



POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Energetica e
Nucleare**

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Riqualificazione

energetica di un

albergo in alta quota

Relatore

Prof. Vincenzo Corrado

Correlatori

Ing. Ilaria Ballarini

Ing. Domenico Dirutigliano

Candidato

Elisa Carrozza

Aprile 2018

Ringrazio per la preziosa collaborazione il Professor Vincenzo Corrado, l'Ing. Ilaria Ballarini, l'Ing. Domenico Dirutigliano.

Un ringraziamento particolare va a Studio Plus S.a. nelle persone di Erik, Jean Paul, Simone, Rossella, Stefano e Franco per la possibilità datami.

Indice

INDICE	- 2 -
1. SOMMARIO	- 6 -
2. INTRODUZIONE	- 8 -
3. RICHIAMI NORMATIVI	- 12 -
3.1. LEGISLAZIONE	- 13 -
3.1.1. PIANO 20-20-20	- 13 -
3.1.2. LEGGE DEL 9 GENNAIO 1991, N.10	- 14 -
3.1.3. DIRETTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO (EPBD)	- 16 -

3.1.4.	DECRETO LEGISLATIVO 19 AGOSTO 2005, N.192	- 16 -
3.1.5.	DIRETTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO ..	- 17 -
3.1.6.	DLGS 28/2011	- 18 -
3.1.7.	DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO (EPBD RECAST) - 18 -	
3.1.8.	DIRETTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO..	- 20 -
3.1.9.	LEGGE 3 AGOSTO 2013, N.90.....	- 20 -
3.1.10.	DECRETO MINISTERIALE 26 GIUGNO 2015	- 21 -
3.1.11.	DGR 272/2016.....	- 23 -
3.2.	NORMATIVA TECNICA.....	- 24 -
3.2.1.	ISO 23045:2008.....	- 24 -
3.2.2.	EN ISO 13790:2008	- 25 -
3.2.3.	NORME UNI TS 11300.....	- 26 -
3.2.4.	EN ISO 52016:2017	- 28 -
4.	TECNOLOGIE PER UN EDIFICIO ALPINO EFFICIENTE	- 29 -
4.1.	L'INVOLUCRO EDILIZIO	- 29 -
4.2.	IMPIANTO TERMICO	- 33 -
4.2.1.	LA BIOMASSA	- 34 -
4.2.2.	DISTRIBUZIONE, REGOLAZIONE ED EMISSIONE.....	- 35 -
4.3.	UTILIZZO DI ENERGIA RINNOVABILE IN SITU	- 36 -
4.3.1.	SOLARE FOTOVOLTAICO	- 37 -
5.	METODOLOGIE DI CALCOLO E SOFTWARE	- 38 -
5.1.	METODO SEMI STAZIONARIO.....	- 38 -
5.1.1.	EC700	- 40 -
5.2.	METODO DINAMICO.....	- 41 -

5.2.1.	ENERGY PLUS E DESIGN BUILDER	- 41 -
5.3.	CONFRONTO TRA I MODELLI DI CALCOLO.....	- 43 -
6.	CASO STUDIO	- 49 -
6.1.	LOCALITÀ	- 49 -
6.2.	DATI CLIMATICI.....	- 50 -
6.3.	STRUTTURA.....	- 52 -
7.	ANALISI ENERGETICA DELLO STATO DI FATTO.....	- 56 -
7.1.	ZONIZZAZIONE TERMICA DELL'EDIFICIO.....	- 56 -
7.2.	DEFINIZIONE DELLE STRUTTURE.....	- 57 -
7.2.1.	STRUTTURE OPACHE	- 57 -
7.2.2.	COMPONENTI TRASPARENTI	- 59 -
7.3.	DATI IMPIANTISTICI	- 60 -
7.4.	EC700-ASSET RATING	- 65 -
7.4.1.	INSERIMENTO DEI DATI	- 65 -
7.4.2.	RISULTATI.....	- 67 -
7.5.	EC700-TAILORED RATING	- 70 -
7.5.1.	RISULTATI.....	- 70 -
7.6.	DESIGN BUILDER- TAILORED RATING	- 72 -
7.6.1.	INSERIMENTO DATI.....	- 72 -
7.6.2.	RISULTATI.....	- 76 -
8.	SOLUZIONI PROPOSTE	- 83 -
8.1.	SOLUZIONE 1: SOSTITUZIONE DEL GENERATORE DI CALORE.....	- 83 -
8.1.1.	EC700-ASSET RATING	- 85 -
8.1.2.	EC700-TAILORED RATING	- 87 -
8.1.3.	DESIGN BUILDER-TAILORED RATING.....	- 89 -

8.1.4.	ANALISI ECONOMICA	- 90 -
8.2.	SOLUZIONE 2: EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO.	- 91 -
8.2.1.	EC700-ASSET RATING	- 94 -
8.2.2.	EC700-TAILORED RATING	- 96 -
8.2.3.	DESIGN BUILDER-TAILORED RATING.....	- 99 -
8.2.4.	ANALISI ECONOMICA	- 105 -
9.	CONCLUSIONI	- 107 -
10.	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	- 110 -
11.	GLOSSARIO	- 112 -
12.	ELENCO DELLE TABELLE.....	- 115 -
13.	ELENCO DELLE FIGURE	- 116 -

1. Sommario

Nel presente lavoro di tesi verrà svolta la riqualificazione energetica di un albergo sulle piste da sci di Pila, in provincia di Aosta. La struttura è contestualizzata in una realtà alpina strettamente legata al turismo e al territorio, quindi inevitabilmente coinvolta nell'efficiamento energetico volto alla tutela ambientale e allo sviluppo economico. Verranno analizzate nel dettaglio le varie soluzioni considerate tenendo conto del fatto che l'esempio in studio è un caso reale e gli interventi proposti saranno effettivamente considerati e realizzati in base alle esigenze del cliente.

Entrambi gli scenari proposti coinvolgeranno l'utilizzo della biomassa legnosa prodotta in Valle d'Aosta e verrà posta particolare attenzione alla riduzione di richiesta di energia proveniente da fonti non rinnovabili.

La seconda soluzione in particolare prevede l'ottenimento di un edificio a energia quasi zero considerando non solo i vantaggi dal punto di vista energetico, ma anche la fattibilità economica dell'opera e confrontandola con lo stato di fatto e con la prima proposta d'intervento.

Per effettuare tutte le analisi del caso saranno utilizzati principalmente due software, il primo basato sul metodo di calcolo semi-stazionario e il secondo in grado di gestire simulazioni dinamiche, dopo averne spiegato le principali differenze verrà effettuato un confronto tra i risultati delle due diverse tipologie di calcolo.

Il lavoro di tesi è articolato come segue.

Il secondo capitolo consiste in un'introduzione sulla progettazione ambientale e l'efficienza energetica degli edifici.

Il terzo capitolo fornisce una panoramica sulla regolamentazione normativa del tema trattato sia a livello nazionale che internazionale.

Il quarto capitolo si occupa di illustrare le tecnologie per un edificio efficiente, in particolare si considerano le soluzioni relative all'involucro e all'impianto di riscaldamento oltre alla produzione in situ di energia da solare fotovoltaico.

Il quinto capitolo si occupa delle metodologie di calcolo per la progettazione e la simulazione energetica dell'edificio. Vengono inoltre illustrati e brevemente descritti i software utilizzati per tali analisi. Viene poi presentato un confronto tra le principali assunzioni fatte per l'utilizzo del metodo dinamico e del metodo semi stazionario in modo da rendere confrontabili tra loro i modelli che ne derivano.

Nel sesto capitolo viene introdotto e contestualizzato il caso in studio, mentre il settimo capitolo si occupa della descrizione dello stato di fatto con i risultati delle analisi effettuate in condizioni precedenti gli interventi di efficientamento energetico.

L'ottavo capitolo riguarda le soluzioni considerate e sviluppate. Vengono inoltre descritti i procedimenti effettuati e i risultati ottenuti a seguito dei diversi interventi migliorativi.

Nel nono capitolo sono riportate le considerazioni finali sulle diverse soluzioni progettuali e i metodi di calcolo proposti.

2. Introduzione

La gestione delle risorse energetiche è una tematica sempre più attuale sia dal punto di vista dell'impatto ambientale sia perché lo sviluppo economico è fortemente influenzato dagli avvenimenti in campo energetico. È ormai risaputo che le tradizionali fonti di energia non rinnovabili sono limitate e che i sistemi di produzione energetica sono tra i principali responsabili dell'emissione di gas climalteranti e delle inevitabili conseguenze ambientali. Per questi motivi si sono rese necessarie nuove politiche energetiche a livello internazionale, a partire dalla redazione del protocollo di Kyoto (1997), che stabilisce gli obiettivi e le linee guida da seguire per la diminuzione delle emissioni causate dall'attività umana. Vi è quindi una particolare attenzione verso la riduzione dei consumi, l'utilizzo di tecnologie innovative per la produzione e la trasformazione dell'energia e l'impiego di fonti energetiche rinnovabili. A livello europeo questo scenario trova sviluppo nel Piano 20-20-20 e nei provvedimenti a livello nazionale che ne conseguono.

L'Italia è impegnata da molti anni in questo campo, infatti a seguito della crisi energetica degli anni Settanta si è iniziato a parlare di risparmio energetico, prima con la legge n. 373 del 1976 e poi con la legge n. 10 del 1991.

In un contesto come quello italiano è poi fondamentale considerare l'altissimo valore culturale e di identità sociale degli edifici esistenti e quindi intervenire su di essi massimizzando l'efficienza energetica in fase di ristrutturazione pur tenendo in considerazione i vincoli legati alla struttura esistente.

È inoltre importante prestare attenzione al concetto di "durata" di un edificio, ovvero al fatto che una progettazione, che prevede l'utilizzo di materiali

durevoli e tiene conto dell'adattabilità degli spazi, porta a beneficiare di un periodo di tempo maggiore per l'ammortizzazione degli impatti ambientali.

In Italia il settore civile copre poco meno del 40% del consumo di energia totale e rappresenta un grande potenziale di risparmio energetico, includendo abitazioni, servizi pubblici e attività commerciali private.

L'obiettivo della riqualificazione energetica è il risparmio finale di energia, oltre alla sostituzione, a fini ambientali, dei combustibili fossili. Per ottenere un edificio energeticamente efficiente è dunque necessario intervenire innanzitutto sulla componente passiva, ovvero diminuire la domanda energetica dell'edificio. In questo modo viene minimizzato il ruolo dell'impianto, che deve comunque essere efficiente e sostenibile dal punto di vista energetico e ambientale.

Per ottenere un edificio energeticamente efficiente è necessario prendere in considerazione i punti seguenti.

- Ubicazione, orientamento e esposizione: i primi dati da considerare sono altitudine, latitudine e longitudine, oltre alla configurazione del territorio circostante. L'orientamento ottimale per l'edificio dipende dal luogo in cui si trova, in particolare è bene tenere conto della direzione prevalente del vento e dell'esposizione solare. L'orientamento dell'edificio è importante sia per sfruttare gli apporti solari in inverno, sia per posizionare in maniera adeguata i pannelli solari termici e fotovoltaici e per beneficiare di una buona illuminazione naturale. L'orientamento deve poi tenere conto della direzione

prevalente dei venti che consentono il ricambio naturale dell'aria.

- Dati climatici: è necessario disporre dei dati orari relativi alla temperatura dell'aria esterna, l'umidità relativa, la radiazione solare diretta e diffusa e quella notturna, la velocità e la direzione del vento e la quantità di precipitazioni.
- Identificazione dei fattori di riduzione dei carichi termici: la possibilità di ottenere una domanda energetica ridotta dipende dal comportamento termico dell'edificio, dall'esposizione alla componente solare e al vento, dalla possibilità di sfruttare risorse termiche quali acqua o terreno e dall'illuminazione naturale o la presenza di fonti di ombreggiamento.
- Caratteristiche geometriche: è fondamentale considerare le dimensioni dell'edificio e delle singole zone termiche. In particolare per limitare le perdite energetiche di un edificio è importante che il rapporto tra la superficie disperdente e il volume dell'edificio stesso sia basso. In questo caso si parla di *edificio compatto*, con evidenti vantaggi sia in inverno che in estate grazie a una minore superficie disperdente in inverno e una minore area raggiunta dalle radiazioni solari in estate.
- Involucro edilizio: si tratta dell'insieme delle strutture che separano gli spazi interni dall'ambiente esterno. Fanno parte dell'involucro edilizio le pareti esterne e quelle contro terra, le coperture e i pavimenti e tutti i serramenti esterni.

Questi componenti possono essere più o meno termicamente isolati e più o meno permeabili all'aria.

Una delle grandezze più significative per caratterizzare l'involucro di un edificio è la trasmittanza termica delle varie strutture: U [W/m^2K]. Questa rappresenta il flusso termico che attraversa un m^2 di parete per ogni Kelvin di differenza tra la temperatura della superficie interna e quella esterna.

La permeabilità dell'edificio è un altro aspetto importante da considerare in quanto, oltre a garantire un corretto ricambio d'aria, ha effetti negativi in inverno in quanto responsabile delle perdite per ventilazione e effetti positivi in estate.

Un altro parametro da considerare è la pesantezza dell'involucro, in quanto una struttura più massiccia comporta una maggiore inerzia termica dell'edificio.

Infine è importante considerare la trasparenza alla luce dell'involucro, sia da un punto di vista di illuminazione naturale, sia perché le superfici vetrate causano l'effetto serra all'interno dell'edificio e non essendo isolate provocano perdite termiche in inverno e aumento della temperatura interna in estate.

- Occupazione: è bene determinare dei profili di occupazione su base oraria per definire sia il carico termico dovuto agli apporti interni sia la qualità dell'aria interna e quindi per avere la possibilità di fissare i set-point di temperatura e ventilazione in base alle reali necessità.

- Sistemi di climatizzazione: in un edificio climatizzato l'impianto termico per la climatizzazione invernale e/o estiva ha un peso importante. In particolare è bene che l'intero sistema sia ottimizzato, dalla generazione all'emissione passando per la distribuzione e la regolazione. Esistono diverse tecnologie, più o meno efficienti, per tutte le fasi della climatizzazione ed è importante che vengano scelte e combinate tra loro in maniera ottimale per le diverse situazioni.

Quando si parla di riqualificazione energetica, e in particolare in questo elaborato, si tratta un edificio esistente, per questo motivo non è generalmente possibile intervenire in alcun modo sull'orientamento o la geometria dello stesso. Vengono presi in considerazione i possibili interventi che coinvolgono l'involucro edilizio e gli impianti termici oltre alle schermature solari.

3. Richiami normativi

A livello globale la consapevolezza che lo sviluppo tecnologico ed economico non possa prescindere dal concetto di sostenibilità ambientale si traduce nel Protocollo di Kyoto. Questo strumento, in vigore dal 2005 ma sottoscritto nel 1997 e con termine al 2012, impegna 169 nazioni nella riduzione delle emissioni di gas serra rispetto al 1990.

Per dare un seguito al Protocollo di Kyoto viene stabilito un piano atto a contrastare i cambiamenti climatici tramite la riduzione di gas climalteranti, l'aumento dell'utilizzo delle fonti rinnovabili e la riduzione del consumo di energia primaria tramite interventi di risparmio energetico rispetto ai valori

registrati nel 1990: il Piano 20-20-20. Nel 2008 i vertici dell'Unione Europea traducono gli obiettivi stabiliti dal Piano 20-20-20 in una serie di direttive comprese nel Pacchetto Clima e Energia.

Questa tendenza globale al risparmio energetico trova terreno fertile a livello italiano. Infatti sin dagli anni Settanta, a seguito della crisi petrolifera, l'Italia ha sviluppato una serie di norme volte al risparmio energetico. Nel 1976 si registra una prima mossa in questa direzione con la legge n. 373 che definisce le caratteristiche e le azioni relative all'impianto di riscaldamento e di acqua calda sanitaria oltre a regolare la questione dell'isolamento termico. Ne consegue una serie di norme sempre più dettagliate, una su tutte la legge 10 del 9 gennaio 1991.

3.1. Legislazione

3.1.1. Piano 20-20-20

Il Piano 20-20-20 è l'insieme delle misure redatte dall'Unione Europea per dare un seguito al Protocollo di Kyoto con il fine di contrastare i cambiamenti climatici in atto sul nostro pianeta.

Questo Piano prevede il raggiungimento di una serie di obiettivi entro il 2020, in particolare:

- Riduzione del 20% del consumo di energia primaria rispetto alle previsioni mediante l'aumento dell'efficienza e del risparmio energetico.
- Riduzione del 20% delle emissioni di gas climalteranti rispetto al 2005.
- Aumento del 20% della quota di energia da fonti rinnovabili nella copertura dei consumi finali.

Tali obiettivi si sono tradotti nel Pacchetto Clima e Energia che istituisce una serie di strumenti legislativi al fine di concretizzare quanto stabilito.

3.1.2. Legge del 9 gennaio 1991, n.10

La presente incentiva l'uso razionale dell'energia, il risparmio energetico, l'utilizzo di fonti rinnovabili e la rapida sostituzione degli impianti nei settori più energivori al fine di migliorare i processi di trasformazione energetica, ridurre i consumi di energia e garantire la compatibilità ambientale dell'utilizzo dell'energia.

Questa legge mette le basi a tutta la futura politica energetica nazionale.

L'articolo 2 prevede la suddivisione dell'Italia in zone climatiche (A,B,C,D,E,F) sulla base dei gradi-giorno.

L'articolo 3 classifica gli edifici in base alla destinazione d'uso:

E.1 Edifici di tutte le tipologie adibiti a residenza e assimilabili:

(1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme;

(2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili;

(3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari;

E.2 Edifici adibiti a residenze collettive, a uffici e assimilabili;

E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili;

E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili:

(1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi;

(2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto;

(3) quali bar, ristoranti, sale da ballo;

E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili;

E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:

(1) piscine, saune e assimilabili;

(2) palestre e assimilabili;

(3) servizi di supporto alle attività sportive;

E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili.

Con l'articolo 4 vengono stabiliti i valori massimi della temperatura ambiente.

La legge si occupa inoltre del dimensionamento degli impianti termici e della loro gestione, del rendimento dei generatori di calore e dei sistemi di regolazione e contabilizzazione. Vengono poi stabiliti dei limiti di utilizzo degli impianti in funzione della zona climatica e della tipologia dell'edificio.

3.1.3. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio (EPBD)

Tale direttiva è finalizzata a promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici all'interno della Comunità europea. Essa riguarda la definizione, a livello nazionale o regionale, di un metodo di calcolo per il rendimento energetico integrato degli edifici, l'applicazione dei requisiti minimi di rendimento energetico ad edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazioni importanti, la necessità di certificazione energetica degli edifici e l'ispezione periodica degli impianti. I requisiti di rendimento energetico sono differenziati per edifici esistenti ed edifici di nuova costruzione oltre a essere distinti per categoria di edificio. I requisiti devono essere rivisti a scadenze regolari, inoltre ogni edificio deve essere dotato di attestato di certificazione energetica, valido al massimo per dieci anni.

La 2002/91/CE, o EPBD (Energy Performance Buildings Directive), è aggiornata dalla 2010/31/UE (EPBD recast).

3.1.4. Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192

Attraverso il presente decreto, concernente l'attuazione della direttiva 2002/91/CE, vengono stabilite le modalità di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili al fine di contribuire al

conseguimento degli obiettivi nazionali sulle emissioni di gas serra.

In particolare vengono normati la certificazione energetica di edifici di nuova costruzione e l'utilizzo, la manutenzione e le ispezioni degli impianti termici.

Inoltre il presente decreto disciplina il metodo di calcolo per le prestazioni energetiche dell'edificio, i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici di nuova costruzione o soggetti a riqualificazione energetica o ristrutturazione importante, la promozione degli edifici a energia quasi zero, l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili e la sensibilizzazione degli utenti all'uso razionale dell'energia.

Il Dlgs n.192 del 19 agosto 2005 è aggiornato con la legge 3 agosto 2013, n.90

3.1.5. Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio

La presente direttiva è di riferimento per la promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili. In essa vengono stabiliti gli obiettivi nazionali sulla quota di energia proveniente da fonti rinnovabili sul consumo finale. Gli obiettivi per i diversi stati sono stabiliti sulla base della situazione energetica di partenza, del PIL e della popolazione. Viene stabilito inoltre che ogni stato necessita di un PAN (Piano di Azione Nazionale) da presentare entro giugno 2010.

L'obiettivo stabilito per l'Italia è un aumento del 17% della quota di energia da fonti rinnovabili entro il 2020.

3.1.6. Dlgs 28/2011

Il presente decreto recepisce la Direttiva europea 2009/28/CE e definisce gli strumenti, le modalità e i meccanismi per il raggiungimento degli obiettivi in materia di quota di energia da fonti rinnovabili fissati per il 2020. Inoltre viene normato l'accesso alla rete elettrica per l'energia da fonti rinnovabili e la garanzia d'origine, regola i rapporti e i progetti tra stati membri e con paesi terzi e fissa dei criteri per la sostenibilità dei biocarburanti.

Vengono inoltre fissati i seguenti obiettivi nazionali:

- Quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo pari al 17% entro il 2020.
- Quota di energia da fonti rinnovabili pari al 10% della quota finale di consumo energetico per i trasporti entro il 2020.

3.1.7. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio (EPBD recast)

La direttiva è volta al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici all'interno dell'Unione Europea, tenendo conto delle condizioni interne e esterne e dell'efficacia dal punto di vista economico. Riguarda principalmente

l'applicazione dei requisiti minimi e il rispetto di una metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici. I requisiti stabiliti sono da considerarsi minimi, non impediscono quindi la presenza di provvedimenti più rigorosi a livello dei singoli stati, se conformi e notificati alla Commissione.

All'interno della presente direttiva viene inoltre data la definizione di "edificio a energia quasi zero" e l'articolo 9 richiede che entro il 2020 gli edifici di nuova costruzione siano n-ZEB.

Con *Nearly Zero Energy Building* (n-ZEB) si intende un edificio a energia quasi zero, ovvero con una domanda energetica bassa e coperta in larga parte da energia prodotta da fonti rinnovabili, compresi gli impianti di autoproduzione in loco.

La presente direttiva definisce l'edificio a energia quasi zero come *"edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze"*.

Innanzitutto è quindi necessario ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio attraverso l'utilizzo di tecnologie efficienti e in secondo luogo è richiesto l'utilizzo di energia da fonte rinnovabile in modo da coprire significativamente il fabbisogno annuo.

3.1.8. Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio

Lo scopo della presente è di rimuovere gli impedimenti sul mercato dell'energia e per superare le problematiche di mercato che ostacolano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia.

Tale normativa ha l'obiettivo di raggiungere il 20% di efficienza energetica entro il 2020 attraverso la definizione di una serie di misure per la promozione dell'efficienza energetica. In particolare viene posta l'attenzione sulla ricerca dell'efficienza in ogni fase della catena energetica, dalla produzione del combustibile fino all'utilizzo finale passando per il trasporto e la trasformazione del materiale. Sono stabiliti gli obiettivi minimi per ogni stato membro, con la possibilità di introdurre misure più rigorose se compatibili con le richieste dell'Unione.

