

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

ANALISI ENERGETICA DI UN EDIFICIO DI CLASSE A



Relatore

Prof. Vincenzo Corrado

Correlatore

Arch. Giovanna De Luca

Candidato

Gabriele Bottioli

Anno Accademico 2019-2020

Ringraziamenti

La tesi trattata è stata sviluppata partendo da un'analisi costruttiva di un edificio di nuova generazione, per poi ampliarsi verso un'analisi energetica. Questi temi di forte attualità trovano un riscontro positivo sia per quanto riguarda una nuova concezione di “vivere la prima casa”, tenendo conto dei cambiamenti sociali, sia per quanto riguarda la sostenibilità energetica e ambientale maggiormente indirizzata verso fonti rinnovabili a basso impatto ambientale. Tale analisi non si sarebbe mai realizzata senza l'aiuto e il sostegno della Cooperativa G. Di Vittorio e il Politecnico di Torino. Per questo motivo ci tengo a ringraziare Pasquale Cifani e la Cooperativa G. Di Vittorio, il professore Vincenzo Corrado e l'architetto Giovanna De Luca.

Indice

Sommario.....	-5-
1. Panoramica globale sul consumo energetico in Italia.....	-6-
2. Normativa climatica, edilizia ed energetica.....	-14-
3. Evoluzione storica della Cooperativa G. Di Vittorio.....	-22-
4. Caso studio in Settimo Torinese.....	-25-
5. Software ed equazioni di riferimento.....	-34-
6. Diagnosi Energetica.....	-43-
6.1 Analisi globale sull'edificio abitativo.....	-43-
6.1.1 Pianta ed involucro edilizio dell'edificio 3.....	-43-
6.1.2 Considerazioni sui profili di occupazione dell'edificio	-49-
6.1.3 Descrizione impianto.....	-52-
6.1.4 Simulazione dinamica dell'edificio.....	-54-

6.2 Problematiche e interventi riscontrati a livello abitativo	-71-
6.2.1 Ventilazione.....	-71-
6.2.2 ACS.....	-72-
6.2.3 Riscaldamento.....	-73-
6.2.4 Raffrescamento.....	-75-
7. Analisi Comfort Termico.....	-76-
7.1 Introduzione.....	-76-
7.2 Teoria del Comfort Adattivo.....	-79-
7.3 Analisi comfort caso studio.....	-80-
7.4 Soluzioni al caso studio.....	-87-
8. Conclusione.....	-96-
9. Bibliografia e Sitografia.....	-98-
Appendice capitolo 7.....	-102-

Sommario

La tesi trattata si articola in diversi capitoli, qualcuno dei quali è articolato a sua volta in diversi sotto-capitoli. I primi sono indubbiamente quelli più eterogenei, infatti presenta elementi di carattere storico, ambientale, normativo, tecnico, ecc...spaziando dal campo Europeo, Nazionale, Regionale fino ad arrivare a quello locale. Questo forse è il filo conduttore che caratterizza l'intero capitolo, quello di saper guardare attraverso le varie realtà e capire che vi è sempre un collegamento. Detto questo in essi vi si trovano elementi e aspetti di interesse generale, ma tra essi ve ne sono alcuni fondamentali per comprendere appieno i capitolo successivi. I capitoli centrali (7-8) o macro-capitoli rappresentano invece la vera e propria analisi energetica sull'edificio preso in esame. Nel settimo partendo dalla descrizione del software usato, passando per un'analisi strutturale ed energetica dell'edificio, si arriva a comprendere gli interventi adottati. Questo capitolo è sicuramente il più complesso ma anche il più significativo, infatti rappresenta la natura sostanziale della tesi. L'ottavo ha un carattere decisamente più teorico ma anche tecnico. Esso permette di introdurci direttamente nel mondo del "Comfort Termico", fatto di considerazioni fisiologiche, psicologiche, ecc...che sono dei pilastri fondamentali per giungere a delle conclusioni concrete e utilizzabili nella vita di tutti i giorni. La suddivisione dell'intera tesi poteva essere, volendo, più raggruppata ma come si noterà l'idea è stata quella di suddividere maggiormente per rendere più facile al lettore orientarsi tra i vari blocchi e volendo leggerli uno separato dall'altro. Si noterà infatti che presi singolarmente ognuno di essi ha una certa completezza e non dipende per forza da quello precedente o da quello successivo. Questa scelta ha il senso di rendere più "fruibile" e meno vincolante l'intera lettura.

Capitolo 1

Panoramica globale sul consumo energetico in Italia

In questa parte preliminare è importante sottolineare quanto il settore residenziale incida a livello energetico in Italia, in particolare è significativo analizzare come esso si sia incrementato nel tempo partendo dal 1990 fino ad arrivare ai giorni nostri. Avvalendomi dei dati riportati da Eurostat si può notare come tale cambiamento temporale abbia influenzato tutti i settori a partire dall'industria fino al settore agricolo. Risulta di grande interesse vedere come ad oggi il settore civile sia quello più energivoro con circa il 40% e come abbia subito un drastico aumento nell'arco di 25 anni con un aumento del 10%. La situazione opposta si può riscontrare per il settore industriale, il quale ha subito una drastica riduzione.

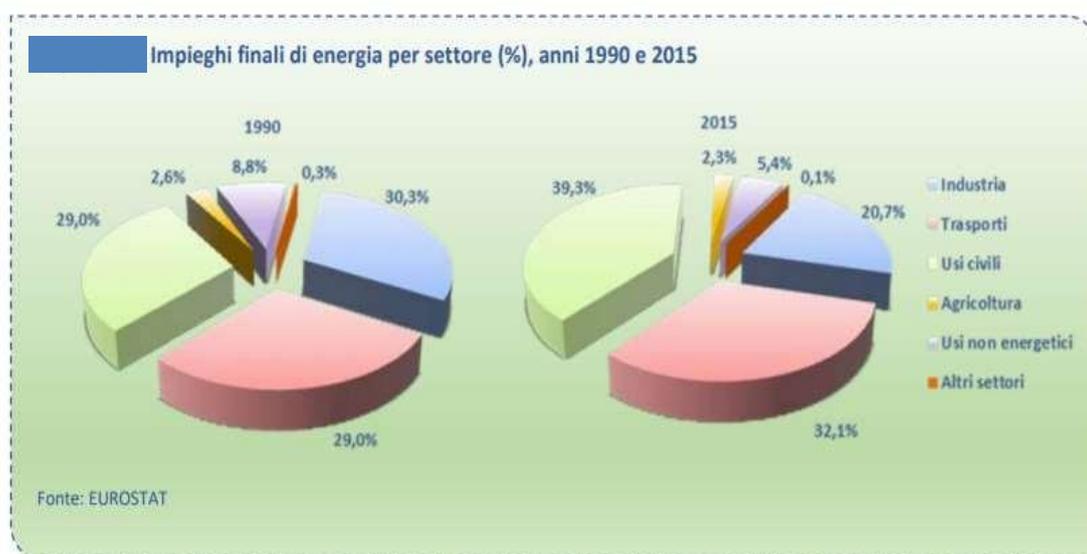


Figura 1: Fonte EUROSTAT

Nello specifico per quanto riguarda il consumo energetico nel settore residenziale è stata analizzato un significativo aumento dal 2014 al 2015. In generale si può vedere come dal 1990 al 2015 ci siano stati dei cambiamenti nel modo di soddisfare il fabbisogno energetico, in particolare l'aumento dell'energia elettrica e del gas naturale risultano

indicativi per comprendere come vi siano stati dei cambiamenti radicali nel campo tecnologico, ma anche politico e ambientale. Si nota infatti un forte decremento nell'uso del Gasolio e del GPL. La quota di Gas naturale che viene usata nel settore residenziale è intorno al 50%, mentre quella elettrica si aggira intorno al 18%

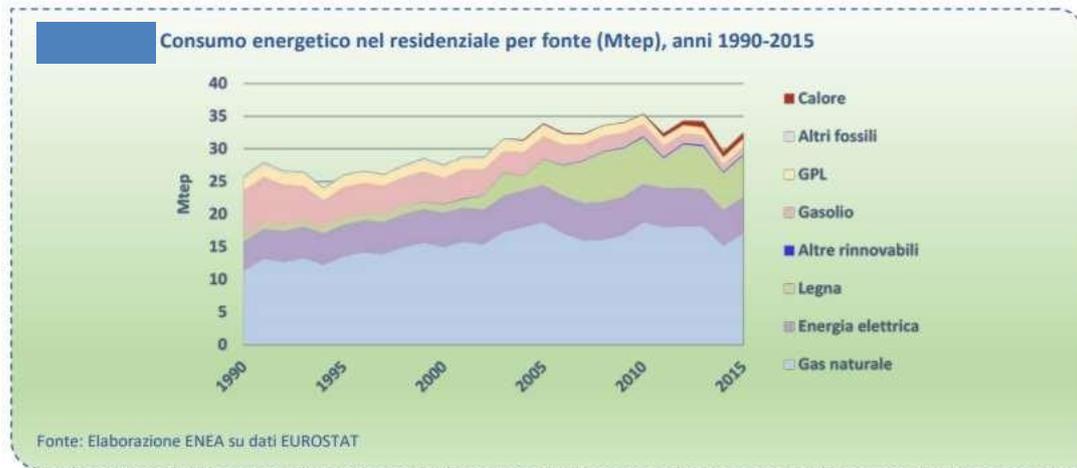


Figura 2: Fonte EUROSTAT

Come si è detto tali cambiamenti nel settore dei vettori energetici sono influenzati da molteplici fattori a livello tecnologico, politico, ambientale ed economico. Questi campi hanno inciso sui trend proposti precedentemente, in particolare hanno modificato anche il modo di concepire le abitazioni che sono mutate sia dal punto di vista progettuale, sia dal punto di vista occupazionale. A livello Europeo risulta interessante vedere come per l'Italia vi sia un trend di consumo per abitante inferiore alla media sia per quanto riguarda il valore UE28, sia per i Paesi della Zona Euro. Questo fattore è positivo poiché è un indice di come l'efficienza energetica sia migliorata.

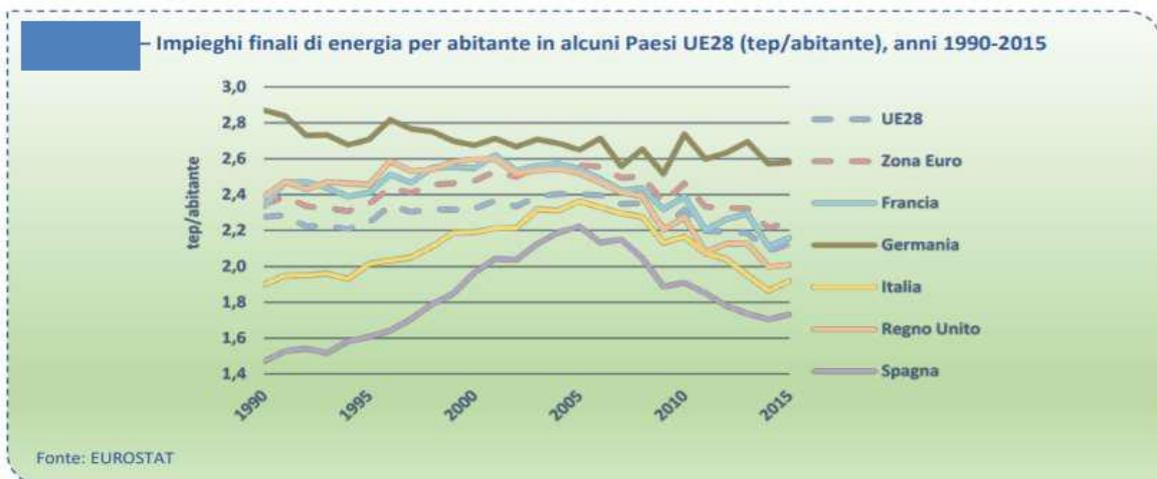


Figura 3: Fonte EUROSTAT

A livello Nazionale è quindi molto chiaro come ci sia stato un cambiamento non trascurabile per quanto riguarda le fonti energetiche e gli usi finali a cui esse sono destinate. Un'ulteriore indagine risulta utile per quanto riguarda la situazione in Piemonte, infatti i dati riportati nel Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR) sono fondamentali per inquadrare la situazione a livello regionale, poiché su tale realtà verrà concentrata l'attenzione in futuro.

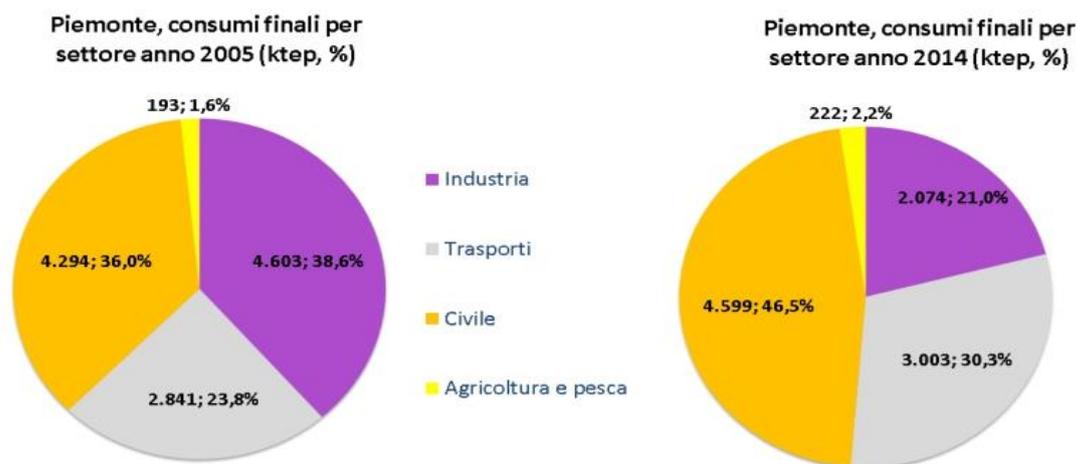


Figura 4: fonte Piano Energetico Ambientale Regionale del 2014

La figura precedente riporta un confronto tra i dati del 2005 e del 2014. Si può immediatamente notare come anche a livello regionale vi sia stato un forte cambiamento in un arco temporale di soli 10 anni. Infatti si riscontra un forte calo nei consumi per quanto riguarda il settore industriale, la situazione riporta una variazione dal 38% al 21%, mentre a livello di trasporti e di uso civile vi è un forte incremento. Un così importante cambiamento è dovuto alla trasformazione della società che si è spinta maggiormente a sviluppare e ad investire in settori differenti rispetto all'epoca precedente caratterizzata da una forte industrializzazione. Inoltre si sono riscontrati, come già sottolineato precedentemente, anche consistenti cambiamenti nell'uso dei vettori energetici. Il seguente grafico a torta ne è una dimostrazione:

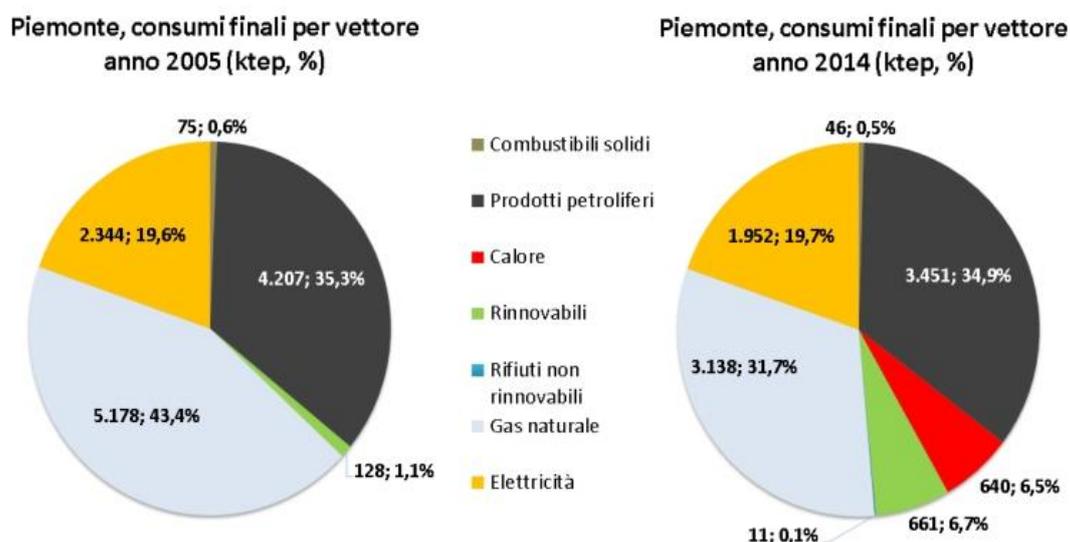


Figura 5: Il peso dei vettori energetici nei consumi finali al 2005 ed al 2014 (fonte dati: BER)

Le esigenze regionali hanno portato ad una drastica riduzione dell'uso del Gas Naturale, situazione che non sembra però valere per tutto il territorio Nazionale (vedi grafici precedenti), con un forte incremento di vettori che prima non erano sfruttati o abbastanza maturi per essere impiegati. La presenza del calore di recupero e delle fonti rinnovabili giocano un ruolo nuovo nel 2014, e oggi giorno tali valori sono in costante aumento. Nello specifico si vuole analizzare come il settore civile, il quale include al suo interno il residenziale ed il terziario pubblico e privato abbia optato per dei cambiamenti che sono in linea con la tendenza globale. Infatti il rapporto stilato dalla Regione Piemonte sottolinea un decremento dal 65% al 55% nell'uso del Gas Naturale, mentre l'uso di fonti rinnovabili è passato dal 2,5% al 13%. Di grande utilità risulta ancora l'indagine riguardante le emissioni di gas ad effetto serra. Gli andamenti sono stati presi per un periodo decisamente ampio e sono forniti da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), la quale ha suddiviso per un periodo di ventisei anni le emissioni prodotte in Italia per i principali settori economici.

Tabella 1– Emissioni di gas ad effetto serra per settore (Mt CO_{2eq}).

Settori	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	Δ %
Mt CO_{2eq}	1990-2016							
Industrie energetiche	137,2	141,7	149,5	161,3	134,0	105,8	104,4	-23,9%
Emissioni fuggitive	12,9	12,1	10,8	9,4	8,8	7,6	7,2	-43,9%
Industria manifatturiera e costruzioni	93,2	91,3	92,2	83,9	62,6	50,9	47,9	-48,6%
Trasporti	102,1	113,6	123,3	128,0	115,2	106,0	104,5	2,4%
Residenziale	57,5	54,7	55,7	62,4	58,9	51,2	51,5	-10,6%
Servizi	12,3	14,7	17,9	24,5	28,9	22,9	23,3	89,1%
Agricoltura e pesca (energia)	9,1	9,6	8,9	9,3	8,1	7,7	7,8	-14,8%
Altro (combustione)	1,1	1,6	0,9	1,3	0,7	0,5	0,5	-53,4%
Processi industriali	40,5	38,3	39,2	46,7	36,4	32,3	32,1	-20,7%
Agricoltura	35,1	35,0	34,3	32,1	30,1	29,4	30,4	-13,4%
Rifiuti	17,3	20,0	21,9	21,9	20,4	18,6	18,3	5,6%
Totale	518,4	532,6	554,5	580,9	504,0	432,9	427,9	-17,5%

Si può notare come nell'arco di tempo considerato vi sia stata una diminuzione globale dei gas climalteranti, circa il 17%, con un forte calo nel settore industriale e un deciso aumento nel settore dei servizi. Questo dato ancora una volta conferma come vi sia stato un maggiore investimento verso altri settori rispetto al passato e come questo abbia inciso sia a livello di consumi che di emissioni. Il settore residenziale risulta invece avere subito una riduzione del 10,6%. Tali dati fanno riferimento alle emissioni dirette e non sono considerate quelle indirette dovute alla quota di consumi dell'energia elettrica proveniente dalla rete. Per tenere in conto questo fattore, si sono utilizzati i dati dei consumi elettrici pubblicati da Terna che ha elaborato la seguente tabella:

Tabella 2– Emissioni di gas ad effetto serra da consumi elettrici per settore (Mt CO_{2eq}).

