il cielo era nuvoloso.

Andando ad estrapolare dalla cumulata dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico il dato relativo all'energia prodotta dall'attivazione dell'impianto (21/03) fino al 17 aprile, ultimo giorno in cui il sistema di riscaldamento è stato acceso, si nota che questo valore è 3877kWh. Nello stesso periodo il sistema di riscaldamento ha assorbito 4212kWh, quindi la totalità dell'energia prodotta dai moduli fotovoltaici è stata autoconsumata e, in più, ulteriori 335kWh sono stati comprati dalla rete.

## 4.3 I dati reali, della modellazione e della diagnosi a confronto

In questa sezione verranno confrontati i dati presentati il precedenza, i quali possono essere divisi ini tre categorie:

• Dati reali

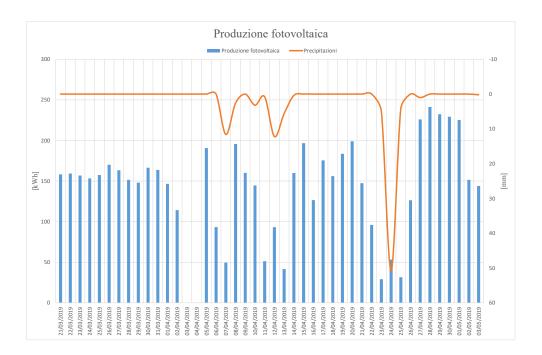


Figura 4.24: Energia giornaliera prodotta dall'impianto fotovoltaico

- Dati della simulazione di Design Builder
- Dati della diagnosi energetica

Generazione fotovoltaica La prima osservazione che può essere fatta riguarda la generazione fotovoltaica durante l'intero anno.

	Generazione fotovoltaica annua $[kWh]$				
Dati reali	-				
Dati Design Builder	36486				
Dati diagnosi	46017				

Per quanto riguarda i dati reali, essendo l'impianto fotovoltaico attivo solo da fine marzo, non si conosce la produzione annua. Si possono invece osservare le differenze tra l'energia prodotta stimata dalla diagnosi energetica e dalla simulazione con il software. Si nota che la seconda è più bassa della prima di circa il 20%, questo può essere dovuto al maggiore livello di dettaglio della simulazione rispetto alla diagnosi. Nella simulazione, infatti, si tiene conto anche dell'ombreggiamento prodotto dai

camini e dagli accessi al tetto presenti in corrispondenza di tutte e tre le colonne di scale, nel modello rappresentati in rosa.

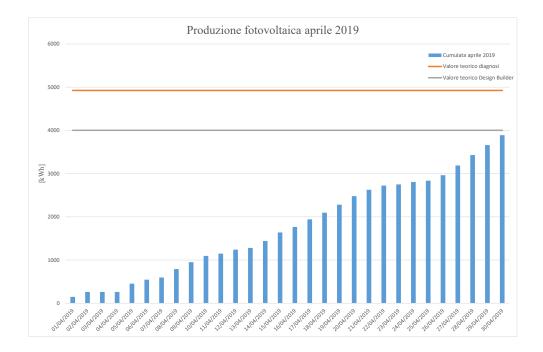


Figura 4.25: Cumulata generazione fotovoltaica e valori stimati dalle analisi

I dati reali possono essere confrontati con quelli prodotti dalle analisi per il mese di aprile, come si vede nella figura 4.25. I valori teorici forniti dalle analisi sono sempre maggiori di quelli reali ma la stima di Design Builder risulta decisamente più accurata con uno scostamento del 3% contro quello della diagnosi di circa il 25%. La stima ottenuta dalla simulazione dettagliata tramite software di modellazione può quindi essere considerata coerente con la produzione reale anche se, naturalmente, passando alla produzione giornaliera (figura 4.26), vengono evidenziati degli sfasamenti nella produzione dovuti alla differenza tra le condizioni meteo reali e quelle simulate dai file di archivio di Design Builder.

Energia termica La successiva osservazione riguarda l'energia termica. I dati reali forniscono informazioni sull'energia termica prodotta dalla pompa di calore coprendo tutta la stagione invernale mentre le analisi stimano il fabbisogno complessivo per il riscaldametno dell'edificio. La cumulata dei dati reali però, non raggiunge il valore di fabbisogno totale poichè la pompa di calore è stata ferma per quasi due mesi e, inoltre, non vengono considerati i continui interventi della caldaia

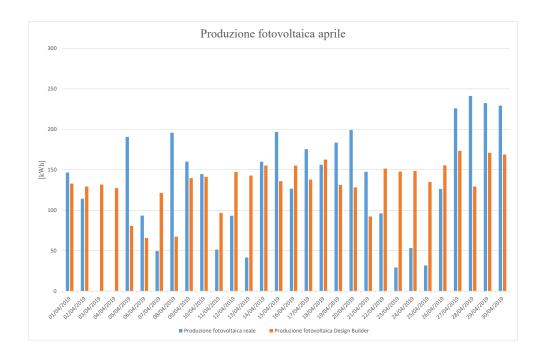


Figura 4.26: Produzione fotovoltaica giornaliera reale e modellazione

anche quando la pdc è attiva. Nella figura 4.27 viene quindi tracciata una linea di tendenza con una pendenza mediata sui due periodi in cui la pompa di calore è attiva e, così facendo, si ottiene una stima del fabbisogno annuo di circa 97,5 MWh che è ancora leggermente sottostimata in quanto gli interventi di integrazione della caldaia non vengono rendicontati. La stima della diagnosi energetica è di 108,0 MWh con uno scostamento di circa il 10% dal valore reale mentre quella della simulazione con Design Builder, maggiormente dettagliata, trova un fabbisogno totale più elevato, di circa 118,6 MWh, di oltre il 20% superiore al valore reale previsto. A causa della sottostima del valore reale, gli scostamenti dalle previsioni delle analisi saranno minori di quelli appena esposti e i risultati delle analisi saranno ancora più aderenti al comportamento reale del sistema.

Energia elettrica assorbita dalla pompa di calore La strategia iniziale di conduzione del sistema di riscaldamento prevedeva, come già spiegato, di soddisfare l'intero fabbisogno con la pompa di calore e di far intervenire la caldaia solo in casi particolari. I dati reali, come nel caso della cumulata termica precedentemente trattata, non forniscono il fabbisogno elettro annuale della pompa di calore in quanto questa è stata ferma dal 18 gennaio al 13 marzo, per questo nella figura

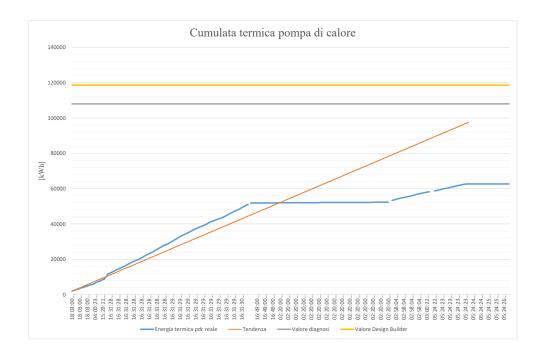


Figura 4.27: Fabbisogno termico per il riscaldamento

4.28 è stata tracciata una linea di tendenza per stimare la quantità di energia elettrica necessaria per l'intera stagione di riscaldamento.