L'articolo 5 poi conferisce agli edifici degli enti pubblici un ruolo esemplare con l'obbligo, a partire dal 2014, di ristrutturare ogni anno il 3% della superficie totale di edifici riscaldati o raffrescati di proprietà dello Stato al fine di rispettare i requisiti minimi.

3.1.9. Legge 3 agosto 2013, n.90

La legge n.90 del 2013 recepisce la direttiva 2010/31/UE in aggiornamento al D.Lgs. 192/2005. Vengono stabilite le nuove regole per la prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione e degli edifici soggetti a notevoli ristrutturazioni.

Rispetto al precedente decreto del 2005 vengono introdotti, tra le altre cose, il concetto di *edificio a energia quasi zero* e un articolo relativo all'ambito finanziario, dagli incentivi all'abbattimento delle barriere di mercato, con la conferma e l'estensione delle proroghe per le detrazioni fiscali relative a ristrutturazioni e riqualificazioni energetiche. Tra le novità si rileva inoltre l'obbligo di allegare l'attestato di prestazione energetica e tutti i contratti di vendita o affitto di un immobile.

3.1.10. Decreto Ministeriale 26 giugno 2015

Il presente decreto trova applicazione nell'ambito del calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, in particolare definisce una metodologia di calcolo e i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici pubblici e privati, in accordo con quanto stabilito dal D.lgs n.192 del 19 agosto 2005. Il DM del 26 giugno 2015 stabilisce inoltre, per i diversi vettori energetici, dei fattori di conversione di energia primaria rinnovabile e non. I fattori di conversione sono riportati nella tabella seguente considerando che:

$$f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren}$$

In cui $f_{P,tot}$ è il fattore di conversione di energia primaria totale, $f_{P,nren}$ è il fattore di conversione di energia primaria non rinnovabile e $f_{P,ren}$ è il fattore relativo alla componente rinnovabile.

Vettore energetico	$f_{P,ren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale ⁽¹⁾	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide ⁽²⁾	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose ⁽²⁾	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete ⁽³⁾	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento ⁽⁴⁾	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento ⁽⁴⁾	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore ⁽⁵⁾	0	1,00	1,00
⁽¹⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE. ⁽²⁾ Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. ⁽³⁾ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE. ⁽⁴⁾ Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente al quanto previsto al paragrafo 3.2. ⁽⁵⁾ Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.			

Figure 1 Fattori di conversione in energia primaria, da DM 26/06/2015

Inoltre Secondo il DM 26/06/15, in Italia un n-ZEB è per legge un edificio nuovo o esistente che rispetta le seguenti richieste:

- Vengono rispettati i limiti delle seguenti grandezze a partire dal 01/01/2019 per gli edifici pubblici e dal 01/01/2021 per le altre tipologie:
 - H'_t : coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente
 - $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$: area solare equivalente estiva per unità di superficie utile
 - $EP_{H,nd}$, $EP_{C,nd}$, $EP_{gl,tot}$: indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, estiva e globale espresso in energia primaria

- η_H , η_C , η_W : rendimenti dell'impianto di climatizzazione invernale, estiva e di produzione di acqua calda sanitaria.
- Vengono rispettati gli obblighi relativi all'utilizzo di fonti rinnovabili secondo il Dlgs 28/11

3.1.11. dGr 272/2016

Si tratta del recepimento a livello regionale del Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici* che stabilisce i nuovi requisiti minimi di prestazione energetica nell'edilizia, le prescrizioni specifiche degli edifici e le relative metodologie di calcolo.

Le presenti disposizioni si applicano a differenti tipologie d'intervento:

- Edifici di nuova costruzione o soggetti a totale demolizione e ricostruzione
- Edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione importante
- Edifici esistenti sottoposti ad interventi di riqualificazione energetica

Viene poi effettuata la divisione tra requisiti e disposizioni comuni a tutte le tipologie di intervento e requisiti e prescrizioni specifici per i diversi tipi di opera. In particolare il paragrafo 9 si

intitola *“Requisiti e prescrizioni per gli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazioni importanti di primo livello e per gli edifici a energia quasi zero”*; vengono quindi definiti anche i requisiti che deve possedere un edificio per essere considerato n-ZEB.

3.2. Normativa tecnica

3.2.1. ISO 23045:2008

La presente indica le linee guida da seguire per la progettazione energeticamente efficiente degli edifici di nuova costruzione. Vengono definiti i parametri da prendere in considerazione e il processo di progettazione da seguire: progettazione concettuale, schematica, dettagliata e finale.

Per ottenere un edificio energeticamente efficiente è necessario prendere in considerazione gli impianti di riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione e ventilazione. L’approccio all’analisi dell’edificio è di tipo globale, a partire dai dati sulla località e il tipo di edificio fino a tenere conto delle interazioni tra i sistemi presenti.

In particolare è bene considerare l’altitudine, la latitudine e la longitudine della località, l’orientamento e l’esposizione dell’edificio oltre alle caratteristiche dell’involucro edilizio: le dimensioni, il rapporto tra la superficie esterna disperdente e il volume, il rapporto tra le superfici trasparenti e la superficie esterna disperdente e la tipologia di materiali utilizzati. Inoltre

sono necessari i dati climatici della località: temperatura esterna, umidità relativa, radiazione solare diretta e diffusa, velocità e direzione del vento e quantità di precipitazioni. Infine vengono considerati i dati relativi all'occupazione dell'edificio.

3.2.2. EN ISO 13790:2008

La presente norma fornisce un metodo per il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti in edifici residenziali e non o di parte di essi, il metodo riguarda il calcolo dei flussi termici per trasmissione e ventilazione delle zone riscaldate o raffrescate, il calcolo degli apporti gratuiti interni e solari e il fabbisogno energetico annuo di riscaldamento e di raffrescamento per mantenere le temperature richieste all'interno dell'edificio.

Viene inoltre fornito un metodo di calcolo orario semplificato basato sull'utilizzo di schede orarie.

Il calcolo è riferito esclusivamente al fabbisogno sensibile di riscaldamento e raffrescamento e può essere applicato su edifici di nuova costruzione che su edifici esistenti.

A livello nazionale la norma è stata recepita come UNI EN ISO 13790, da cui derivano le specifiche tecniche UNI TS 11300.

3.2.3. Norme UNI TS 11300

Si tratta di una norma composta da sei parti volta a definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione della prestazione energetica degli edifici. Il metodo di calcolo adottato deriva dalla normativa europea UNI EN ISO 13790:2008.

La parte 1 si occupa del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva. Oltre alla descrizione della procedura di calcolo vengono illustrati i concetti di zonizzazione e accoppiamento termico, vi è poi un paragrafo relativo ai dati climatici e uno che riguarda le stagioni di riscaldamento e raffrescamento e i relativi calcoli. Sempre in questa prima parte vengono classificate tre diverse tipologie di valutazione energetica: *Design rating*, *Asset rating* e *Tailored rating*. La valutazione sul progetto (*Design rating*) utilizza dati standard sia per quanto riguarda l'uso dell'edificio, sia per i dati climatici, utilizza inoltre l'edificio di progetto. L'*Asset rating*, o valutazione standard, prende in considerazione valori standard per il clima e l'uso, ma usa i dati dell'edificio reale. La valutazione adattata all'utenza (*Tailored rating*), infine, utilizza dati reali non solo per quanto riguarda l'edificio, ma anche per l'uso dello stesso e i dati climatici.

Classificazione tipologie di valutazione energetica per applicazioni omogenee all'intero edificio

Tipo di valutazione		Dati di ingresso		
		Uso	Clima	Edificio
A1	Sul progetto (<i>Design Rating</i>)	Standard	Standard	Progetto
A2	Standard (<i>Asset Rating</i>)	Standard	Standard	Reale
A3	Adattata all'utenza (<i>Tailored rating</i>)	In funzione dello scopo		Reale

Figure 2 Classificazione da UNI/TS 11300-1:2014

La seconda parte è relativa al fabbisogno di energia primaria e ai rendimenti di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione.

La terza specifica si occupa della climatizzazione estiva in termini di rendimenti e energia primaria e la parte 4 concerne l'utilizzo di energie rinnovabili e altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e la produzione di ACS. Vengono prese in considerazione le seguenti tecnologie: solare termico, solare fotovoltaico, combustione di biomasse, pompe di calore, teleriscaldamento e cogenerazione

La quinta specifica tecnica fornisce i metodi per determinare il fabbisogno di energia primaria degli edifici e la quota di energia da fonti rinnovabili.

La parte 6 infine è a sostegno del calcolo dei fabbisogni energetici degli impianti di sollevamento e trasporto di persone in un edificio, quali ascensori e scale mobili.

UNI/TS 11300-1:2014	Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
UNI/TS 11300-2:2014	Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione.
UNI/TS 11300-3:2010	Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
UNI/TS 11300-4:2012	Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
UNI/TS 11300-5:2016	Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili.
UNI/TS 11300-6:2016	Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili.

Table 1 Struttura della UNI/TS 11300

3.2.4. EN ISO 52016:2017

La EN ISO 52016:2017 sostituisce la EN ISO 13790 e illustra il metodo di calcolo, per le singole zone termiche, delle seguenti grandezze:

- Il fabbisogno sensibile per il riscaldamento e il raffrescamento su base oraria e mensile
- Il fabbisogno latente per umidificazione e deumidificazione su base oraria e mensile
- La temperatura interna su base oraria

- Il carico sensibile e latente su base oraria per il riscaldamento e il raffrescamento
- Il carico termico di progetto sensibile e latente per il riscaldamento e il raffrescamento su base oraria
- Le condizioni dell'aria di immissione negli ambienti per l'umidificazione e la deumidificazione.

Le principali novità della EN ISO 52016 sono legate al metodo di calcolo descritto. Oltre all'eliminazione del calcolo su base stagionale e la revisione del metodo di calcolo mensile è stato introdotto un metodo di calcolo orario semplificato più trasparente e diretto. Vengono inoltre riviste le regole per la zonizzazione termica dell'edificio.

Questo metodo permette di modellare ciascun componente edilizio separatamente e di tenere in considerazione le variazioni orarie e giornaliere dei dati climatici e di occupazione.

4. Tecnologie per un edificio alpino efficiente

4.1. L'involucro edilizio

L'involucro edilizio ha il compito di garantire il comfort termoigrometrico all'interno dell'edificio limitando il più possibile gli scambi energetici tra l'ambiente interno e l'ambiente esterno al fine di contenere i consumi energetici. L'obiettivo del sistema involucro non è quindi semplicemente quello di mantenere una temperatura interna accettabile, ma comprende il controllo del fenomeno della condensa e

la garanzia di comfort interno abbinato al risparmio energetico per riscaldamento e raffrescamento.

Le caratteristiche principali dell'involucro edilizio sono l'inerzia termica, ovvero la capacità del componente di smorzare e sfasare le sollecitazioni dinamiche sul carico termico, la permeabilità all'aria e la trasmittanza termica delle strutture. La prima grandezza dipende dalla massa e la capacità termica delle strutture mentre le ultime due possono essere controllate con l'utilizzo di materiali isolanti e componenti finestrati prestanti.

L'isolamento delle pareti verticali si divide in tre categorie principali: isolamento interno, in intercapedine ed esterno.

In aggiunta agli interventi sui muri esterni è bene considerare le dispersioni relative alle coperture e ai pavimenti, migliorabili anche in questo caso con l'utilizzo di materiali isolanti.

L'isolamento delle pareti dall'interno prevede che lo strato di isolante sia applicato sulle superfici interne delle pareti perimetrali in modo semplice, veloce e economicamente vantaggioso, utile nei casi di locali occupati saltuariamente. Questo tipo di isolamento permette di raggiungere rapidamente la temperatura interna desiderata, ma riduce il volume abitabile dell'edificio e aumenta il rischio di formazione di condensa e ponti termici.

Un'altra soluzione possibile consiste nell'isolamento in intercapedine. In questo caso l'isolante può essere costituito da una lastra rigida o da materiale sfuso che viene insufflato o iniettato direttamente nell'intercapedine esistente. Nel primo caso almeno una delle due pareti deve essere di nuova costruzione e i materiali maggiormente

utilizzati sono lastre di polistirene, poliuretano o fibre minerali. Nel caso di intercapedini in muri esistenti invece si può procedere con l'insufflaggio di materiali sfusi quali sughero, polistirene e vermiculite oppure l'iniezione di schiume e resine attraverso dei fori praticati nella parte alta della parete. Questa soluzione è piuttosto semplice ed economica, inoltre l'isolante è protetto dagli agenti atmosferici; tuttavia non vengono ridotti gli effetti dei ponti termici e rimane la possibilità di formazione di condensa.



Figure 3 Isolamento in intercapedine (fonte: <http://www.coibentarecasa.it>)

La terza soluzione consiste nell'applicazione del materiale isolante sulla parete esterna, è così possibile eliminare i ponti termici e ridurre il

rischio di condensa nel muro. La superficie esterna normalmente viene trattata con particolari intonaci che permettono di proteggere l'isolante dagli agenti atmosferici e ne costituiscono la finitura esterna. Il cappotto esterno provoca la necessità di un tempo maggiore per il raggiungimento della temperatura interna richiesta e per questo viene utilizzato principalmente in strutture abitate in modo continuativo. Inoltre questo tipo di intervento richiede l'utilizzo di impalcature esterne e modifica le facciate sia dal punto di vista estetico sia per il maggiore spessore delle pareti. Esistono molti tipi di isolanti per cappotti esterni che si differenziano per prestazioni, dimensioni e prezzi. Tra i più utilizzati si distinguono i classici polistirene e poliuretano.

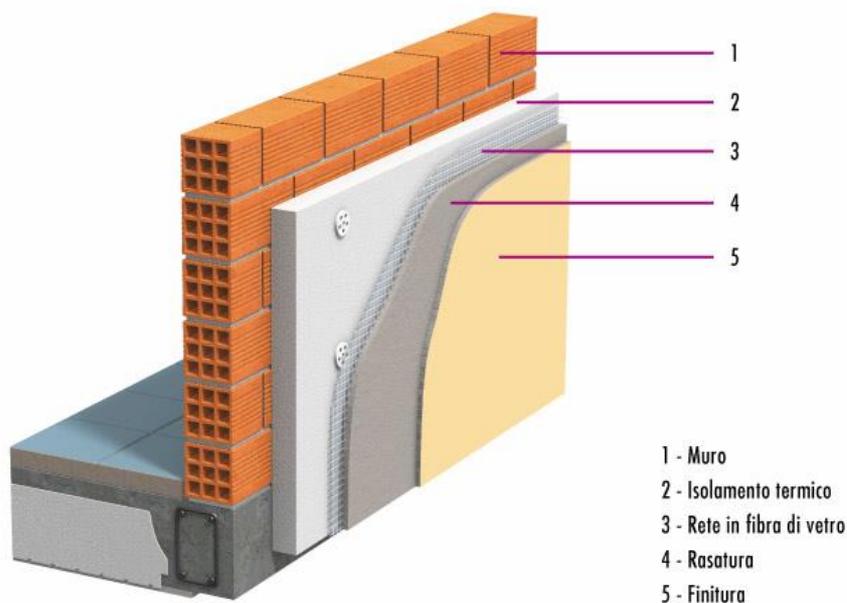


Figure 4 Isolamento esterno delle pareti perimetrali (fonte: <http://www.euroinfissisabellico.it>)

La soluzione considerata in questo caso studio consiste nell'isolamento con cappotto esterno delle pareti perimetrali. Si prevede inoltre di

isolare la copertura inclinata e i pavimenti rivolti verso il terreno, i locali freddi o l'ambiente esterno.

Un'altra componente fondamentale dell'involucro edilizio è rappresentata dai serramenti. Le caratteristiche di un serramento dipendono dal telaio, dal vetro e dalle eventuali strutture schermanti (compresi i cassonetti se presenti). I vetri si distinguono in singoli, doppi o tripli, e possono essere soggetti a trattamenti bassoemissivi. Le intercapedini tra i vetri possono essere riempite oltre che dall'aria anche da alcuni gas come ad esempio l'Argon. I telai poi possono essere in vari materiali tra cui il legno, il PVC e l'alluminio. Sono da considerare infine anche le tecnologie schermanti sia per la stagione invernale che per quella estiva; si parla di tende interne o esterne, veneziane e schermature completamente opache.

4.2. Impianto termico

Per la generazione di calore le soluzioni ad alto rendimento vanno dalle caldaie a condensazione alle pompe di calore, con un utilizzo sempre maggiore di termocamini e caldaie a biomassa. È importante che i rendimenti di queste tecnologie siano elevati, in modo da sfruttare al meglio l'energia in ingresso sotto forma di combustibile o energia elettrica.

In questo elaborato verrà posta maggiore attenzione all'utilizzo della biomassa per fini energetici in quanto si prevede la sostituzione dei generatori presenti con un impianto a cippato.

4.2.1. La biomassa

La maggior parte della biomassa sulla Terra è di origine vegetale, ma con il termine 'biomassa' si intendono tutti i materiali di origine organica, animale o vegetale, compresi i residui dell'industria agroalimentare e la componente organica dei rifiuti solidi urbani. La biomassa viene considerata a tutti gli effetti fonte rinnovabile e la sua importanza è legata in modo particolare alle emissioni di anidride carbonica che risultano nulle in quanto la CO₂ emessa viene riassorbita nel ciclo del carbonio attraverso la fotosintesi e di conseguenza la produzione di nuova biomassa. Le biomasse, se utilizzate all'interno di un ciclo locale di produzione-utilizzo, rappresentano una preziosa risorsa di energia rinnovabile.

La biomassa vegetale è composta principalmente da cellulosa, emicellulosa e lignina. In particolare vengono normalmente considerati la legna, il pellet, il cippato e i tronchetti. In questo caso studio viene analizzata la soluzione di caldaia a cippato, questo è costituito da legno sminuzzato proveniente ad esempio da scarti di potature e manutenzione boschiva. È certamente da considerare però il fatto che il tipo di legna utilizzato influenza pesantemente le prestazioni dell'impianto. La caratteristica più importante da tenere in considerazione è il grado di umidità della biomassa utilizzata, inoltre il potere calorifico è influenzato dal tipo di legno e dal contenuto di resina, infatti una delle migliori specie legnose per produrre il cippato è il faggio.

La frammentazione della legna poi risulta vantaggiosa sia dal punto di vista dello stoccaggio sia per la possibilità di caricamento automatico del combustibile in caldaia. Tuttavia la forma e le dimensioni del cippato influiscono in modo importante sul buon funzionamento del sistema, in particolare a livello di trasporto dal silo di stoccaggio alla camera di combustione.

4.2.2. Distribuzione, regolazione ed emissione

Il funzionamento dell'impianto non dipende però solo dal generatore di calore, è importante considerare la rete di distribuzione, la tipologia di terminali di emissione e la regolazione dell'impianto.

La rete di distribuzione comprende il sistema di tubazioni e gli eventuali collettori ai piani ed è coibentata in modo da ridurre al minimo le perdite di calore.

I terminali di emissione si dividono principalmente tra tecnologie che sfruttano lo scambio termico per convezione e tecnologie basate sullo scambio termico radiante.

Questo elaborato si concentrerà in particolare sui radiatori e sui ventilconvettori a parete. I primi riscaldano l'ambiente principalmente per irraggiamento delle superfici circostanti, mentre i secondi riscaldano l'aria interna per convezione.

Infine la regolazione si divide tra regolazione climatica, regolazione di zona e regolazione per singolo ambiente. La prima tipologia si basa sull'utilizzo di una sonda di

temperatura esterna in grado di regolare il generatore di calore. La regolazione di zona implica la presenza di termostati nelle diverse zone dell'edificio mentre la regolazione per singolo ambiente si basa sull'utilizzo di termostati nei singoli locali o sull'applicazione di valvole termostatiche ai corpi scaldanti.

4.3. Utilizzo di energia rinnovabile in situ

È necessario infine prendere in considerazione l'utilizzo di risorse rinnovabili nell'integrazione della produzione di energia elettrica e termica. Lo sviluppo tecnologico ha portato alla possibilità di sfruttare fonti energetiche pulite quali il sole, il vento, i corsi d'acqua e il terreno. In questo caso specifico la soluzione presa in analisi è il solare fotovoltaico.



Figure 5 Impianto solare fotovoltaico a tetto (fonte: <http://www.dislivelli.eu>)

4.3.1. Solare fotovoltaico

Il solare fotovoltaico è una tecnologia ormai consolidata che consente la produzione di energia elettrica a partire dall'irraggiamento solare.

Il componente elementare del generatore fotovoltaico è la cella fotovoltaica, in cui avviene la conversione della radiazione solare in corrente elettrica. La cella è composta da un materiale semiconduttore, in genere silicio (tetraivalente), drogato con piccole quantità di materiali trivalenti e pentavalenti (in genere boro e fosforo). All'interno della cella

si forma quindi una giunzione p-n, dovuta all'eccesso di lacune ed elettroni, in cui si viene a creare un campo elettrico. Quando la cella viene esposta alla luce solare si manifesta l'effetto fotovoltaico, ovvero, quando un fotone di energia sufficiente raggiunge il materiale, un elettrone presente nella banda di valenza del semiconduttore passa nella banda di conduzione. L'elettrone e la lacuna, separati dal campo elettrico, non possono ricombinarsi, si forma così un flusso ordinato di elettroni, ovvero una corrente elettrica.

Gli impianti fotovoltaici si basano su questo principio e collaborano alla di energia proveniente da fonte rinnovabile immessa sulla rete elettrica nazionale.

5. Metodologie di calcolo e software

5.1. Metodo semi stazionario

Il metodo semi stazionario prevede il calcolo dei termini del bilancio termico in condizioni stazionarie su periodi di tempo abbastanza lunghi, in genere mensili. Gli effetti dinamici sono tenuti in conto attraverso i fattori di utilizzazione degli apporti e delle dispersioni.

Questa metodologia di calcolo si basa sul bilancio tra le dispersioni e gli apporti termici mensili. In particolare nel calcolo delle dispersioni vengono considerati i termini di trasmissione attraverso l'involucro e di ventilazione, mentre gli apporti solari e gli apporti interni (occupanti,

macchinari, illuminazione) sono inclusi nel termine degli apporti gratuiti.

Per tenere in conto gli effetti dinamici vengono introdotti due parametri che dipendono dall'inerzia termica dell'edificio, dallo sfasamento tra dispersioni e apporti e dall'occupazione e la gestione dell'edificio:

- Il fattore di utilizzazione che tiene conto della non contemporaneità delle dispersioni con gli apporti gratuiti.
- Il fattore di riduzione del fabbisogno di energia in caso di utilizzo intermittente dell'impianto.

Le equazioni utilizzate per i bilanci invernale ed estivo sono le seguenti:

$$Q_{H,nd} = Q_{ls} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} = (Q_{tr} + Q_{ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_s + Q_i)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{ls} = (Q_s + Q_i) - \eta_{C,ls} \times (Q_{tr} + Q_{ve})$$

In cui

Q_{nd} è il fabbisogno netto di energia termica per il riscaldamento (H) o per il raffrescamento (C) [kWh]

Q_{ls} è la componente dovuta alle dispersioni per trasmissione e per ventilazione [kWh]

Q_{gn} è la somma dei contributi interni e degli apporti solari [kWh]

$\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti nel caso invernale [-]

$\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni nel caso estivo [-]

Q_{tr} è il termine relativo alle perdite per trasmissione attraverso l'involucro edilizio [kWh]

Q_{ve} è il termine relativo alle perdite per ventilazione [kWh]

Q_s è la componente dovuta agli apporti solari [kWh]

Q_i è la componente dovuta agli apporti interni [kWh]

5.1.1. EC700

EdilClima è una Software House che ha sviluppato diversi programmi per la progettazione termotecnico-impiantistica. I principali prodotti sono relativi al calcolo delle prestazioni energetiche e la diagnosi energetica, ma non mancano programmi a sostegno dell'ambito acustico, antincendio o di manutenzione.