Settori	2005	2010	2015	2016
	<u>Mt CO_{2eq}</u>			
Agricoltura e pesca	2,5	2,2	1,8	1,7
Industria	70,6	53,4	37,8	37,9
<i>di cui da autoconsumo</i>	8,4	8,7	5,6	5,5
Servizi	38,5	37,1	31,8	31,8
<i>di cui trasporti</i>	4,6	4,1	3,4	3,4
Residenziale	30,7	26,8	20,4	19,9
Totale	142,3	119,5	91,8	91,2

Si nota come in tutti i settori ci sia stato un forte decremento emissivo, questo è indubbiamente dovuto a molteplici fattori che purtroppo devono essere interpretati anche in chiave economica e non solo dal punto di vista dell'efficienza tecnologica o del rispetto ambientale. Si può infatti notare che da un'analisi condotta su un intervallo di tempo più ampio, le emissioni di gas ad effetto serra pro capite abbiano avuto un'inversione di tendenza nel periodo appena precedente alla crisi economica italiana, lasso di tempo che va dal 2007 al 2014.

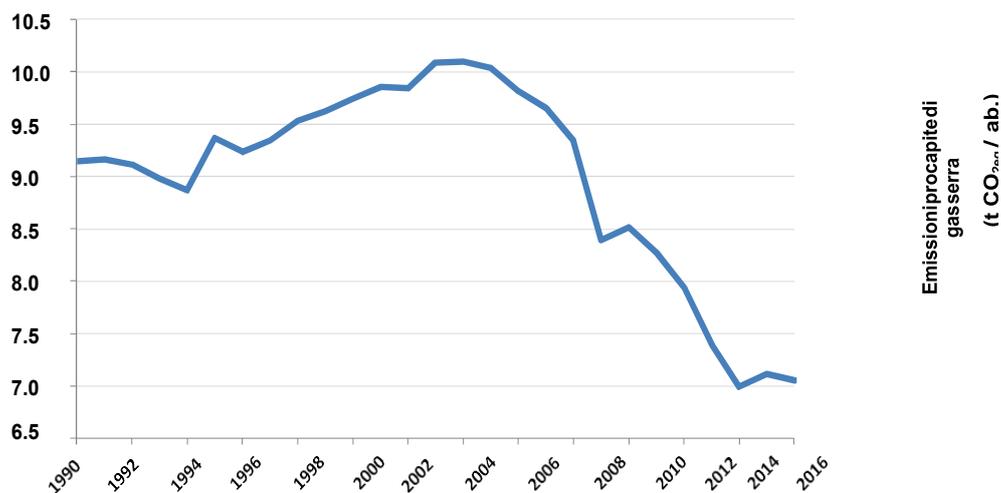


Figura 6 : Andamento delle emissioni pro capite di gas a effetto serra.(Fonte ENEA)

La crisi economica ha dunque avuto ripercussioni in tutti i settori, maggiormente ha colpito il settore industriale, ma anche nel settore delle costruzioni si è avvertito un forte calo del valore aggiunto. Risulta però significativo analizzare come il PIL (Prodotto Interno Lordo), il CIL(Consumo Interno Lordo) e le emissioni atmosferiche di CO₂eq (GHG) siano variate in questo arco temporale e capire se vi sia stato un effettivo progresso o se tale condizione sia dovuta solamente ad una crisi legata agli investimenti, con un conseguente calo dei consumi e ad un abbassamento generale del tenore di vita.

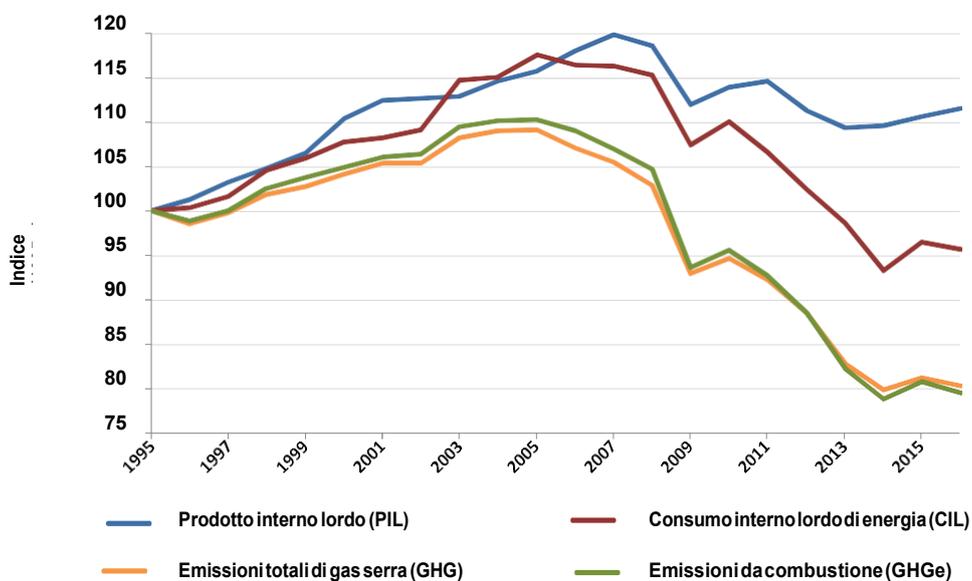


Figura 7 : Variazione percentuale rispetto al 1995 del prodotto interno lordo (prezzi di mercato - valori concatenati, anno di riferimento 2010), del consumo interno lordo di energia e delle emissioni di gas ad effetto serra totali e da processi energetici (Fonte ENEA)

Dal grafico sopra riportato si può notare come gli andamenti dei vari parametri analizzati siano molto simili fino al 2005, anno in cui di fatto si creano forti divergenze tra PIL e Emissioni GHG che continueranno ad amplificarsi fino ai giorni nostri. Questo fatto è spiegabile attraverso le questioni sollevate precedentemente, ma è anche dovuto alla sostituzione dei combustibili tradizionali a più alto contenuto di carbonio con il gas naturale e con l'incremento della quota di energia derivante dalle fonti rinnovabili. Si può dunque affermare che la riduzione di emissione dei gas climalteranti è stata indotta inizialmente da una crisi economica globale che di fatto ha portato ad una forte diminuzione del consumo interno del Paese, ma che poi tale miglioramento è da imputare ad uno sviluppo verso fonti energetiche maggiormente sostenibili in grado di mantenere un livello di consumi inferiore e permettere allo stesso tempo una ripresa economica.

Capitolo 2

Normativa climatica, edilizia ed energetica

In questo capitolo si introducono alcuni elementi di carattere generale in ambito normativo. Uno dei primi riguarda la localizzazione climatica. Infatti vi sono al riguardo molteplici mappe che suddividono il territorio italiano per zone climatiche, tutte però si fondano sul concetto del Grado Giorno (GG) che si riferisce al periodo di riscaldamento. Il calcolo è effettuato per ogni Paese a cui viene assegnata una temperatura fissa di riferimento, poi per ogni luogo viene rilevata la temperatura media esterna. Le differenze positive tra le due temperature vengono conteggiate e sommate così da ottenere un valore, il cosiddetto numero di Gradi Giorni, da cui poi vengono dedotte le ore di riscaldamento da assegnare ad ogni zona climatica. Va quindi considerato che ogni fascia climatica ha un determinato numero di gradi giorni, come definito da normativa, ad esempio per i comuni ricadenti nella zona A tale intervallo è compreso tra 0 e 600. Se invece andiamo a considerare quelli situati in zona F, il valore deve essere superiore a 3000 Gradi Giorno.

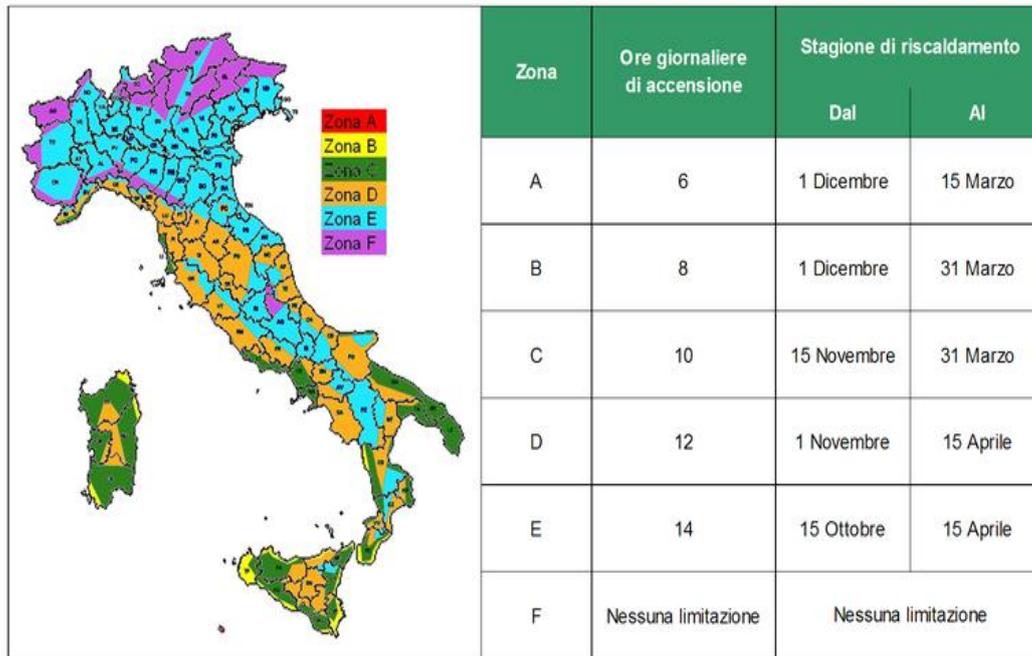


Figura 8: Mappatura nazionale classi climatiche, fonte La Bottega dell'energia

Dalla mappa sopra riportata si desume che il comune di Settimo Torinese, che verrà trattato nel caso studio, si colloca nella fascia E. A tale classe appartengono quindi le zone con elevati fabbisogni energetici e con lunghi periodi di accensione per quanto riguarda il riscaldamento invernale. La zona climatica di appartenenza gioca un ruolo fondamentale per l'analisi energetica, ma anche dal punto di vista strutturale risulta utile nella scelta dei materiali di impiego. La tabella sopra riportata è quindi uno dei pilastri fondamentali su cui poggia un'analisi energetica ed essa fa riferimento al D.P.R. 412/1993, norma appunto sugli impianti termici degli edifici ai fini del risparmio energetico.

Questa prima normativa, non è altro che una delle molteplici che si trovano in ambito energetico, ambientale, strutturale. La lista potrebbe essere così lunga da scrivere una tesi solo al riguardo, ma non è questo il caso. Di seguito si citano i principali riferimenti legislativi a partire dall'anno 2005:

-DLgs n.192 del 19 agosto 2005: attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia.

-DLgs n.311 del 29 dicembre 2006, n.551: disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo del 19 agosto 2005,n.192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico in edilizia.

-Decreto 22 gennaio 2008 n.37 (37/08 – Regolamento concernente l’attuazione dell’articolo 11- quaterdecies , comma 13, lettera a) della legge n.248 del 2 dicembre 2005, recente riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all’interno degli edifici, pubblicato in Gazzetta Ufficiale n.61 del 12 marzo 2008 ed in vigore dal 27 marzo 2008.

-Deliberazione del Consiglio Regionale 11 gennaio 2007, n.98-1247 – Attuazione della legge regionale 7 aprile 2000, n.43 (Disposizioni per la tutela dell’ambiente in materia di inquinamento atmosferico). Aggiornamento del piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell’aria, ai sensi degli articoli 8 e 9 decreto legislativo 4 agosto 1999, n.351. Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e condizionamento (B.U. n .6 dell’8 febbraio 2007).

-Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n.81 – Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

-Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n.46-11968 aggiornamento del piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell’aria- Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico in edilizia ai sensi dell’articolo 21, comma 1, lettere a), b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n.13 “Disposizioni in materia di rendimento energetico nell’edilizia”.

Vi sono poi ulteriori Leggi e Decreti in ambito della certificazione energetica degli edifici, tali decreti sono stati riportati dall’anno 2009 in poi e fanno riferimento al quadro legislativo nazionale:

-Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, Regolamento di attuazione dell'art. 4 c. 1 lett. a) e b) del D.Lgs. 192/2005, Pubblicato sulla "Gazzetta Ufficiale " n. 132 del 10 giugno 2009 - Serie generale

-Decreto interministeriale 26 giugno 2009, Certificazione energetica degli edifici - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, Pubblicato sulla "Gazzetta Ufficiale " n. 158 del 10 luglio 2009 - serie generale

-Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, Pubblicato sulla "Gazzetta

Ufficiale " n. 81 del 28 marzo 2011 - supplemento ordinari. TESTO AGGIORNATO
AL 30.12.2016

-Decreto 22 novembre 2012, Modifica del decreto 26 giugno 2009, recante: «Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.». (12A12945) G.U. n. 290 del 13/12/2012.

-D.P.R. 16 aprile 2013, n. 74 “ Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192”

-LEGGE 3 agosto 2013, n. 90, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale. (13G00133) (GU n.181 del 3-8-2013)

-Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102 "Attuazione della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE

-Decreto interministeriale 26 giugno 2015 "Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", Comunicato del MISE, Pagina internet MISE. Pubblicato nel Supplemento ordinario n. 39 alla "Gazzetta Ufficiale" n. 162 del 15 luglio 2015.

-Decreto interministeriale 26 giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici", Comunicato del MISE, Pagina internet MISE. Pubblicato nel Supplemento ordinario n. 39 alla "Gazzetta Ufficiale" n. 162 del 15 luglio 2015.

Dall'anno 2016 è di maggior interesse citare per attualità, in tale ambito, alcune disposizioni a livello europeo e non solo più quelle strettamente a livello nazionale:

-RACCOMANDAZIONE (UE) 2016/1318 DELLA COMMISSIONE del 29 luglio 2016 recante orientamenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero e delle migliori pratiche per assicurare che, entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero.

-DIRETTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

-RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/786 DELLA COMMISSIONE, dell'8 maggio 2019, sulla ristrutturazione degli edifici [notificata con il numero C(2019) 3352]

-RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/1659 DELLA COMMISSIONE del 25 settembre 2019 sul contenuto della valutazione globale del potenziale dell'efficienza per il riscaldamento e il raffreddamento ai sensi dell'articolo 14 della direttiva 2012/27/UE

-RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/1658 DELLA COMMISSIONE del 25 settembre 2019 relativa al recepimento degli obblighi di risparmio energetico a norma della direttiva sull'efficienza energetica

Dopo le citate norme, ci si vuole soffermare su un aspetto che fa da ponte tra il campo edilizio ed energetico: la classificazione energetica degli edifici. Questo concetto è introdotto in Italia a partire dal Dgls 192/2005. Il suo cambiamento più significativo si ha però successivamente, infatti è stato emanato il Decreto Nazionale del 26 Giugno 2015, il quale ha portato importanti modifiche nelle linee guide. Si nota quindi come sia di recente uso questo tema, anche se oggi se ne sente parlare ovunque ed è per questo che merita di essere approfondito. A tale proposito si è deciso di far riferimento all'APE (Attestato di Prestazione Energetica) che oggi rappresenta il documento ufficiale.

L'APE è da considerarsi uno strumento riguardante il calcolo della prestazione energetica dell'edificio, che negli anni ha subito e subirà ancora modifiche sostanziali. Per esempio in esso si parla di indice EP (Prestazione Energetica) che prima teneva conto solo del riscaldamento, ma che ora tiene in conto anche l'acqua calda sanitaria, e se sono presenti il raffrescamento estivo e la ventilazione meccanica. L'uso di indici di classificazione porta ad una classificazione dagli edifici meno energivori di classe A, per arrivare a quelli di consumo molto elevato di classe G. Qui sotto è riportato il format

emanato a livello Nazionale per l'anno 2020. Per quanto riguarda la stesura delle varie classi energetiche si sono elaborati degli indici di prestazione, così da poter inquadrare con maggior facilità l'edificio in esame.

Ad esempio l'indice EP_{gl} indica il valore totale e si compone dei termini EP_H (climatizzazione invernale), EP_C (climatizzazione estiva), EP_W (produzione di acqua calda sanitaria), EP_V (ventilazione) per quanto riguarda l'ambito residenziale. Ogni indice è espresso in kWh/m²/anno, questa unità di misura permette quindi di comparare più soluzioni edilizie diverse.

L'attestato vero e proprio si suddivide nelle seguenti categorie:

-Destinazione d'uso (residenziale, non residenziale).

-Oggetto dell'attestato (intero edificio, unità immobiliare, ecc..).

-Dati identificativi (regione, comune, indirizzo ,ecc..).

-Servizi energetici presenti (climatizzazione invernale, ventilazione meccanica, illuminazione, ecc..).

Queste classi servono per determinare appunto le prestazioni energetiche dell'edificio, sia in condizioni invernali, sia estive. Inoltre si considera anche la differenza tra edifici esistenti o di nuova generazione.

Appendice B - Format di Attestato di Prestazione Energetica (APE)

Logo Regione		ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI CODICE IDENTIFICATIVO: _____ VALIDO FINO AL: _____																																						
DATI GENERALI																																								
Destinazione d'uso <input type="checkbox"/> Residenziale <input type="checkbox"/> Non residenziale Classificazione D.P.R. 412/93: _____		Oggetto dell'attestato <input type="checkbox"/> Intero edificio <input type="checkbox"/> Unità immobiliare <input type="checkbox"/> Gruppo di unità immobiliari Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____		<input type="checkbox"/> Nuova costruzione <input type="checkbox"/> Passaggio di proprietà <input type="checkbox"/> Locazione <input type="checkbox"/> Ristrutturazione importante <input type="checkbox"/> Riqualificazione energetica <input type="checkbox"/> Altro: _____																																				
Dati identificativi FOTO EDIFICIO: _____ Regione: _____ Comune: _____ Indirizzo: _____ Piano: _____ Interno: _____ Coordinate GIS: _____		Zona climatica: _____ Anno di costruzione: _____ Superficie utile riscaldata (m ²): _____ Superficie utile raffrescata (m ²): _____ Volume lordo riscaldato (m ³): _____ Volume lordo raffrescato (m ³): _____																																						
Comune catastale: _____ Subaltri: da _____ a _____ da _____ a _____ Altri subaltri: _____		Sezione: _____ Foglio: _____ Particella: _____																																						
Servizi energetici presenti <input type="checkbox"/> Climatizzazione invernale <input type="checkbox"/> Climatizzazione estiva <input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica <input type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria <input type="checkbox"/> Illuminazione <input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose																																								
PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO																																								
La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.																																								
Prestazione energetica del fabbricato <table border="1"> <thead> <tr> <th>INVERNO</th> <th>ESTATE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		INVERNO	ESTATE					Prestazione energetica globale <table border="1"> <tr> <td colspan="2">+ Più efficiente</td> </tr> <tr> <td>A4</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>→</td> </tr> <tr> <td colspan="2">- Meno efficiente</td> </tr> </table>		+ Più efficiente		A4	→	A3	→	A2	→	A1	→	B	→	C	→	D	→	E	→	F	→	G	→	- Meno efficiente		<table border="1"> <tr> <td>EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO</td> </tr> <tr> <td>CLASSE ENERGETICA X</td> </tr> <tr> <td>EP_{gl,nren} kWh/m² anno</td> </tr> </table>		EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO	CLASSE ENERGETICA X	EP _{gl,nren} kWh/m ² anno	Riferimenti Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione: Se nuovi: Y (EP_{gl,nren}) Se esistenti: Z (EP_{gl,nren})	
INVERNO	ESTATE																																							
+ Più efficiente																																								
A4	→																																							
A3	→																																							
A2	→																																							
A1	→																																							
B	→																																							
C	→																																							
D	→																																							
E	→																																							
F	→																																							
G	→																																							
- Meno efficiente																																								
EDIFICIO A ENERGIA QUASI ZERO																																								
CLASSE ENERGETICA X																																								
EP _{gl,nren} kWh/m ² anno																																								
Fig. 1																																								

Figura 9: Fonte sito Ministero dello Sviluppo Economico

La classificazione sopra riportata è quella che conduce ad una valutazione globale, ma va sottolineato che vi sono anche dei campi più specifici che devono essere compilati. Ad esempio la tabella che si lega alle prestazioni energetiche degli impianti e dei consumi stimati, o quella legata ai dati del fabbricato, o ai dettagli dell'impianto. Tutti questi sotto-campi sono seguiti da una legenda che permette di comprenderli in modo

semplice ed immediato. Lo stesso vale per il discorso fatto sulla prestazione globale dell'edificio, di cui si riporta un estratto:

LEGENDA E NOTE PER LA COMPILAZIONE

Il presente documento attesta la **prestazione** e la **classe energetica** dell'edificio o dell'unità immobiliare, ovvero la quantità di energia necessaria ad assicurare il comfort attraverso i diversi servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in condizioni convenzionali d'uso. Al fine di individuare le potenzialità di miglioramento della prestazione energetica, l'attestato riporta informazioni specifiche sulle prestazioni energetiche del fabbricato e degli impianti. Viene altresì indicata la classe energetica più elevata raggiungibile in caso di realizzazione delle misure migliorative consigliate, così come descritte nella sezione "**raccomandazioni**" (pag.2).