Nella seguente tabella sono riassunti i fabbisogni elettrici stimati:

	Fabbisogno elettrico annuo della pd c $[MWh]$					
Dati reali	52,19					
Dati Design Builder	45,63					
Dati diagnosi	39,13					

Il valore della diagnosi è ottenuto assegnando un COP media stagionale alla pompa di calore di circa 2,8 mentre la simulazione tramite Design Builder considera un COP pari a 2,6. Queste assunzioni comportano uno scostamento dalla stima prodotta dai dati reali di oltre il 30% per quanto riguarda la diagnosi energetica e del 12% per la simulazione tramite software. Il COP nel caso reale è decisamente minore dei valori proposti nelle analisi, attestandosi tra 1,8 e 2, come già si poteva notare nella figura 4.17, facendo risultare le previsioni delle analisi sottostimate. L'abbassamento del COP nel caso reale può essere dovuto ai numerosi cicli di sbrinamento effettuati dalla pompa di calore, soprattutto in fase di avvio al mattino,

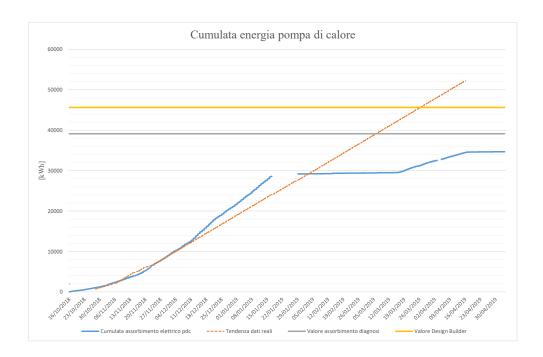


Figura 4.28: Fabbisogno elettrico della pompa di calore

che non vengono considerati per il calcolo del COP teorico. Inoltre, la pompa di calore per rispondere alla domanda di energia termica ha dovuto funzionare in alcune occasioni 16 ore al giorno, mentre in fase di diagnosi erano state considerate 14 ore di utilizzo.

Osservazioni e correzioni Dalle osservazioni dei paragrafi precedenti si capisce che la strategia di soddisfazione del fabbisogno di riscaldamento con la sola pompa di calore comporta un drastico abbassamento del COP a causa dei frequenti cicli di sbrinamento e, di conseguenza, un aumento dell'assorbimento elettrico. Questo viene stimato 52,2 MWh contro una generazione fotovoltaica annua di 36,5 MWh, rendendo l'impianto fotovoltaico, che era stato progettato per produrre nell'arco dell'anno la stessa quantità di energia assorbita dal sistema, sottostimato del 30%.

Alla luce dei dati di monitoraggio della prima stagione di riscaldametno dall'attivazione degli impianti, si decide quindi di correggere la strategia di riscaldamento passando da quella originale basata unicamente sulla pompa di calore a una ibrida caldaia-pdc. Per il condominio un minimo consumo di energia fossile è inevitabile, per la produzione di acqua calda sanitaria tramite scaldacqua a gas, quindi, nella nuova strategia, si decide di far intervenire sistematicamente la caldaia all'avvio

dell'impianto alla mattina. Così facendo si evita di richiedere la massima potenza alla pompa di calore cercando di limitare il numero di cicli di sbrinamento. Una volta che il sistema è a regime, e per il resto della giornata, funziona solo la pompa di calore e, anche se questa dovesse ricorrere a cicli di sbrinamento, a causa di temperature particolarmente basse, l'accumulo presente nel circuito primario sopperirebbe la richiesta per i pochi minuti necessari al ciclo. Questa strategia è la stessa che viene attuata nel secondo periodo di funzionamento della pompa di calore nel caso studio del condominio di Pinerolo nella stagione di riscaldamento 2018/19, come si nota nella figura 4.21, anche se in questo caso gli interventi della caldaia sono due, in corrispondenza delle due accensioni dell'impianto. Con la nuova strategia si rende necessario un certo consumo di combustibile fossile ma comunque in quantità inferiore al 90% o più del consumo pre-retrofit.

Gli interventi di via Bertairone costituiscono la prima riqualificazione energetica dalla nascita del progetto Energheia e sono serviti come progetto pilota per valutare l'efficacia dei sistemi e della strategia. Si è constatato che, per condomini situati nella fascia del nord Italia, con riscaldamento a radiatori per i quali non si intende apportare modifiche ai terminali di distrubuzione del calore, l'utilizzo ad integrazione della caldaia a gas si rende inevitabile. Inoltre, dall'osservazione dei sistemi di Pinerolo in questa prima stagione, si è verificato il comportamento delle pompe di calore durante inverni a queste latitudini e l'effettivo valore di COP rispetto a quelli teorici presentati nelle schede tecniche che sono risultati sopravvalutati. La nuova strategia, precedentemente descritta, verrà adottata sia per il condominio di Pinerolo che per i nuovi progetti di riqualificazione andando quindi in una direzione di produzione di energia termica ibrida e non più totalmente elettrica. Per i nuovi impianti fotovoltaici, infine, si è deciso di andare verso un leggero sottodimensionamento rispetto alla richiesta della pompa di calore.

## Capitolo 5

# Possibilità e prospettive per il parco immobili italiano

Grazie alle osservazioni del progetto pilota di via Bertairone a Pinerolo, Energheia ha potuto calibrare al meglio gli aggiustamenti necessari alla strategia di regolazione e al dimensionamento dei sistemi per i sucessivi interventi di riqualificazione. Un nuovo progetto è gia in fase di realizzazione a Borgaro e altri sono in fase preliminare di analisi e progettazione [25].