In questo elaborato verrà presa in considerazione la sezione prettamente termotecnica e in particolare il modulo EC700.

EC700 è un programma a pagamento utilizzato per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici in conformità alle Specifiche Tecniche UNI/TS 11300. Si tratta di un software con interfaccia semplice e intuitiva in grado di gestire l'edificio dall'involucro all'impianto termico prendendo in considerazione la climatizzazione invernale ed estiva, la produzione di acqua calda sanitaria e la ventilazione.

5.2. Metodo dinamico

Il metodo dinamico consente di effettuare delle simulazioni del comportamento dell'edificio su base oraria o sub oraria prendendo in considerazione anche l'accumulo e il rilascio di energia termica da parte della struttura. I dati da fornire in input per il calcolo dinamico sono molto specifici, in particolare è necessaria la presenza di dati climatici su base oraria oltre a informazioni precise sull'occupazione e l'utilizzo dell'edificio e dell'impianto.

5.2.1. Energy Plus e Design Builder

EnergyPlus è un software open source di simulazione energetica tra i più completi sviluppato dal Dipartimento di Energia degli USA (DOE). EnergyPlus è ad oggi uno dei programmi di simulazione più utilizzati su scala mondiale in quanto consente la simulazione di tutti i flussi energetici che attraversano le superfici di controllo del sistema in analisi.

Il simulatore è composto da tre moduli principali:

- 'Surface heat balance manager': gestisce il bilancio termico in corrispondenza delle superfici interna e esterna di ogni parete
- 'Air heat balance manager': si occupa della simulazione simultanea di scambi termici radianti e convettivi in ambiente
- 'Building systems simulation manager': simula i componenti impiantistici

Questi moduli interagiscono con altri secondari e grazie all'*integrated solution manager* sono risolti contemporaneamente, e non a cascata, in modo da ottenere una simulazione più realistica.

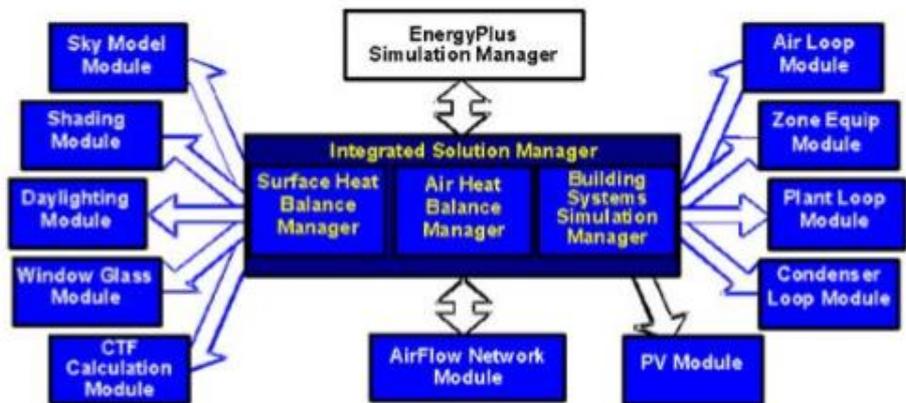


Figure 6 Energy plus: moduli interni

Al momento l'interfaccia utente di EnergyPlus e il metodo di inserimento degli input richiesti rappresentano un limite del programma in quanto poco *user friendly*. Esistono tuttavia numerose interfacce grafiche che ne facilitano l'utilizzo. Una delle più complete ed utilizzate è Design Builder.

Design Builder è un prodotto con licenza sviluppato nel Regno Unito, si tratta di un'interfaccia utente per la simulazione dinamica degli edifici facilmente utilizzabile nelle varie fasi del processo di progettazione e simulazione.

A causa delle difficoltà incontrate nella creazione del modello grafico con Design Builder si è però optato per l'utilizzo di un ulteriore software: Sketchup, sviluppato da Google, e in

particolare di OpenStudio. OpenStudio è un'estensione di Sketchup in grado di effettuare semplici simulazioni dinamiche, sempre basandosi su EnergyPlus, e in questo caso utile per disegnare il modello geometrico e esportarlo nel formato .gbxml, gestibile da Design Builder.

5.3. Confronto tra i modelli di calcolo

Step di calcolo

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: il calcolo viene effettuato su intervalli mensili.
- Metodo dinamico: l'utente può scegliere il passo temporale su cui effettuare il calcolo il calcolo tra sub-orario, orario, giornaliero, mensile e annuale. In questo caso il calcolo viene effettuato su intervalli orari, per operare un confronto tra i due metodi i risultati orari vengono accorpati in dati mensili.

Dati climatici

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: vengono utilizzati dati medi mensili relativi alla località interessata.
- Metodo dinamico: viene utilizzato un file climatico contenente dati orari delle grandezze richieste. Nel caso specifico il file è stato elaborato a partire dai dati climatici su step temporale di trenta minuti forniti dal Centro Funzionale Regionale della Valle d'Aosta e riferiti alla località considerata.

Durata della stagione di riscaldamento

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: è necessario distinguere due diverse tipologie di valutazione, Asset Rating e Tailored Rating.

Nel caso di valutazione standard la stagione di riscaldamento viene stabilita in funzione della zona climatica. Per la valutazione adattata all'utenza invece si considera il reale utilizzo dell'edificio, il calcolo viene effettuato mese per mese nei periodi di apertura al pubblico.

- Metodo dinamico: è possibile utilizzare diverse tipologie di regolazione. In questo caso viene fissato un set-point per il riscaldamento in funzione del quale viene attivato il sistema di riscaldamento.

Zonizzazione termica

- In entrambi i casi l'edificio viene suddiviso in due zone termiche in accordo con quanto stabilito dalla UNI EN ISO 13790.

Scambio termico per trasmissione

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: il calcolo delle perdite per trasmissione viene effettuato considerando il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione H_{tr} e la differenza di temperatura tra ambiente interno, $\theta_{int, setpoint}$, ed esterno, θ_e . Con t si fa riferimento alla durata del mese considerato.

$$Q_{H,tr}=H_{tr} \cdot (\theta_{int,setpoint}-\theta_e) \cdot t$$

H_{tr} comprende i contributi di trasmissione verso l'ambiente esterno, i locali vicini, climatizzati e non, e il terreno. La specifica UNI/TS 11300-1 prevede poi di considerare anche il termine relativo all'extra flusso radiativo verso la volta celeste. La formula precedente diventa quindi:

$$Q_{H,tr}=H_{tr} \cdot (\theta_{int,setpoint}-\theta_e) \cdot t+(\sum F_k \cdot \phi_{r,k}) \cdot t$$

- Metodo dinamico: lo scambio termico per conduzione può essere calcolato secondo il metodo delle funzioni di trasferimento o il metodo delle differenze finite, lo scambio termico convettivo e radiante può essere calcolato in maniera semplificata attraverso il concetto di temperatura sole-aria o in maniera dettagliata tenendo conto delle condizioni atmosferiche e della località oltre che delle proprietà delle superfici

Scambio termico per ventilazione

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: Come per la trasmissione il calcolo della componente di ventilazione viene effettuato sulla base di un coefficiente di scambio termico, della differenza di temperatura e della durata del mese considerato.

$$Q_{H,ve}=H_{ve} \cdot (\theta_{int,setpoint}-\theta_e) \cdot t$$

Il coefficiente di scambio termico per ventilazione considera i flussi d'aria che coinvolgono la zona e la frazione di tempo in cui questi si verificano.

- Metodo dinamico: è possibile considerare la componente di ventilazione in diversi modi distinguendo tra infiltrazioni e ventilazione naturale. In questo caso è stato considerato un tasso di ricambio orario pari a 0.35 h^{-1} e modellato nel tempo in base al profilo di occupazione mantenendo sempre un valore minimo relativo ai periodi di non occupazione dell'edificio.

Apporti interni

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: gli apporti interni comprendono in genere le componenti di calore sensibile dovute alla presenza di occupanti, apparecchiature, illuminazione ecc.
- Metodo dinamico: i carichi termici vengono considerati in funzione della tipologia e della quota convettiva e radiativa di scambio termico distinguendo quindi tra lo scambio termico con l'aria interna e lo scambio per radiazione con le superfici.

Apporti solari e ombreggiamento

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: gli apporti solari vengono calcolati in funzione dei dati medi mensili di radiazione solare mentre gli ombreggiamenti possono essere calcolati in modo semplificato o analitico

considerando sia l'ombreggiamento legato alla località che quello dovuto alle strutture appartenenti all'edificio stesso.

- Metodo dinamico: gli apporti solari vengono calcolati a partire dal file climatico orario e concorrono al bilancio delle superfici esterne e interne dell'edificio. Gli ombreggiamenti esterni possono essere inseriti graficamente come *blocchi componente* direttamente sul modello geometrico.

Parametri dinamici

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790: per considerare il comportamento dinamico dell'edificio vengono introdotti i fattori di utilizzazione degli apporti e delle perdite sulla base della costante di tempo dell'edificio calcolata in funzione della capacità termica delle strutture.
- Metodo dinamico: il comportamento dell'edificio viene simulato in maniera dettagliata tenendo conto dell'accumulo termico per ogni componente dell'involucro opaco.

Impianto termico

- Metodo semi stazionario secondo UNI EN ISO 13790 - EC700: la definizione dell'impianto termico viene effettuata suddividendo le diverse fasi di generazione, distribuzione, emissione e regolazione. Per quanto riguarda la generazione è possibile utilizzare tre diversi metodi, il metodo semplificato, il metodo analitico e il metodo direttiva caldaie da scegliere in base al tipo di generatore e

di valutazione utilizzati. Nel presente lavoro viene utilizzato il metodo analitico per entrambe le valutazioni *Asset* e *Tailored* ad esclusione del generatore a biomassa per il quale viene usato il metodo semplificato. La distribuzione dell'impianto di riscaldamento è definita in maniera semplificata utilizzando dei fattori di correzione, mentre la rete di distribuzione di ACS è definita in maniera analitica. Il rendimento di regolazione viene definito in base al tipo di regolazione da scegliere tra climatica su caldaia, per zona, per locale o combinazione delle suddette tipologie. Vengono poi definite le caratteristiche della regolazione in caso di presenza di regolazione per singolo locale o per zona. L'emissione è poi definita suddividendo due circuiti, uno per zona, e abbinando i diversi terminali presenti. Tutte le caratteristiche tecniche dei componenti dell'impianto sono fornite dalle case produttrici dei componenti.

- Metodo dinamico – Design Builder: l'impianto termico è definito in maniera dettagliata attraverso il metodo *Detailed HVAC* creando graficamente un template dell'impianto che comprende la generazione, la regolazione in centrale, la presenza di ausiliari e l'emissione attraverso l'abbinamento delle zone termiche dell'edificio ai terminali di emissione. Anche la produzione di acqua calda sanitaria viene definita in maniera dettagliata all'interno dello stesso schema d'impianto specificando se si tratta di una produzione combinata o autonoma e definendo anche in questo caso le utenze in base alle diverse zone. I dati inseriti sono ricavati

dalle schede tecniche dei componenti e dalle informazioni reali sull'utilizzo dell'impianto.

6. Caso studio

L'edificio in oggetto è l'*Hotel Étoile de Neige* sito a Pila, nota località sciistica della Valle d'Aosta. Si tratta di una struttura ricettiva affacciata sulle piste da sci in un contesto territoriale e sociale strettamente legato al settore turistico.



Figure 7 Hotel Etoile de Neige

6.1. Località

Pila è una località sciistica del comune di Gressan famosa per i 70 km di piste, i moderni impianti di risalita e la vicinanza con la città. Fino agli anni Sessanta nella conca di Pila erano presenti unicamente alpeggi e

pascoli, ma a partire dalla costruzione di una prima telecabina di collegamento con Aosta la località si è totalmente trasformata. Da allora Pila investe nello sviluppo turistico tramite la realizzazione di importanti infrastrutture a sostegno di attività sia invernali che estive per tutte le esigenze. Il paese è inoltre facilmente raggiungibile dal centro di Aosta tramite una telecabina totalmente rinnovata nel 2008; questo rappresenta un grosso vantaggio dal punto di vista turistico rispetto alle altre località sciistiche valdostane.

Le attività proposte sono principalmente sportive, dallo sci alla mountain-bike passando per il trekking e la pesca; è però sempre più alta l'attenzione verso lo sviluppo turistico a 360 gradi attraverso negozi, spa, parchi avventura e attrezzature per tutta la famiglia.

È dunque necessario che le strutture di accoglienza quali hotel e ristoranti siano al passo con il contesto circostante. Infatti l'uso efficiente dell'energia in tutte le fasi della vita di un edificio porta, oltre che ad una diminuzione di emissioni inquinanti, al miglioramento delle condizioni di comfort all'interno dell'edificio stesso e al risparmio economico per le spese energetiche.

6.2. Dati climatici

I dati climatici sono un input fondamentale per una analisi energetica del comportamento dell'edificio, vengono innanzitutto richiesti i dettagli del luogo (la quota s.l.m., le caratteristiche del terreno, le temperature mensili, le precipitazioni e l'esposizione al vento), i dati

per la progettazione dell'impianto di riscaldamento e di raffrescamento e quelli per la simulazione energetica.

I dati utilizzati in questa fase sono i seguenti:

- Altitudine: 2000 m s.l.m.
- Zona climatica: E
- Temperatura esterna di progetto: -21.1 °C

È necessario sottolineare il fatto che il comune di Gressan comprende un territorio che si estende in altitudine dai 620 m ai 2700 m, per questo motivo, pur trattandosi di zona climatica E, la temperatura esterna di progetto è stata corretta per tenere conto della posizione dell'edificio.

Al fine di effettuare la simulazione con Design Builder è necessario un file climatico in formato .epw, in genere messo a disposizione dal Dipartimento di Energia degli Stati Uniti d'America. Siccome Pila non rientra nelle 2100 località disponibili nel database del Dipartimento di Energia è stato necessario contattare il Centro Funzionale Regionale della Valle d'Aosta che ha messo a disposizione i valori rilevati su intervalli di trenta minuti delle quantità richieste. Questo materiale è stato riorganizzato su base oraria e portato al formato richiesto in input da Design Builder, prima convertito in .csv, poi in .epw grazie al convertitore di dati meteo di Energy Plus.

Le grandezze necessarie sono la temperatura dell'aria e la temperatura di rugiada, l'umidità relativa, la pressione atmosferica, la velocità e la direzione del vento, l'irraggiamento orizzontale globale, la componente orizzontale diffusa e quella normale diretta e la quantità di precipitazioni.

6.3. Struttura

L'edificio in oggetto è costituito da due palazzine collegate internamente rispettivamente di quattro e sei piani per una superficie climatizzata totale di 3490 m². Nel piano interrato si trovano il locale dispensa e un deposito, entrambi non climatizzati, oltre al locale caldaia con accesso dall'esterno. Il piano terreno è occupato dalla hall con bar e zona ricreativa dotata di tavoli da gioco e biliardo. Sono inoltre presenti alcune camere tra cui quelle a servizio del personale. Nel fabbricato più basso il primo piano è occupato dalla cucina e il ristorante, quest'ultimo affacciato sulla terrazza esterna a bordo piste, mentre al secondo piano si trovano un ufficio e la *sala Chamolé*, utilizzata saltuariamente come sala conferenze. Nella seconda palazzina invece sono presenti quattro piani di camere per un totale di 51 stanze e circa 130 posti letto. La struttura è aperta al pubblico da dicembre ad aprile e nei mesi di luglio e agosto, l'occupazione varia dal 100% nei periodi di alta stagione al 70% nei mesi estivi.

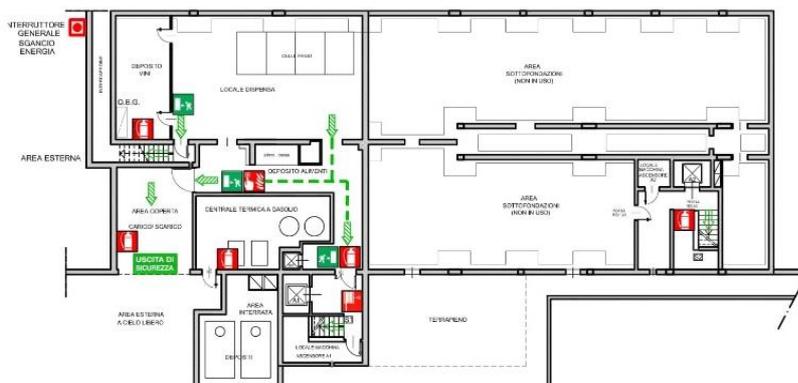


Figure 8 Pianta piano interrato



Figure 9 Pianta livello 1



Figure 10 Pianta livello 2



Figure 11 Pianta livello 3



Figure 12 Pianta livello 4

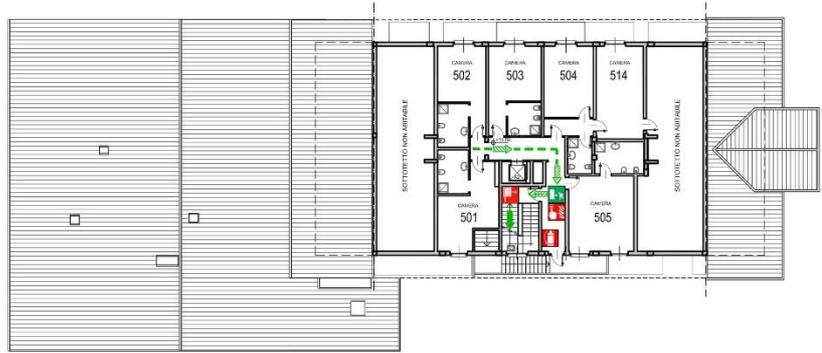


Figure 13 Pianta livello 5

7. Analisi energetica dello stato di fatto

In questa prima fase si intende valutare l'edificio dal punto di vista energetico, sia attraverso una valutazione standard che attraverso una valutazione adattata all'utenza, in modo da poter confrontare i modelli creati con EC700 e con Design Builder tra loro e con i dati dei consumi reali.

Si opera poi una simulazione dinamica dell'albergo per valutare il comportamento dell'edificio allo stato attuale.

In una seconda fase si confronteranno questi risultati con gli scenari post-intervento per valutare la soluzione più adatta al caso studio.

7.1. Zonizzazione termica dell'edificio

La norma UNI-TS 11300-1 regola la zonizzazione termica all'interno degli edifici. In particolare è richiesta la suddivisione in zone se si presenta una delle seguenti condizioni:

- Le temperature di regolazione per riscaldamento differiscono di più di 4 K;
- Gli ambienti, se raffrescati, hanno temperature di regolazione che differiscono di più di 4 K;
- Gli ambienti sono serviti da impianti di climatizzazione differenti;
- In caso di ventilazione meccanica meno dell'80% dell'area climatizzata è servito dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione dei vari ambienti che differiscono di un fattore maggiore di 4;

- In caso di controllo dell'umidità le umidità relative di regolazione differiscono di più di 20 punti percentuali.

Nel caso specifico dell'*Hotel Etoile de Neige* sono state identificate due differenti zone termiche: la zona delle camere e la zona comune.

La zona delle camere, servita da ventilconvettori ad eccezione dei termoarredi nei bagni, è formata dalle camere del personale e dai cinque piani di camere destinate ai clienti. La zona comune comprende tutti gli altri ambienti climatizzati ed è servita da un impianto di emissione a radiatori. L'edificio in considerazione non prevede né la climatizzazione estiva, né la ventilazione meccanica e il controllo dell'umidità.

Le temperature dei locali climatizzati sono fissate a 20 °C ad eccezione della *Sala Chamolé* in cui, nel caso di calcolo *tailored*, viene fissata una temperatura di 16 °C.

7.2. Definizione delle strutture

Ai fini di ottenere il modello termico è necessario ricreare le strutture disperdenti opache e trasparenti. Questi componenti sono stati definiti allo stesso modo sui due software per ottenere dei modelli confrontabili.

7.2.1. Strutture opache

- Parete esterna: parete composta da due strati di laterizio divisi da un'intercapedine d'aria. Su una buona parte

dell'edificio l'intonaco esterno è coperto da assi di legno, prevalentemente a fini estetici.

La parete intonacata presenta una trasmittanza termica di $1.028 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre quella ricoperta di legno ha una $U=0.935 \text{ W/m}^2\text{K}$.

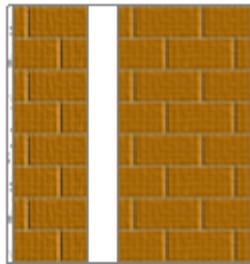


Figure 14 Stratigrafia della parete esterna

- Parete verso locali freddi: questo muro è composto da un singolo strato di muratura in laterizio ricoperto da intonaco sui due lati. La trasmittanza termica del componente è di $1.265 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Copertura inclinata: il tetto a falde è composto da due strati lignei separati da 40 mm di polistirene e un'intercapedine d'aria. La copertura è completata con uno strato di lose. La trasmittanza totale di questa struttura è $0.556 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Solaio verso locali freddi: il solaio che divide un locale climatizzato dal locale freddo sovrastante è composto da una soletta in laterizio sormontata dal massetto e dal sottofondo in cemento coperto da piastrelle come mostrato nella figura seguente, per una trasmittanza termica totale di $1.465 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figure 15 Stratigrafia del solaio verso locali freddi

- Pavimento su terreno: questa struttura è composta da due strati di sottofondo in cemento magro intervallati da un massetto ripartitore in calcestruzzo e sormontati da uno strato di piastrelle in ceramica. La trasmittanza termica in questo caso è pari a $0.372 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Pavimento verso esterno: pavimento presente solo al primo piano dell'edificio più basso divide un ambiente climatizzato dall'esterno. Partendo dal basso gli strati che si incontrano sono: intonaco, soletta in laterizio, massetto ripartitore in calcestruzzo con rete, sottofondo in cemento magro e piastrelle in ceramica per una $U=1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

7.2.2. Componenti trasparenti

Le strutture trasparenti utilizzate sono composte da un telaio singolo in legno e un doppio vetro con intercapedine d'aria. Si contano in totale 36 finestre di varie dimensioni e 53 portefinestre. Queste ultime si dividono in portefinestre d'entrata e portefinestre delle camere; le prime sono utilizzate nella hall, per accedere al terrazzo dal ristorante e per l'accesso ai corridoi della zona camere dalla scala esterna, le seconde sono utilizzate per lo più nelle camere.



Figure 16 Dettaglio: finestra piano terreno

7.3. Dati impiantistici

L'impianto che ad oggi riscalda l'albergo è alimentato da due caldaie a gasolio installate nel 1993, la principale da 116 kW e la secondaria da 316 kW. Il secondo generatore entra in azione solo se il principale non riesce a sopperire ai fabbisogni del fabbricato.