PRIMA PAGINA

Informazioni generali: tra le informazioni generali è riportata la motivazione alla base della redazione dell'APE. Nell'ambito del periodo di validità, ciò non preclude l'uso dell'APE stesso per i fini di legge, anche se differenti da quelli ivi indicati.

Prestazione energetica globale (EPgl,nren) : fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile relativa a tutti i servizi erogati dai sistemi tecnici presenti, in base al quale è identificata la classe di prestazione dell'edificio in una scala da A4 (edificio più efficiente) a G (edificio meno efficiente).

Prestazione energetica del fabbricato: indice qualitativo del fabbisogno di energia necessario per il soddisfacimento del confort interno, indipendente dalla tipologia e dal rendimento degli impianti presenti. Tale indice da un'indicazione di come l'edificio, d'estate e d'inverno, isola termicamente gli ambienti interni rispetto all'ambiente esterno. La scala di valutazione qualitativa utilizzata osserva il seguente criterio:

 QUALITA' ALTA	 QUALITA' MEDIA	 QUALITA' BASSA
---	--	--

I valori di soglia per la definizione del livello di qualità, suddivisi per tipo di indicatore, sono riportati nelle Linee guida per l'attestazione energetica degli edifici di cui al decreto previsto dall'articolo 6, comma 12 del d.lgs. 192/2005.

Edificio a energia quasi zero: edificio ad altissima prestazione energetica, calcolata conformemente alle disposizioni del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e del decreto ministeriale sui requisiti minimi previsto dall'articolo 4, comma 1 del d.lgs. 192/2005. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, pro-dotta all'interno del confine del sistema (in situ). Una spunta sull'apposito spazio adiacente alla scala di classificazione indica l'appartenenza dell'edificio oggetto dell'APE a questa categoria.

Riferimenti: raffronto con l'indice di prestazione globale non rinnovabile di un edificio simile ma dotato dei requisiti minimi degli edifici nuovi, nonché con la media degli indici di prestazione degli edifici esistenti simili, ovvero contraddistinti da stessa tipologia d'uso, tipologia costruttiva, zona climatica, dimensioni ed esposizione di quello oggetto dell'attestato.

Figura 10: Fonte Regione Piemonte

Si nota che all'interno vi è pure una valutazione qualitativa, che grazie all'uso di simboli permette di farsi un'idea senza dover conoscere per forza i calcoli che vi sono dietro. Questo discorso introduttivo va a sottolineare il fatto che l'edificio che andremo a trattare rientra in classe A ed è quindi da considerarsi uno dei migliori per quanto riguarda l'efficienza energetica.

Un ultimo elemento che si lega meno all'aspetto normativo, ma che comunque è di grande interesse riguarda l'uso di fonti rinnovabile nel settore residenziale. Infatti da quanto riportato da un rapporto del 2017 del SEN (Sistema Energetico Nazionale) si evince il ruolo fondamentale che le nuove tecnologie energetiche giocano nel settore di analisi.

Tale rapporto sostiene che nel settore del riscaldamento e del raffrescamento, l'Italia nel 2015 ha raggiunto una penetrazione delle energie rinnovabili intorno al 19 %, di cui le biomasse e le pompe di calore rappresentano la quasi totalità. La biomassa ha avuto

il ruolo maggiormente decisivo, infatti nel 2016 si registra un 27% dei consumi per il riscaldamento nel settore residenziale ma allo stesso tempo un fattore emissivo elevato dovuto per gran parte alle vecchie apparecchiature. Questo fattore ha portato alla necessità di introdurre stringenti requisiti prestazionali alle apparecchiature. Un uso più razionale della biomassa è sicuramente quello di valorizzarla con l'utilizzo delle reti di teleriscaldamento, in particolare a livello locale. Un'altra tecnologia ad impiego per il riscaldamento è il solare termico, matura, con un buon potenziale di riduzione dei costi. L'ultima citata invece fa riferimento alle pompe di calore, a gas o elettriche, che presentano costi di installazione più elevati, ma che presentano una crescita considerevole dovuta essenzialmente al fatto di presentare elevate efficienze che ne ammortizzano i costi durante l'esercizio e alla loro crescente penetrazione per venire incontro ai limiti di legge nel settore delle costruzioni. Si sottolinea il fatto che tale tecnologia gioca un ruolo importante nelle ristrutturazioni edilizie, infatti con esse si ha la possibilità di sostituire con una sola macchina sia i vecchi condizionatori per il raffrescamento, sia le caldaie. Questo discorso si allaccia al fatto che la valutazione delle classi energetiche degli edifici alimentati da fonti rinnovabili non è disgiunta dalle tecnologie sopra citate, si può quindi introdurre una prima classificazione fatta dal SEN.

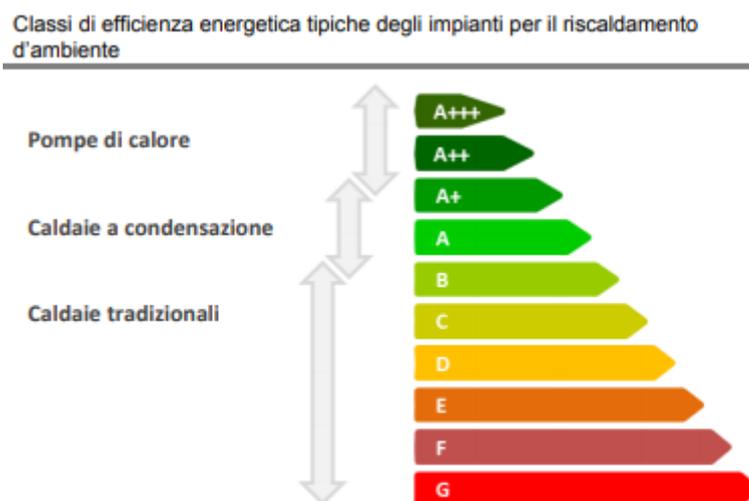


Figura 11: Fonte Strategia Energetica Nazionale del 2017

Capitolo 3

Evoluzione storica della Cooperativa G. Di Vittorio

Prima di cominciare una vera e propria analisi tecnica risulta importante sottolineare il cambiamento storico e sociale che la Cooperativa G. Di Vittorio ha subito a partire dagli anni settanta fino a i giorni nostri, questo permette di capire la sua evoluzione nel settore residenziale e in parte di come le zone in provincia di Torino siano mutate. Qui di seguito è riportata la descrizione fornita dalla stessa Cooperativa.

1972

La Cooperativa Edilizia Giuseppe Di Vittorio nasce nel 1972 dalla fusione di tante piccole cooperative a proprietà indivisa nate all'interno delle fabbriche. L'unione di tutte le esperienze avviate portò in dote un patrimonio di oltre 5000 iscritti.

La storia della nostra cooperativa si intreccia con le trasformazioni economiche e sociali di Torino e della sua area metropolitana, dall'apice al declino dell'industria automobilistica. I soci iniziano a progettare i primi interventi per offrire risposte certe all'emergenza abitativa di quegli anni.

1976

Nel 1976 viene approvata la Legge Regionale n. 28 che sarà il volano per lo sviluppo delle cooperative a proprietà indivisa del Piemonte; la parte più innovativa della Legge è stata l'introduzione del fondo di rotazione derivante dall'abbattimento della rata del mutuo al 3% (a cui doveva corrispondere il canone) e dal successivo versamento dei canoni alla Regione, una volta terminato il mutuo, per consentire la costruzione di nuovi interventi.

1979-80

A cavallo tra il 1979 e il 1980 la Cooperativa Di Vittorio consegna i suoi primi due interventi. 688 alloggi alla periferia nord di Torino. Le prime realizzazioni avevano premiato soluzioni essenziali anche se dalle linee architettoniche innovative, il costo dell'alloggio era mediamente il 40% in meno quello sul libero mercato.

Con l'approvazione del piano decennale nazionale per la casa (Legge 457 del 1978), e lungo i bienni attraverso i quali si è sviluppato si apre la seconda fase dell'attività della Cooperativa Di Vittorio che porterà alla realizzazione di oltre 900 alloggi, tutti situati nella prima cintura di Torino in nuove zone di espansione urbanistica.

Anni 80

Lungo gli anni Ottanta inizia a mutare il bisogno dei soci e con questa la domanda di alloggi. La Cooperativa segue il cambiamento attraverso progressive innovazioni nel modo di costruire e più in generale nella progettazione degli interventi. Gli interventi si riducono di portata rispetto all'inizio con una maggiore attenzione alla qualità architettonica ed urbanistica.

1992

La Legge 179 del 1992 (denominata Botta – Ferrarini) offre alle cooperative di abitanti a proprietà indivisa la possibilità di assegnare in proprietà una parte del proprio patrimonio ai soci, a costi di bilancio, consentendo ai soci di ottenere la proprietà dell'alloggio ad un valore riferito all'anno della costruzione ed alla cooperativa le risorse per costruire nuovi interventi.

Il 23 ottobre 1992 l'Assemblea plenaria della Cooperativa Di Vittorio delibera l'applicazione per i soci della Legge Botta Ferrarini. È un passaggio epocale, una parte del patrimonio dell'indivisa potrà essere ceduto ai soci per concentrare le risorse sulle nuove realizzazioni facendo così fronte alla progressiva riduzione delle risorse pubbliche.

1995

Nel 1995 viene assegnato il primo alloggio in proprietà. Da allora sono oltre 1800 gli alloggi assegnati in proprietà.

Realizzazione del primo intervento rivolto agli anziani. La Cooperativa Di Vittorio adegua la propria offerta ai bisogni emergenti di fasce di popolazione sempre più rilevanti ed in particolare gli anziani. Gli interventi hanno come obiettivo il miglioramento delle condizioni di vita per gli anziani e lo sviluppo della socialità, per queste ragioni in fase di progettazione sono stati previsti numerosi spazi comuni e zone verdi all'esterno.

2006

Il 2006 è l'anno delle Olimpiadi invernali di Torino e la Cooperativa Edilizia "G. Di Vittorio" mette a disposizione per i media internazionali la Torre Antonino Monaco, il palazzo residenziale più alto di Torino, simbolo della più grande trasformazione urbana di Torino, la Spina 3.

2008

È il 2008 quando la Cooperativa Di Vittorio, consapevole delle difficoltà di numerose famiglie a sostenere le spese di tutti i giorni, decide di istituire il “Fondo di Solidarietà” per aiutare i soci ad attraversare una fase di difficoltà economica offrendo un aiuto solidale nello spirito della mutualità cooperativa. Il Fondo è costituito dal versamento mensile di 2 euro da parte di ogni socio assegnatario, raddoppiato attraverso il contributo della Cooperativa e ogni anno offre un sostegno concreto ai nostri soci assegnatari.

Negli anni a seguire si investono sempre maggiori risorse in sostenibilità promuovendo interventi edilizi capaci di coniugare le condizioni di benessere dell’abitare al rispetto degli ecosistemi e dell’ambiente. La salubrità dei materiali, lo sfruttamento degli aspetti climatici locali, l’impiego di energie rinnovabili, la riduzione dei rifiuti liquidi e la sicurezza degli edifici e degli impianti tecnologici sono componenti essenziali dei recenti progetti di edilizia residenziale.

2013

La crisi e i vincoli sempre più stringenti imposti dai parametri di Basilea II riducono la disponibilità di credito da parte degli istituti bancari. La Cooperativa percorre nuove strade stringendo accordi, siglando memorandum e contratti con i fondi immobiliari. Nel corso del 2013 la Cooperativa Di Vittorio inizia a collaborare con uno dei fondi generati dalla Cassa Depositi e Prestiti per la realizzazione di un intervento nella città di Alba.

Capitolo 4

Caso studio in Settimo Torinese

Il caso studio analizzato nella seguente tesi fa riferimento al complesso residenziale di Settimo Torinese, in via Leinì (To) il quale si basa sulla costruzione di un lotto composto da 3 edifici per un totale di 59 unità abitative. Tale complesso abitativo segue le norme più recenti per quanto riguarda l'aspetto energetico, infatti esso appartiene alla classe A che risulta la migliore dal punto di vista dell'efficienza energetica. Per ogni edificio è stato adottato il Decreto Legislativo del 3 Marzo del 2011 il quale definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi fissati fino al 2020 per quanto riguarda la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale. Nel caso specifico l'analisi energetica è stata condotta sull'edificio 3, il quale si differenzia dagli altri due per quanto riguarda il sistema di riscaldamento. I primi due edifici sfruttano pompe di calore per la produzione di l'acqua calda sanitaria (ACS), mentre per il riscaldamento si allacciano alla rete di teleriscaldamento. Il terzo edificio risulta invece interamente progettato per essere solo alimentato da pompe di calore. L'aspetto energetico è indubbiamente innovativo in quanto le tecnologie energetiche tradizionali sono state completamente sostituite da quelle innovative, questo ha favorito un uso più razionale delle risorse e ha permesso ai Soci, che hanno deciso di prendere in locazione tali appartamenti, di sviluppare una maggior consapevolezza per quanto riguarda i consumi e i costi che ne derivano. I vantaggi sono quindi evidenti poiché lo sfruttamento di fonti rinnovabili ha conseguenze positive, le quali si possono riassumere nei seguenti punti:

-No emissioni dirette di CO₂.

-Uso di risorse naturali come il sole e l'aria.

-Indipendenza dalle fonti tradizionali importate (Gasolio, Gas Naturale e derivati).

-Promozione nell'uso di tecnologie innovative così da incrementare la loro maturità.

-Progresso nell'integrazione tra struttura architettonica e fabbisogno energetico.

Qui di seguito viene riportata un'immagine del complesso residenziale.



Figura 12: Vista notturna degli edifici residenziali di Settimo torinese, in Via Leini (To), fonte Cooperativa G. Di Vittorio

La gran parte dei vantaggi riportati precedentemente e non solo, ma anche quelli legati alla parte strutturale dell'edificio 3 fanno riferimento ad una serie di leggi e decreti, che si modificano nel tempo o vengono integrati; per un'analisi più specifica si rimanda al capitolo sulla normativa. Un elemento che suscita interesse e rischierebbe di non essere valorizzato dalla trattazione tecnica, si lega ad un materiale utilizzato dalla Cooperativa nella realizzazione delle pareti dell'edificio. Tale elemento è l'isolante termoacustico in PET, riciclato da bottiglie in plastica ed è in linea con i punti sopra citati.



Figura 13: Isolante termoacustico, fonte Cooperativa G. Di Vittorio

Esso è conosciuto come “Ecozero” ed è un materiale fibroso caratterizzato da diverse densità. Si ottiene appunto dal riciclo di bottiglie in poliestere e presenta caratteristiche che contribuiscono attivamente alla sostenibilità ambientale e al miglioramento del comfort acustico e termico delle abitazioni. Le sue qualità sono che è allergenico, imputrescibile, inattaccabile da muffe, batteri o roditori, riciclabile, ecologico, stabile nel tempo. L’isolante trova applicazione in diverse parti dell’edificio che vanno dai muri divisorii, alle pareti, ai controsoffitti. Tale soluzione risulta quindi di grande versatilità, inoltre rispetta i requisiti previsti in dal Dlgs 311/2006 sulla Trasmittanza Termica.

La Cooperativa, tenendo conto della normativa, si è allora messa all’opera e ha sfruttato il fatto che con un aumento della resistenza termica della parete considerata, la Trasmittanza inevitabilmente tende a diminuire e migliora la coibentazione verso l’ambiente esterno. Quindi attraverso diverse combinazioni strutturali si sono riscontrati valori adeguati, tutti ottenuti con l’inserimento dell’isolante “Ecozero”. Tale scelta è quindi stata premiata per quanto riguarda l’aspetto energetico, ma di ancor più impatto significativo è l’aspetto ambientale. Tale tema oggi è indubbiamente all’ordine del giorno, in qualunque settore si respira una maggiore attenzione verso tematiche come ad esempio lo smaltimento dei rifiuti e il loro possibile riutilizzo. A tale proposito basti pensare che 40 bottiglie di plastica sono sufficienti per 1 m² di isolante ecologico e che la CO₂ emessa nel processo di produzione dell’isolante, in poco più di due anni, si azzerava completamente. Questo è stato uno dei primi passi per la realizzazione di un edificio che fosse conforme sia ai criteri imposti dalla legge, sia tenesse in conto le nuove tecniche realizzative basate sul riciclo di rifiuti. Tale problematica è di grande attualità e ad oggi questa può considerarsi una delle soluzioni perseguibili sia perché poco invasiva dal punto di vista visivo, sia perché non va a stravolgere completamente la struttura dell’edificio ma diviene una parte integrante di esso.

Dopo aver visto un elemento caratteristico del caso studio, ci andiamo ad approcciare ad altri aspetti che lo caratterizzano e che si avvicinino maggiormente al mondo energetico. L'idea di questo capitolo è infatti quella di sottolineare tutti gli elementi di maggior interesse, così da introdurre il lettore in quel mondo a volte molto complesso e di difficile comprensione, che però come vedremo ha elevata risonanza.