Per quanto riguarda la situazione generale, sul piano italiano, gli sforzi per l'efficientamento energetico e la transizione alle rinnovabili dovranno essere ingenti e sempre maggiori per poter raggiungere gli obiettivi della Strategia Energetica Nazionale (SEN) per il 2030 [39], analizzati nel capitolo 2. L'obiettivo che più riguarda gli interventi di riqualificazione è quello dell'efficienza energetica, che pone al 30% il risparmio atteso al 2030 rispetto al tendenziale attuale. Per raggiungere questo risultato occorre aumentare il numero di interventi annui in tutti i settori a partire dall'efficienza energetica degli involucri edilizi sia industriali che residenziali, sia pubblici che privati. In Italia ci sono circa 14 milioni di edifici tra residenziali e non. Solo gli edifici pubblici, scuole e uffici, devono affrontare una spesa annua di 1,8 miliardi di euro per i fabbisogni di riscaldamento e illuminazione, come stimato dall'Osservatorio e-lab nel rapporto L'innovazione nell'edilizia italiana [40]. La promozione di interventi di recupero edilizio e riqualificazione energetica, tramite incentivi da parte dello stato, ha permesso, negli anni, di favorire milioni di lavori e, in alcuni casi le agevolazioni concesse sono proporzionali ai risultati raggiunti, come nel caso dei condomini con i certificati APE (Attestato di Prestazione Energetica).

Il settore residenziale, in particore, pesa per il 38% sui consumi nazionali di energia e presenta grandi margini di miglioramento sotto l'aspetto dell'efficienza energetica, potendo contare sull'*Ecobonus* e, nel caso di adeguamenti strutturali, anche sul *Sismabonus*. Legambiente propone, nel rapporto *Civico 5.0 - Un altro modo di vivere il condominio* [41], di raggiungere le 30 mila riqualificazioni energetiche l'anno per quanto riguarda i condomini, a partire da quelli con maggiori

problemi di efficienza, portandoli almeno ad una classe energetica B o a una riduzione minima di fabbisogno di energia primaria del 50%. In Italia i condomini sono

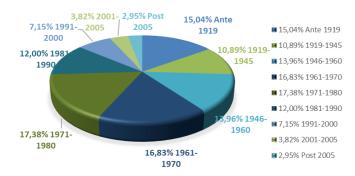


Figura 5.1: Periodo di costruzione degli edifici residenziali italiani [30]

circa 1,2 milioni e di questi l'82% è stato edificato prima dell'emanazione della Legge 10/91, intitolata Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia. Proprio per l'età avanzata (figura 5.1), il 40% dei condomini è in classe energetica G con prestazioni energetiche molto scarse (con conseguente costo di riscaldamento annuo elevato) e discomfort abitativo (muffa, umidità e infiltrazioni). Il comportamento termico poco efficiente viene facilmete evidenziato da una semplice analisi termografica, sia esterna che interna, che sottolinea l'assenza o l'inadeguatezza dell'isolamento, la debole tenuta termica con fuga del calore verso l'esterno (ponti termici) e l'impronta termica dei sistemi di riscaldamento (figura 5.2).

Per i condomini circa due terzi della spesa energetica media per famiglia sono per il settore termico, attestandosi intorno ai  $1200 \in /$ anno. Il caso studio del condominio di Pinerolo, prima dei lavori, partiva da una spesa media più bassa, circa  $850 \in /$ anno, grazie ai 4 cm di isolamento a cappotto già posizionato sulle pareti verticali. Per diminuire la spesa per l'energia termica Legambiente propone, sempre nel rapporto Civico 5.0, una serie di interventi classificati in ordine crescente di costo:

Costo [€]	Risparmio $[\%]$	Interventi				
0	4 - 10	Attenzione agli stili di vita e comportamenti				
		virtuosi				
500 - 2000	20 - 50	Sistemi di telecontrollo, caldaia a condensa-				
		zione, ecc.				
Oltre 2000	35 - 70	Cappotto termico, sostituzione infissi, im-				
		pianti ad energia rinnovabile				

Attuando almeno parte degli interventi presenti nella precedente tabella si possono raggiungere notevoli risparmi che, se venissero applicati anche solo agli edifici

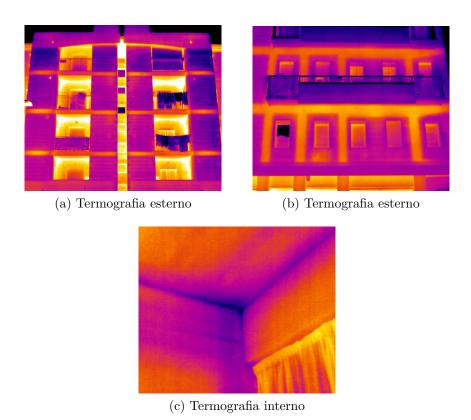
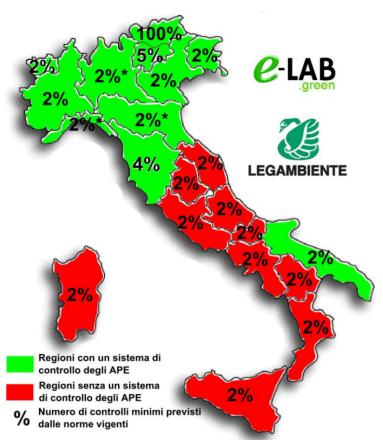


Figura 5.2: Termografie di edifici con basse efficienze energetiche

in condizioni più gravi, comporterebbero notevoli vantaggi economici e di comfort abitativo e concorrerebbero al raggiungimento degli obiettivi della SEN e di quelli Europei. I lavori di riqualificazione dovrebbero rivolgersi prioritariamente ai 740 mila condomini più bisognosi di interventi mentre, per effetto della *Direttiva Europea 31/2010*, i nuovi edifici pubblici, dal 2019, e quelli privati, dal 2021, dovranno essere realizzati e certificati come nZEB.

Un utile strumento per mappare e monitorare le prestazioni energetiche del parco immobili italiano consiste nei controlli obbligatori degli APE di una percentuale di edifici, stabilita dal Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 e visibile nella figura 5.3.

Il futuro prossimo sarà quindi caratterizzato da una sempre maggiore rivalutazione del parco edilizio esistente, tramite riqualificazioni energetiche e adeguamenti strutturali, mentre le nuove costruzioni seguiranno i più alti standard energetici contribuendo a diminuire i consumi e a migliorare il comfort abitativo. Inoltre, con l'installazione di impianti fotovoltaici sul tetto, gli edifici diventano fondamentali anche per raggiungere gli obiettivi italiani ed europei sulle fonti energetiche



\*Le Regioni Liguria, Lombardia ed Emilia-Romagna hanno avviato un sistema di controllo informatizzato degli APE presentati.