Figure 17 Caldaia a gasolio da 116 kW

Dati tecnici della caldaia

Potenzialità utile	da kW	70	90	115	150	195	250	320	400
per gasolio/gas	a kW	80	105	130	170	225	285	370	460
con pressurizzazione in camera di combustione	da kcal/h	60.200	77.400	98.900	129.000	167.700	215.000	275.200	344.000
	a kcal/h	68.800	90.300	111.800	145.200	193.500	245.100	318.200	395.800
Potenzialità focolare	max. kW	88,7	116,5	144,2	188,6	249,7	316,3	410	510
Contropressione in camera di combustione	mbar	0,3-0,4	0,35-0,5	0,4-0,6	0,6-0,9	0,8-1,2	1,1-1,5	1,6-2,1	1,7-2,5
	mm c.a.	3-4	3,5-5,0	4,0-6,0	6,0-9,0	8-12	11-15	16-21	17-25
Dimensioni corpo caldaia									
Lunghezza ¹⁾	mm	1096	1196	1217	1286	1368	1452	1654	1754
Larghezza	mm	577	577	668	668	749	749	825	825
Altezza (con attacchi)	mm	1177	1177	1308	1348	1411	1411	1565	1565
Dimensioni totali									
Lunghezza totale	mm	1320	1420	1470	1535	1620	1705	1925	2025
Larghezza totale	mm	757	757	878	878	983	983	1057	1057
Altezza totale con									
Viessmann Trimatik	mm	1251	1251	1382	1382	1445	1445		
Dekamatik	mm	1397	1397	1528	1528	1591	1591	1745	1745
Regolazione RU/KR	mm	1413	1413	1544	1544	1607	1607	1761	1761
Basamento									
Lunghezza	mm	1020	1120	1140	1210	1290	1375	1560	1660
Larghezza	mm	580	580	670	670	750	750	830	830
Peso corpo caldaia	kg	353	392	518	560	734	804	1080	1270
Peso totale	kg	405	445	573	626	806	882	1172	1378
Corpo caldaia con isolamento									
Contenuto acqua caldaia	lit	180	205	306	316	390	415	623	652
Pressione max. d'esercizio	bar	4	4	4	4	4	4	4	4
Attacchi caldaia									
Mandata e ritorno caldaia	PN 6 DN	65	65	65	65				
	PN 16 DN					80	80	80	100
Mandata espansione	Ø (fil. maschio)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/2		
	PN 16 DN							50	50
Ritorno espansione/Scarico	Ø (fil. maschio)	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/2		
Ritorno espansione	PN 16 DN							50	60
Scarico	Ø (fil. maschio)							1 1/4	1 1/4
Gas di scarico²⁾									
alla potenzialità utile max.									
Temperatura	°C	180	180	180	180	180	180	180	180
Portata	kg/h	137	179	222	291	385	488	634	788
alla potenzialità utile min.									
Temperatura	°C	160	160	160	160	160	160	160	160
Portata	kg/h	82	107	133	174	231	293	380	472
alla potenzialità minima nel caso di bruciatori a più stadi (con il 1° stadio bruciatore)									
Temperatura	°C	130	130	130	130	130	130	130	130
Portata	kg/h	82	107	133	174	231	293	380	472
Dispersioni per mantenimento in funzione alla potenzialità max.	70/50° C %	0,41	0,3	0,28	0,23	0,15	0,14	0,13	0,13
Diametro scarico fumi	Ø mm	180	180	200	200	200	200	250	250
Volume camera di combustione e condotti gas di scarico	m ³	0,150	0,167	0,239	0,255	0,343	0,371	0,508	0,553

Figure 18 Scheda tecnica caldaie a gasolio

L'impianto è poi composto dai collettori di mandata e ritorno, le pompe di circolazione e due accumuli da 1000 litri l'uno con scambiatore per la produzione di acqua calda sanitaria.



Figure 19 Accumuli termici per la produzione di ACS

I locali sono riscaldati prevalentemente attraverso radiatori ad eccezione dei ventilconvettori nelle camere.

Oltre alla regolazione sulla caldaia sono presenti dei termostati ai vari piani e nei singoli locali per la zona fornita di ventilconvettori.



Figure 20 Dettaglio: radiatore e termostato

7.4. EC700-Asset rating

La *valutazione Asset* si basa sull'utilizzo di dati standard per quanto concerne l'uso della struttura e il clima della località, ma si basa su dati reali per quanto riguarda l'edificio.

7.4.1. Inserimento dei dati

Nella fase di creazione del modello con EC700 si è scelto di utilizzare il metodo di input grafico.

Ne è risultato un edificio 3490 m² climatizzati suddivisi in due zone termiche principali: le camere e le aree comuni. L'interrato è considerato freddo, così come i sottotetti non abitabili.

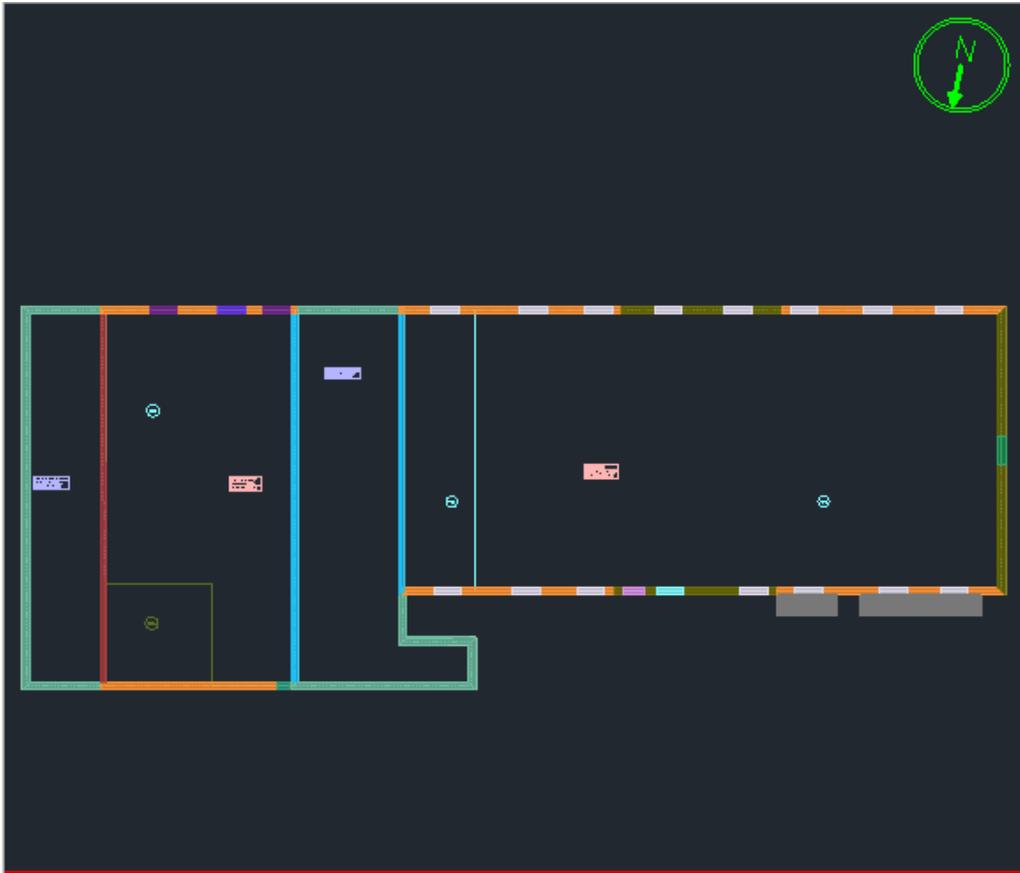


Figure 21 Esempio di input grafico con EC700: piano secondo

In figura 6 è rappresentato il secondo piano dell'edificio, in cui si distinguono due locali freddi (etichetta azzurra) e due locali climatizzati (etichetta rosa) appartenenti alle due zone diverse. Si può inoltre notare che gli spazi climatizzati risultano ulteriormente suddivisi. Queste divisioni stanno a rappresentare la presenza di aree di pavimenti o soffitti diversi da quelli di default della zona, ovvero confinanti con locali freddi o con l'esterno. Sono inoltre ben visibili i serramenti posizionati sulle pareti esterne e i balconi inseriti come ombreggiamenti.

Come accennato in precedenza l'impianto è di tipo centralizzato per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. La generazione è affidata a due caldaie a gasolio del 1993 e i locali sono riscaldati prevalentemente da radiatori a parete ad eccezione delle camere in cui sono presenti dei ventilconvettori.

I generatori sono inseriti in modo che la priorità sia data alla caldaia di taglia minore, ovvero la principale, e che la secondaria entri in funzione solo in caso di necessità.

7.4.2. Risultati

Da questa prima analisi risulta un carico termico invernale di progetto di 255.6kW, rispettivamente 187.5 kW per le camere e 152.2 kW per le aree comuni.

Considerando l'utilizzo dell'impianto dal 15 ottobre al 15 aprile i risultati ottenuti in termini di energia invernale sono i seguenti.

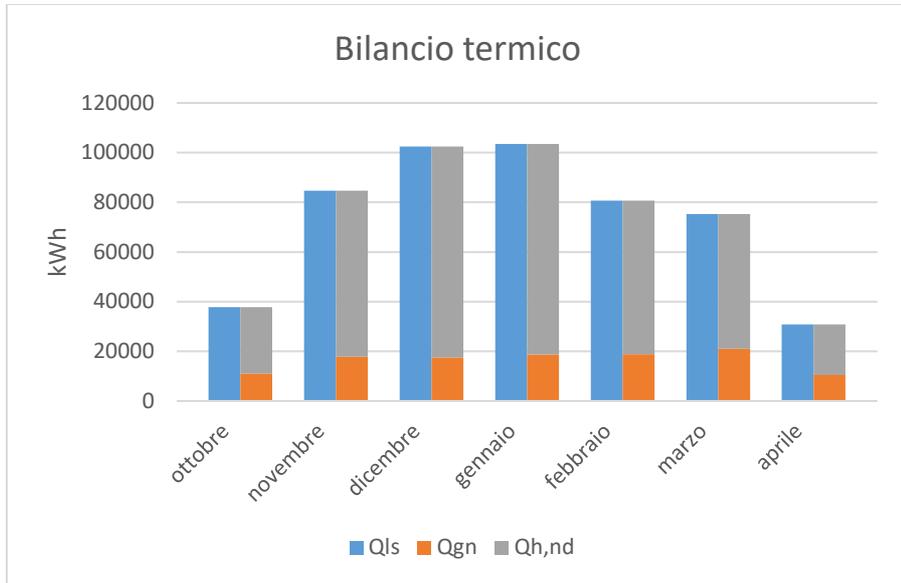


Figure 22 Bilancio termico

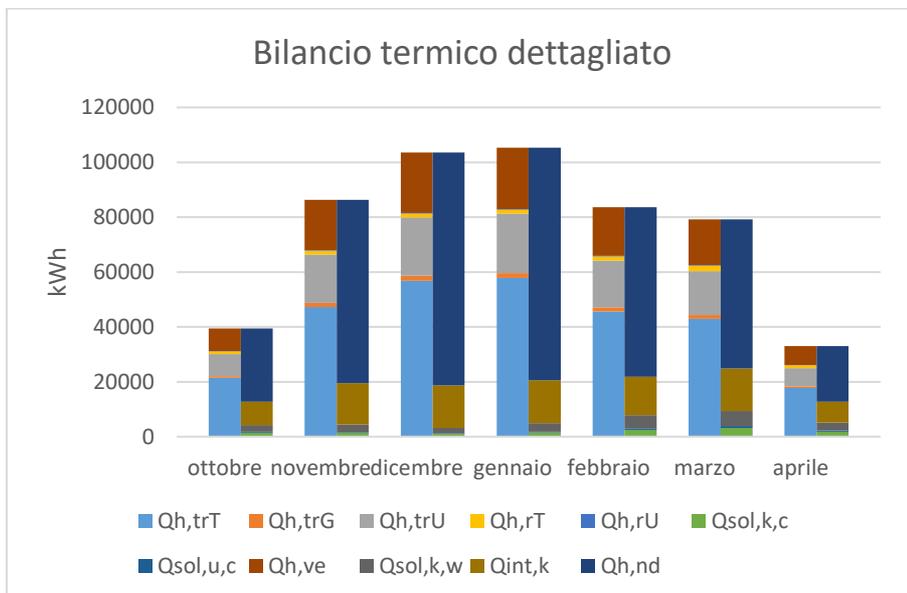


Figure 23 Dettaglio bilancio termico

Si può notare come l'andamento dei due grafici precedenti sia corretto in quanto nei mesi più freddi la richiesta termica risulta maggiore, questo andamento è dovuto principalmente alle

perdite per trasmissione e ventilazione che raggiungono il valore massimo nei mesi di dicembre e gennaio. Gli apporti gratuiti invece hanno un andamento circa costante durante tutta la stagione ad esclusione dei mesi di ottobre e aprile che non sono totalmente inclusi nel calcolo dei fabbisogni termici invernali. Ne deriva un fabbisogno netto di riscaldamento annuo pari a 399.75 MWh.

Grazie all'analisi effettuata con EC700 è possibile stimare la suddivisione dei carichi tra i due generatori. Il primo generatore provvede sia al riscaldamento che all'acqua calda sanitaria, mentre la caldaia secondaria interviene solamente nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, novembre e dicembre, in cui la temperatura esterna è più bassa. Nella produzione di acqua calda sanitaria il secondo generatore non interviene mai.

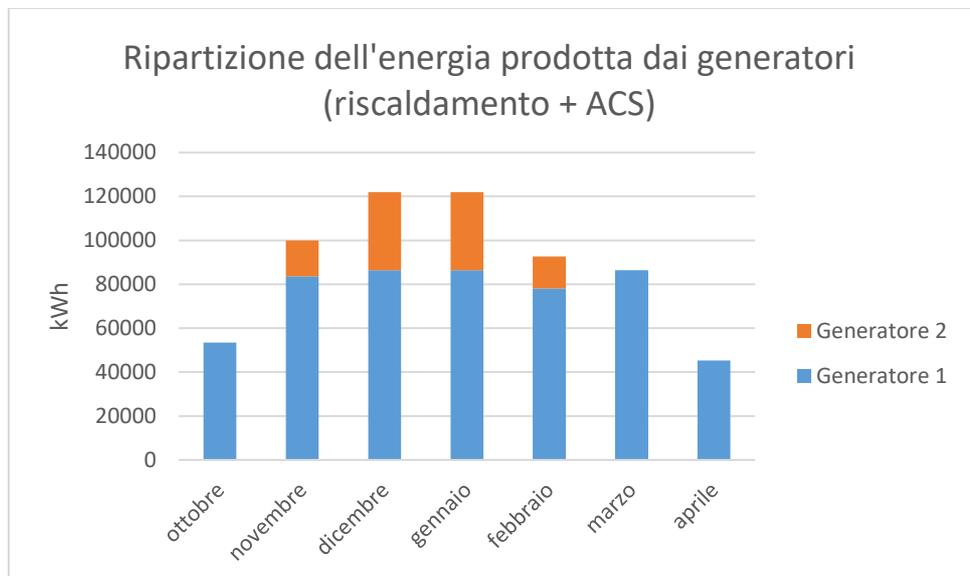


Figure 24 Ripartizione dell'energia prodotta dai generatori - Asset rating dello stato di fatto

A seguito della presente analisi risulta un indice di energia primaria globale non rinnovabile per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria pari a 238.12 kWh/m²anno.

7.5. EC700-Tailored rating

Nel caso di valutazione adattata all'utenza si considera l'utilizzo reale dell'edificio, ovvero l'apertura al pubblico da dicembre ad aprile e nei mesi di luglio e agosto e la percentuale di occupazione in alta, media e bassa stagione. Viene inoltre modificata la Temperatura interna nella Sala Chamolé da 20°C a 16°C per tenere conto dello scarso utilizzo della stessa. Per tutti gli altri locali il regime di funzionamento dell'impianto è del tipo continuato con attenuazione notturna.

Per tenere in considerazione questo tipo di gestione è necessario dividere la stagione di calcolo in due periodi, il primo che va da dicembre ad aprile e il secondo che comprende luglio e agosto. La richiesta di ACS è inoltre considerata nulla nei mesi di chiusura e ridotta nei periodi in cui l'affluenza non è massima.

7.5.1. Risultati

Si considera ora l'utilizzo reale dell'impianto da dicembre ad aprile e nei mesi di luglio e agosto.

È interessante constatare come nei mesi estivi non solo non sia necessario raffrescare, ma il fabbisogno di riscaldamento risulti ancora positivo, soprattutto nel mese di agosto.

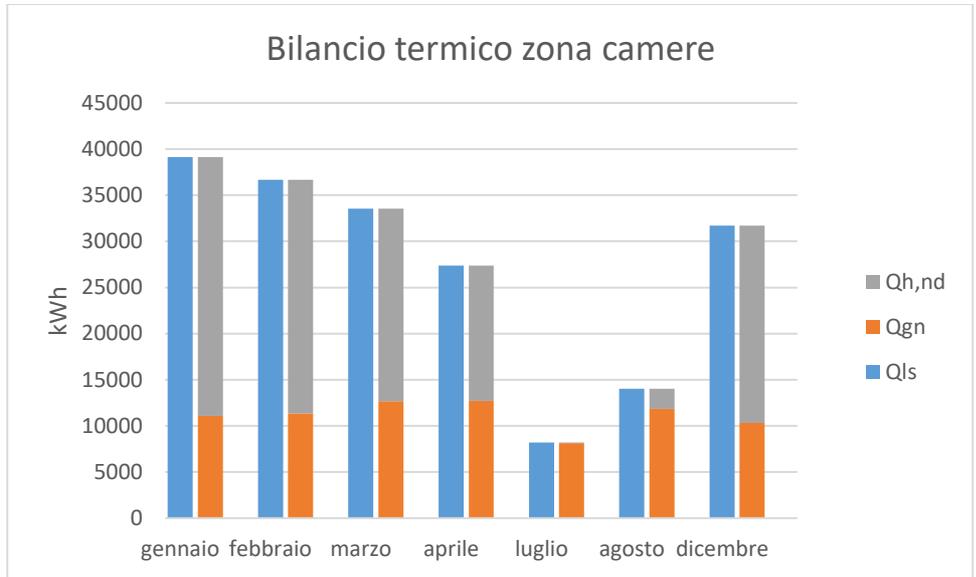


Figure 25 Bilancio termico zona camere in tailored rating

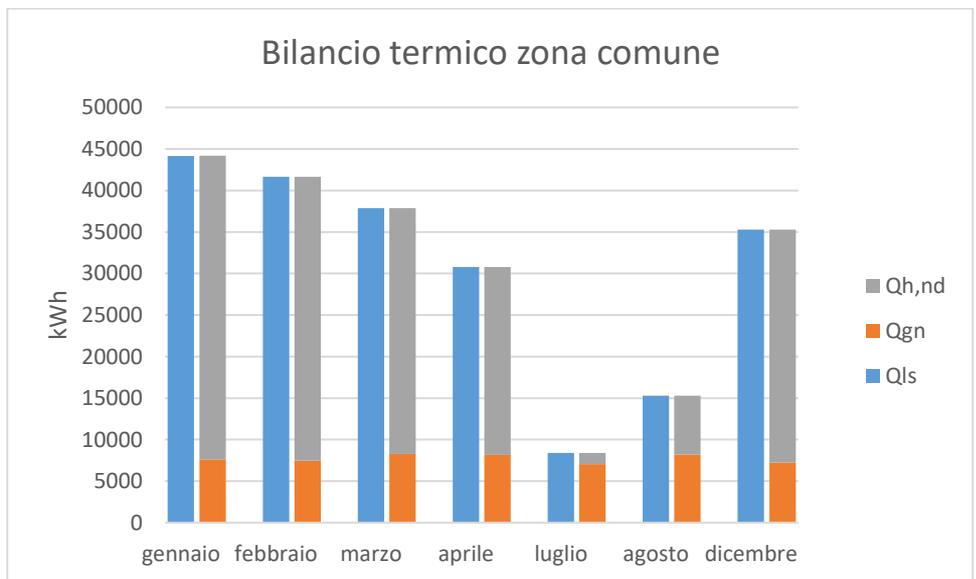


Figure 26 Bilancio termico zona comune in tailored rating

Per quanto riguarda la richiesta di acqua calda sanitaria i risultati mostrano una domanda più alta nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio e dei valori minori per gli altri periodi in base alla percentuale di occupazione e quindi di richiesta di ACS.

A questo punto è possibile effettuare un confronto tra il modello creato con EC700 e l'edificio reale, in particolare vengono raffrontati i consumi di gasolio ottenuti attraverso il modello con quelli ricavati dalla lettura delle fatture di fornitura di gasolio degli anni 2015-2016. La richiesta reale risulta di circa 43500 l/anno di gasolio, che corrispondono a 430650 kWh/anno. Il modello invece richiede 449738 kWh/anno per un totale di 45428 l/anno di gasolio. Il modello e l'edificio reale sono quindi confrontabili in quanto lo scarto tra i consumi reali dell'edificio e quelli stimati è circa del 4%.

7.6. Design Builder- Tailored rating

7.6.1. Inserimento dati

Il primo passaggio nella creazione di un modello con Design Builder è la definizione delle caratteristiche della località. Viene inserito il template *Località* che contiene le informazioni relative ai dati climatici oltre alla posizione, le caratteristiche geomorfologiche del luogo e le coordinate geografiche. In questo caso il file dei dati climatici è stato creato a partire dalle rilevazioni metereologiche del Centro Funzionale Regionale della Valle d'Aosta, come illustrato nel paragrafo relativo ai dati climatici stessi.