Riprendendo la classificazione energetica dell'edificio, affrontata sempre nel capitolo 3, si può osservare nel caso specifico come la Clivet, una delle realtà più importanti a livello internazionale nella progettazione, produzione e distribuzione di sistemi di climatizzazione e trattamento aria, fornisca una propria classificazione della classe energetica di destinazione. In particolare sottolinea il legame che si può instaurare in base all'energia primaria specifica per riscaldamento, valutata su base annuale, e la tecnologia di utilizzo impiegabile. Le immagini che si possono trovare sul sito di riferimento permettono di farsi un'idea delle esigenze impiantistiche che l'edificio deve avere, in base alla classe di appartenenza e come si nota le soluzioni sono molteplici a seconda del caso di interesse. Questo fatto suscita interesse poiché dopo lo svolgersi di una attestazione energetica sull'edificio, si hanno elementi per scegliere la tecnologia più adeguata. Per l'edificio in questione la classe di appartenenza è A+, che come si nota è legata a più componenti i quali saranno discussi e approfonditi in seguito. Essi sono elencabili come pompa di calore, sistema di ventilazione meccanica e pannello fotovoltaico. Questi tre elementi ricorreranno spesso in tutta la trattazione, inoltre spesso si possono trovare l'uno separato dall'altro, uno dei tre può essere presente mentre gli altri due no e così andando avanti le combinazioni sono molteplici. Nel caso studio però essi sono strettamente connessi e per farcene un'idea si è riprodotto lo schema seguente:

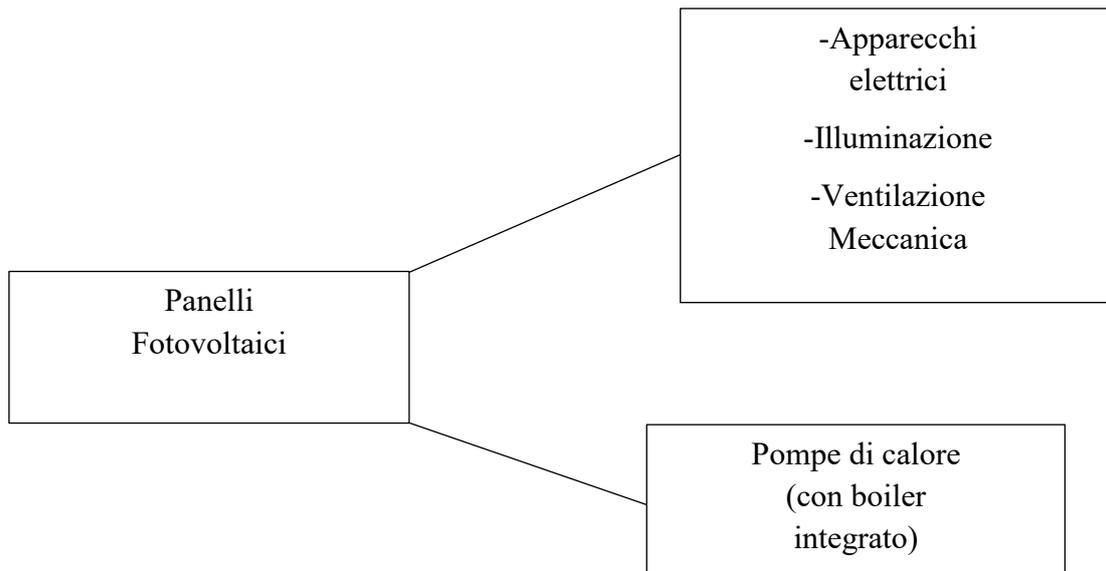


Figura 14: Schema distribuzione corrente elettrica da pannelli fotovoltaici

L'edificio è stato dunque costruito con l'idea di integrare un sistema di pannelli fotovoltaici in grado di soddisfare la richiesta elettrica del compressore della pompa di calore installata per singolo alloggio, di alimentare l'accumulo costituito dai un boiler elettrico, di sostenere l'illuminazione dell'edificio e sopperire alla domanda delle varie apparecchiature presenti nell'edificio, compreso il sistema di ventilazione meccanica. Ora la scelta fatta con l'azienda Clivet sembra trovare riscontro, va però sottolineato il fatto che i pannelli fotovoltaici non sono in grado di sostenere tutta la spesa elettrica di cui l'edificio ha bisogno; infatti, soprattutto nei mesi critici come quelli invernali, l'apporto solare risulta carente ed è quindi necessario allacciarsi alla rete elettrica per coprire la frazione di carico elettrico non soddisfatta.

L'altro elemento tecnologico che è di sicuro grande interesse è rappresentato dalle pompe di calore aria-acqua che sono strutturate sia per fornire ACS, tramite l'accumulo termico, sia per sostenere il riscaldamento a pavimento a pannelli radianti. Questo ultimo elemento non era ancora stato citato ed è spesso abbinato alla pompa di calore in quanto le due tecnologie presentano un buon accoppiamento energetico. Il riscaldamento a pavimento non verrà qui trattato, per il semplice motivo che non

essendo direttamente connesso alla fonte di energia primaria risulta essere un elemento successivo ed è quindi stato trattato nel capitolo 7. invece per quanto riguarda la pompa di calore, il modello adottato è MSAN-GL 3.1 prodotta dalla Clivet e presenta dei notevoli vantaggi, che i produttori sottolineano così:

- Elevata efficienza stagionale garantita dalla tecnologia DC inverter applicata al compressore, con cui è possibile modulare la potenza in funzione del reale fabbisogno energetico richiesto, così da avere alte efficienze.

- L'introduzione di una batteria idrofila che permette un migliore scambio energetico e una riduzione dei cicli di sbrinamento.

- Scambiatore a piastre saldobrasate che porta ad un scambio più efficiente rispetto ai tradizionali scambiatori, questo permette una produzione di acqua calda sanitaria con un ottimo ricircolo e con un serbatoio di accumulo di 280 litri.

- Inoltre essa può essere collegata ai pannelli fotovoltaici.

Questi elementi rendono la tipologia di pompe di calore impiegate ancor più efficienti e competitive rispetto ai sistemi tradizionali che si possono trovare sul mercato.

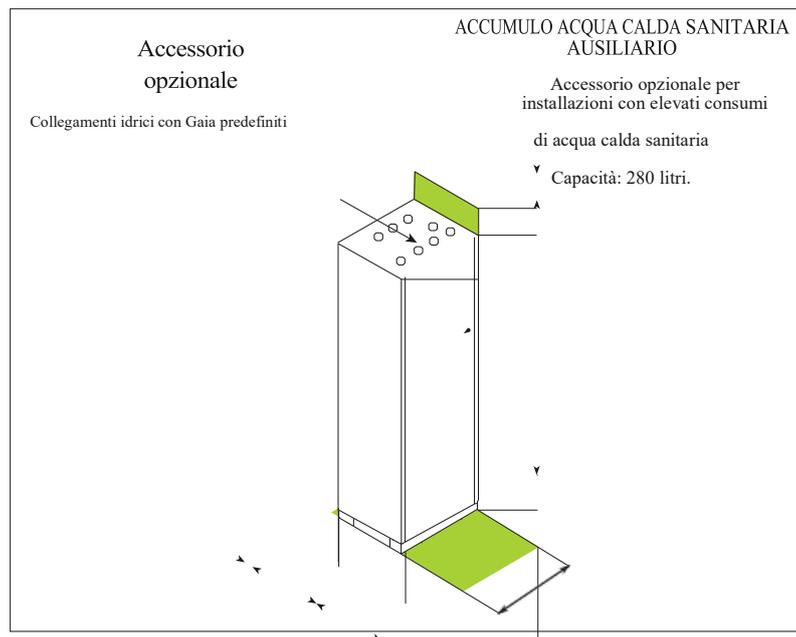
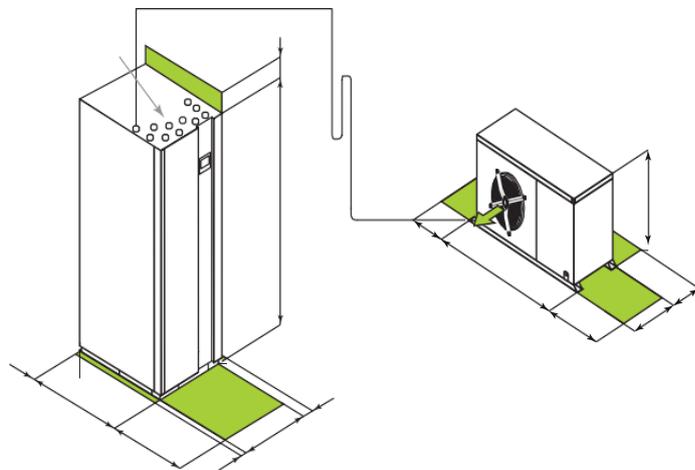


Figura 15: Accumulo termico, Fonte CLIVET

Il fattore più interessante di queste pompe di calore è proprio il loro funzionamento, infatti esse sono predisposte sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. Nell'assetto invernale, quando la pompa deve produrre calore per l'utenza, il ciclo di funzionamento si basa sui seguenti passaggi:

- 1) L'aria esterna entra nel circuito frigorifero e passa attraverso l'evaporatore della pompa di calore. Un refrigerante ecologico assorbe il calore dell'aria. (il refrigerante si trova ad una temperatura inferiore a quella dell'aria)
- 2) Un compressore aumenta la pressione del refrigerante e la temperatura, così si origina un gas che trasmette il calore al circuito dell'acqua calda e poi condensa passando dallo stato gassoso a quello liquido.
- 3) Il gas refrigerante ora in forma liquida passa attraverso la valvola di espansione riducendo la sua pressione e raffreddandosi.
- 4) L'energia termica contenuta nel gas refrigerante viene trasferita all'acqua dal condensatore. L'acqua circola attraverso un sistema chiuso e trasferisce il suo calore ad un serbatoio di ACS, radiatori, riscaldamento a pavimento o ad un altro sistema di distribuzione del calore.

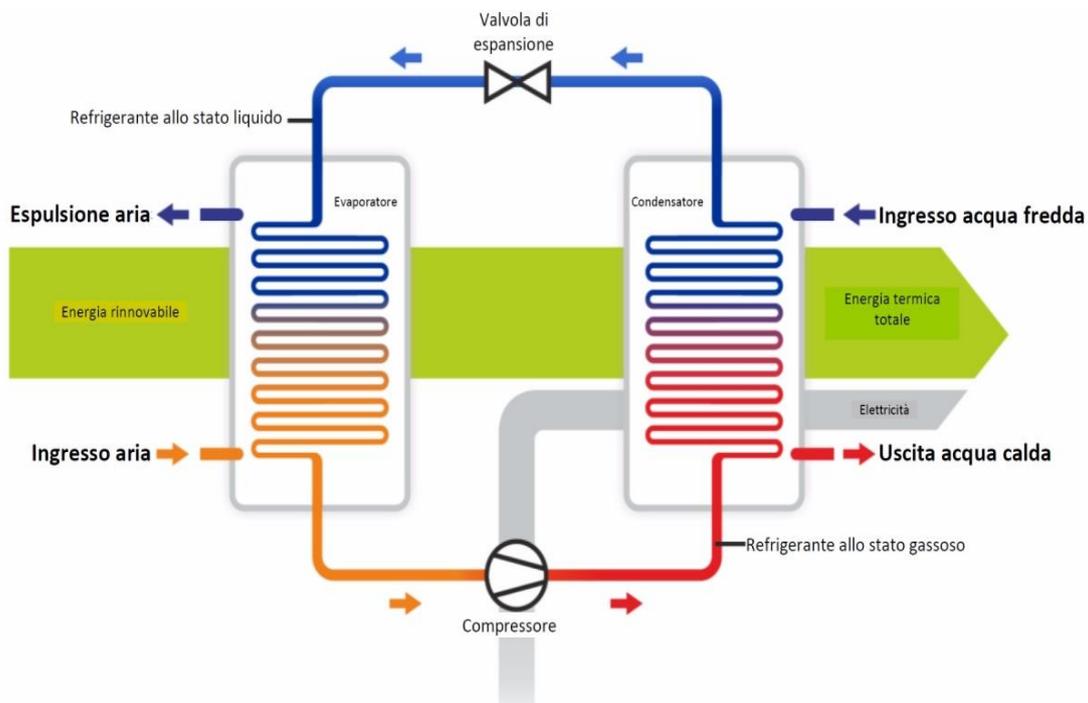


Figura 16: Schema funzionamento pompa di calore, Fonte Energreengate

Lo schema sopra rappresentato permette di farsi un'idea del funzionamento della macchina, inoltre le sue caratteristiche sono disponibili nella scheda tecnica redatta dal costruttore, rimane però interessante analizzare dal punto di vista energetico due fondamentali grandezze che definiscono le prestazioni della pompa di calore. Nel caso Invernale (di riscaldamento) si definisce la prestazione della pompa di calore tramite il COP (Coefficient of Performance), mentre nel caso Estivo (di raffrescamento) si definisce la prestazione con il termine EER (Energy Efficiency Ratio). Essi sono importanti per capire se la pompa sta lavorando in condizioni ottimali o meno.

Ora che il loro funzionamento è chiaro, si può vedere l'impiego che esse hanno avuto nel caso studio.

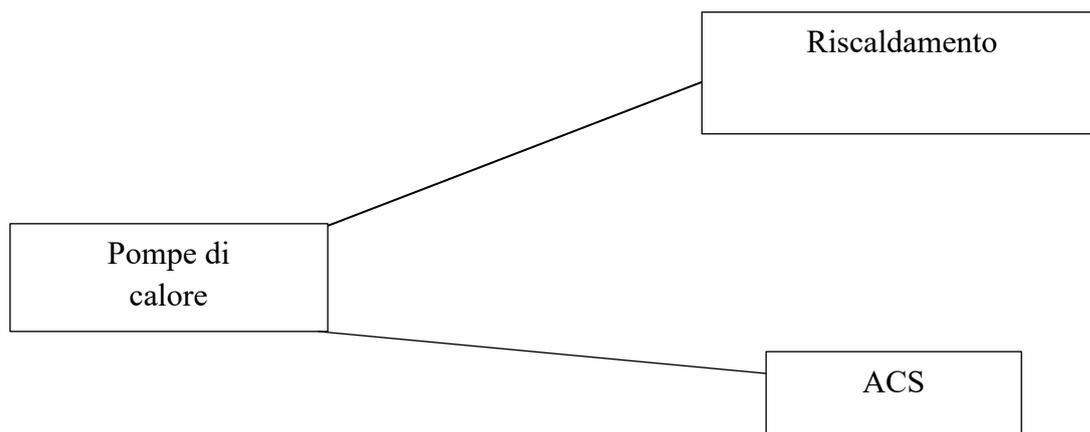


Figura 17: Schema distribuzione del calore da pompe di calore

Lo schema sopra riportato, ancora una volta, è utile per avere un'idea di come avviene la trasmissione dalla sorgente, pompa di calore, alle utenze. In questo caso parliamo di trasferimento d'acqua, scaldata in base alle esigenze mentre il sistema di raffrescamento non è stato utilizzato. Le nozioni generali introdotte sino ad ora, seppur molto varie e non dettagliate, servono a preparare il lettore ad una parte più specifica legata alla vera e propria analisi energetica che è stata effettuata sull'edificio, la quale è stata realizzata utilizzando degli input forniti dalla Cooperativa ma si è poi concretizzata tramite l'utilizzo del software Design Builder.

Capitolo 5

Software ed equazioni di riferimento

Il codice di calcolo utilizzato nella tesi è Design Builder. Esso utilizza un metodo di calcolo dinamico, che realizza la simulazione sull'edificio su base oraria o sub-oraria. I dati climatici inseriti devono essere presi su base oraria, o se facciamo riferimento allo stato occupazionale dell'edificio possiamo sfruttare i prospetti degli apporti termici degli occupanti e apparecchiature per edifici residenziali, o se possibile conoscere le abitudini di chi vi vive. Spesso non è semplice ottenere dei controlli efficaci su tali dati, se pensiamo ad esempio al sistema di riscaldamento esso può essere centralizzato ed è quindi facilmente controllabile ma in alcuni casi potrebbe essere autonomo ed allora i cambiamenti diventano significativi. Definiti però gli input del sistema, si possono apprezzare le diverse simulazioni che si possono elaborare tramite Design Builder, tra cui:

-La valutazione della climatizzazione nel periodo invernale.

-La valutazione della climatizzazione nel periodo estivo.

-La valutazione dell'illuminazione negli ambienti interni.

-La CFD (fluidodinamica computazionale).

-L'analisi dei costi.

I dati ottenuti sono poi estraibili in formato grafico, tabellare o a griglia e si possono gestire con numerosi programmi tra cui Microsoft Excel.

Queste caratteristiche sono ben visibili all'utente che ne fa uso, ma gli algoritmi e i metodi di calcolo utilizzati da Design Builder sono invece legati al software EnergyPlus. Esso, sviluppato dal dipartimento di energia degli Stati Uniti, è il software di simulazione dinamica degli edifici più diffuso su scala mondiale. La sua enorme potenzialità è quella di simulare tutti i flussi energetici attraverso le superfici di controllo del sistema di analisi.

EnergyPlus si fonda su tre moduli:

-“Surface heat manger”, che simula le interazioni edificio-ambiente e tutti i carichi interni.

-“Air heat manager”, che tiene conto dell’aria dell’ambiente e dell’impianto.

-“Building systems simulation manager”, che simula il comportamento dell’impianto.

Ciascuno di questi blocchi si collega a dei sotto-moduli, che hanno la funzione di simulare tutti i componenti del sistema edificio-impianto. Un tipico schema fornito da Energy Plus è il seguente:

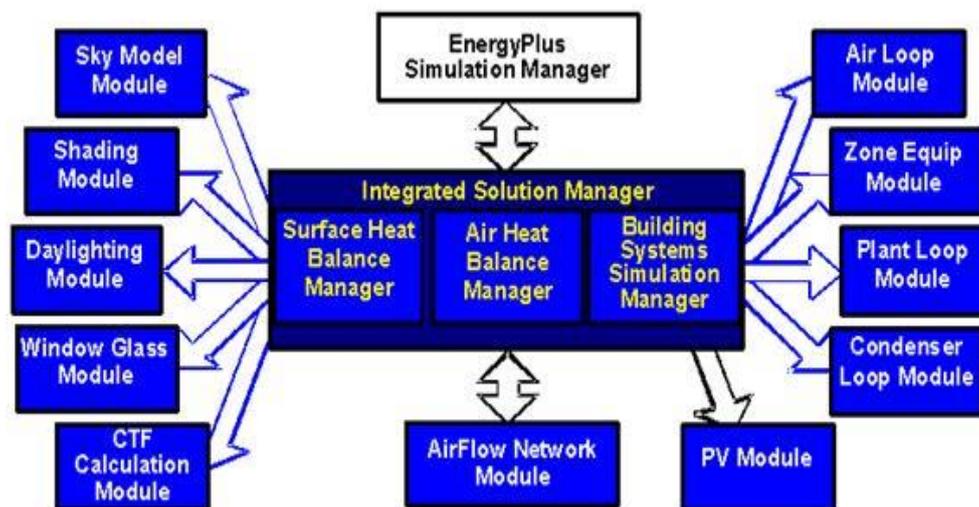


Figura 18: Schema logico moduli interni, Fonte EnergyPlus

La sua complessità è un elemento che non va sottovalutato, infatti molti sviluppatori hanno creato programmi che lavorano con gli stessi algoritmi di calcolo ma con immissione dati, esportazione e interpretazione dei risultati più agevoli, tra cui Design Builder. Tra le diverse equazioni sfruttate dal software si sottolineano quelle del calcolo dinamico di maggior rilevanza.

Il bilancio termico sull'aria è una di queste, il quale viene effettuato sulla zona di interesse con la seguente equazione:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys}$$

– $\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$, questo termine rappresenta la somma dei carichi interni convettivi

– $\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$, questo termine rappresenta la potenza termica scambiata tra le superfici della zona considerata e l'aria.

– $\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$, rappresenta il potenza termica scambiata, dovuta alle infiltrazioni dell'aria esterna

– $\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$, la potenza termica scambiata, dovuta all'aria mescolata nelle zone interne

– \dot{Q}_{sys} , la potenza termica associata all'aria che circola tra la zona e l'esterno.

– $C_z \frac{dT_z}{dt}$, l'energia immagazzinata dall'aria nella zona

Questo bilancio fa riferimento all'aria per ogni zona considerata, in particolare serve per capire se in base alle condizioni interne impostate l'aria deve essere riscaldata o raffrescata. Questo bilancio è quindi strettamente collegata all'accensione o meno del

sistema di riscaldamento/raffrescamento. Si può ora andare ad analizzare un termine nello specifico, la potenza termica associata all'aria che circola tra la zona e l'esterno:

$$\dot{Q}_{sys} = \dot{m}_{sys} C_p (T_{sup} - T_z)$$

Questa equazione assume che il flusso d'aria fornito alla zona è uguale al flusso che la lascia. Il transitorio sopra riportato viene risolto dal software tramite tre differenti algoritmi che conducono alle soluzioni utilizzabili per le valutazioni energetiche: "3rdOrderBackwardDifference", "EulerMethod", "AnalyticalSolution". I primi due metodi usano le differenze finite, strategia per risolvere numericamente equazioni differenziali, mentre il terzo metodo sfrutta soluzioni analitiche. Senza addentrarci nelle formulazioni che si possono ricavare, si nota come il modello dinamico tenga conto dell'evoluzione nel tempo della temperatura, mentre nel modello statico tale legame non c'è ed è per questo che non sarà impiegato nelle simulazioni energetiche che seguiranno.