Figura 5.3: Sistema di controllo sugli APE degli edifici

rinnovabili. Un metodo per velocizzare la transizione energetica e incentivare l'efficientamento è quello, spiegato nella sezione 3.2, di puntare sulla diffusione delle comunità energetiche facendo tesoro dell'esperienza che verra prodotta dalla neonata Comunità Energetica Pinerolese. Lo sviluppo di queste comunità favorirà l'autoproduzione, l'autoconsumo e l'elettrificazione dei sistemi, oltre al libero scambio di energia all'interno di territori relativamente ridotti, così da diminuire la movimentazione dell'energia su grandi distanze tramite la rete nazionale, riducendone i costi e diminuendo la dipendenza energetica nazionale da altri paesi, ancora molto forte in Italia. Tutto questo sarà possibile solamente se verrà favorito a livello normativo, dando garanzie alle aziende confermando con continuità gli incentivi, semplificando e digitalizzando il più possibile l'iter burocratico per gli interventi sull'edificio e per sistemi basati su fonti rinnovabili creando un circolo virtuoso di risparmi economici, creazione di lavoro, diminuzione delle emissioni di gas climalteranti e miglior qualità della vita.

## Capitolo 6

## Conclusioni

Il presente elaborato ha trattato l'analisi, in seguito alla riqualificazione energetica, di un condominio sito a Pinerolo (TO). Lo studio ha messo a confronto il comportamento degli impianti di nuova installazione durante un'intera stagione di riscaldamento, con le stime presentate durante la fase antecedente i lavori, dalla diagnosi energetica, e i dati prodotti dalla simulazione dinamica realizzata tramite Design Builder.

L'analisi della diagnosi energetica ha permesso di comprendere i criteri e le linee guida che hanno portato alla proposta degli interventi, nonchè al dimensionamento dell'impianto di riscaldamento e di quello fotovoltaico. Inoltre sono state presentate le stime di risparmio sul fabbisogno energetico annuo per il riscaldamento, pari al 62%, con un conseguente risparmio economico di poco meno di  $18000 \in /anno$ .

L'analisi degli interventi e della situazione post-retrofit dell'edificio, successivamente, hanno permesso di comprendere i miglioramenti energetici e estetico-architettonici di cui il condominio ha potuto beneficiare grazie alla riqualificazione energetica.

In seguito, la simulazione dinamica dell'edificio, tramite la creazione di un modello tridimensionanle su Design Builder, ha permesso di ottenere un fabbisogno totale dell'edificio leggermente maggiore rispetto alla diagnosi, ma che comunque comporterebbe un risparmio, rispetto ai consumi ante-operam, del 59%.

Un altro importante punto, che è stato messo in evidenza dalla simulazione dinamica, riguarda l'impianto fotovoltaico che risulta non essere in grado di produrre, nell'arco dell'anno, tutta l'energia necessaria alla pompa di calore, per sopperire alla domanda di riscaldamento. Il valore di produzione fotovoltaica individuato dalla modellazione, ritenuto accurato dal confronto con i dati reali, è di 36,5 MWh.

Infine, l'analisi dei dati della prima stagione di riscaldamento (2018/19), dall'attivazione degli impianti, ha permesso di individuare, o di stimare con accuratezza, nel caso di incompletezza dei dati, gli effettivi valori di fabbisogno energetico e il comportamento dei nuovi sistemi.

Per quanto riguarda il fabbisogno energetico reale, questo risulta attestarsi a circa

100 MWh rispettando adeguatamente le previsioni.

Invece, per quanto riguarda gli impianti, è stato riscontrato un comportamento diverso dalle previsioni per la pompa di calore. Infatti i COP (Coefficient Of Performance), stimati nella diagnosi e nella modellazione, sono risultati molto maggiori di quello reale, che, alle latitudini di Pinerolo, si è attestato fra 1,8 e 2. Inoltre il COP reale si è dimostrato molto minore anche di quello teorico indicato nella scheda tecnica della pompa di calore, il quale non tiene in considerazione i cicli di sbrinamento, fondamentali quando la macchina opera a basse temperature.

Preso atto di questo comportamento, si è reso necessario un cambio di strategia di regolazione del sistema, passando da quella originale che prevedeva l'uso esclusivo della pompa di calore, e quindi l'assorbimento unicamente di energia elettrica, a una ibrida che integri la pompa di calore con la caldaia a gas. L'intervento della caldaia viene limitato al momento dell'accensione dell'impianto con lo scopo di mandare a regime il sistema più velocemente ed evitare un eccessivo ricorso ai cicli di sbrinamento da parte della pompa di calore.

Il condominio oggetto dell'elaborato è il primo progetto realizzato da Energheia, la quale, sfruttando questo lavoro come *progetto pilota*, ha potuto sviluppare una nuova strategia di configurazione di riscaldamento ibrida che potrà essere attuata per i prossimi progetti di riqualificazione.

In definitiva, la riqualificazione energetica ha permesso di ridurre il fabbisogno di energia per il riscaldamento di oltre il 60% e di portare l'edificio ad un consumo annuo di poco inferiore a  $30~kWh/m^2$ . Questo risultato consente all'edificio di raggiungere la classe energetica A, comportando un maggior comfort abitativo, una minore spesa energetica ed un considerevole plusvalore immobiliare. A questi risultati si può anche aggiungere una importante diminuzione delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera, con conseguenti notevoli vantaggi ambientali e di salute.

Visti gli ottimi risultati raggiunti, la riqualificazione energetica si conferma uno strumento importante per la riduzione del consumo di energia e il raggiungimento degli obiettivi nazionali e comunitari, soprattutto in considerazione delle enormi potenzialità che interventi di questo genere avrebbero se attuati in larga scala, a partire dagli edifici più vecchi e con prestazioni energetiche più scarse. Si auspica, quindi, un sempre più frequente e diffuso ricorso alla riqualificazione energetica grazie alla crescente attenzione, da parte dello stato e dei cittadini, all'importanza del risparmio energetico.

# Appendice A Schede tecniche

A.1 Scheda tecnica moduli fotovoltaici



CARATTERISTICHE ELETTRICHE								
MODULO	FU 250 P	FU 255 P	FU 260 P FU 265 P		FU 270 P	FU 275 P		
Standard Test Condi	lsc (±5%)							
Potenza del modulo (Pmax)	W	250	255	260	265	270	275	
Tensione di circuito aperto (Voc)	V	36,91	37,27	37,59	37,95	38,3	38,65	
Corrente di corto circuito (Isc)	Α	8,74	8,81	8,86	8,95	9,03	9,11	
Tensione di massima potenza (Vmpp)	V	30,21	30,50	30,65	30,95	31,22	31,52	
Corrente di massima potenza (Impp)	Α	8,28	8,37	8,49	8,57	8,65	8,73	
Efficienza modulo	%	15,30	15,61	15,92	16,22	16,53	16,84	
Nomin	al Modu	ıle Operating Tei	mperature NMO1	: 800 W/mq - T=4	5 °C - AM 1,5			
Massima Potenza (Pmax)	198	202						
Tensione di circuito aperto (Voc)	V	33,77	34,10	34,39	34,72	35,04	35,36	
Corrente di corto circuito (Isc)	Α	7,16	7,22	7,26	7,33	7,40	7,46	
Tensione di massima potenza (Vmpp)	V	27,52	27,79	27,92	28,20	28,44	28,71	
Corrente di massima potenza (Impp)	А	6,69	6,76	6,86	6,92	6,99	7,05	
		,	,					