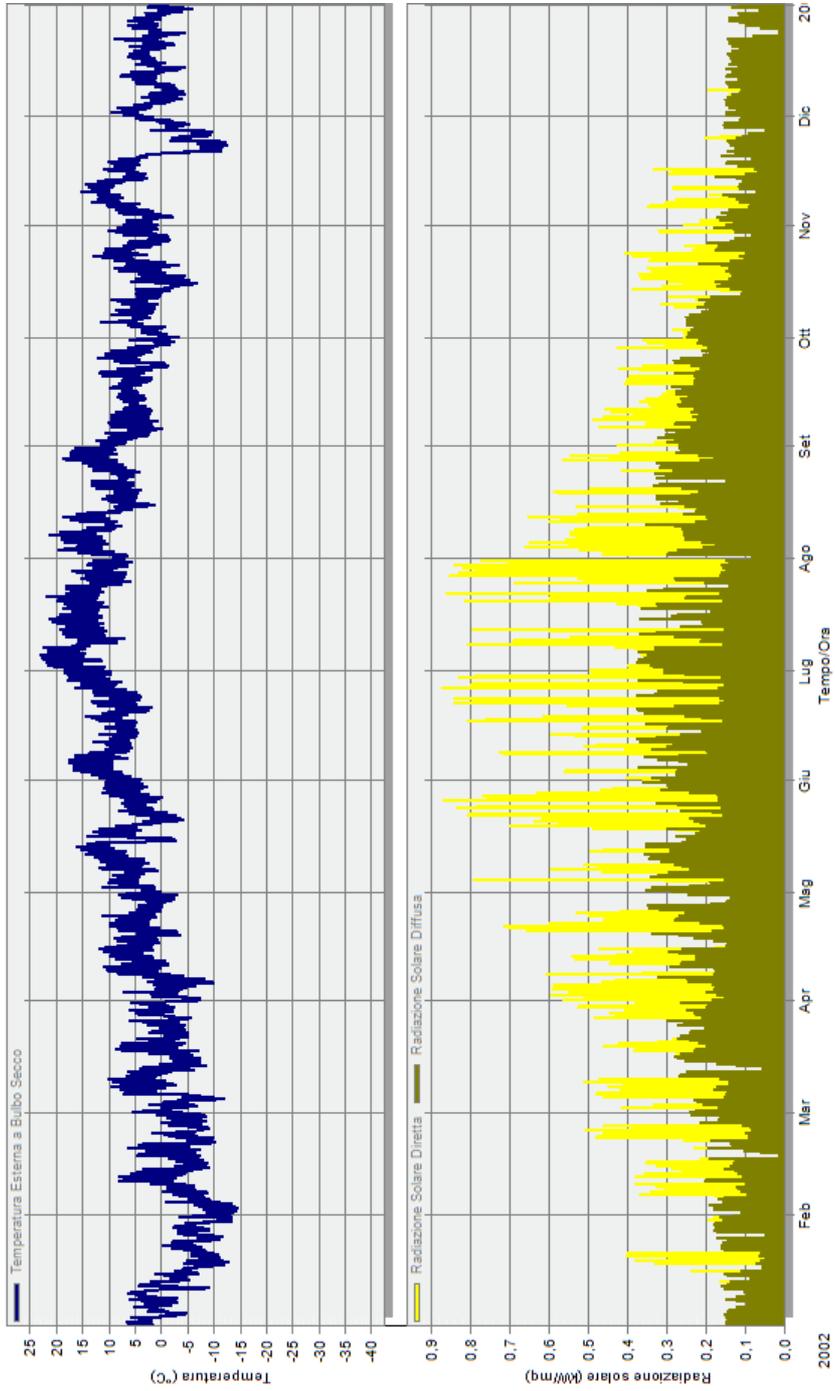


Figure 27 Andamento orario di temperatura esterna, radiazione solare diretta e diffusa ricavato dalla simulazione dinamica

Il secondo passaggio riguarda la creazione geometrica del modello dell'edificio. Per questa fase è stato utilizzato *Open Studio*, un plug in di *Sketch up* che permette l'esportazione del modello in formato .gbxml, che può successivamente essere esportato e importato in Design Builder.

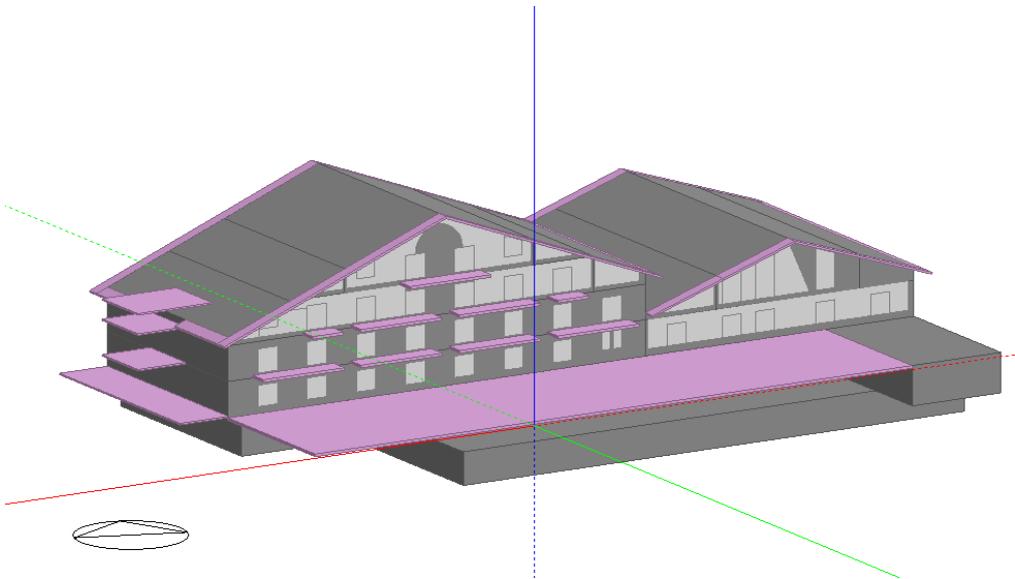


Figure 28 Modello dell'edificio su Design Builder

A questo punto vengono inserite le caratteristiche degli elementi dell'involucro edilizio in accordo con quanto fatto per il modello creato con EC700.

Sempre in questa fase sono stati identificati i locali climatizzati e non climatizzati che compongono la struttura.

A questo punto viene creato il template di attività, che comprende le schede relative ai programmi di occupazione e di utilizzo degli impianti.

L'occupazione è definita tramite un *Programma 7/12* creato appositamente per tenere in considerazione la variazione della percentuale di occupanti durante l'anno su un totale di 130 persone. L'edificio si considera totalmente occupato nei mesi di alta stagione, ovvero dicembre, gennaio e febbraio, la percentuale scende invece all'80% per i mesi di marzo e aprile e i mesi di luglio e agosto segnano una percentuale di occupazione del 70%.

Viene utilizzato lo stesso ragionamento per la richiesta di acqua calda sanitaria, mentre il programma di riscaldamento è definito in modo da garantire una temperatura interna di 20°C nei mesi di utilizzo dell'edificio con attenuazione notturna.

Infine è necessario creare il template relativo all'impianto di condizionamento invernale e produzione di acqua calda sanitaria.

Dopo aver inserito i due generatori questi vengono collegati ai terminali di emissione delle zone e allo scambiatore per la produzione di acqua calda sanitaria all'interno degli accumuli. Infine vengono collegate le utenze di ACS.

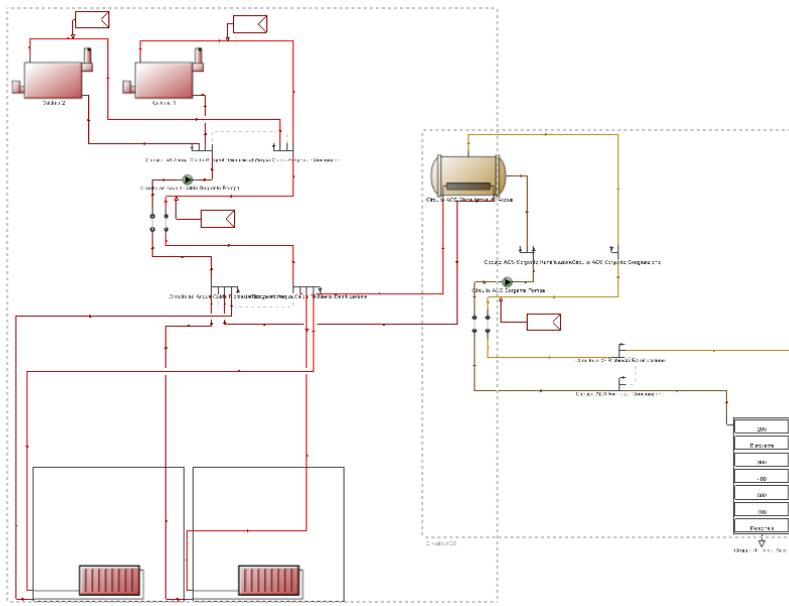


Figure 29 Schema impianto termico

7.6.2. Risultati

In primo luogo è possibile effettuare un confronto tra la richiesta termica dell'edificio a seguito della simulazione dinamica e quella calcolata con il metodo semi stazionario. Dal grafico seguente si può notare come EC700 sovrastimi il fabbisogno termico dell'edificio rispetto a quanto ottenuto con Design Builder. In particolare lo scostamento annuo tra i due metodi è del 31%, dovuto principalmente ai diverso approccio al calcolo termico. Infatti il metodo dinamico effettua un bilancio termico sulle superfici interna e esterna di ogni parete oltre a calcolare il bilancio termico sull'aria, che considera gli scambi termici per convezione e per irraggiamento. A questo proposito è stata effettuata una

verifica sul metodo di calcolo semi stazionario inserendo come temperatura dell'aria interna, al posto dei 20°C, la temperatura media operante ottenuta dalla simulazione con Design Builder; a seguito di tale verifica è risultato uno scostamento tra i due metodi di calcolo ridotto al 10%, sempre su base annua.

Un'altra ragione che può portare alla sovrastima del metodo semi stazionario è l'utilizzo del coefficiente di scambio termico liminare esterno costante, mentre il metodo dinamico permette di considerarne le variazioni temporali.

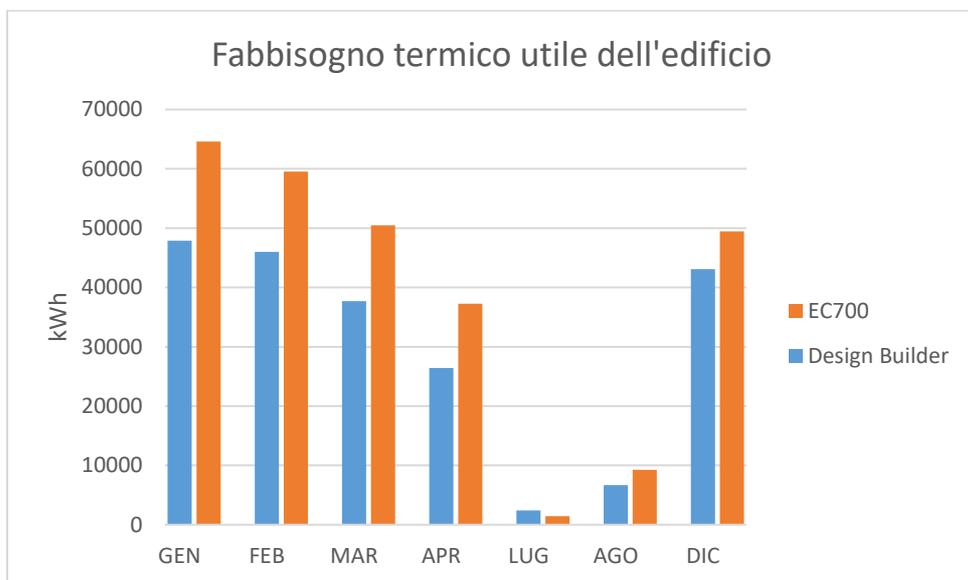


Figure 30 Fabbisogno termico utile dell'edificio, confronto tra i metodi di calcolo

Lo stesso andamento si ripresenta in termini di energia primaria non rinnovabile per unità di superficie riferita al riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. I seguenti valori sono ottenuti moltiplicando il consumo dei diversi vettori energetici

per i rispettivi fattori di conversione in energia primaria non rinnovabile. In questo caso i vettori energetici sono solo due, il prevalente è il gasolio che alimenta le caldaie a cui corrisponde un fattore di energia primaria non rinnovabile pari a 1.07, il secondo vettore energetico è l'energia elettrica da rete utilizzata per l'alimentazione degli ausiliari e a cui corrisponde un fattore di conversione in energia primaria pari a 2.42, precisamente 1.95 per la componente non rinnovabile e 0.47 di componente rinnovabile (figura 1).

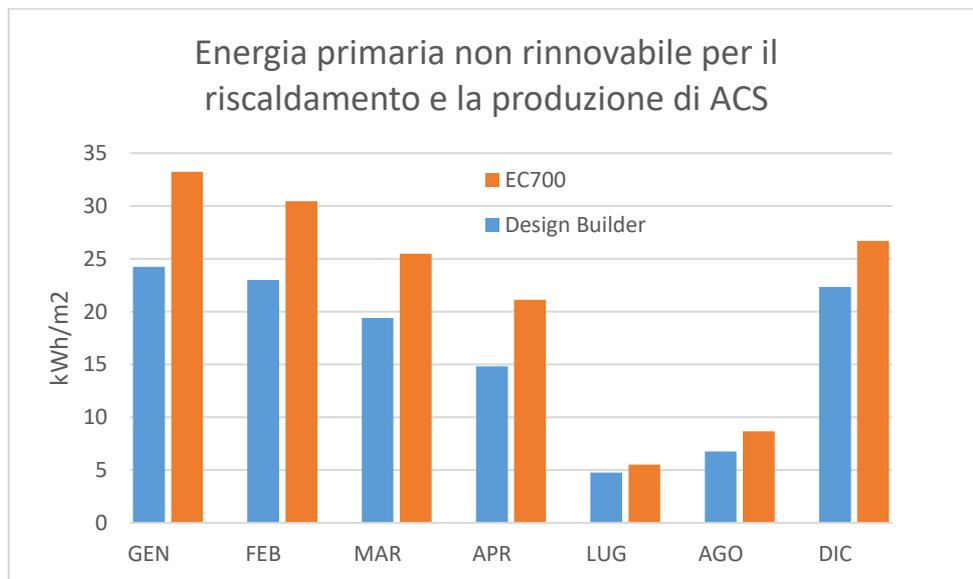


Figure 31 EPnren per il riscaldamento e la produzione di ACS

Un altro aspetto interessante di questa analisi riguarda la possibilità di verificare l'andamento della temperatura interna all'edificio e ai vari locali per diversi intervalli di tempo. Di seguito di può notare come il set point venga rispettato nei periodi di utilizzo dell'edificio. In particolare l'immagine seguente mostra l'andamento della temperatura interna a

livello di edificio intero per la prima settimana di gennaio. Si nota la presenza di due set point a causa dell'attenuazione notturna considerata dalle 00:00 alle 06:00 di ogni giorno.

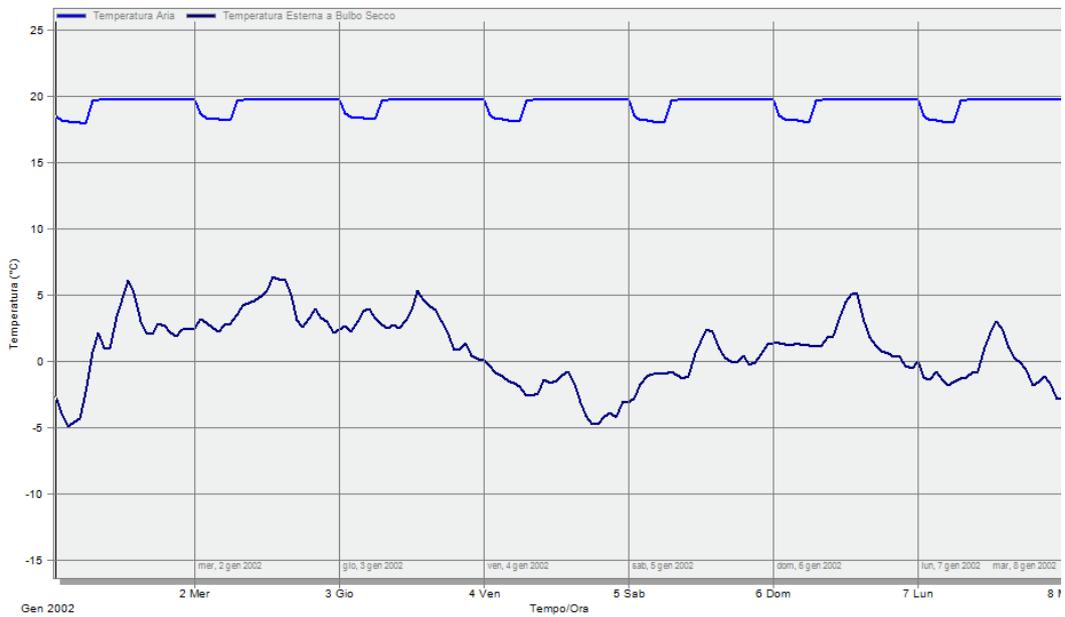


Figure 32 Andamento temperatura interna ed esterna - gennaio

Si nota anche che la temperatura non raggiunge mai i venti gradi stabiliti, questo perché all'interno dell'edificio è considerata anche la *Sala Chamolé* all'interno della quale è impostata una temperatura di 16°C.



Figure 33 Andamento temperatura interna ed esterna – gennaio – Sala Chamolé

La figura 34 mostra invece, per la medesima settimana, l'andamento della temperatura all'interno di un singolo locale climatizzato, nel quale si raggiungono i 20°C come previsto.

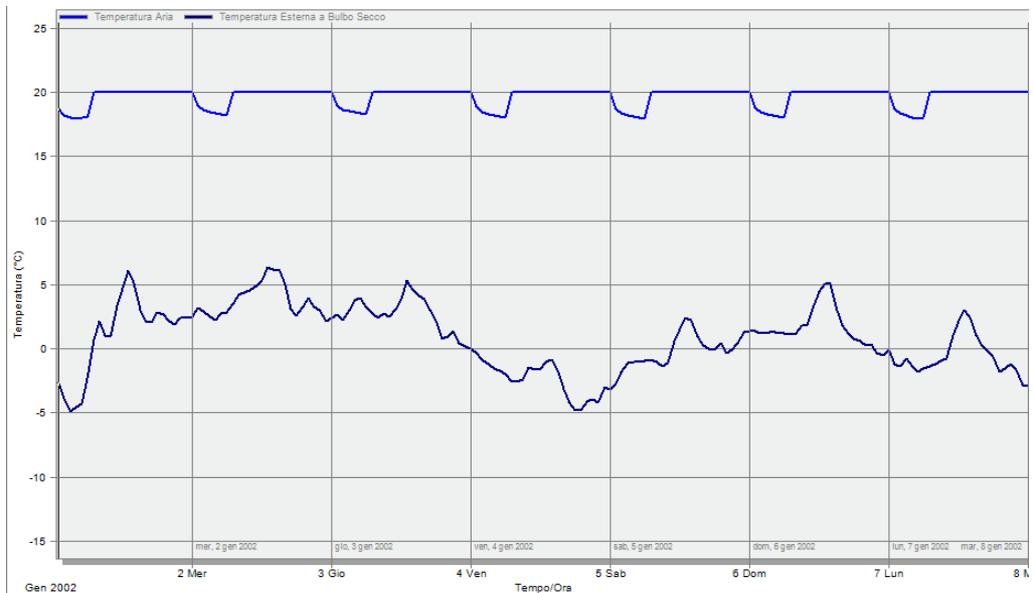


Figure 34 Andamento temperatura interna ed esterna – gennaio – Ristorante

Il grafico in figura 35 mostra invece una settimana di luglio in cui la temperatura non scende mai al di sotto dei 20°C, questo comporta il non utilizzo dell'impianto ai fini del riscaldamento.

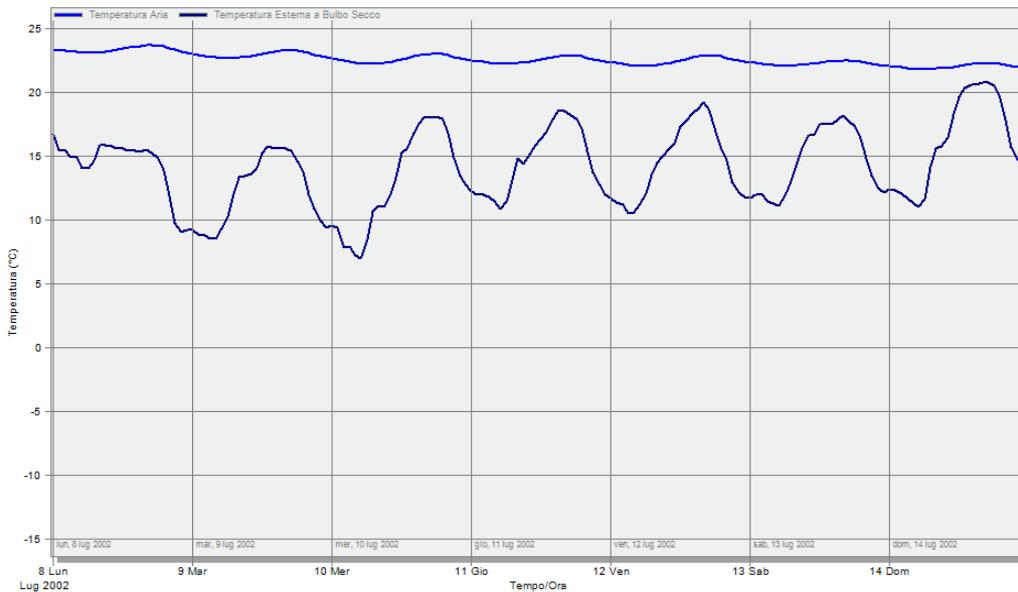


Figure 35 Andamento temperatura interna ed esterna - luglio

Infine viene mostrato un grafico relativo alla terza settimana di agosto, si nota che mentre in un primo momento la temperatura assume valori maggiori della temperatura di set point e varia quindi liberamente al di sopra dei 20°C, in un secondo momento diventa necessario l'intervento dell'impianto di riscaldamento per garantire la temperatura desiderata all'interno dell'edificio.

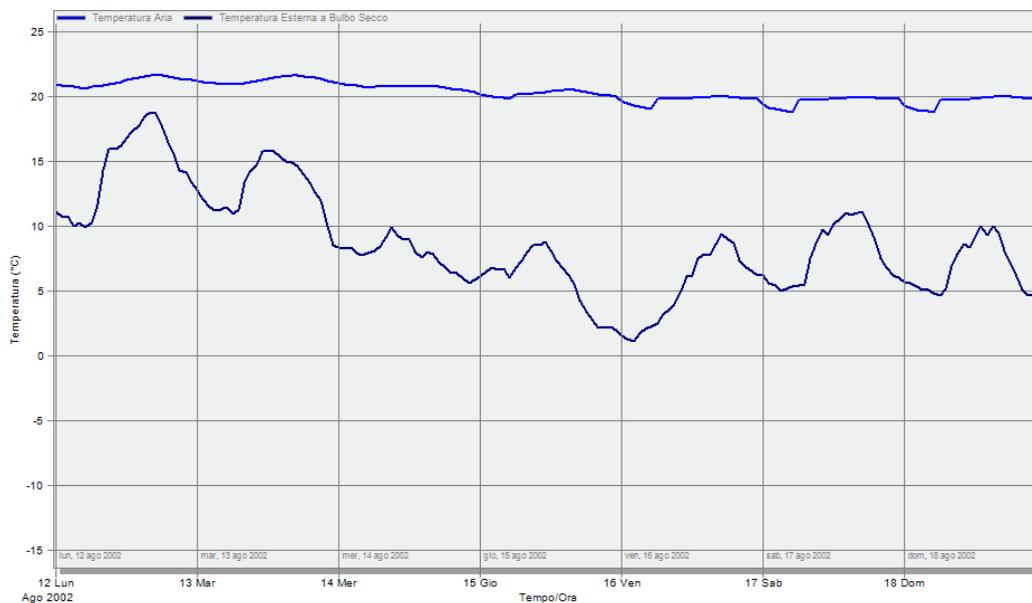


Figure 36 Andamento temperatura interna ed esterna - agosto

È possibile notare questo fenomeno anche analizzando l'andamento della richiesta di riscaldamento, si può vedere infatti come il fabbisogno di riscaldamento sia nullo quando la temperatura interna è maggiore rispetto al set point impostato, mentre diventa positivo quando la temperatura interna viene portata a mantenere il set point di 20°C. L'andamento in figura evidenzia anche la presenza dell'attenuazione notturna, in

presenza della quale, in questo caso, non è richiesto l'intervento dell'impianto.