Un'altra equazione di importanza fondamentale è senz'altro quella legata alla conduzione attraverso le pareti delle edificio:

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta}$$

Dove:

- q''_{ko} , che rappresenta il flusso termico.

- T_i , rappresenta la temperatura interna all'elemento dell'edificio considerato.

- T_o , rappresenta la temperatura esterna all'elemento dell'edificio considerato.

- t , indica lo step di tempo per cui si valuta il flusso.

- X e Y sono i fattori di risposta.

Tale equazione spesso è risolvibile con approssimazioni che la rendono facilmente risolvibile, va però sottolineato come q_{ko}'' dipende da un bilancio che tiene conto di ulteriori termini:

$$q_{ko}'' = q_{\alpha,sol}'' + q_{LWR}'' + q_{conv}''$$

Essi contribuiscono a valutare il flusso per conduzione e sono così riassumibili:

$-q_{\alpha,sol}''$, rappresenta il flusso solare radiativo diretto e diffuso assorbito dalla parete

$-q_{LWR}''$, rappresenta il flusso radiativo netto scambiato tra l'aria e le pareti vicine

$-q_{conv}''$, rappresenta il flusso convettivo scambiato con l'aria esterna

Ogni termine dipende a sua volta da molti altri fattori, ma senza soffermarci troppo su questi aspetti si vuole sottolineare come EnergyPlus tenga conto anche di un flusso addizionale che va a modificare il bilancio precedente:

$$q_{ko}'' = q_{\alpha,sol}'' + q_{LWR}'' + q_{conv}'' + q_{add}''$$

Tale termine riportato come q_{add}'' rappresenta quei flussi che solitamente sono trascurati, come ad esempio quello relativo alla refrigerazione evaporativa. Questo bilancio è visto dall'esterno dell'edificio, ma si possono considerare anche quelli interni all'edificio, quelli tra edificio e terreno, quelli legati all'esposizione dei raggi solari attraverso i componenti vetrati con o senza schermature, ecc...

Un altro aspetto fondamentale è dovuto alle infiltrazioni non controllate negli edifici, ovvero quelle che non possono essere controllate in modo immediato dall'azione dell'uomo. Queste giocano comunque un ruolo fondamentale e non sono sempre di facile determinazione. Una delle equazioni base elaborate nel 1980 da Sherman e Grimsrud fa riferimento all'effettiva area di perdita:

$$I = F_{sh} \left(\frac{A_L}{1000} \right) \sqrt{C_s \Delta T + C_w (W_{speed}^2)}$$

-I, rappresenta il valore di infiltrazione

-F_{sh}, invece è un valore che dipende dal programma definito

-A_L, rappresenta l'effettiva area di perdita [cm²].

-C_s, sono coefficienti legati alle infiltrazioni [(L/s)²/(cm⁴K)].

-C_w, sono coefficienti legati alle infiltrazioni [(L/s)²/(cm⁴(m/s)²)].

-ΔT, rappresenta la differenza di temperatura tra l'aria di zona e quella esterna.

-W_{speed}, rappresenta invece la velocità locale del vento.

Vi sono poi equazioni che invece servono per il calcolo della ventilazione naturale, come la seguente:

$$Q_w = C_w A_{op} F_{sh} V$$

- Q_w , rappresenta la portata volumetrica di aria [m^3/s]

- A_{op} , Area di apertura [m^2]

- V , rappresenta la velocità locale del vento [m/s]

Come si è detto queste sono solo alcune delle equazioni sfruttate dal software, ma in diversi casi si sono adottate semplificazioni con equazioni o valori forniti dalle normative. Un aspetto che è di sicuro di grande interesse è quello legato ai programmi di funzionamento che si possono impostare su DesignBuilder, i quali vedremo sono differenti a seconda che ci si riferisca al sistema di riscaldamento, alle infiltrazioni, alla ventilazione naturale ecc... Come si nota non si avranno sempre valori costanti e vi saranno dei profili in alcuni casi molto regolari, in altri vi saranno solamente dei valori di soglia al di sotto dei quali o al di sopra dei quali il sistema si adeguerà.

Dal punto di vista globale abbiamo ora un'idea delle basi su cui lavora il software, ma dal punto di vista grafico quando l'utente si avvicina ad esso deve mettersi in gioco con una realtà grafica ben precisa. Per questo motivo si riporta qui di seguito la spiegazione di come è avvenuta la realizzazione su Design Builder.

“Concepito per facilitare al massimo il processo di modellazione e di inserimento dei dati, DesignBuilder consente di verificare e comparare i consumi energetici degli edifici, i parametri di comfort abitativo, i livelli di illuminazione naturale ed artificiale degli ambienti, le prestazioni di differenti materiali e di differenti configurazioni impiantistiche”.

Queste sono le parole con cui gli ideatori del software definiscono il programma che sta alla base delle più avanzate simulazioni in campo energetico per quanto riguarda gli edifici. Esso rappresenta un mezzo efficace grazie alla sua divisione in moduli, i quali sfruttano dati di input sia inseriti manualmente, sia importati da altri programmi. La sua alta versatilità e semplicità grafica permette di modellizzare sistemi complessi e di produrre risultati significativi. Il programma si articola in diversi blocchi che qui di seguito vengono riportati:

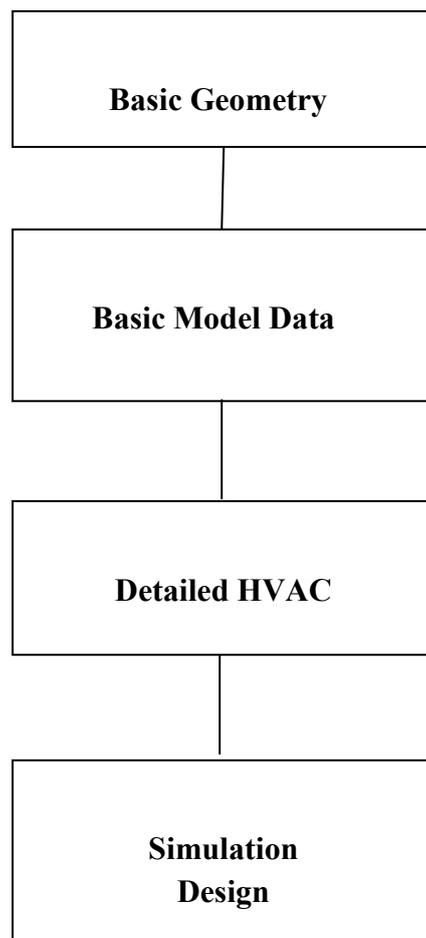


Figura 19: Schema a blocchi delle varie fasi di modellazione su Design Builder

I moduli sopra riportati sono quelli usati nell'analisi svolta nella trattazione che seguirà ma ve ne sono altri specifici riguardanti altre categorie, le quali comunque fanno riferimento ai primi due blocchi che sono necessari in qualunque tipo di analisi. Il diagramma a blocchi, sopra riportato, risulta molto utile per sottolineare le fasi su cui si sviluppa l'intera simulazione. Il primo passo risulta quindi *"Basic Geometry"*, fondamentale per la riproduzione di ogni edificio. Questo passaggio è fondamentale perché si parte costruendo lo scheletro edilizio partendo quasi sempre da una pianta esistente prodotta tramite programmi come CAD, che producono disegni grafici molto complessi che devono essere comunque depurati per essere adattati a Design Builder. Su tali disegni si erigerà quindi l'edificio che viene costruito tramite blocchi di forme differenti, zone adibite ad ambienti interni che hanno la funzione di simulare camere da letto, cucine, bagni, spazi comuni, ecc.. Dopo aver delineato la struttura generale, risulta fondamentale concentrarsi sui componenti che costituiscono l'edificio ed è per questo motivo che si passa all'altro blocco fondamentale *"Basic Model Data"*. In questa fase sono fondamentali i dati che costituiscono le aperture nell'edificio, come porte, finestre, vani scala, ascensori e le caratteristiche delle varie pareti. In questa sezione si introducono anche gli *"Activity Data"* che comprendono diverse voci tra cui i profili occupazionali, le temperature di set-point di riscaldamento e raffrescamento, la ventilazione meccanica, ecc.. Nel caso specifico questi dati sono stati modellizzati in modo più complesso e accurato grazie al blocco *"Detailed HVAC"*. Questa sezione è dedicata alla modellazione dell'intero sistema di alimentazione dell'edificio, infatti permette l'inserimento di macchinari, linee di trasmissione, tubazioni, ecc.. Il tutto si può sintetizzare rappresentando una sorgente che possiede determinate caratteristiche; essa viene collegata all'utenza che per esigenze abitative ha dei parametri da rispettare. La sorgente e l'utenza sono quindi strettamente collegate, per questa ragione devono conciliare in modo che non si creino scompensi nel funzionamento dell'impianto. In questa fase vanno impostati anche i profili occupazionali, le apparecchiature interne e i ricambi d'aria che riproducono i comportamenti di chi vi abita. Superata questa assai delicata fase, si può procedere con l'ultimo blocco *"Simulation Design"* che di fatto rappresenta la vera e propria simulazione energetica. I risultati che ne derivano dipenderanno dalle caratteristiche inserite nei blocchi precedenti, infatti per diversi tipi di sorgenti utilizzate si avranno consumi che variano dall'elettrico, al consumo d'acqua e via dicendo. Inoltre si può facilmente riscontrare se il sistema adottato è energeticamente conveniente, se vi sono delle anomalie o degli scostamenti dal caso reale. Questo ultimo blocco permette anche di rielaborare i dati forniti su Excel o altri programmi che ne permettano una più intuitiva comprensione, così da comprendere se sia necessario apportare modifiche strutturali all'impianto reale, sottolineando i punti critici o eventuali disarmonie.

Capitolo 6

6.1 Analisi globale sull'edificio abitativo

6.1.1 Pianta ed involucro edilizio dell'edificio 3

La prima parte della trattazione tecnica si basa sull'analisi costruttiva dell'edificio 3, il quale è costituito da un sotterraneo e sei piani con caratteristiche molto simili. Ogni piano contiene al suo interno tre appartamenti e un atrio comune. Ogni appartamento a sua volta è diviso in due camere da letto, una cucina, un soggiorno (o in certi casi in un locale che soddisfa entrambe le esigenze), un bagno e un atrio che collega e separa i locali interni allo stesso appartamento. Nell'atrio comune si può riscontrare la presenza di un vano scala e di un ascensore, atti a collegare i vari piani. L'unica eccezione si riscontra al primo piano dove è situato un ingresso che collega l'edificio con l'esterno. La superficie netta di un piano dell'edificio è di 263m^2 , mentre l'altezza di ogni piano è di 2,7m. Questi dati sono lordi e vedremo che in seguito, per i calcoli, verranno utilizzati quelli netti forniti dal software. La pianta del primo piano è riportata di seguito:

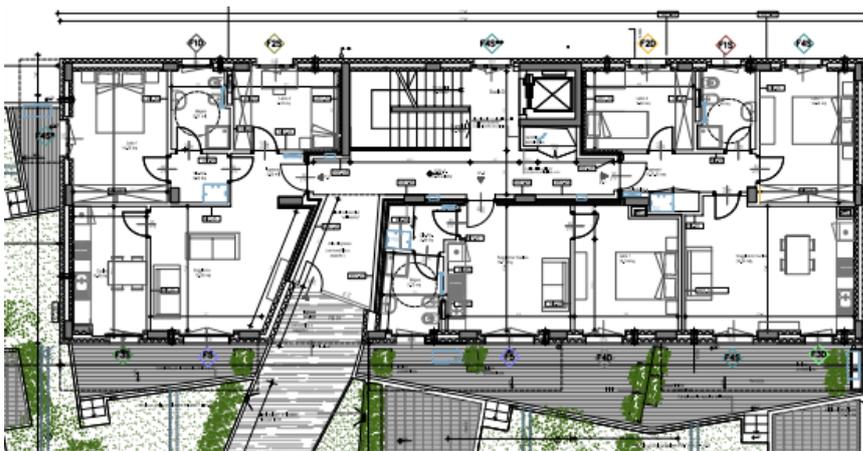


Figura 20: Pianta Piano 1, Edificio 3 , fonte Cooperativa G. di Vittorio

La stratigrafia è complessa, infatti presenta diverse tipologie di murature che fanno riferimento a zone specifiche. Per semplicità è possibile però evidenziare quelle che per la gran parte costituiscono l'edificio e che quindi incidono maggiormente sul calcolo energetico. L'involucro edilizio è stato quindi suddiviso in base agli ambienti che lo costituiscono, in particolare si è tenuto conto dei dati dei materiali costitutivi forniti dalla stessa Cooperativa ed organizzati secondo la seguente tabella:

Legenda		
Simboli	Descrizione	Unità di misura
s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/m/K
R	Resistenza termica	K m²/W
M.V.	Massa volumica	kg/m³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kg/K

Figura 21: Tabella dei principali parametri dell'involucro edilizio

Tale tabella è significativa per capire ogni materiale che ruolo gioca nella stratigrafia e come una tipologia strutturale varia dall'altra in base alle esigenze dell'edificio. Inoltre l'impostazione dei vari materiali ha permesso il calcolo della Trasmittanza Termica totale dei singoli componenti, tale grandezza fisica è di fondamentale importanza poiché rappresenta quanto un materiale o un corpo è in grado di trasmettere il calore e rappresenta quindi l'inverso dell'isolamento termico, essa è espressa come U [W/m²/K].

Di seguito vengono riportate le varie tipologie adottate:

-Muratura Esterna: ME1.cS

Questa tipologia è stata adottata sul software per separare tutti i locali interni rispetto all'ambiente esterno.

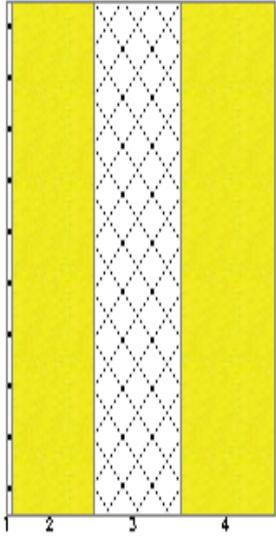
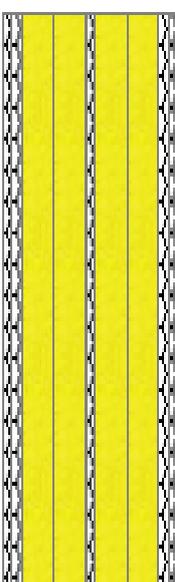
	Componente	s	λ	R	M.V.	C.T.
	Piastrelle in ceramica	10	1,3	0,008	2300	0,84
	Pannello Elcom	130	0,04	3,25	40	1,21
	C.l.s	140	1,65	0,085	2200	1
	Pannello Elcom	150	0,039	3,846	40	1,21
Trasmittanza Termica: U= 0,135 W/m²/K	Sup. Interna			0,13		
	Sup Esterna			0,086		

Figura 22: Stratigrafia della parete a contatto con l'esterno dell'edificio

-Muratura Interna: MD1.aS

Questa è stata impostata per separare tutti i vari locali interni ad uno stesso appartamento.

	Componente	s	λ	R	M.V.	C.T.
	Lastra di tipo A WALLBOARD	12,5	0,25	0,05	736	0,84
	Lastra di tipo A WALLBOARD	12,5	0,25	0,05	736	0,84
	Pannello isolante in fibra di poliestere tipo ECOZERO	40	0,039	1,026	35	2,1
	Pannello isolante in fibra di poliestere tipo ECOZERO	40	0,039	1,026	35	2,1

	Lastra di tipo speciale RIGIDUR H	12,5	0,202	0,062	1200	0,84
	Pannello isolante EXTRAWALL VV	40	0,033	1,212	40	1,03
	Pannello isolante EXTRAWALL VV	40	0,033	1,212	40	1,03
	Lastra di tipo A WALLBOARD	12,5	0,25	0,05	736	0,84
	Lastra di tipo A WALLBOARD	12,5	0,25	0,05	736	0,84
Trasmittanza Termica: U= 0,2 W/m²/K	Sup. Interna			0,13		
	Sup. Esterna			0,13		

Figura 23: Stratigrafia della parete interna di uno stesso appartamento

-Muratura Interna: MS1.dS

Questa è stata impostata per separare i vari appartamenti dagli spazi comuni interni.

	Componente	s	λ	R	M.V.	C.T.
	Lastra di tipo A WALLBOARD	12,5	0,250	0,05	736	0,84
	Lastra di tipo A WALLBOARD	12,5	0,250	0,05	736	0,84
	Foglio di alluminio	0,03	220	0	2700	0,88
	Pannello isolante EXTRAWALL VV	60	0,033	1,818	40	1,03
	Pannello isolante EXTRAWALL VV	40	0,033	1,212	40	1,03
	C.l.s	200	1,650	0,121	2200	1
Intonaco di gesso	20	0,4	0,05	1000	1	

Trasmittanza Termica: U= 0,281 W/m²/K	Sup. Interna			0,13		
	Sup. Esterna			0,13		

Figura 24: Stratigrafia della parete interna tra appartamento e spazi comuni

-Porta d'ingresso

Questa è stata impostata per mettere in comunicazione tutti i locali interni ed esterni.

	Componente	s	λ	R	M.V.	C.T.
	Legno di abete	21,3	0,12	0,178	450	2,7
	Acciaio	3	52	0	7800	0,45
	Acciaio	3	52	0	7800	0,45
	Legno di abete	22,5	0,12	0,188	450	2,7
Trasmittanza Termica: U= 1,6 W/m²/K	Sup. Interna			0,13		
	Sup. Esterna			0,13		

Figura 25: Stratigrafia delle porte

-Pavimento

Questo è stato impostato per separare tutti i piani dell'edificio.

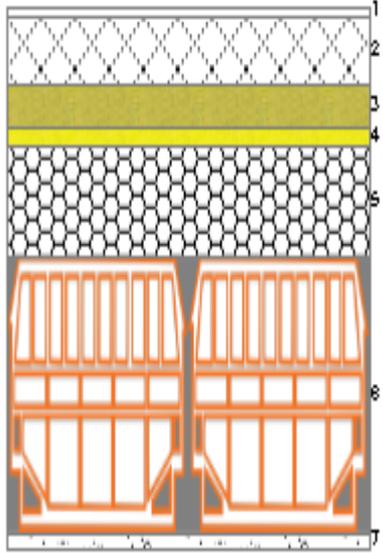
	Componente	s	λ	R	M.V.	C.T.
	Piastrelle in ceramica	10	1,3	0,008	2300	0,84
	Caldana per pannelli	60	1	0,06	1800	0,88
	Poliestere espanso	40	0,035	1,143	30	1,25
	Isolante acustico	15	0,05	0,3	106	1,6
	CLS passaggio impianti	100	0,9	0,111	600	0,88
	Soletta in laterizio	250	0,66	0,379	1100	0,84
	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1
	Trasmittanza Termica: U= 0,425 W/m²/K	Sup. Interna			0,17	
	Sup. Esterna			0,17		

Figura 26: Stratigrafia dei pavimenti

-Soffitto

Questo è stato impostato per separare tutti i piani dell'edificio.