CARATTERISTICHE OPERATIVE						
Coefficiente di temperatura Isc	%/°C	0,0474				
Coefficiente di temperatura Voc	%/°C	-0,285				
Coefficiente di temperatura Pmax	%/°C	-0,37				
NMOT *	°C	45				
Temperatura di esercizio	°C	da -40 a +85				

<sup>\*</sup> Nominal Module Operating Temperature

CARATTERISTICHE TECNICHE						
Dimensioni	1650 x 990 x 35 mm					
Peso	17,9 kg					
Vetro	Temperato trasparente da 3,2 mm					
Incapsulante	EVA (etilvinilacetato)					
Celle	60 celle in silicio policristallino da 156,75x156,75 mm					
Backsheet	Multistrato in poliestere					
Cornice	Profilo in alluminio anodizzato con fori di drenaggio					
Scatola di giunzione	Certificato secondo IEC 62790, omologato IP 68					
Cavi e connettori	Lunghezza 900 mm con connettori MC4 compatibili					
Massima corrente inversa (Ir)	20 A					
Tensione massima di sistema	1000 V (1500 V su richiesta)					
Carico massimo (vento/neve)	5400 Pa (incluso fattore di sicurezza 1,5)					
Protection Class	II - conforme a IEC 61730					





FuturaSun srl Riva del Pasubio, 14 - 35013 Cittadella - Italy Tel + 39 049 5979802 Fax + 39 049 0963081 www.futurasun.com - info@futurasun.it

### A.2 Scheda tecnica serramenti

Nobento S.p.A. a socio unico
Società soggetta all'attività di direzione
e coordinamento di Nobefin s.r.l.
Z.l. San Marco Via del Progresso 4/6 07041 Alghero (SS)
Tel. +390799896001 (r.a) Fax +390799896004
www.nobento.it - info@nobento.it



Vs Riferimento

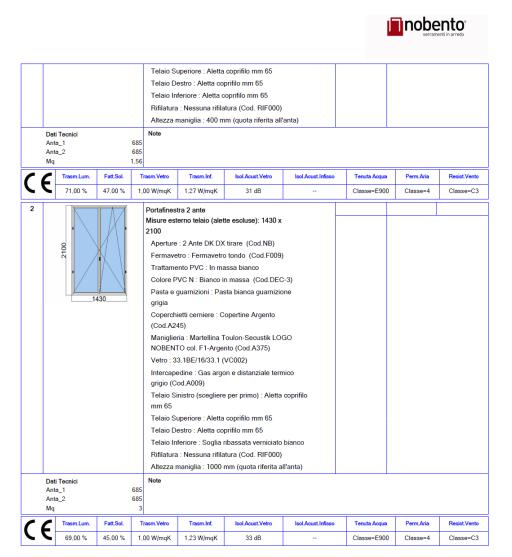
Via Bertairone - piano terzo

Spett.le

TECNOZENITH srl di Delgrosso e C. corso roma 28 12037 - Saluzzo (CN)

CLASSICO Sistema battente in PVC - Telaio mm. 70 - Anta mm. 70 Descrizione serie: Sistema a cinque camere - Sistema a due guarnizioni - Apertura verso l'interno e l'esterno (anta/ribalta esclusa su apertura esterna) - Certificazioni: Marcatura CE - Relazione di collaudo WTCB DE 651 XH 607 CAR 9262 del 20/10/2009 (Belgian Building Research Institute) - Resistenza al carico vento: C3 - Tenuta all'acqua: E900 - Permeabilità all'aria: 4 - Trasmittanza termica telaio Uf = 1.3 W/m2K - Specifiche: Anta-ribalta di serie (escluso tipologie a trapezio e ad arco) - Sistema di microventilazione integrata (escluso tipologie Bilico e tipologie 3 e 4 ante senza montante) - Asta a leva con 2 chiusure antieffrazione (su tipologie battente multana) - Rinforzo in acciaio zincato - Ferramenta a nastro SIEGENIA mod. Titan finitura argento-titanio - Guarnizione di battuta anta in PVC - Guarnizione vetro in PVC - Cappetta di drenaggio - Coprifilo integrato mm. 40 - Cerniere: Portata massima Kg. 130 per anta - Frizione antivento - Copriceniera in resina col. F1-Argento (standard) a richiesta (F9-Titanio F3-Oro F4-Bronzo F9016-Bianco) - Maniglie per portefinestre e portefinestre: Martellina in alluminio mod. ATLANTA Secustik col. F1-Argento (standard) a richiesta (F9-Titanio F3-Oro F4-Bronzo F9016-Bianco) con cilindro europeo passante di blocco - Wasistas: Cricchetto in resina nera - Sistemi per traslanti: Carter col. F1-Argento (standard) a richiesta (9003-Bianco 8022-Testa di moro) - Bilico: Coppia frizioni portata Kg. 200 col. 9010-Bianco (su Bianco) 8017-Marrone (su altri colori) - Riempimenti: Vetrata isolante basso-emissiva chiara antinfortunistica interna (finestra e portafinestra con traverso - specchiatura superiore) - Vetrata isolante basso-emissiva chiara antinfortunistica interna de esterna (portafinestra unica specchiatura e portafinestra con traverso - specchiatura superiore) - Vetrata isolante basso-emissiva chiara antinfortunistica interna de esterna (portafinestra con traverso - specchiatura superiore) - Vetrata isolan

Item	Figura	Descrizione	Prezzo Un.	Q.tà	Totale
1	1430	Finestra 2 ante Misure esterno telaio (alette escluse): 1430 x 1090  Aperture: 2 Ante DK DX tirare (Cod.NB) Fermavetro: Fermavetro tondo (Cod.F009) Trattamento PVC: In massa bianco Colore PVC N: Bianco in massa (Cod.DEC-3) Pasta e guarnizioni: Pasta bianca guarnizione grigia Coperchietti cerniere: Copertine Argento (Cod.A245) Maniglieria: Martellina Toulon-Secustik LOGO NOBENTO col. F1-Argento (Cod.A375) Vetro: 4BE/16/22.1 (VC001) Intercapedine: Gas argon e distanziale termico grigio (Cod.A009) Telaio Sinistro (scegliere per primo): Aletta coprifilo mm 65			