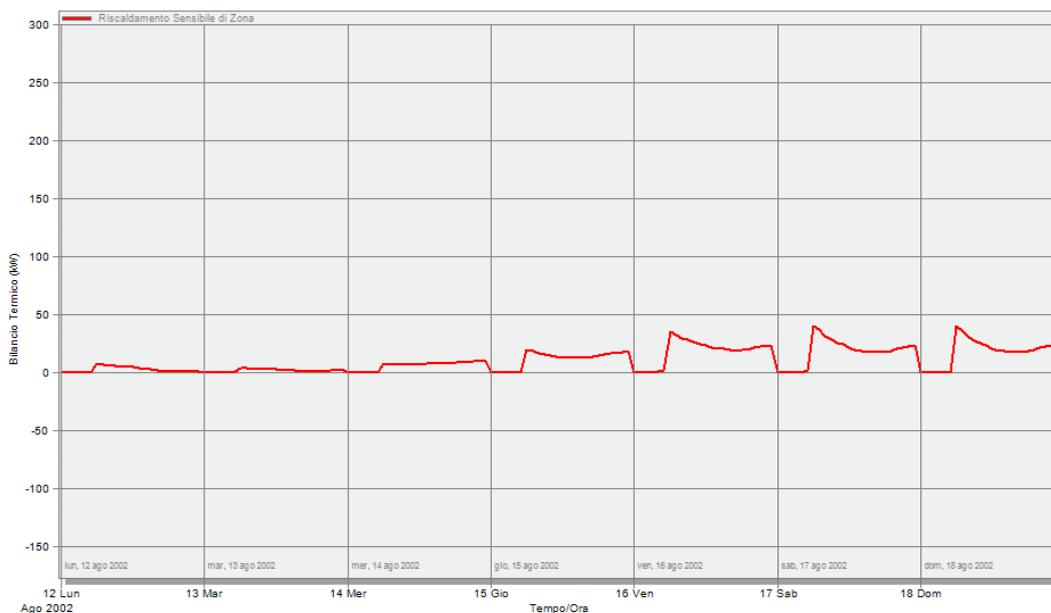


Figure 37 Andamento della richiesta di riscaldamento - agosto

8. Soluzioni proposte

8.1. Soluzione 1: Sostituzione del generatore di calore.

Il generatore proposto è un ETA HACK 200 a cippato in sostituzione alla caldaia a gasolio da 316 kW. La caldaia da 116 kW esistente viene mantenuta come generatore ausiliario per coprire i picchi di richiesta non sostenibili dalla caldaia a biomassa. È infatti importante che questa

non sia sovradimensionata per far sì che possa essere utilizzata in condizioni di prestazione massima.

Caldaia a cippato	Unità di misura	200P ^{GB}	200C ^{GB}	200
Campo potenza nominale cippato (W25-S160)	kW	56 - 195	56 - 205	56 - 195
Campo potenza nominale pellet	kW	59 - 199	66 - 220	66 - 220
Rendimento con cippato, potenza parziale / nominale	%	93,5 / 92,3	93,5 / 92,3	93,5 / 92,3
Rendimento pellet a carico parziale / nominale	%	91,1 / 91,1	91,1 / 91,1	91,1 / 91,1
Dimensioni di introduzione L x P x A	mm	1106 x 2100 x 2020	1106 x 2100 x 2020	1106 x 2100 x 2020
Larghezza di introduzione con rivestimento smontato	mm	865	865	865
Peso con / senza stoker con chiusa girante	kg	1950 / 1800	1950 / 1800	1950 / 1800
Contenuto d'acqua	Litri	448	448	448
Resistenza lato acqua ($\Delta T=20^{\circ} C$)	Pa / mWs	1700 / 0,170	1700 / 0,170	1700 / 0,170
Capacità contenitore cenere	Litri	2 x 80	2 x 80	2 x 80
Portata gas di scarico potenza parziale / nominale	g / s	43,5 / 138	43,5 / 138	43,5 / 138
Percentuale di ₂ CO nel gas di scarico asciutto carico parziale / nom.	%	11,0 / 13,0	11,0 / 13,0	11,0 / 13,0
Temperatura gas di scarico	°C	110 - 180		
Tiraggio necessario a carico parziale / nominale	Pa	> 2 Pa / > 5 Pa oltre i 15 Pa è necessario un limitatore di tiraggio		
Emissioni monossido di carbonio (CO) con cippato a carico parziale / nominale	mg/MJ mg/m ³ con 13%O ₂	4 / 8 6 / 13	4 / 8 6 / 13	4 / 8 6 / 13
Emissioni monossido di carbonio (CO) con pellet a carico parziale / nominale	mg/MJ mg/m ³ con 13%O ₂	3 / 2 4 / 3	3 / 2 4 / 3	3 / 2 4 / 3
Emissioni di polvere con cippato a carico parziale / nominale	mg/MJ mg/m ³ con 13%O ₂	4 / 9 7 / 15	4 / 9 7 / 15	4 / 9 7 / 15
Emissioni di polvere con pellet a carico parziale / nominale	mg/MJ mg/m ³ con 13%O ₂	2 / 4 4 / 7	2 / 4 4 / 7	2 / 4 4 / 7
Idrocarburi non combustibili (CxHy) _b con cippato a carico parziale / nominale	mg/MJ mg/m ³ con 13%O ₂	< 1 / < 1 1 / < 1	< 1 / < 1 1 / < 1	< 1 / < 1 1 / < 1
Idrocarburi non combustibili (CxHy) _b con pellet a carico parziale / nominale	mg/MJ mg/m ³ con 13%O ₂	< 1 / < 1 < 1 / < 1	< 1 / < 1 < 1 / < 1	< 1 / < 1 < 1 / < 1
Assorbimento elettrico con cippato a carico parziale /	W	195 / 535	195 / 535	195 / 535

Figure 38 Scheda tecnica caldaia a cippato

8.1.1. EC700-Asset rating

Questo primo scenario non prevede interventi sull'involucro edilizio, per questo la richiesta energetica per il riscaldamento ricavata dal bilancio tra perdite e apporti rimane sostanzialmente uguale al caso dello stato di fatto. La sostituzione del generatore di calore però porta a una ripartizione diversa dei carichi tra i generatori e all'utilizzo di energia ricavata da fonti rinnovabili.

Innanzitutto è necessario considerare che, come prescritto dalla UNI TS 11300-4:2014, nel caso di sistemi bivalenti, ovvero quando uno dei generatori utilizzati è a biomassa e l'altro utilizza una fonte di energia non rinnovabile, esistono delle percentuali massime di utilizzo di biomassa per coprire la richiesta energetica dell'edificio servito.

Sistemi per il riscaldamento o combinati (riscaldamento + acs) con fluido termovettore acqua

Tipo generatore	Quota fornita dalla biomassa %	
	Impianto con accumulo	Impianto senza accumulo
Generatore di calore a biomassa a caricamento manuale e controllo manuale dell'aria comburente	55	40
Generatore di calore a biomassa a caricamento manuale e controllo automatico dell'aria comburente	75	65
Generatore di calore a biomassa a caricamento automatico e controllo automatico dell'aria comburente	90	90

Figure 39 Limiti sull'utilizzo della biomassa nei sistemi bivalenti

In questo caso particolare il limite è posto al 90% della richiesta totale sia per il riscaldamento che per l'acqua calda sanitaria, ne risultano i grafici seguenti.

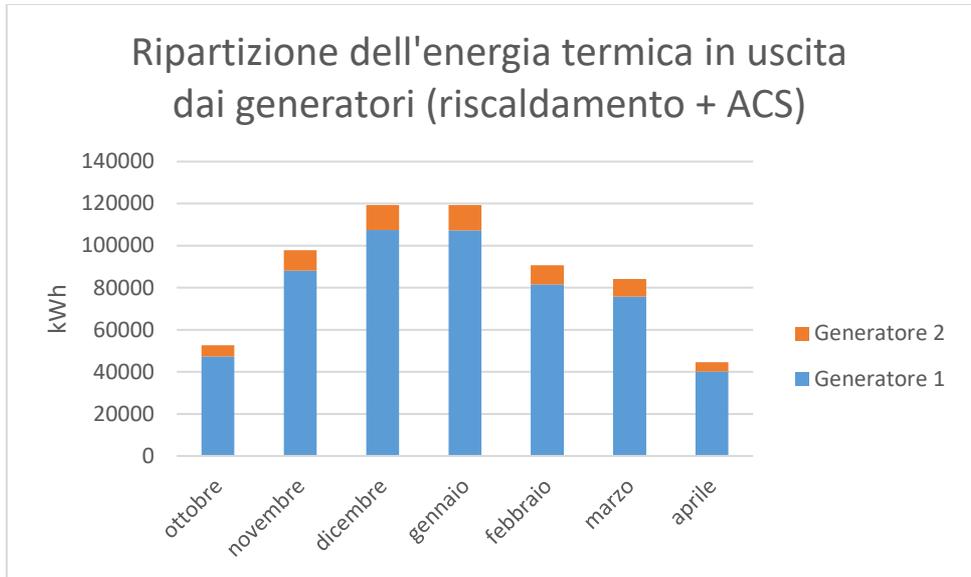


Figure 40 Ripartizione dell'energia termica in uscita dai generatori - Asset rating del primo scenario proposto

In questo caso quindi il generatore secondario interviene sia per coprire la richiesta di riscaldamento, sia per la produzione di acqua calda sanitaria.

Un altro importante risultato di questa analisi è il confronto sul risparmio di energia primaria non rinnovabile ottenuto grazie all'utilizzo della biomassa.

È possibile infatti, attraverso i fattori di conversione mostrati nella tabella seguente, stabilire in che percentuale una fonte energetica viene considerata rinnovabile. In questo caso il combustibile utilizzato è una biomassa solida con fattore di conversione in energia primaria rinnovabile pari a 0.8 e fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile pari a 0.2 (figura 1).

Ne risulta il seguente grafico, che mostra la ripartizione dell'energia primaria totale in rinnovabile e non rinnovabile.

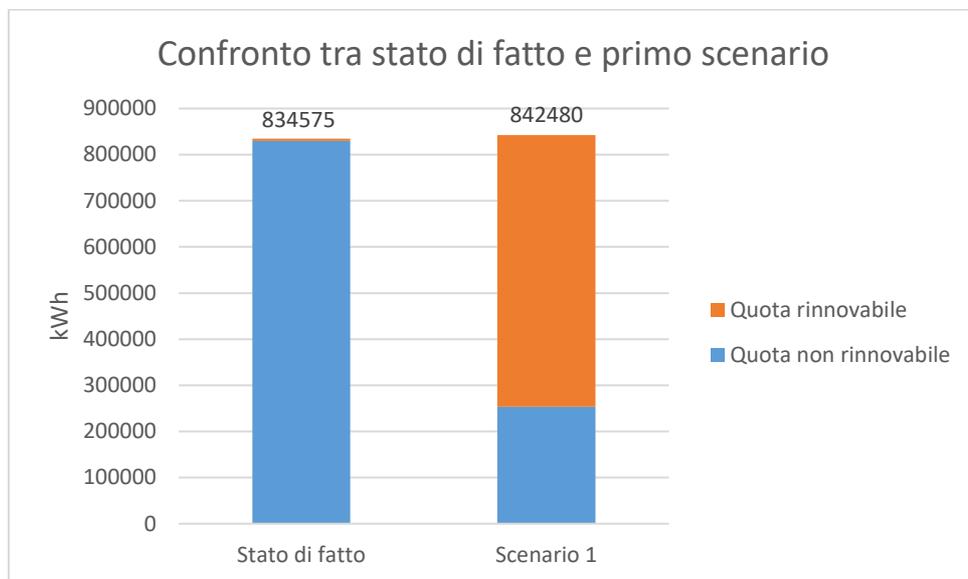


Figure 41 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Asset rating del primo scenario

Rispetto allo stato di fatto, in cui manca la componente rinnovabile a causa dell'utilizzo del combustibile fossile, l'utilizzo della biomassa comporta una diminuzione notevole della quota di energia primaria non rinnovabile.

Grazie alla sostituzione del generatore di calore si ottiene un consumo specifico di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria pari a 72.01 kWh/(m² anno).

8.1.2. EC700-Tailored rating

La valutazione adattata all'utenza prevede anche in questo caso di considerare la stagione di apertura al pubblico della struttura.

Per questo motivo vengono presi in considerazione i mesi di luglio e agosto e da dicembre ad aprile. Di nuovo la richiesta termica dell'edificio per il riscaldamento non cambia rispetto allo stato di fatto in quanto non sono state fatte modifiche sull'involucro edilizio. I dati climatici e l'occupazione dell'edificio vengono modificati in base ai dati reali come nel caso della valutazione *Tailored* dello stato di fatto.

Ne risulta il seguente grafico che mostra la ripartizione dell'energia primaria totale in rinnovabile e non rinnovabile. Come prevedibile, l'utilizzo della biomassa comporta una diminuzione notevole della quota di energia primaria non rinnovabile.

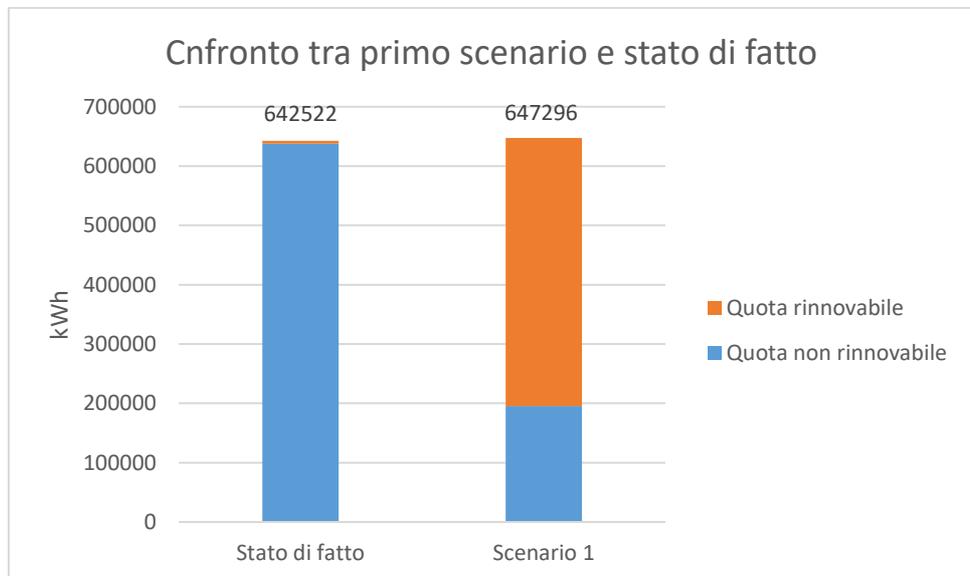


Figure 42 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Tailored rating del primo scenario

8.1.3. Design Builder-Tailored rating

Anche in questo caso si nota un leggero scostamento dei valori di energia primaria non rinnovabile per unità di superficie. È da specificare però che la presenza della caldaia a biomassa ha ridotto di molto questi valori in quanto la quota coperta dal generatore principale si avvale dei fattori di conversione riportati in figura 1. In questo caso la percentuale di scostamento tra i due metodi è del 14%.

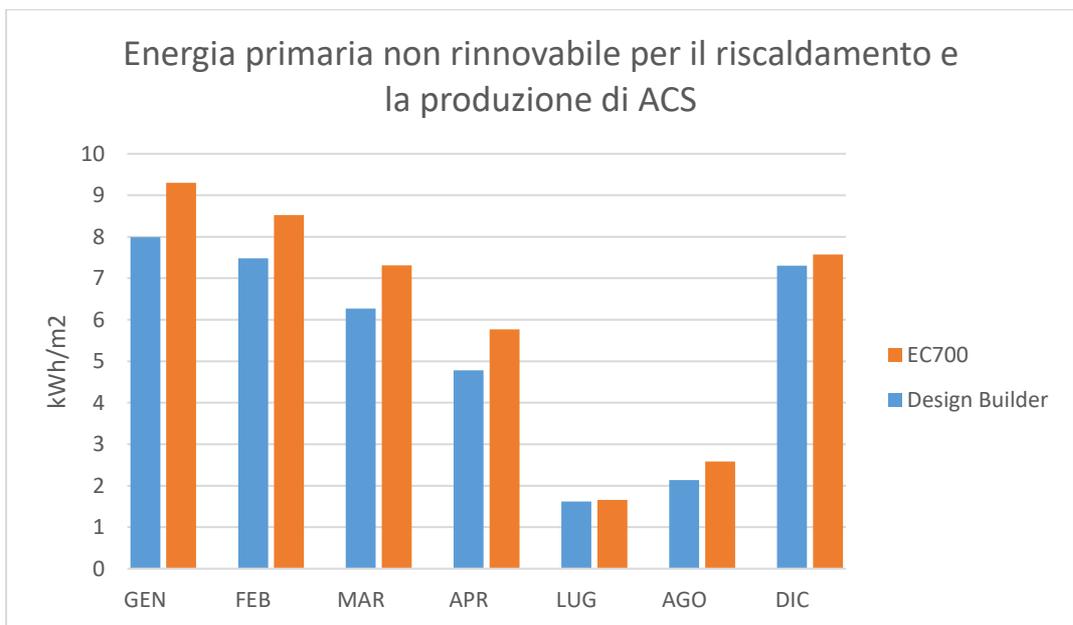


Figure 43 EP_{ren} per il riscaldamento e la produzione di ACS

8.1.4. Analisi economica

I consumi attuali di gasolio ricavati da fattura sono di circa 43500 litri all'anno, che corrispondono ad una spesa di combustibile di 38998 euro all'anno. L'intervento proposto porta ad un investimento iniziale totale di 156500 euro ricavato sulla base dei prezzi medi di mercato, in cui sono incluse le spese per la progettazione, comprensive di richieste di autorizzazioni, progetto esecutivo e direzione lavori, le opere edili per la costruzione del deposito di cippato e le opere impiantistiche, dalla rimozione e lo smantellamento del vecchio generatore a gasolio all'installazione della nuova caldaia a biomassa comprensiva di termoregolazione e accessori specifici.

A seguito della sostituzione del generatore di calore principale il consumo di gasolio è stato ridotto a 4798.4 litri all'anno, il restante fabbisogno annuo è coperto da 111542 kg di cippato. La spesa per il combustibile si aggira quindi intorno ai 14341 euro all'anno. In questo caso il risparmio annuo per l'acquisto del combustibile è di 24657 euro.

A questo punto viene calcolato il *Simple Pay Back Period (SPBP)*, ovvero il numero di anni necessari per rientrare nel costo dell'investimento iniziale grazie ai risparmi ottenuti attraverso l'intervento. Il SPBP si calcola come rapporto tra l'investimento iniziale ed il risparmio annuo conseguito; in questo caso si calcola che il tempo di ritorno dell'investimento sia di poco più di sei anni e mezzo. In genere questo metodo è considerato ottimistico in quanto non tiene conto del tasso di

attualizzazione del valore del denaro, né dell'eventuale variazione del costo dei combustibili, ma può essere comunque un indicatore utile per il confronto con altre soluzioni progettuali.

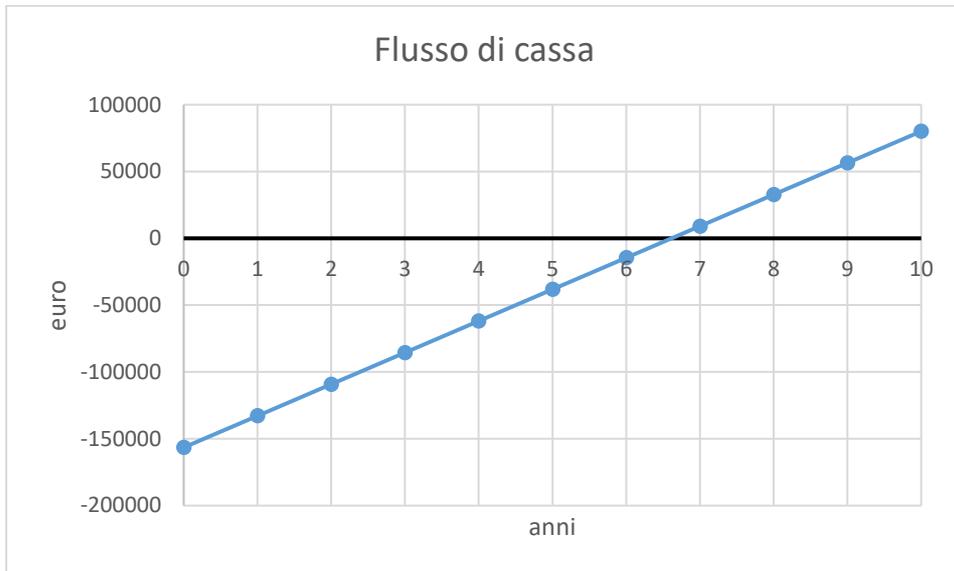


Figure 44 Rappresentazione del flusso di cassa per la prima proposta di intervento

Il grafico mostra l'andamento del flusso monetario nel tempo, come si può notare questo risulta negativo nei primi anni a causa della spesa per l'investimento e diventa nullo a metà del sesto anno, ovvero quando l'investimento viene completamente recuperato grazie al risparmio sul costo del combustibile.

8.2. Soluzione 2: Edificio a energia quasi zero.

Gli interventi effettuati in questa fase coinvolgono sia l'involucro edilizio che gli impianti termici al fine di diminuire la richiesta

energetica della struttura e sfruttare le fonti rinnovabili per soddisfare il fabbisogno energetico rimanente.

Un primo importante intervento riguarda l'isolamento dell'involucro edilizio, alle pareti esterne viene applicato un cappotto da 9 cm di stiferite, che porta all'ottenimento di un valore di trasmittanza termica pari a $0.224 \text{ W/m}^2\text{K}$, lo stesso materiale viene poi utilizzato anche per l'isolamento delle pareti che dividono gli ambienti climatizzati dai locali freddi ($U=0.235 \text{ W/m}^2\text{K}$).

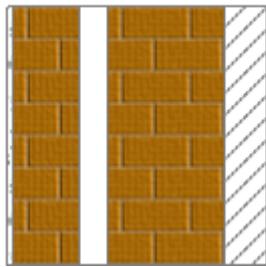


Figure 45 Stratigrafia della parete esterna con cappotto

I pavimenti sono isolati con pannelli da 6 cm di polistirene espanso estruso; nel caso dei pavimenti verso l'ambiente esterno e verso l'interrato non climatizzato i pannelli isolanti vengono sovrapposti per formare uno strato isolante totale di 12 cm ottenendo dei valori di trasmittanza termica rispettivamente pari a $0.239 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $0.231 \text{ W/m}^2\text{K}$.

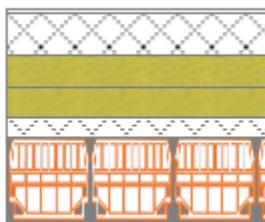


Figure 46 Stratigrafia pavimento su locali freddi con isolamento

Infine le coperture vengono isolate con 16 cm di polistirene espanso sinterizzato ($U=0.191\text{W}/\text{m}^2\text{K}$). Per i solai di separazione dai locali non climatizzati viene inoltre inserita una barriera al vapore al fine di eliminare il rischio di condensa.