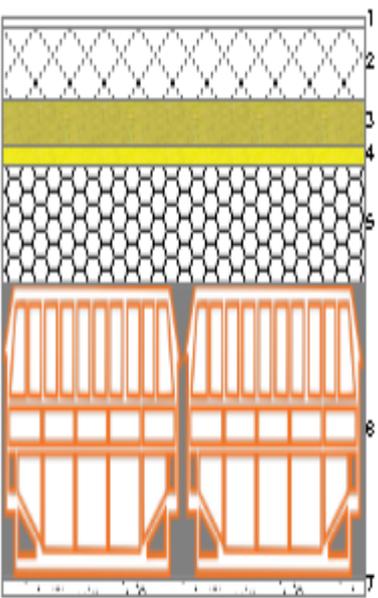
	Componente	s	λ	R	M.V.	C.T.
	Piastrelle in ceramica	10	1,3	0,008	2300	0,84
	Caldana per pannelli	60	1	0,06	1800	0,88
	Poliestere espanso	40	0,035	1,143	30	1,25
	Isolante acustico	15	0,05	0,3	106	1,6
	CLS passaggio impianti	100	0,9	0,111	600	0,88
	Soletta in laterizio	250	0,66	0,379	1100	0,84
	Intonaco di cemento e sabbia	15	1	0,015	1800	1
Trasmittanza Termica: U= 0,451 W/m²/K	Sup. Interna			0,1		
	Sup. Esterna			0,1		

Figura 27: Stratigrafia dei soffitti

Per la finestra si è utilizzato un valore medio considerando i valori calcolati secondo l'UNI EN ISO 10077-1:2007 pari a $U=1,3 \text{ W/m}^2/\text{K}$.

L'edificio 3 è quindi stato modellizzato su DesignBuilder sfruttando tali caratteristiche, in particolare il software è stato utile per il ricalcolo delle Trasmittanze Termiche che dipendono dai vari parametri riportati in Legenda. Bisogna anche tenere conto che l'edificio è circondato da altri due edifici che sono stati semplicemente inseriti come

blocchi componente con la funzione di riprodurre l'ombreggiamento che si può verificare durante l'anno.

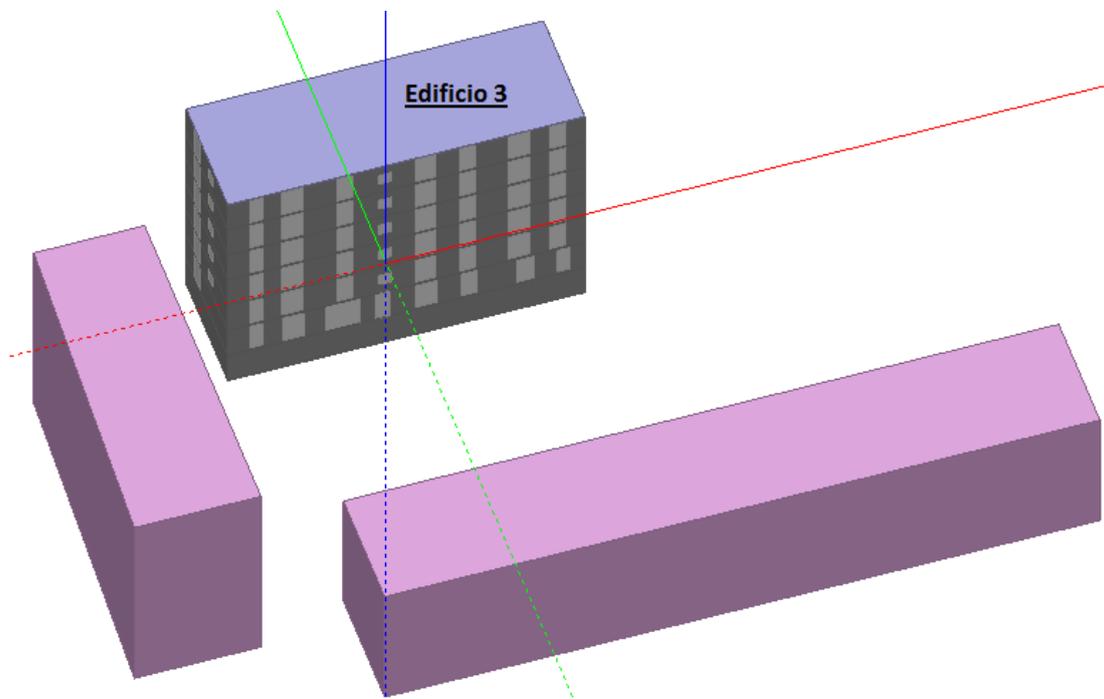


Figura 28: Riproduzione edifici, fonte DesignBuilder

6.1.2 Considerazioni sui profili di occupazione dell'edificio

L'analisi deve cominciare considerando i profili occupazionali dei vari appartamenti. La questione diviene allora più delicata, dato che in questa fase non si può solo effettuare un'analisi tecnica ma anche sociale. Basti pensare all'evoluzione che si è avuta negli ultimi 50 anni solo dal punto di vista lavorativo; infatti prima un nucleo familiare era composto da un genitore che lavorava a tempo pieno e di una figura, solitamente femminile, che trascorrevva molto tempo a casa a badare ai figli. Questa situazione non è più così abituale, ma non solo se si pensa a come sono cambiate le apparecchiature domestiche all'interno di un'abitazione, o lo stesso sistema di illuminazione. Insomma tutte queste sorgenti interne di energia vanno a costituire un'unica classe chiamata "Apporti Globali". Pur esistendo dei programmi di default, che il software ha già integrati, risulta interessante andare a vedere cosa dice la specifica tecnica UNI-TS

11300-2 la quale nel prospetto 14 fornisce i valori degli apporti termici degli occupanti e delle apparecchiature negli edifici residenziali. Tali dati si differenziano in base al tipo di stanza (cucina, camera da letto, ecc..), al tipo di giorno (settimanale, fine settimana) e al tipo di orario (mattutino, serale, ecc..). Per sfruttare tali tabelle si sono fatte delle assunzioni, in base ai dati partenza:

-I flussi termici legati alle varie stanze sono equamente ripartiti tramite un valore medio, infatti se abbiamo che l'apporto termico in cucina è x_1 , mentre quello in camera da letto è x_2 , allora il valore medio tra i due sarà semplicemente x .

-La giornata è divisa in tre intervalli di tempo, ognuno con il suo numero di ore e con un suo valore di flusso termico, per ognuno di questi intervalli si è definita la percentuale occupazionale tenendo conto che il massimo si ha in corrispondenza di 1, mentre il valore minimo in corrispondenza di 0.

-L'apporto finale è stato calcolato come media ponderata sulla settimana. Infatti da lunedì a venerdì i valori ricavati avranno un peso maggiore rispetto a quelli da sabato a domenica.

Tutte queste assunzioni, ed alcune minori fatte per l'adeguato dimensionamento dell'impianto hanno portato ad elaborare una tabella conclusiva impiegata nel software.

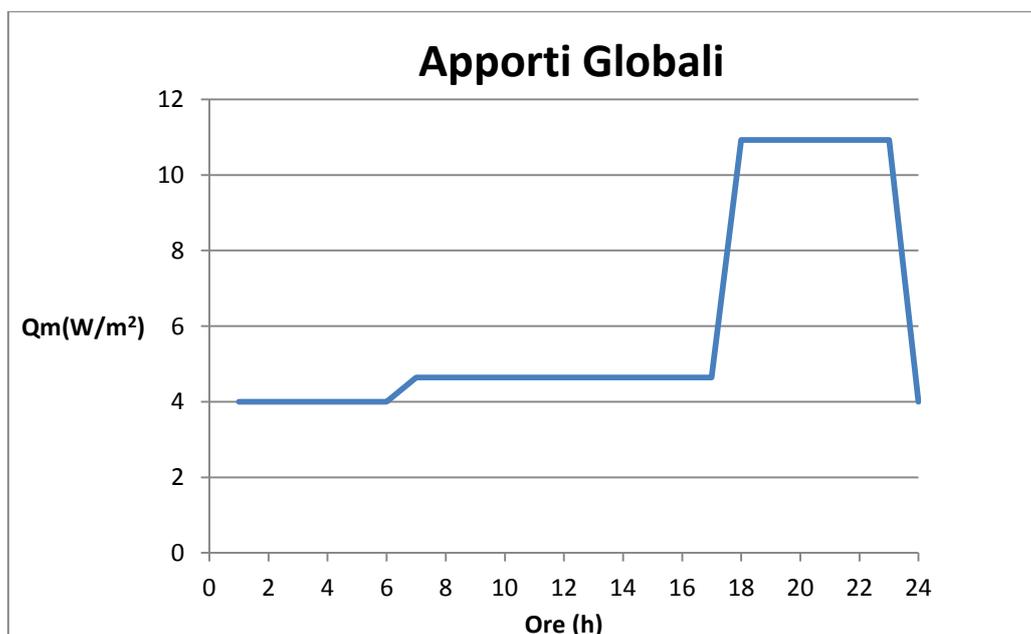


Figura 29: Tabella degli Apporti Globali

Si nota come alcuni periodi abbiano un peso inferiore per avvicinarsi a delle condizioni più appropriate ma allo stesso tempo si nota, come riporta la normativa, che i picchi si hanno comunque nell'asso di tempo in cui in media si torna a casa alle 17:00, fino a prima di andare a dormire. Tale andamento è di fondamentale importanza perché caratterizza l'apporto globale dell'occupazione dell'edificio. Un altro aspetto cruciale che va sottolineato è senz'altro quello delle "Zone Termiche". Questo termine fa riferimento ad una suddivisione interna all'edificio, che spesso viene effettuata per evidenziare le distinzioni termiche da un luogo all'altro, o semplicemente per demarcare i confini tra le varie unità abitative. Quest'ultimo punto in realtà è spesso di vitale importanza, soprattutto quando si fa riferimento a complessi residenziali non centralizzati. L'idea quindi è quella di effettuare una suddivisione interna ad ogni piano dell'edificio, in particolare si individua una zona così detta "Madre" o "Padre" che diviene il fulcro vitale per le zone adiacenti. Ci possono essere più zone di questo tipo e ognuna di esse ha la funzione di "comandare" le zone ad essa collegate. Questo fatto è importante perché le condizioni impostate in ogni zona "Madre" andranno a caratterizzare anche le zone collegate, mentre quelle distaccate o facenti parti di un altro agglomerato saranno autonome rispetto ad esse. A titolo d'esempio si riporta la pianta del secondo piano.

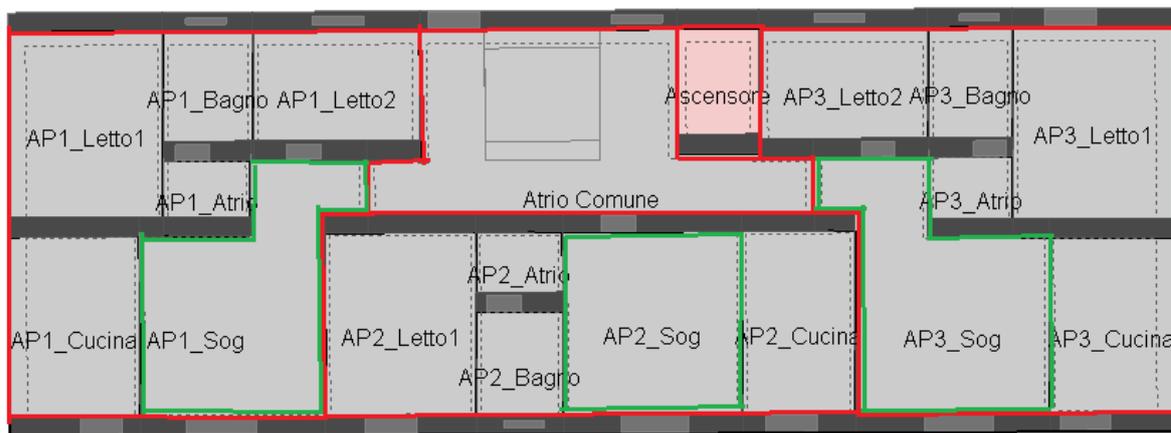


Figura 30: Riproduzione pianta secondo piano, fonte DesignBuilder

Si nota come siano state evidenziate in rosso le varie zone termiche che rappresentano le cinque zone ricorrenti su ogni piano, in verde invece la zona "Madre" interna ai singoli appartamenti. Quest'ultima è stata scelta in base alla superficie che, in tutti gli appartamenti, risulta essere maggiore per il soggiorno. Va sottolineato che le zone grigie sono tenute in conto nelle simulazioni dinamiche, mentre il vano ascensore in rosa non è considerato.

6.1.3 Descrizione impianto

Nel primo capitolo era stato riportato uno schema su come le varie utenze siano alimentate per mezzo di fonti alternative rispetto a quelle tradizionali, in particolare si è deciso di adottare le pompe di calore Aria-Acqua che con un boiler elettrico integrato sono in grado di soddisfare le esigenze di riscaldamento e di ACS. Queste pompe di calore sono state installate per ogni singolo appartamento e sfruttano un fluido refrigerante R410a con caratteristiche in grado di favorire lo scambio termico con l'aria e l'acqua all'interno della macchina. L'elettricità che alimenta il compressore sfrutta una parte di quella prodotta dai pannelli fotovoltaici, che durante l'anno captano l'energia solare, e una parte dalla rete elettrica che deve completare il fabbisogno dell'intero edificio. Per il dimensionamento di tale sistema, si è dovuto tener conto anche di altri fattori come la ventilazione naturale, quella meccanica e degli apporti interni all'edificio. Ognuno di questi elementi presenta un programma di funzionamento che in base alle abitudini dei Soci e alle esigenze della palazzina risulterebbe molto variabile, per questo motivo nel software si sono utilizzati dati reali ricreando degli standard o "giornate tipo" grazie alle quali si raggiungono livelli adeguati di comfort. L'impianto realizzato su DesignBuilder è molto complesso e per questo si sono realizzati 18 singole unità ognuna delle quali alimenta un appartamento, mentre per gli atrii comuni si è ipotizzato che una singola unità che potesse coprire il loro intero fabbisogno energetico. Il totale è quindi di 19 unità. Qui di seguito è rappresentata una singola unità.

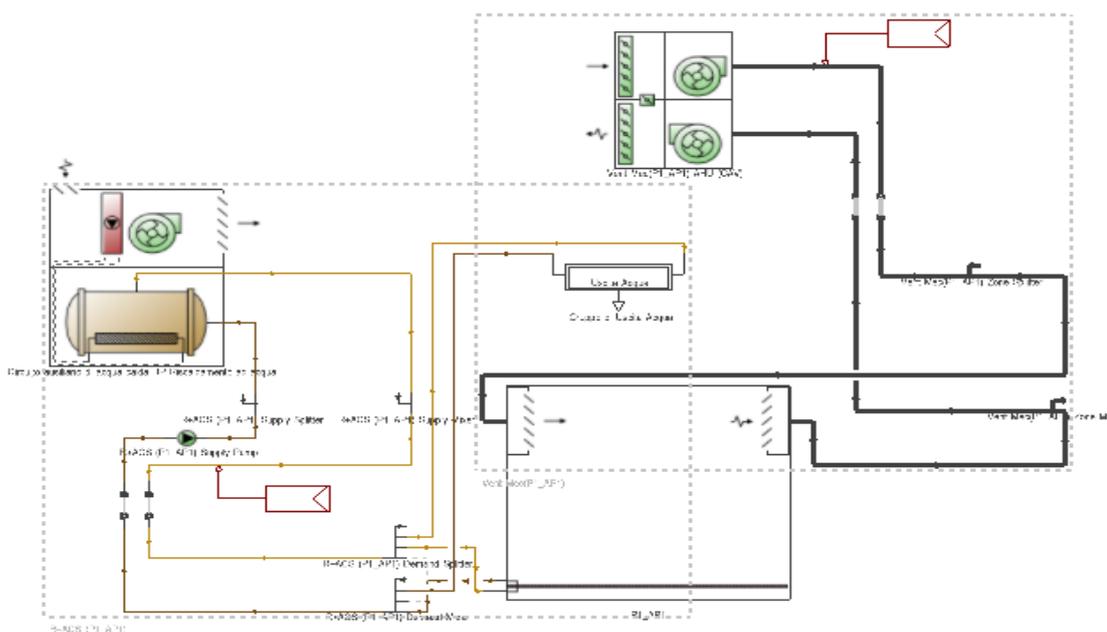


Figura 31: Riproduzione sistema energetico, fonte DesignBuilder

Ogni unità è quindi costituita da due blocchi principali: la sorgente e l'utenza. La prima è costituita da una pompa di calore e da un'unità di prelievo per la ventilazione meccanica. Le due non sono connesse e svolgono ruoli indipendenti, ma entrambe sono alimentate da energia elettrica e sono collegate all'utenza. Quest'ultima è costituita dallo spazio abitativo e in particolare da un pannello radiante per il riscaldamento a pavimento e da un'uscita per l'ACS, le quali sono connesse alla pompa di calore. La ventilazione meccanica invece è stata realizzata presso l'utenza con due sbocchi, uno per l'immissione e uno per il prelievo che ricollegandosi alla sorgente chiude il ciclo. Le specifiche di immissione di ogni macchinario sono state impostate secondo tale ragionamento. Le portate d'aria provenienti dalle UTA esterne sono regolate su un valore minimo di $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$, tale valore è dato dalla tipologia di macchinario installato da parte della Cooperativa. Il sistema di riscaldamento è stato invece impostato per far sì che la temperatura non scenda mai sotto i 20°C (Temperatura di Set Point). Un altro parametro impostato è la ventilazione naturale che spesso nei locali residenziali ha un valore di picco di $0,5 \text{ vol/h}$ modulato sui programmi di apporti interni. La questione risulta invece più delicata per l'ACS, infatti si è tenuto conto del consumo imposto da normativa che per gli alloggi residenziali prevede che per una superficie maggiore di 50 m^2 la portata erogata sia di $1,067 \text{ litri/m}^2/\text{giorno}$ con una temperatura di mandata dell'impianto di 40°C . Inizialmente il sistema energetico era stato pensato anche per il raffrescamento, dato che la pompa di calore può funzionare anche in tale assetto. Le complicazioni impiantistiche e i costi da sostenere hanno però portato la Cooperativa G. Di Vittorio a rinunciare, almeno per il momento, a tale soluzione in quanto si sta trattando un edificio di classe A che deve comunque mantenere un elevato standard di efficienza energetica e di consumo limitato.

Il programma di funzionamento dell'intero impianto ha delle distinzioni al suo interno:

Sistema	Programma	Parametri
Riscaldamento	On 24/7	Tset_point= 20°C Tmandata= 45°C
ACS	Occ App	Tmandata= 40°C V= $1,067 \text{ l/m}^2/\text{day}$
Ventilazione meccanica	On 24/7	V= $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$
Ventilazione naturale	Occ App	V= $0,5 \text{ vol/h}$

Figura 32: Tabella dei principali sistemi con i rispettivi programmi di funzionamento

I programmi utilizzati sono solamente due: “On 24/7” che è fornito da DesignBuilder è indica un periodo di accensione che dura 24 ore per ogni giorno, per 7 giorni a settimana; “Occ App” che invece è stato creato e fa riferimento alla tabella apporti globali, ovvero segue l’andamento occupazionale dell’edificio. Nel dettaglio ogni macchinario che compone l’impianto presenta delle specifiche tecniche fornite dal costruttore.

Componente	Parametri
Pompa di calore	COPN= 3,91 PN= 6,87 kW
UTA	Eff,total= 70%
Accumulo ACS	V= 280 l
Pannelli Fotovoltaici	Ptot= 9 kW

Figura 33: Tabella dei principali impianti

Tali dati sono stati impostati per ogni macchinario presente, mentre le altre specifiche sono prodotte di default da DesignBuilder.

6.1.4 Simulazione dinamica dell’edificio

La simulazione dinamica effettuata sull’edificio è stata fatta considerando il periodo “Invernale” riportato dalla normativa, il quale parte dal 15 Ottobre e arriva fino al 15 Aprile comprendo così i mesi più critici per quanto riguarda il riscaldamento. I dati solari di input sono quelli forniti dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano) per la suddetta località. L’analisi svolta è stata effettuata per ogni singolo mese, compreso in tale periodo, così da valutare nello specifico i consumi e i fabbisogni che l’edificio necessita. Per cominciare la trattazione si sono analizzate la temperature rilevate nel

periodo invernale, in particolare la temperatura dell'aria interna all'edificio, la temperatura radiante e la temperatura operativa.