## A.3 Scheda tecnica pompa di calore



(XL/HH) Versione Super Silenziata-Solo riscal	damento	1002	1202	1504	1704	2004	2404
Classe energetica in bassa temperatura - Reg EU 811/2013		A+	A+	A++	A++	A+	A+
Classe energetica in alta temperatura - Reg EU 811/2013		A+	A+	A+	A+	A+	A+
Potenza termica (EN14511) (1)	kW	93,2	110,5	149,0	161,0	183,0	210,0
Potenza assorbita totale (EN14511) <sup>(1)</sup>	kW	22,5	26,3	34,6	38,0	42,7	50,0
COP (EN14511) (1)	W/W	4,14	4,20	4,30	4,23	4,28	4,20
Alimentazione elettrica	V/Ph/Hz	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50
Corrente max. assorbita unità standard	Α	74,0	79,0	112,4	138,4	148,0	158,0
Corrente di spunto unità standard	Α	215,0	225,0	228,0	282,0	287,0	318,0
Corr. di spunto unità std con soft starter (optional)	Α	128,0	138,0	132,0	170,0	175,0	190,0
Portata aria max. in modalità riscaldamento	m³/h	38000	38000	48000	56000	70000	70000
Ventilatori	n°	2	2	4	4	6	6
Compressori / Circuiti	n°/n°	2/1	2/1	4/2	4/2	4/2	4/2
Potenza sonora max. in modalità riscaldamento (2)	dB (A)	79	79	77	79	80	80
Pressione sonora max. in modalità riscaldamento (3)	dB (A)	51	51	49	51	52	52

#### CARPENTERIA

Tutte le unità della serie sono prodotte in lamiera zincata a caldo e verniciata con polveri poliuretaniche in forno a 180°C per sasicurare la migliore resistenza agli agenti atmosferici. La carpenteria è autoportante con pannelli removibili per agevolare l'ispezione e la manutenzione dei componenti interni. Tutte le viti ed i rivetti per installazione esterna sono in acciaio inossidabile. Il colore della carpenteria è RAL 9018.

#### CIRCUITO FRIGORIFERO

Il circuito frigorifero è realizzato utilizzando componenti di primarie aziende internazionali e secondo la normativa ISO 97/23 riguardante i processi di saldo brasatura. Il gas refrigerante utilizzato è R410A.

Il circuito frigorifero include: spia del liquido, filtro deidratore, doppia valvola di espansione (una per il raffreddamento e una per il riscaldamento) con equalizzatore esterno, valvola a 4 vie, valvole unidirezionali, ricevitore di liquido, valvole Schrader per manutenzione e controllo, dispositivo di sicurezza (secondo normativa PED).

Le unità sono inoltre fornite di scambiatore a piastre in AlSl316 utilizzato come economizzatore e circuito termostatico aggiuntivo di iniezione vapore.

#### COMPRESSORE

I compressori utilizzati sono del tipo scroll ad alta efficienza, forniti con un disegno speciale che aumenta l'efficienza del ciclo refrigerante in condizioni di temperatura ambiente molto bassa. Tutte le grandezze utilizzano compressori in configurazione tandem. Le unità sono fornite anche di un economizzatore e di un sistema di iniezione a vapore, ovvero un metodo versatile per migliorare la capacità e l'efficienza del sistema. La tecnologia di iniezione a vapore, consiste nell'iniettare il vapore refrigerante nel mezzo del processo di compressione, per aumentare significativamente le capacità e le efficienze. Ogni compressore scroll utilizzato è sostanzialmente simile ad un compressore a due stadi ma con il raffreddamento integrato a metà stadio. Lo stadio più alto consiste nell'estrarre una parte del liquido condensante e di espanderlo attraverso una valvola di espansione nello scambiatore che agisce come sotto raffreddatore. Il vapore super riscaldato viene poi injettato nella parte intermedia del compressore scroll. Il sotto raffreddamento

aggiuntivo aumenta la capacità dell'evaporatore. Più grande è il rapporto tra la pressione condensante e quella evaporante, più ne guadagna l'esecuzione con questo sistema in rapporto ad ogni altra tecnologia legata ai compressori. I compressori sono tutti forniti con resistenza elettrica e protezione di sovraccarico termico. Sono tutti montati in un vano separato per tenerti divisi dal flusso dell'aria. La resistenza elettrica è sempre alimentata quando il compressore è in stand by. La manutenzione è possibile attraverso il pannello frontale dell'unità che permette di arrivare ai compressori anche quando la macchina è in funzione.

#### SCAMBIATORE SORGENTE

Gli scambiatori esterni sono realizzati in tubi di rame ed alette in alluminio. I tubi di rame hanno un diametro di 3/8", lo spesso-re delle alette di alluminio è di 0,1 mm.
I tubi sono mandrinati meccanicamente nelle alette di alluminio per aumentare il fattore di scambio termico. La geometria di questi scambiatori consente un basso valore di perdite di carico lato aria e quindi la possibilità di utilizzare ventilatori a basso numero di giri (con conseguente riduzione della rumorosità della macchina). Tutti gli scambiatori sono forniti di serie con trattamento idrofilico delle alette

#### SCAMBIATORE UTENZA

Gli scambiatori lato utenza, del tipo a piastre saldo brasate, sono realizzati in acciaio inossidabile AISI 316. L'utilizzo di questo tipo di scambiatori riduce enormemente la carica di gas refrigerante dell'unità rispetto ai modelli a fascio tubiero, consentendo inoltre una riduzione delle dimensioni della macchina. Gli scambiatori sono isolati in fabbrica utilizzando materiale a celle chiuse e possono essere equipaggiati di resistenza elettrica antigelo (accessorio). Ogni scambiatore è profetto da una sonda di temperatura utilizzata come protezione antigelo.

#### VENTILATORI

I ventilatori sono realizzati in alluminio, di tipo assiale con pale a profilo alare. Sono tutti bilanciati staticamente e dinamicamente e forniti completi di griglia di protezione in aderenza alla normativa EN 60335. I ventilatori sono installati sull'unità mediante l'interposizione di antivibranti n gomma per ridurre la rumorosità emes-

sa. Tutti i motori elettrici utilizzati sono a 8 poli (circa 600 giri/min.). Nelle versioni NN i ventilatori sono a 12 poli (circa 450 giri/min.). Tutte le unità sono fornite di serie di dispositivo di controllo evaporazione/condensazione tramite trasduttore e regolatore di giri ventilatore. I motori sono direttamente accoppiati ed equipaggiati di protezione termica integrata. I motori sono tutti con grado di protezione IP 54.