Un secondo intervento sull'involucro riguarda la sostituzione dei serramenti presenti con elementi in PVC a triplo vetro con trattamento bassoemissivo e inserimento di veneziane esterne per il controllo estivo degli apporti solari ($g_{gl+sh}=0.29$). La trasmittanza termica del serramento raggiunge il valore di $0.929\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, mentre la trasmittanza termica del vetro è pari a $0.845\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

A livello impiantistico il primo intervento coinvolge il generatore principale, questo viene sostituito con una caldaia a biomassa di cippato del tipo ETA HACK 200 (figura 38) già utilizzato nello scenario precedente. A seguito degli interventi sull'involucro però questo generatore è sufficiente a coprire interamente la richiesta di energia termica dell'edificio.

Infine vengono installati 21 kW di fotovoltaico policristallino sulla falda sud-ovest della copertura inclinata.

8.2.1. EC700-Asset rating

Grazie agli interventi di risparmio energetico effettuati sull'edificio il carico termico invernale di progetto si riduce a 142.7 kW.

Considerando l'utilizzo dell'impianto dal 15 ottobre al 15 aprile i risultati ottenuti in termini energetici sono i seguenti.

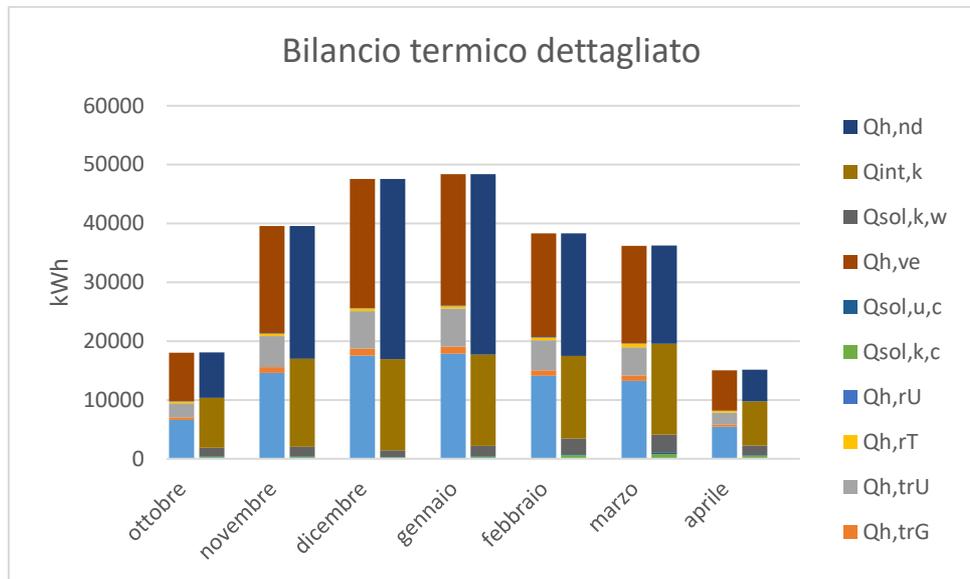


Figure 47 Bilancio termico - Asset rating del secondo scenario

In termini di energia primaria, poi, è possibile notare la ripartizione tra la quota rinnovabile e la quota non rinnovabile, quest'ultima è chiaramente minore rispetto ai due scenari precedenti, sia grazie all'utilizzo del solo generatore a biomassa sia per gli interventi effettuati al fine di diminuire la richiesta energetica dell'hotel.

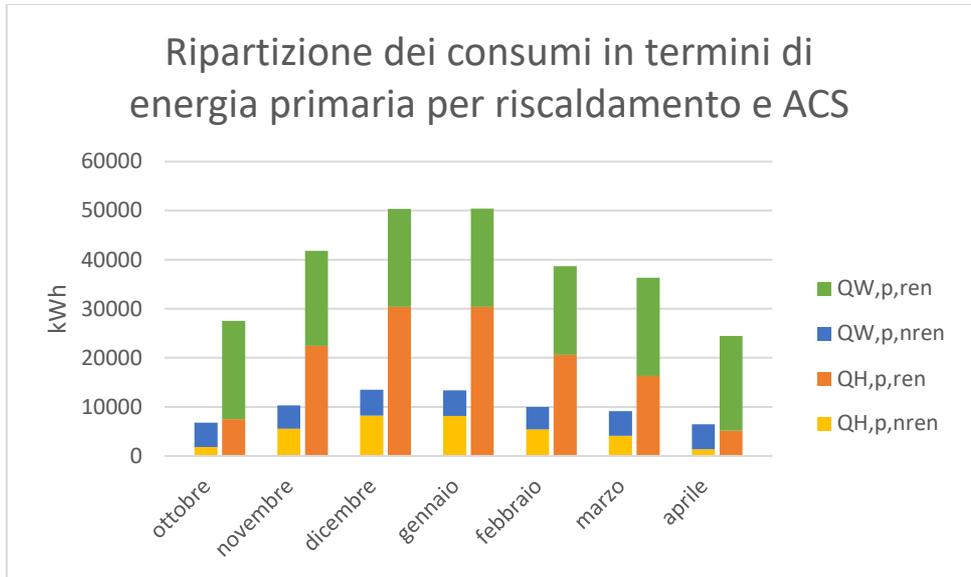


Figure 48 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Asset rating del secondo scenario

L'ultimo grafico mostra infine un confronto tra lo stato di fatto e il secondo scenario proposto (figura 50); è evidente come la richiesta di energia primaria sia diminuita nel caso di edificio n-ZEB e si nota inoltre che la quota di energia primaria non rinnovabile è visibilmente diminuita.

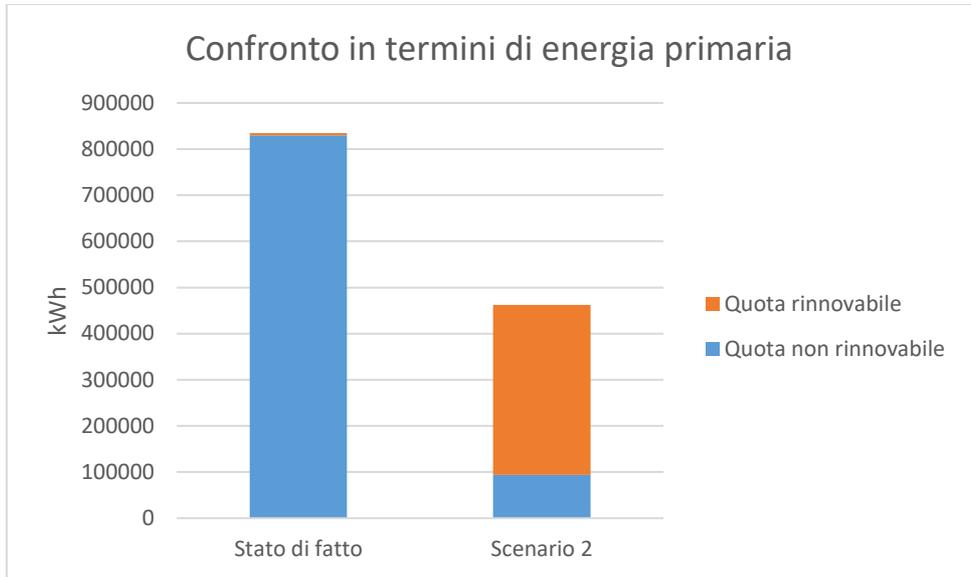


Figure 49 Confronto in termini di energia primaria tra stato di fattoe secondo scenario - Asset rating

In ultimo è possibile constatare come il fabbisogno specifico di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria raggiunga i 27.23 kWh/m²anno.

8.2.2. EC700-Tailored rating

La valutazione di tipo *Tailored* prevede che vengano considerati i mesi di apertura al pubblico della struttura, i dati climatici reali e la vera occupazione dell'edificio, come stabilito sia per lo stato di fatto che per la proposta di sostituzione del generatore di calore.

In questo caso la domanda energetica dell'edificio differisce da quella dello stato di fatto grazie agli interventi effettuati sull'involucro; ne risultano quindi i grafici seguenti.

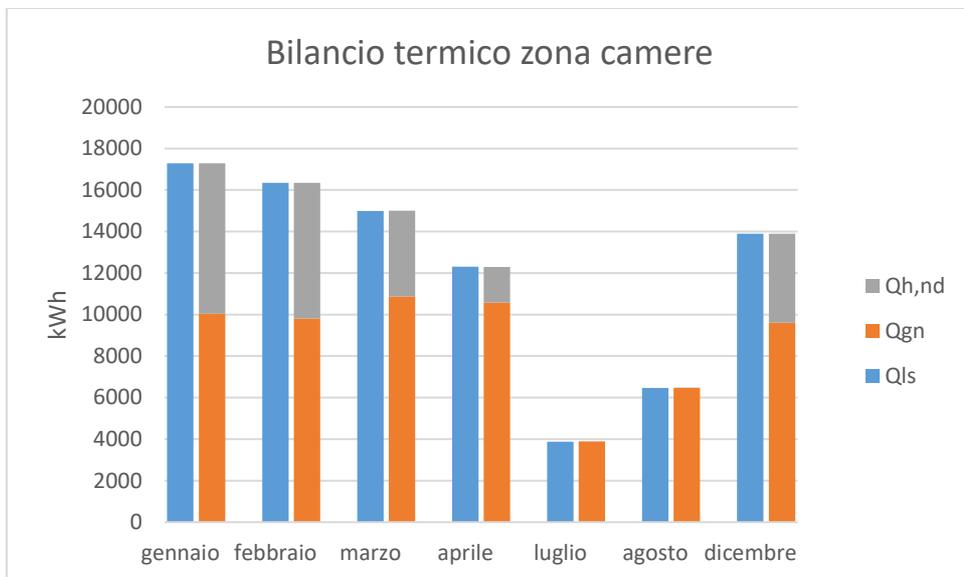


Figure 50 Bilancio termico zona camere in tailored rating

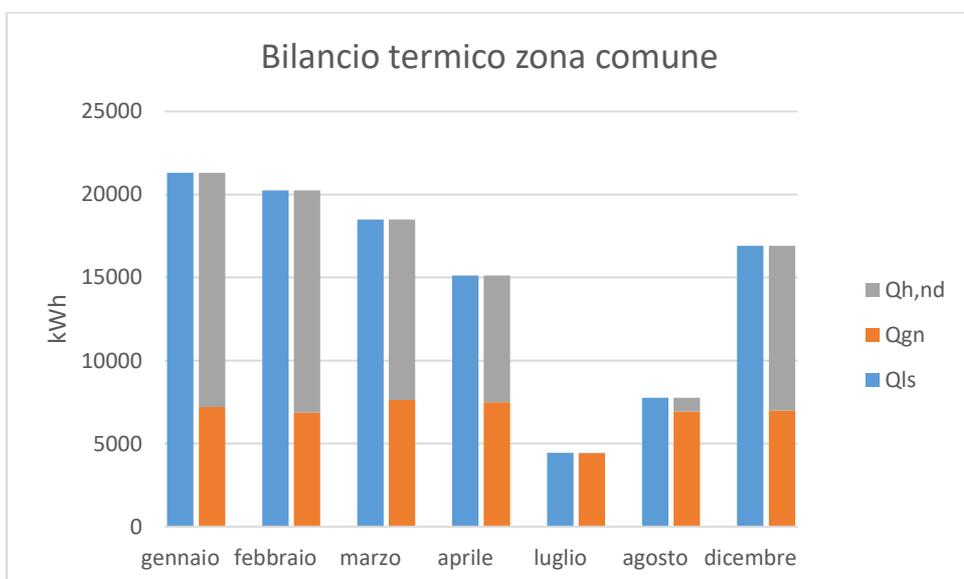


Figure 51 Bilancio termico zone comuni in tailored rating

A partire dai dati ottenuti in termini di energia primaria è possibile estrapolare i grafici seguenti; la figura 53 mostra la ripartizione dell'energia primaria totale in rinnovabile e non rinnovabile durante l'anno. Il secondo grafico proposto (figura

54) mostra il confronto tra lo stato di fatto e l'edificio a energia quasi zero. Ancora una volta risulta evidente come la quota di energia primaria non rinnovabile sia notevolmente diminuita grazie alla soluzione di efficientamento proposta. Inoltre nel caso del secondo scenario la richiesta totale di energia primaria risulta molto minore rispetto agli altri due casi, grazie agli interventi di isolamento volti alla diminuzione della domanda energetica stessa.

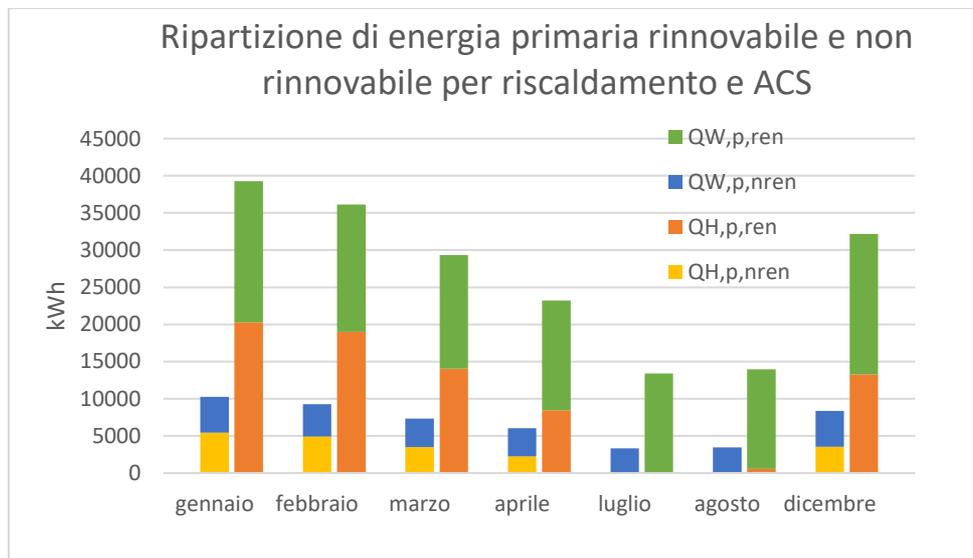


Figure 52 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Tailored rating del secondo scenario

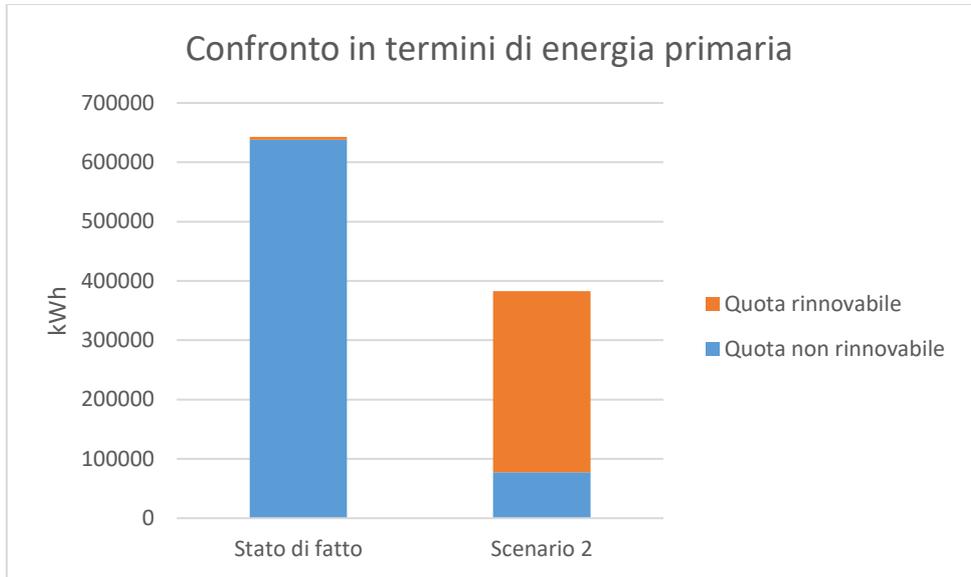


Figure 53 Confronto in termini di energia primaria tra stato di fatto e secondo scenario - Tailored rating

8.2.3. Design Builder-Tailored rating

Come detto in precedenza gli interventi previsti per questo secondo scenario portano a un differente fabbisogno termico dell'edificio, quello che però si nota dal seguente grafico è che le quote totali sono diminuite e di nuovo il metodo semi stazionario sovrastima la richiesta termica dell'edificio. Si nota inoltre che la richiesta di riscaldamento per i mesi di luglio e agosto risulta nulla se si considera il metodo di calcolo dinamico, mentre risulta diverso da zero il fabbisogno del mese di agosto calcolato con il metodo semi stazionario. Lo scostamento totale annuo tra i due metodi risulta pari al 55%.

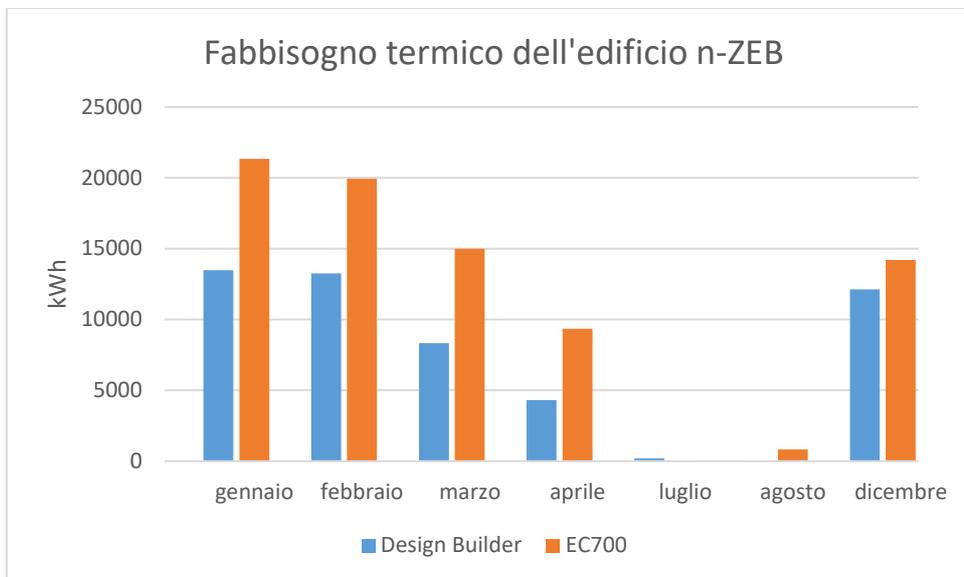


Figure 54 Fabbisogno termico del secondo scenario

Di nuovo la tendenza è simile per quanto riguarda l'andamento dell'EPnren relativo all'impianto di riscaldamento e ACS anche se in questo caso è necessario considerare la presenza dell'impianto fotovoltaico. Quest'ultimo influisce sulla quota elettrica dovuta agli ausiliari e porta quindi ad una riduzione della richiesta di energia elettrica da rete sopperita con l'utilizzo di energia totalmente rinnovabile (fattore di conversione in energia primaria pari a 1, fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile pari a 0, come da figura 1).

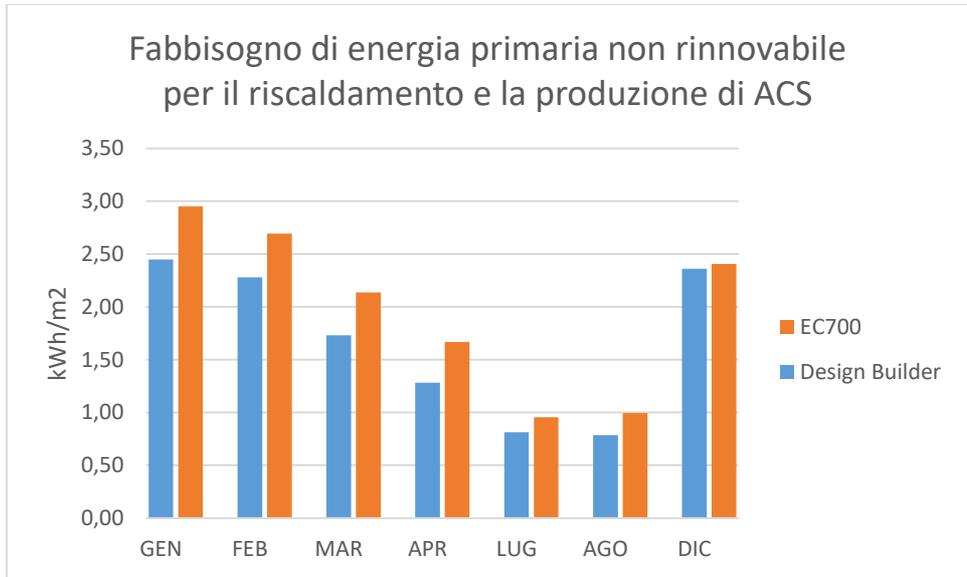


Figure 55 EPnren per il riscaldamento e la produzione di ACS

Risulta però necessario soffermarsi sulla questione dell'utilizzo dell'impianto fotovoltaico. In questo frangente infatti la differenza tra i due metodi di calcolo è dovuta anche al fatto che, mentre EC700 richiede in input i valori mensili di producibilità dell'impianto, ricavati attraverso il calcolo previsto dalla UNI/TS 11300-4, Design Builder calcola il contributo dell'impianto fotovoltaico in base ai dati climatici orari e l'area di pannelli inserita graficamente sul modello, lo scostamento medio annuo tra i due metodi di calcolo della producibilità del fotovoltaico è del 5%. Per questo motivo i valori medi mensili di energia elettrica autoprodotta risultano differenti e questo influenza in parte anche il grafico precedente in quanto la quota di energia primaria non rinnovabile dovuta ai fabbisogni elettrici risulta leggermente diversa. Vengono riportati i valori medi mensili nella tabella seguente, è necessario però tenere conto del fatto che per la simulazione dinamica il contributo del solare

fotovoltaico viene calcolato su base oraria, ne risulta l'andamento seguente.

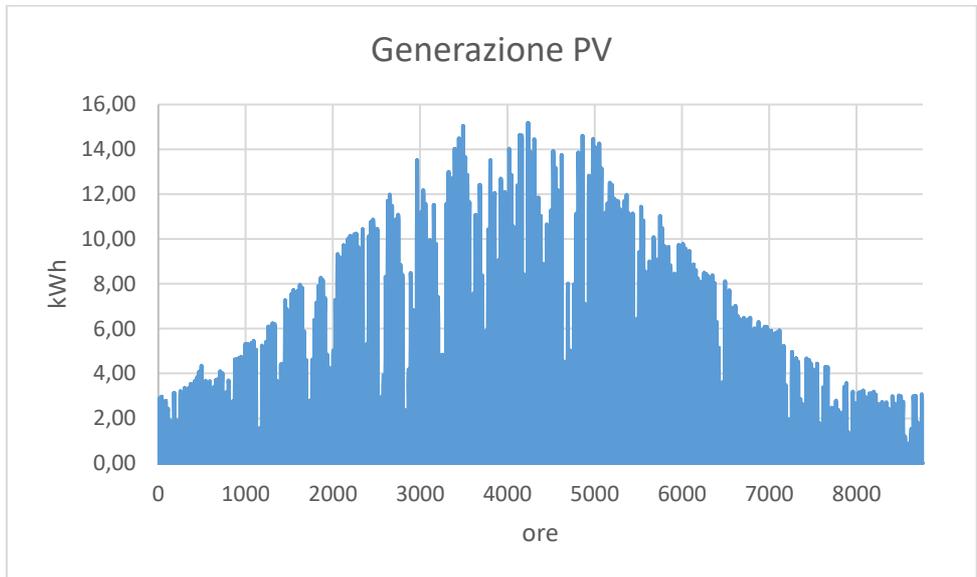


Figure 56 Generazione dell'impianto fotovoltaico

Mese	Valori calcolati per il modello semi stazionario [kWh]	Valori da Design Builder [kWh]	Scostamento
Gennaio	434,84	470,60	8%
Febbraio	600,30	660,37	9%
Marzo	1198,68	1279,80	6%
Aprile	1620,58	1689,10	4%
Maggio	2162,38	2201,15	2%
Giugno	2375,72	2395,60	1%
Luglio	2353,75	2383,90	1%
Agosto	1975,15	2038,70	3%
Settembre	1468,37	1541,90	5%
Ottobre	886,98	962,00	8%
Novembre	434,75	468,40	7%
Dicembre	370,95	391,20	5%

Table 2 Confronto valori di producibilità del fotovoltaico

Infine è interessante analizzare l'andamento della temperatura interna nel periodo estivo. Come per lo stato di fatto la settimana di luglio mostra valori di temperatura sempre maggiori di 20°C. In questo caso la temperatura è mediamente più alta rispetto allo stato attuale, ma non risulta comunque eccessiva rimanendo sempre al di sotto dei 26°C.