Simbolo	Nome	Descrizione
t_a	Temperatura dell'aria interna	Si intende la temperatura interna all'edificio della massa d'aria presente
t_rad	Temperatura radiante	Rappresenta il valore medio delle temperature delle pareti interne all'ambiente, compresi soffitto e pavimenti
t_op	Temperatura operativa	Indica la temperatura percepita dal corpo umano, spesso è calcolabile come media tra la t_a e la t_rad

Figura 34: Tabella delle principali temperature soggette ad analisi

Queste temperature sono tre parametri fondamentali per comprendere il comfort ambientale, il quale rappresenta il vero obiettivo da perseguire per mantenere a proprio agio i Soci della cooperativa che abitano nell'edificio. Si ricorda che alla base dei calcoli che seguiranno, spesso vi è l'uso di strumenti che permettono di rilevare grandezze fondamentali. Un esempio è la t_rad, spesso indicata come temperatura media radiante che si può ricavare ad esempio per mezzo del Globotermometro. A tale proposito sarà presente un'appendice riguardante gli strumenti di misura e le grandezze rilevabili.

Ripartendo dal discorso delle tre temperature, si vuole sottolineare come i dati sono stati ricavati tramite il software ma per una chiarezza maggiore sono stati rappresentati tramite Excel. La loro rappresentazione si basa su stime mensili, tenendo conto dei valori medi rilevati è possibile tracciare il seguente andamento:

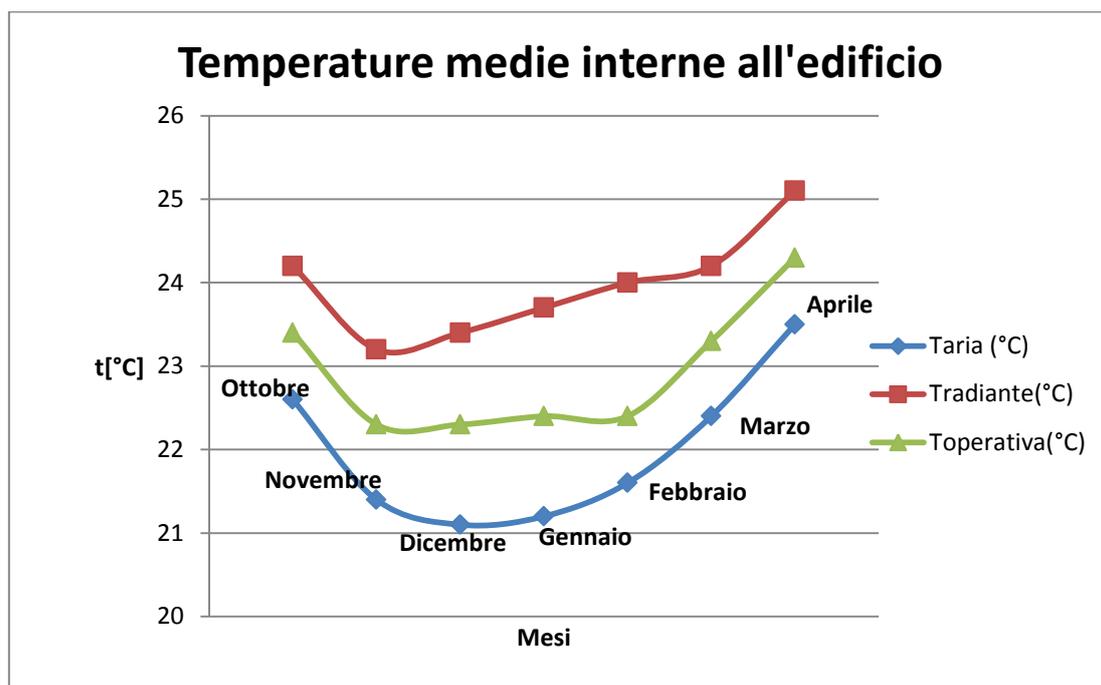


Figura 35: Tabella delle temperature medie rilevate per ogni mese del periodo invernale

Dal grafico si può facilmente riscontrare come la temperatura operativa vari in modo significativo, infatti nel mese di aprile riscontriamo il massimo intorno ai 24°C mentre i minimi sono inferiori ai 22 °C tra i mesi di novembre, dicembre e gennaio. La temperatura operativa è stata calcolata come media aritmetica tra quella dell'aria e quella radiante, per questo motivo è compresa tra le due. Per quanto riguarda la temperatura dell'aria interna e quella radiante si può notare che presentano un andamento simili ed allo stesso tempo determinano i limiti inferiori e superiori. Infatti tra i mesi di dicembre e gennaio si nota come la temperatura dell'aria interna sia minima e sia a poco più di 21 °C, mentre quella radiante sia più alta ma rimanga comunque bassa se confrontata con gli altri mesi, fatta eccezione per novembre. Questo fatto è significativo: Infatti il processo di riscaldamento è molto più lento e difficile nei mesi più freddi, quindi è facile aspettarsi una temperatura dell'aria più bassa nei mesi più critici. Discorso analogo si può invece fare per quanto riguarda la temperatura radiante, infatti risulta necessario scaldare maggiormente l'involucro edilizio così poi da avere un riscontro positivo sul comfort ambientale. Il grafico riportato sopra ha quindi un andamento parabolico compreso tra i 21°C e i 25°C, i mesi di ottobre e aprile presentano i massimi essendo i mesi più esterni. Queste simulazioni temporali, effettuate tramite software, e quelle che seguiranno sono state ottenute tutte con uno "time step" di 6 ore, così da avere dati più precisi anche su periodi molto lunghi.

Un'altra considerazione può essere fatta sfruttando i grafici elaborati da DesignBuilder, questa volta però non si fa riferimento ai valori medi presi per mese ma si è deciso di analizzare come cambia la situazione nelle varie zone dell'edificio. Per comprendere questa nuova analisi, bisogna considerare che l'edificio si erige su 6 piani molto simili tra loro, ognuno dei quali è composto da diversi appartamenti che tra loro presentano caratteristiche quasi identiche. Questi fatti possono portare a fare diverse considerazioni a livello di temperature. Prima di tutto ci si può chiedere se un Socio che vive al primo piano nel primo appartamento goda delle stesse condizioni di comfort di un Socio che vive al sesto piano nel terzo appartamento. Partendo da una domanda che potrebbe sembrare banale, ma di fatto ha un certo grado di interesse, sono state svolte tre simulazioni su tre diversi appartamenti: P1_AP1, P3_AP2, P6_AP3, situati quindi su piani e in zone diverse ma con caratteristiche interne molto simili. Per tutti e tre gli appartamenti si è deciso di considerare i mesi di gennaio, ottobre, aprile. In particolare l'idea è quella di riportare le temperature caratteristiche in funzione del carico termico fornito per il riscaldamento.

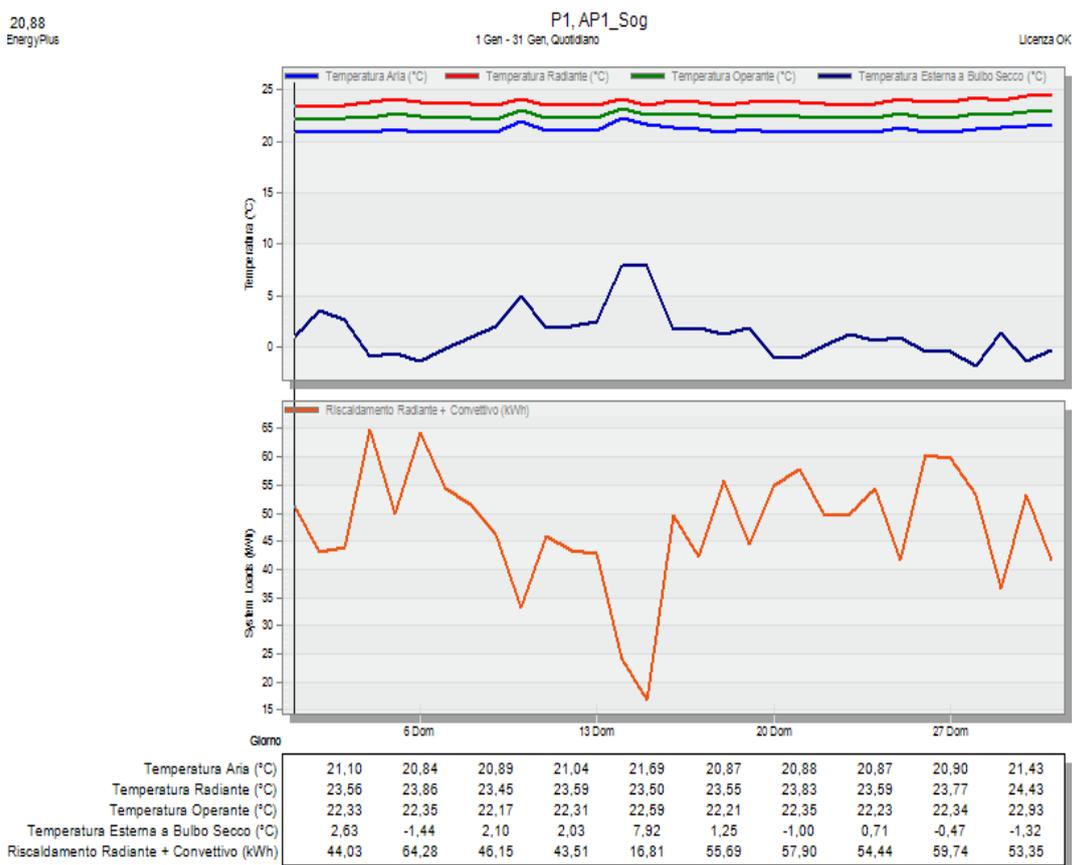


Figura 36: Temperature mese di Gennaio Piano1 Appartamento 1, fonte DesignBuilder

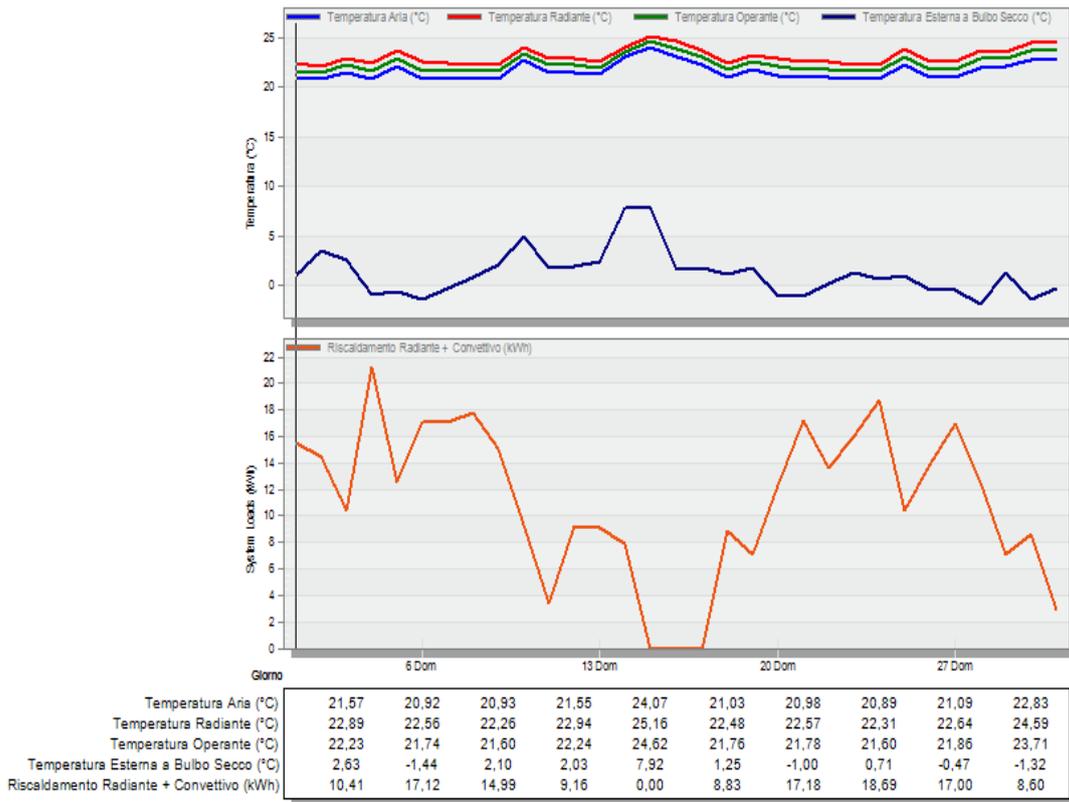


Figura 37:Temperature mese di Gennaio Piano 3 Appartamento 2, fonte DesignBuilder

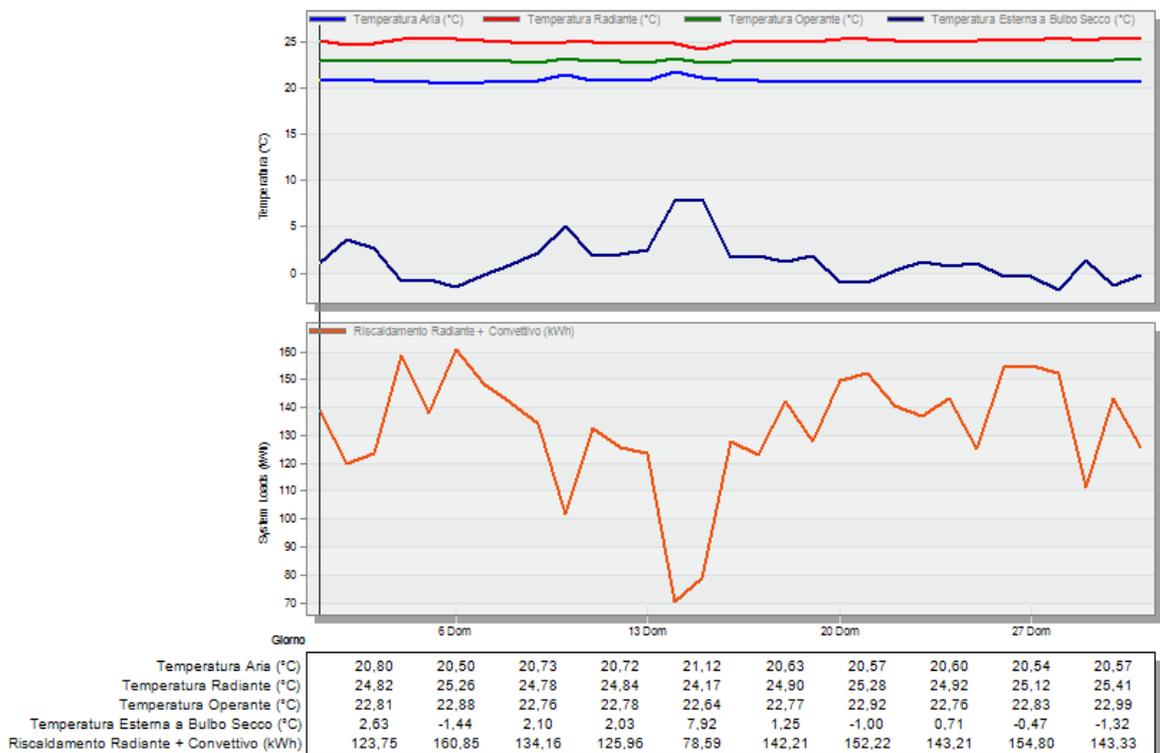


Figura 38:Temperature mese di Gennaio Piano 6 Appartamento 3, fonte DesignBuilder

Questi primi 3 grafici sono rappresentativi del mese di gennaio, si può notare che non vi sono marcate differenze per quanto riguarda le medie effettuate sulla temperatura operante. Questo rappresenta un fattore importante, dato che si cerca di mantenere il più possibile le stesse condizioni per ogni appartamento. Quello che invece si può notare è un fattore non di poco conto, infatti i carichi di riscaldamento risultano essere differenti. In particolare, data la scelta impiantistica adottata, gli appartamenti dei piani centrali risultano favoriti rispetto a quelli dei piani inferiori o ancor più rispetto a quelli dei piani superiori. L'esposizione infatti gioca un ruolo fondamentale e tale situazione è ancor più marcata nei mesi estivi che compongono il periodo invernale. Un altro fattore che di sicuro non deve essere trascurato è la volumetria degli appartamenti, infatti l'appartamento P3_AP2 ha un volume intorno ai 54 m³, mentre gli altri due appartamenti hanno volumi intorno ai 70 m³ e quindi necessitano già di base di un maggior apporto termico.

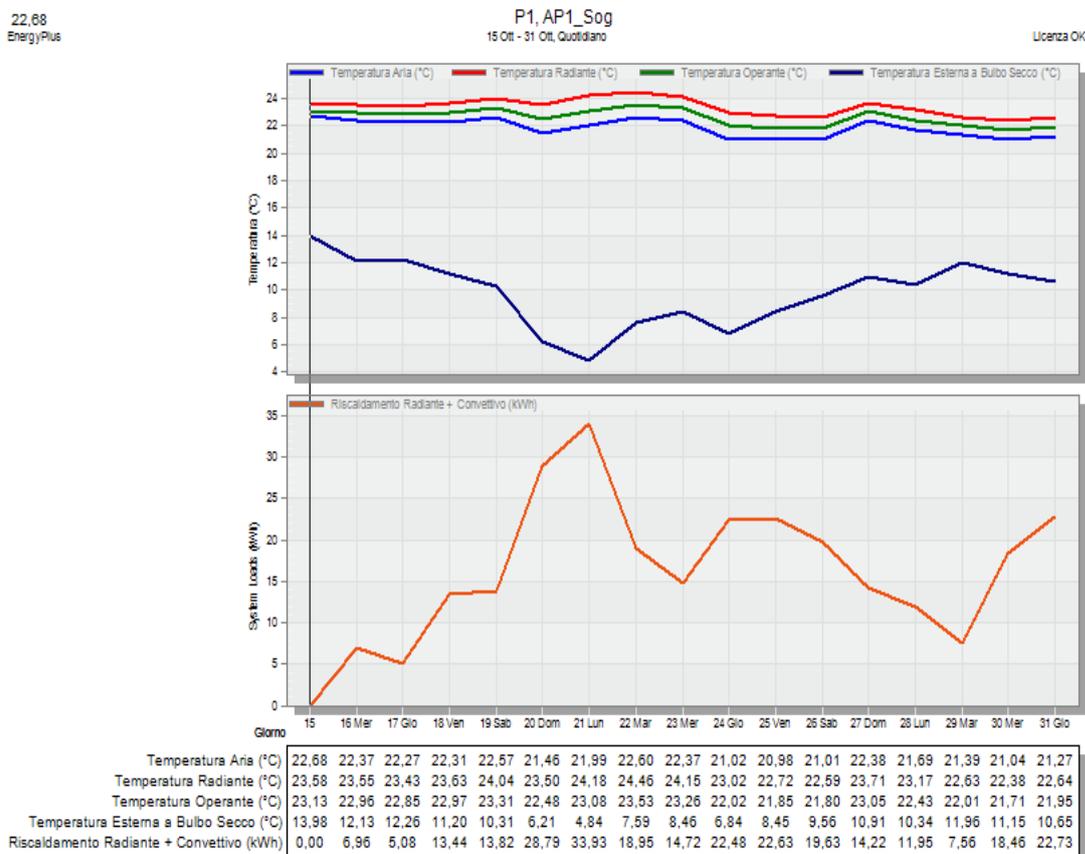


Figura 39: Temperature mese di Ottobre Piano 1 Appartamento 1, fonte DesignBuilder