#### MICROPROCESSORE

Tutte le unità standard sono fornite con controllo a microprocessore. Il microprocessore controlla le seguenti funzioni: regolazione della temperatura dell'acqua, protezione antigelo, temporizzazione compressori, sequenza avviamento compressori (nel caso di più compressori presenti), reset allarmi. Il pannello di controllo è provvisto di display ed interfaccia utente. Il microprocessore è impostato per la gestione dello sbrinamento automatico (in caso di funzionamento con condizioni esterne gravose) e per la commutazione estate/inverno. Il controllo è inoltre in grado di gestire il programma di shock termico anti legionella, integrazione con altre sorgenti termiche (resistenze elettriche, pannelli solari etc), controllo e gestione di una valvola modulante, e della pompa del circuito sanitario. Su richiesta il microprocessore può essere collegato a sistemi BMS di controllo remoti. L'ufficio tecnico è disponibile a studiare, assieme al cliente differenti soluzioni utilizzando protocolli MODBUS

#### QUADRO ELETTRICO

Il quadro elettrico è realizzato in aderenza alle normative Europee 73/23 e 89/336. L'accessibilità al quadro elettrico è possibile tramite la rimozione del pannello frontale dell'unità

In tutte le unità sono installati, di serie, il relè sequenza fasi (solo unità in versione trifase) che disabilità il funzionamento del compressore nel caso in cui la sequenza di alimentazione non sia corretta (i compressori scroll, infatti, non possono funzionare con senso di rotazione contrario).

I seguenti componenti sono inoltre installati di serie: interruttore generale, interruttori magneto termici (a protezione delle pompe e dei ventilatori), magnetotermici compressori, relè compressore, interruttori magnetotermici, relè pompe (se presenti). Il quadro è inoltre fornito di morsettiera con contatti puliti per la commutazione estate/ inverno, l'ON OFF remoto e contatti puliti per allarme generale.

#### DISPOSITIVI DI CONTROLLO E PROTEZIONE

Tutte le unità sono fornite con i seguenti dispositivi di controllo e di protezione: sonda di temperatura ritorno acqua utenza, sonda di temperatura protezione antigelo installata sull' uscita acqua utenza, sonde di temperatura ritorno e mandata acqua calda sanitaria (solo versioni P4S e P4U), pressostato alta pressione a riarmo manuale, pressostato bassa pressione a riarmo automatico, protezione termica compressore, protezione termica ventilatore, trasduttore di pressione (usato per ottimizzare il ciclo di sbrinamento e per regolare la velocità del ventilatore in funzione delle condizioni ambiente), flussostato. Tutte le unità sono equipaggiate con sonde di temperatura con funzione di "Risparmio Energetico", fornite separatamente, che possono essere installate nel serbatoio inerziale dell'impianto per spegnere le pompe di circolazione durante i periodi di stand-by riducendo, in questo modo, il consumo elettrico dell'impianto.

#### VERSIONI

Versioni per solo riscaldamento HH sono disponibili nelle configurazioni P2U, P2S e P4S.

#### VERSIONE P2I

Questa versione utilizza 2 attacchi idraulici ed è in grado di produrre acqua calda nel periodo invernale ed acqua fredda nel periodo estivo. L'unità va abbinata ad un impianto a 2 tubi. Non è in grado di produrre acqua calda sanitaria.



#### **VERSIONE P2S**

Questa versione utilizza 2 attacchi idraulici ed è in grado di produrre acqua calda nel periodo invernale, acqua fredda nel periodo estivo ed acqua calda per uso sanitario durante tutto l'anno. L'unità va abbinata ad un impianto a 2 tubi e collegata ad una valvola a 3 vie esterna ( non fornita) per la produzione di acqua calda sanitaria in priorità.



#### VERSIONE P49

Questa versione utilizza 4 attacchi idraulici ed è in grado di produrre acqua calda nel periodo invernale, acqua fredda nel periodo estivo (solo per versioni RV) ed acqua calda per uso sanitario durante tutto l'anno utilizzando un circuito idraulico indipendente. L'unità va abbinata ad un impianto a 4 tubi dove 2 tubi sono dedicati al circuito utenze e 2 tubi sono dedicati al circuito utenze.



#### VERSIONE P4U

Questa versione utilizza 4 attacchi idraulici e viene utilizzata nei moderni impianti a 4 tubi. In questi impianti, l'acqua fredda e calda è sempre disponibile (in ogni periodo dell'anno) e presente nello specifico circuito idraulico. L'impianto così concepito è in grado di riscaldare alcuni ambienti e, contemporaneamente, se richiesto, raffreddarne altri con efficienze energetiche elevatissime. In questa configurazione le unità sono anche in grado di produrre disgiuntamente acqua calda o acqua fredda in qualsiasi periodo dell'anno. Questa versione non è in grado di produrre acqua calda sanitaria.

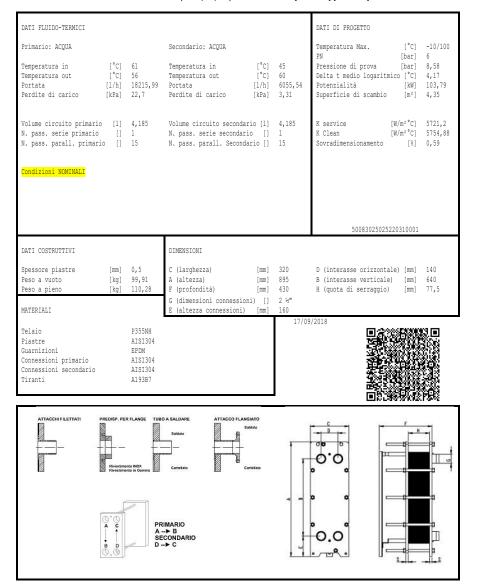


## A.4 Scheda tecnica scambiatore



#### **SCAMBIATORE AX8-31 L**

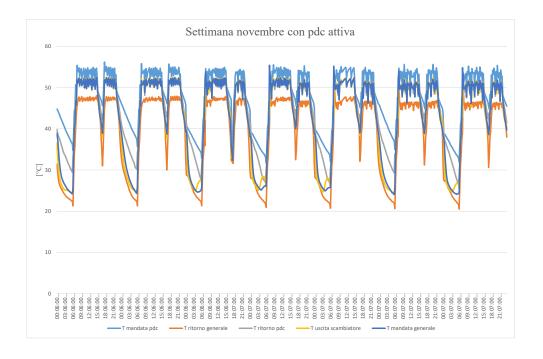
Classificazione PED (2014/68/UE): Art.4 comma 3 [FGP2NV] [FGS2NV]