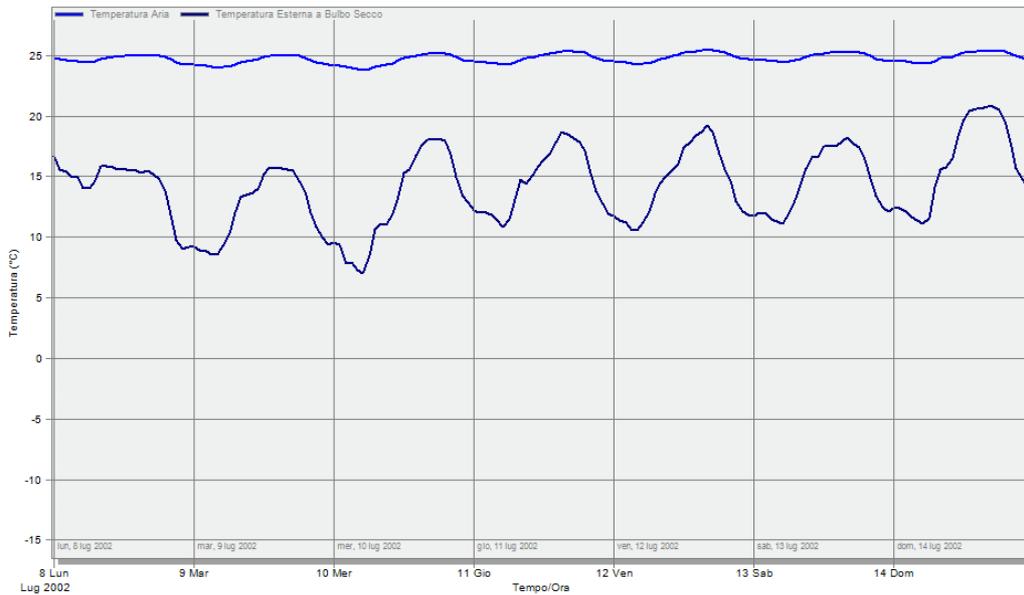


Figure 57 Andamento della temperatura interna ed esterna - luglio

La differenza maggiore con lo stato di fatto si nota però nel mese di agosto, analizzando la stessa settimana presa in considerazione in precedenza (figura 36) si nota infatti come in questo caso non sia necessario l'intervento dell'impianto di riscaldamento.

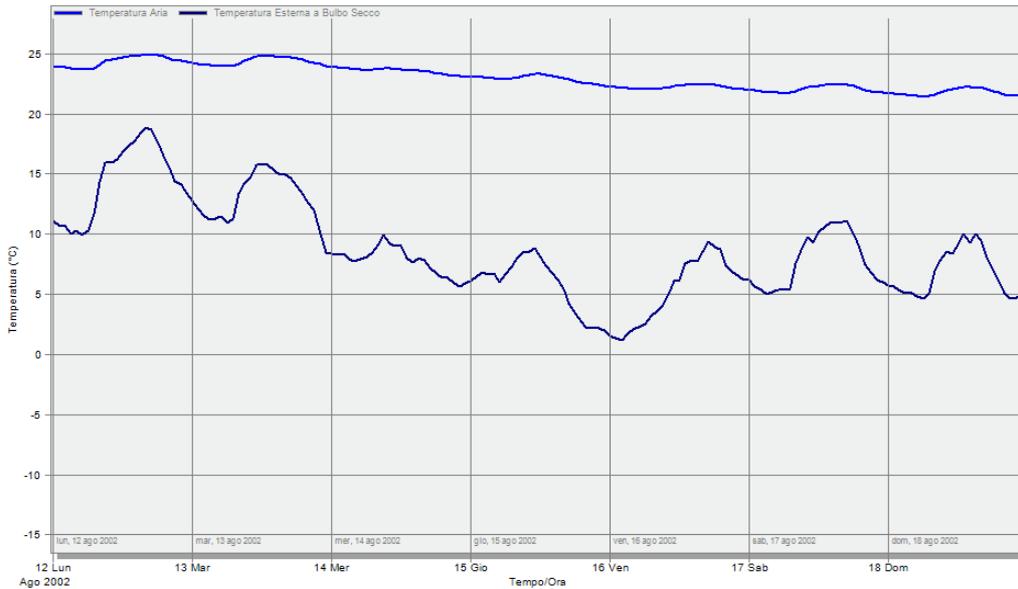


Figure 58 Andamento della temperatura interna ed esterna - agosto

8.2.4. Analisi economica

In questo caso, oltre alle spese considerate per lo scenario precedente, si devono conteggiare anche i costi di isolamento dell'involucro edilizio, la sostituzione dei serramenti e l'installazione dell'impianto fotovoltaico. L'investimento iniziale risulta quindi nettamente maggiore e si aggira intorno ai 718240 euro, valore basato sui prezzi medi di mercato.

Il risparmio ottenuto è però maggiore rispetto alla soluzione analizzata in precedenza e viene eliminata del tutto la spesa per l'acquisto del gasolio, in quanto il fabbisogno termico è totalmente coperto dalla caldaia a biomassa.

Questa soluzione porta quindi a un risparmio di combustibile che corrisponde a 33442.6 €/anno.

Di nuovo il tempo di ritorno, in termini economici, dell'investimento viene calcolato come rapporto tra l'investimento iniziale e il risparmio ottenuto. In questo caso, a causa dell'ingente investimento iniziale, il numero di anni in cui viene ripagato l'intervento è piuttosto alto, infatti si calcola un SPBP di 21.8 anni.

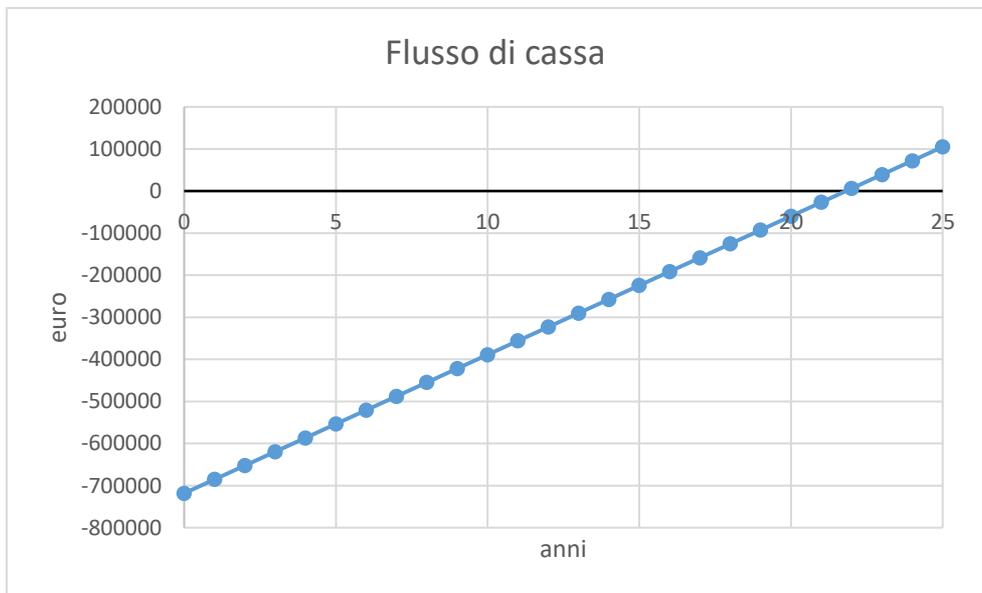


Figure 59 Rappresentazione del flusso di cassa per la seconda proposta di intervento

Pur non essendo oggetto di questo elaborato è però necessario considerare che un intervento di questo genere può beneficiare di diversi tipi di incentivi, che permetterebbero una notevole diminuzione dei tempi di ritorno e quindi un vantaggio maggiore nella realizzazione dell'intervento stesso.

9. Conclusioni

Nel presente elaborato si è svolta l'analisi energetica di un albergo situato in una località di alta montagna in provincia di Aosta. A seguito dello studio dello stato di fatto sono state valutate due diverse possibilità d'intervento, sia dal punto di vista energetico che da quello economico. Sono poi stati confrontati due metodi di calcolo, il metodo semi stazionario e il metodo dinamico, attraverso l'utilizzo del software *EC700* e di *Energy Plus* tramite l'interfaccia grafica *Design Builder*.

In un primo momento è stata effettuata una valutazione sullo stato di fatto di tipo *Asset*, ovvero basata sull'utilizzo di valori standard per l'occupazione e l'utilizzo dell'edificio oltre che per i dati climatici. A partire da questo modello sono stati effettuati gli interventi migliorativi per i due scenari proposto ed è stato verificato il rispetto dei limiti di legge. Il primo scenario prevede la sostituzione di un generatore a gasolio con una caldaia a biomassa di cippato, ponendo quest'ultima come generatore primario e mantenendo una caldaia a gasolio ausiliaria. Questa soluzione comporta una riduzione della componente non rinnovabile di circa il 70% dovuta esclusivamente all'utilizzo della caldaia a cippato come generatore primario. Il secondo scenario, ovvero l'edificio n-ZEB, invece vede una riduzione del fabbisogno di riscaldamento grazie agli interventi sull'involucro edilizio e un'ulteriore riduzione della quota di energia primaria non rinnovabile grazie all'eliminazione del secondo generatore a gasolio e l'installazione di un impianto fotovoltaico. Grazie agli interventi effettuati il fabbisogno in termini di energia primaria non rinnovabile passa quindi dai 238.12 kWh/m² per lo stato di fatto ai 72.01 kWh/m² per il primo scenario e i 27.23 kWh/m² relativi all'edificio a energia quasi zero.

In un secondo momento è stata effettuata una valutazione di tipo *Tailored* sui tre modelli, simulando in questo modo il comportamento reale dell'edificio nonché i dati climatici della località e la gestione effettiva dell'impianto. A questo punto è stato possibile effettuare un'analisi economica confrontando i tre modelli tra loro e con i consumi reali letti da fattura.

Dal punto di vista energetico si evince facilmente come la seconda proposta, l'edificio a energia quasi zero, sia più vantaggiosa rispetto alla semplice sostituzione del generatore. Questo perché non solo viene del tutto eliminata la componente di energia ricavata dalla combustione del gasolio, ma anche perché gli interventi sull'involucro edilizio hanno portato ad una riduzione notevole del fabbisogno di energia termica del fabbricato. Nonostante ciò a seguito dell'analisi economica la prima soluzione proposta risulta vantaggiosa, con un tempo di ritorno dell'investimento di circa sei anni e mezzo, da confrontare con i quasi ventidue anni necessari per rientrare nell'investimento relativo al secondo scenario d'intervento.

Anche per i modelli simulati con Design Builder è stata utilizzata una valutazione adattata all'utenza in modo da poter effettuare un confronto con i modelli semi-stazionari. I risultati di maggiore rilevanza sono legati alla sovrastima dei fabbisogni di riscaldamento dei modelli semi stazionari dovuti alle semplificazioni su cui si basa il metodo. In particolare il metodo dinamico effettua un bilancio termico sulle superfici interna e esterna di ogni parete oltre a eseguire il bilancio termico sull'aria, che considera gli scambi termici per convezione e per irraggiamento, inoltre le differenze nella valutazione delle dispersioni termiche per trasmissione possono essere legate al fatto che il modello dinamico considera variabili nel tempo i valori dei coefficienti liminari di scambio termico, considerati invece costanti dal metodo semi stazionario. La tendenza illustrata per il fabbisogno termico si riscontra anche nel confronto

basato sul fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento e la produzione di ACS. Per quanto riguarda l'edificio n-ZEB questo è in minima parte dovuto anche alla presenza dell'impianto fotovoltaico i cui apporti vengono considerati su base media mensile per quanto riguarda l'analisi con EC700, mentre la simulazione dinamica prende in considerazione la producibilità del fotovoltaico su base oraria rendendo possibile un confronto puntuale tra produzione e richiesta di energia elettrica.

10. Bibliografia e sitografia

- M. Filippi, E. Fabrizio - Il concetto di *Zero Energy Building* – AICARR, 2011
- V. Corrado, G. Murano, S. Paduos, G. i Riva - La trasformazione degli edifici pubblici in nZEB – La termotecnica vol. 2, marzo 2017
- V. Corrado, I. Ballarini, D. Dirutigliano, S. Paduos, E. Primo - Definizione degli edifici tipo di riferimento da utilizzare per i calcoli e le valutazioni di prestazione energetica degli edifici residenziali e non residenziali. Analisi delle prestazioni energetiche degli edifici, da applicare agli edifici di riferimento, per un confronto dei risultati tra calcolo stazionario e dinamico – Report ricerca di sistema elettrico ENEA, settembre 2015
- I. Ballarini, S. Paduos, E. Primo, V. Corrado - Edifici a energia quasi zero, come riqualificare il costruito – www.ingenio-web.it, novembre 2016
- I. Ballarini – Prestazione energetica di edifici in condizioni estive: l'effetto dell'isolamento termico – Tesi di dottorato, A.A. 2011
- La situazione energetica nazionale nel 2016 – Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione generale per la sicurezza dell'approvvigionamento e le infrastrutture energetiche.
- A. Laval - Aspetti di efficienza ed autoproduzione energetica in edifici in alta quota – Tesi di laurea, A.A. 2009
- F. Asdrubali, G. Baldinelli, F. Bianchi, F. Sciorpi, C. Carletti - Confronto tra codici di calcolo dinamici e stazionari per la valutazione energetica degli edifici – AICARR, ottobre 2009

- K. Gvozdenovic, W. Maassen, W. Zeiler, H. Besselink - Roadmap to nearly Zero Energy Buildings in 2020 – REHVA Journal, March 2015
- L. Mazzarella – La via italiana agli NZEB – AICARR Journal, maggio-giugno 2017
- M. Vio – Progettazione di un edificio NZEB: considerazioni generali sul peso dei singoli consumi –AICARR Journal, settembre 2017
- Specifica tecnica UNI/TS 11300-1:6
- Dgr 272/2016
- EC700 – Manuale d’uso
- DesignBuilder EnergyPlus Simulation Documentation
- EnergyPlus™ Version 8.8.0 Documentation
- www.designbuilder.com/
- www.enea.it/

11. Glossario

$A_{sol,est}$ Area solare equivalente estiva [m^2]

$A_{sup,utile}$ Area della superficie utile [m^2]

$EP_{H,nd}$ Indice di prestazione energetica per il riscaldamento [kWh/m^2]

$EP_{C,nd}$ Indice di prestazione energetica per il raffrescamento [kWh/m^2]

$EP_{gl,tot}$ Indice di prestazione energetica globale [kWh/m^2]

$f_{p,ren}$ Fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile

$f_{p,ren}$ Fattore di conversione in energia primaria rinnovabile

$f_{p,tot}$ Fattore di conversione in energia primaria totale

F_k Fattore di forma tra il componente k-esimo e la volta celeste

g_{gl} Fattore di trasmissione solare

g_{gl+sh} Fattore di trasmissione solare totale

H_{tr} Coefficiente di scambio termico per trasmissione [W/K]

H_{ve} Coefficiente di scambio termico per ventilazione [W/K]

H'_t Coefficiente medio globale di scambio termico [W/m^2K]

$Q_{h,nd}$ Fabbisogno netto di energia termica per il riscaldamento [kWh]

Q_{ls} Dispersioni termiche [kWh]

Q_{gn} Apporti termici [kWh]

$Q_{h,tr}$ Energia dispersa per trasmissione [kWh]

$Q_{h,ve}$ Energia dispersa per ventilazione [kWh]

Q_s Apporti solari [kWh]

Q_i Apporti interni [kWh]

$Q_{h,trT}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno [kWh]

$Q_{h,trG}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno [kWh]

$Q_{h,trU}$ Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati [kWh]

$Q_{h,rT}$ Energia dispersa per extraflusso verso l'esterno [kWh]

$Q_{h,rU}$ Energia dispersa per extraflusso verso gli ambienti non climatizzati [kWh]

$Q_{sol,k,c}$ Apporti solari diretti attraverso le strutture opache [kWh]

$Q_{sol,u,c}$ Apporti solari attraverso le strutture opache dei locali non climatizzati adiacenti [kWh]

$Q_{sol,k,w}$ Apporti solari attraverso gli elementi finestrati dei locali non climatizzati adiacenti [kWh]

$Q_{int,k}$ Apporti interni [kWh]

t durata del mese considerato

U Trasmittanza termica [W/m^2K]

$\eta_{h,gn}$ Fattore di utilizzazione degli apporti

$\eta_{c,ls}$ Fattore di utilizzazione delle perdite

η_H Rendimento stagionale dell'impianto di riscaldamento

η_c Rendimento stagionale dell'impianto di raffrescamento

η_w Rendimento stagionale dell'impianto di acqua calda sanitaria

$\phi_{r,k}$ Extraflusso del componente k-esimo verso la volta celeste

$\theta_{int, setpoint}$ Temperatura interna di setpoint [°C]

θ_e Temperatura esterna media mensile del mese o della frazione di mese considerata [°C]

12. Elenco delle tabelle

Table 1 Struttura della UNI/TS 11300 - 28 -

Table 2 Confronto valori di producibilità del fotovoltaico..... - 103 -

13. Elenco delle figure

Figure 1 Fattori di conversione in energia primaria, da DM 26/06/2015 ...	- 22 -
Figure 2 Classificazione da UNI/TS 11300-1:2014.....	- 27 -
Figure 3 Isolamento in intercapedine (fonte: http://www.coibentarecasa.it)..	- 31 -
Figure 4 Isolamento esterno delle pareti perimetrali (fonte: http://www.euroinfissisabellico.it).....	- 32 -
Figure 5 Impianto solare fotovoltaico a tetto (fonte: http://www.dislivelli.eu)	- 37 -
Figure 6 Energy plus: moduli interni	- 42 -
Figure 7 Hotel Etoile de Neige.....	- 49 -
Figure 8 Pianta piano interrato	- 52 -
Figure 9 Pianta livello 1	- 53 -
Figure 10 Pianta livello 2	- 53 -
Figure 11 Pianta livello 3	- 54 -
Figure 12 Pianta livello 4	- 54 -
Figure 13 Pianta livello 5	- 55 -
Figure 14 Stratigrafia della parete esterna	- 58 -
Figure 15 Stratigrafia del solaio verso locali freddi.....	- 59 -
Figure 16 Dettaglio: finestra piano terreno	- 60 -
Figure 17 Caldaia a gasolio da 116 kW.....	- 61 -
Figure 18 Scheda tecnica caldaie a gasolio	- 62 -
Figure 19 Accumuli termici per la produzione di ACS.....	- 63 -
Figure 20 Dettaglio: radiatore e termostato	- 64 -
Figure 21 Esempio di input grafico con EC700: piano secondo	- 66 -

Figure 22 Bilancio termico.....	- 68 -
Figure 23 Dettaglio bilancio termico	- 68 -
Figure 24 Ripartizione dell'energia prodotta dai generatori - Asset rating dello stato di fatto.....	- 69 -
Figure 25 Bilancio termico zona camere in tailored rating.....	- 71 -
Figure 26 Bilancio termico zona comune in tailored rating.....	- 71 -
Figure 27 Andamento orario di temperatura esterna, radiazione solare diretta e diffusa ricavato dalla simulazione dinamica	- 73 -
Figure 28 Modello dell'edificio su Design Builder.....	- 74 -
Figure 29 Schema impianto termico	- 76 -
Figure 30 Fabbisogno termico utile dell'edificio, confronto tra i metodi di calcolo.....	- 77 -
Figure 31 EPnren per il riscaldamento e la produzione di ACS.....	- 78 -
Figure 32 Andamento temperatura interna ed esterna - gennaio	- 79 -
Figure 33 Andamento temperatura interna ed esterna – gennaio – Sala Chamolé.....	- 80 -
Figure 34 Andamento temperatura interna ed esterna – gennaio – Ristorante-80 -	
Figure 35 Andamento temperatura interna ed esterna - luglio	- 81 -
Figure 36 Andamento temperatura interna ed esterna - agosto	- 82 -
Figure 37 Andamento della richiesta di riscaldamento - agosto	- 83 -
Figure 38 Scheda tecnica caldaia a cippato	- 84 -
Figure 39 Limiti sull'utilizzo della biomassa nei sistemi bivalenti.....	- 85 -
Figure 40 Ripartizione del carico tra i generatori - Asset rating del primo scenario proposto	- 86 -
Figure 42 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Asset rating del primo scenario.....	- 87 -

Figure 43 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Tailored rating del primo scenario	- 88 -
Figure 44 EPnren per il riscaldamento e la produzione di ACS	- 89 -
Figure 45 Rappresentazione del flusso di cassa per la prima proposta di intervento.....	- 91 -
Figure 46 Stratigrafia della parete esterna con cappotto	- 92 -
Figure 47 Stratigrafia pavimento su locali freddi con isolamento	- 93 -
Figure 48 Bilancio termico - Asset rating del secondo scenario	- 94 -
Figure 49 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Asset rating del secondo scenario.....	- 95 -
Figure 50 Confronto in termini di energia primaria tra stato di fatto, primo scenario e secondo scenario - Asset rating.....	- 96 -
Figure 51 Bilancio termico zona camere in tailored rating	- 97 -
Figure 52 Bilancio termico zone comuni in tailored rating.....	- 97 -
Figure 53 Ripartizione di energia primaria in rinnovabile e non rinnovabile - Tailored rating del secondo scenario	- 98 -
Figure 54 Confronto in termini di energia primaria tra stato di fatto, primo e secondo scenario - Tailored rating.....	- 99 -
Figure 55 Fabbisogno termico del secondo scenario.....	- 100 -
Figure 56 EPnren per il riscaldamento e la produzione di ACS.....	- 101 -
Figure 57 Generazione dell'impianto fotovoltaico	- 102 -
Figure 58 Andamento della temperatura interna ed esterna - luglio.....	- 104 -
Figure 59 Andamento della temperatura interna ed esterna - agosto.....	- 105 -
Figure 60 Rappresentazione del flusso di cassa per la seconda proposta di intervento.....	- 106 -