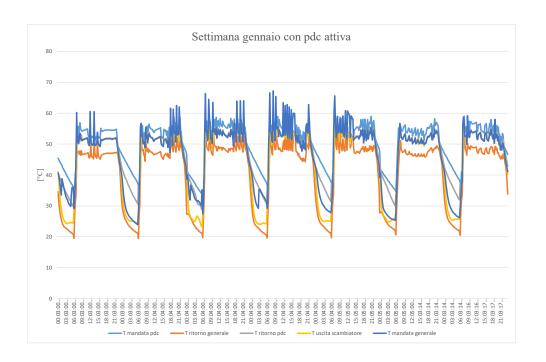


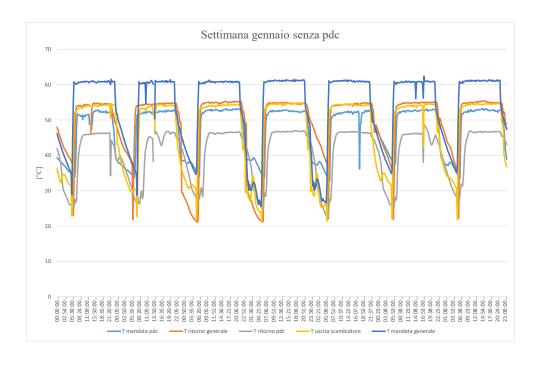
## Appendice B

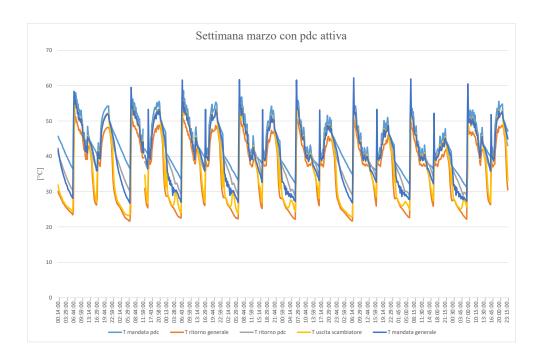
## Grafici completi

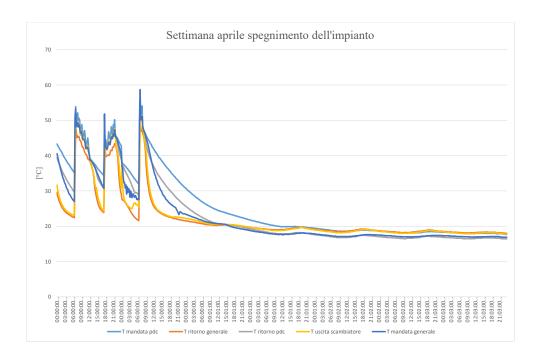
Nella presente appendice vengono proposti i grafici, già analizzati nella sezione 4.2, con l'aggiunta degli storici delle temperature di ritorno della pompa di calore e del generale che, per semplificare la lettura dei grafici stessi, non erano stati aggiunti in fase di analisi.











## Bibliografia

- [1] Comuni rinnovabili. Legambiente, 2019.
- [2] ISTAT, bilancio energetico. URL: http://dati.istat.it/Index.aspx? QueryId=20142.
- [3] PREPAC. URL: http://www.efficienzaenergetica.enea.it/pubblica-amministrazione/prepac.
- [4] Accordo di Parigi. Conferenza sul clima di Parigi COP21. 2015. URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\_it.
- [5] Pacchetto 20 20 20. 2009. URL: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020 it.
- [6] Direttiva Europea 2002/91/CE. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD).
- [7] Direttiva Europea 2009/28/CE. Sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
- [8] Direttiva Europea 2010/31/UE. Energy Performance of Buildings Directive Recast.
- [9] Clean Energy for All Europeans. 2016. URL: https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans.
- [10] Legge 10/91 della Repubblica Italiana. Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
- [11] Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.
- [12] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192.
- [13] Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n.28.

- [14] Legge 90/2013 della Repubblica Italiana.
- [15] Decreto Ministeriale 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- [16] Alfonso Capozzoli e Alice Gorrino. Caratterizzazione energetica e tecnologie costruttive dell'involucro edilizio. Vol. 6. Quaderni di Bioedilizia. Forte Change Piemonte, 2010.
- [17] Gaetano Scardino. «Studio di fattibilità della comunità energetica di Pinerolo». Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare. Politecnico di Torino, 2018.
- [18] AtlaImpianti. URL: https://atla.gse.it/atlaimpianti/project/Atlaimpianti\_ Internet.html.
- [19] Promozione dell'istituzione delle comunità energetiche. Legge regionale 3 agosto 2018 n.12. Regione Piemonte.
- [20] Statuto del Consorzio Pinerolese Energia. URL: https://www.aceapinerolese.it/wp-content/uploads/2017/05/Statuto-CPE.pdf.
- [21] Google Maps. URL: https://www.google.it/maps/.
- [22] Disposizioni organiche in materia di enti locali. Legge regionale 28 settembre 2012 n.11. Regione Piemonte.
- [23] Guida ai Comuni, alle Province ed alle Regioni d'Italia. 2019. URL: https://www.tuttitalia.it/piemonte/79-pinerolo/.
- [24] Decreto Legislativo 115/2008. Gazzetta Ufficiale n.154 3 luglio 2008.
- [25] Energheia. URL: https://www.energheiatecno.com/contrattoepc.
- [26] Gianpaolo Valentini. Il ricorso al finanziamento tramite terzi. ENEA. 1997.
- [27] Energheia, Efficientamento Energetico. URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/26792b\_9bf071786884492387dd14825b03327a.pdf.
- [28] UNI CEI EN 16247, Diagnosi energetiche. Enete Nazionale Italiano di Unificazione, 2014.
- [29] Decreto Ministeriale 26 giugno 2015, Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. Gazzetta Ufficiale n.162 15 luglio 2015.
- [30] Yannick Pellissier. «Diagnosi energetica di una Social Housing». Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare. Politecnico di Torino, 2019.
- [31] Intervento di riqualificazione e risparmio energetico per il condominio via Bertairone abc comune di Pinerolo, via Bertairone 49. Diagnosi energetica di riferimento.

#### BIBLIOGRAFIA

- [32] Gse, Scambio Sul Posto. URL: https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/scambio-sul-posto.
- [33] Michele Calì e Paolo Gregorio. Termodinamica. Progetto Leonardo, 2006.
- [34] Swiss Control System. URL: http://www.swisscontrolsystem.com/it.
- [35] U.S. Department of Energy. Energy Plus Documentation, Getting Started. 2018.
- [36] Design Builder. URL: http://www.designbuilderitalia.it/.
- [37] Design Builder Guide. URL: https://designbuilder.co.uk/helpv4.5/.
- [38] Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale Piemonte. URL: https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali\_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html.
- [39] Ministero dello Sviluppo Economico e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. SEN 2017 Strategia Energetica Nazionale. 2017.
- [40] Osservatorio e lab. L'innovazione nell'edilizia italiana. Legambiente, 2016.
- [41] Civico 5.0 Un altro modo di vivere il condominio. Legambiente, 2018.
- [42] Lorenzo Pantieri e Tommaso Gordini. L'arte di scrivere con LaTex.