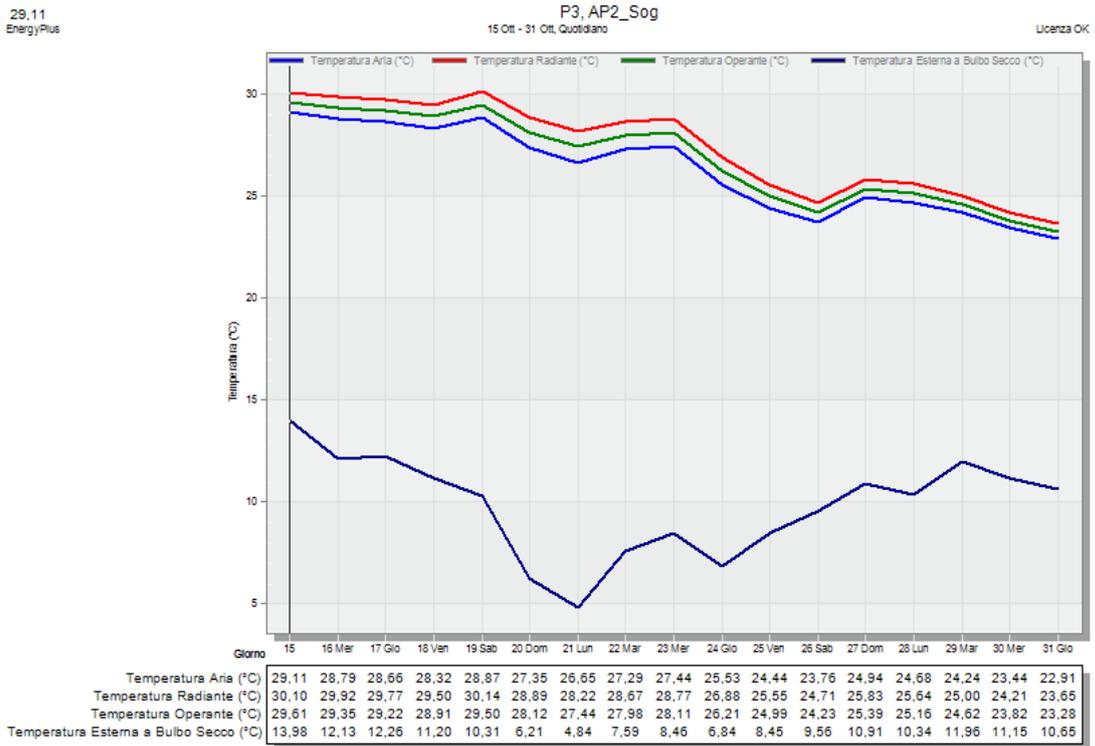


Figura 40: Temperature mese di Ottobre Piano 3 Appartamento 2, fonte DesignBuilder

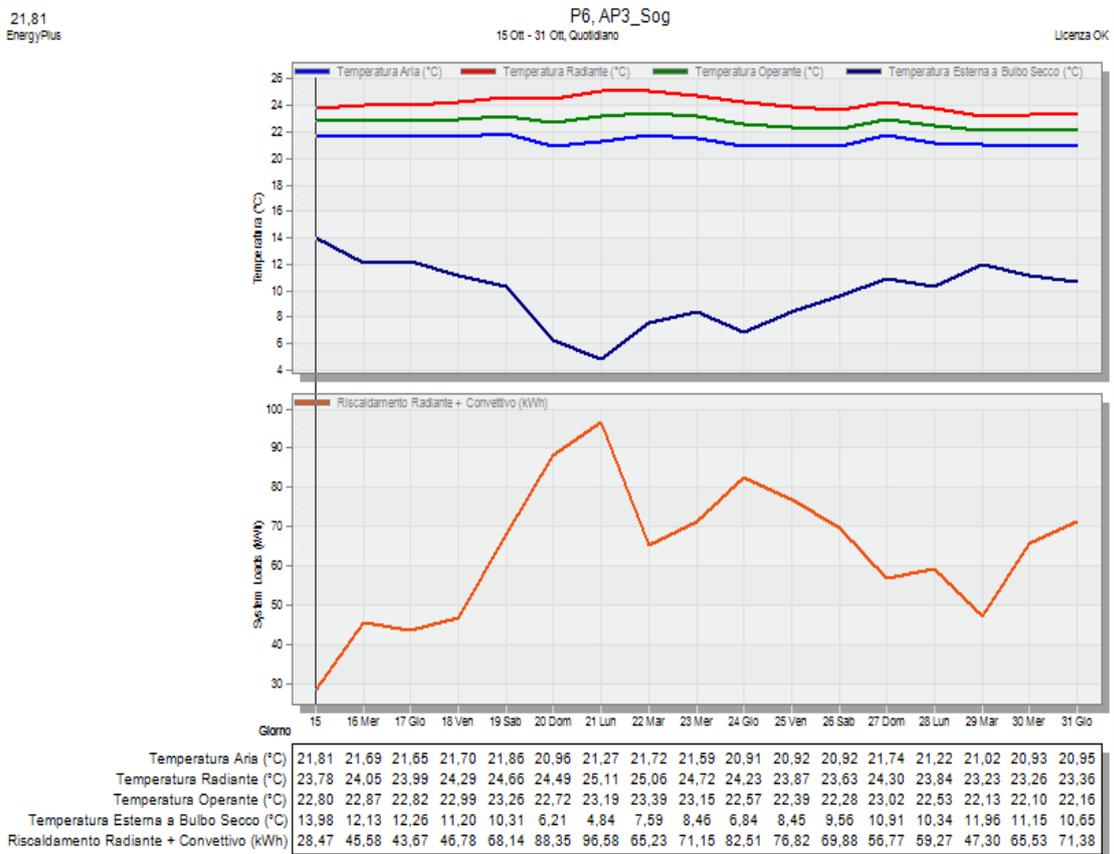


Figura 41: Temperature mese di Ottobre Piano 6 Appartamento 3, fonte DesignBuilder

Andando a considerare il mese di ottobre, si nota come il discostamento delle temperature sia ancor più consistente e vada a toccare tutti i tre casi, ma in particolare l'appartamento del piano centrale. Inoltre le sue temperature sono molto più elevate. Questo fattore è essenzialmente dovuto alla forte coibentazione dell'edificio, che a parità di ventilazione meccanica e naturale porta a creare zone più calde e zone più fredde nei periodi in cui il fabbisogno è basso. Per quanto riguarda i carichi termici forniti dall'impianto, si nota come essi siano nettamente più bassi rispetto al mese di gennaio e come la loro forte riduzione porti a trascurare il fabbisogno per il secondo appartamento del terzo piano. A conclusione si riportano anche i dati di aprile, che avendo le temperature medie più alte può risultare utile come verifica finale.

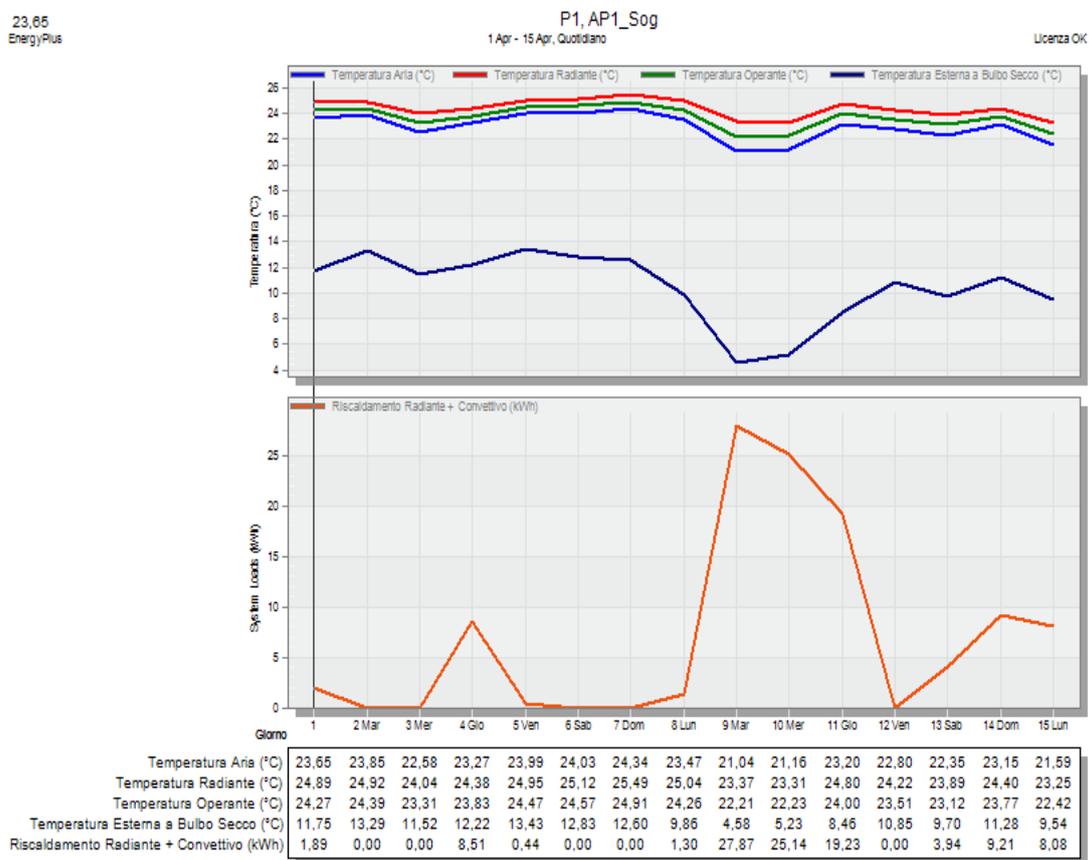


Figura 42: Temperature mese di Aprile Piano 1 Appartamento 1, fonte DesignBuilder

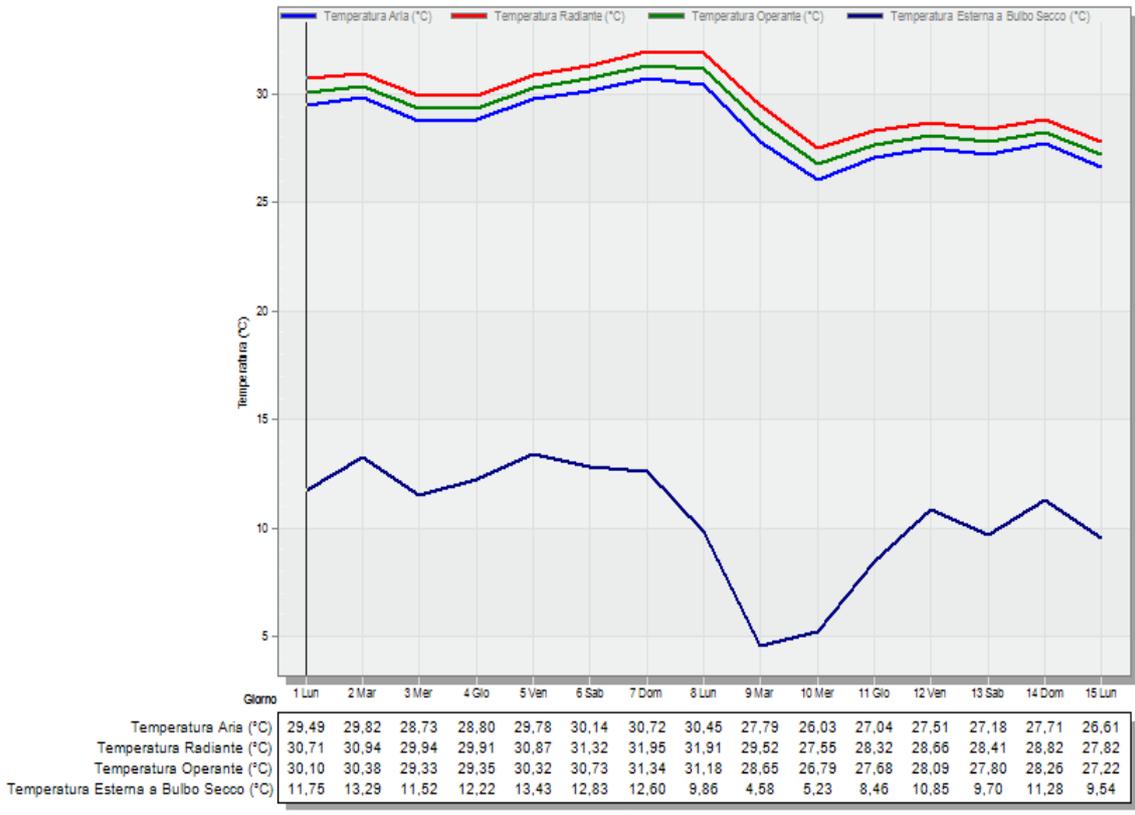


Figura 43: Temperature mese di Aprile Piano 3 Appartamento 2, fonte DesignBuilder

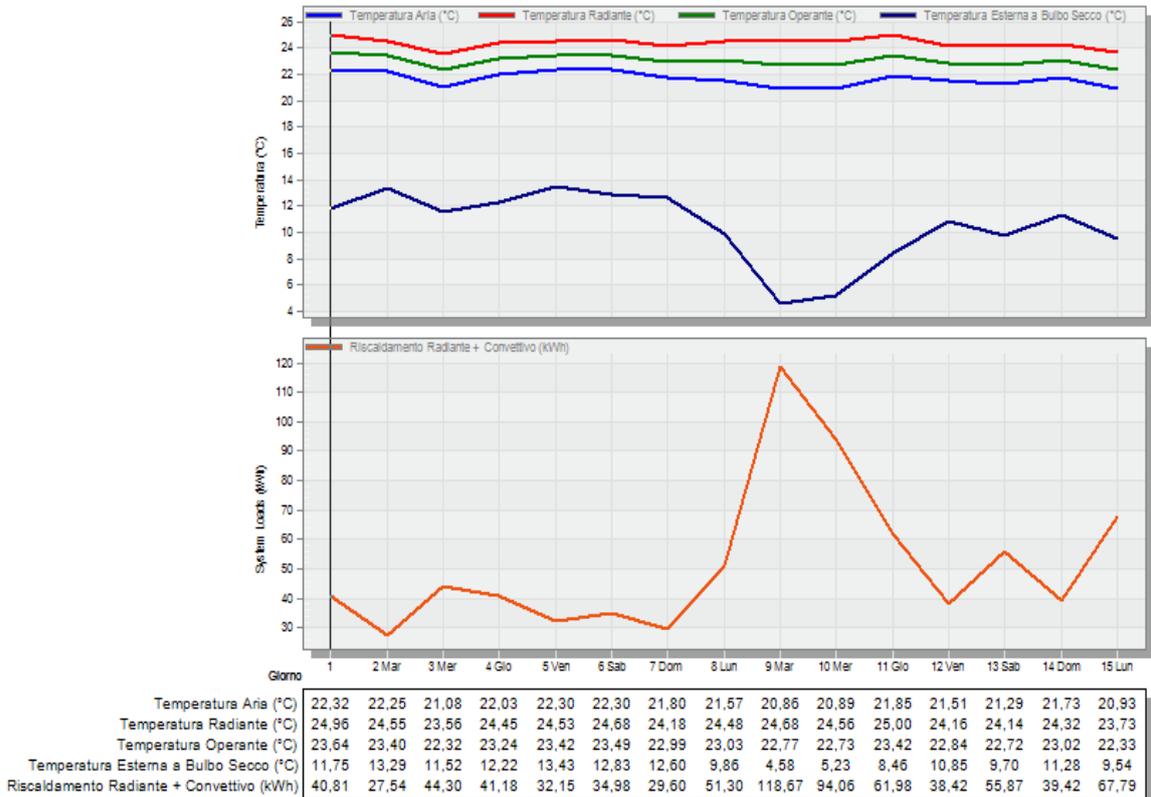


Figura 44: Temperature mese di Aprile Piano 6 Appartamento 3, fonte DesignBuilder

Si nota che le temperature sono leggermente più alte del mese di ottobre, ma anche che i carichi termici quando vengono forniti sono inferiori. Essendo la regolazione impostata sul set point della temperatura dell'aria a 21°C, per temperature superiori il fabbisogno va diminuendo. Una nota positiva è il riscontro che sia ha per ogni singolo appartamento infatti, pur cambiando mese, non si riscontrano anomalie ma solo variazione proporzionali alle condizioni esterne.

Il discorso affrontato fin ora si collega ad un altro aspetto di vitale importanza, riguardante appunto il fabbisogno energetico dell'edificio. Quando si effettua questo tipo di analisi, si va a valutare su DesignBuilder la voce "Riscaldamento radiativo e convettivo" che di fatto rappresenta il flusso termico globale richiesto per ottenere la situazione di comfort ambientale desiderata. La valutazione delle temperature quindi risulta essere connessa con quest'analisi e tramite un'elaborazione dei dati prodotti, si possono facilmente riportare i seguenti grafici. Il primo espresso in kWh su m² rappresenta il flusso termico necessario al raggiungimento delle condizioni di comfort, il secondo invece è espresso in forma % facendo riferimento al totale (il totale è da intendersi sempre come il periodo "Inverno"). Si deve precisare che nel primo grafico la superficie considerata è di 1181 m², ovvero solo la parte che rientra nell'analisi energetica al netto delle superfici escluse.

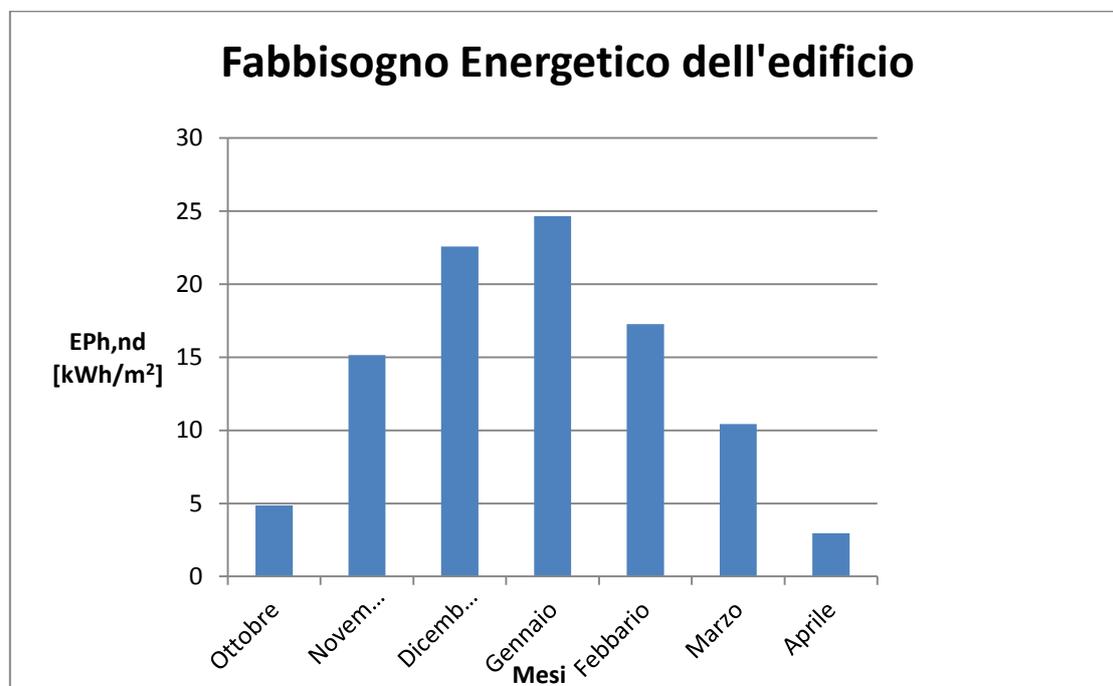


Figura 45: Grafico del fabbisogno energetico dell'intero edificio per ogni mese del periodo invernale

Si può facilmente notare che il periodo richiedente un maggior apporto è quello del mese di gennaio, mentre il mese di aprile ha un fabbisogno energetico basso. Dal punto di vista percentuale infatti gennaio si aggira intorno al 25% e dicembre intorno al 23%. Un analogo discorso viene fatto per i mesi meno critici, come ad esempio ottobre che presenta una percentuale decisamente inferiore rispetto a tutti gli altri mesi con solo il 5% e aprile che non va oltre il 3%. Si deve sottolineare che questi ultimi due mesi sono comprensivi in realtà di molti meno giorni (all'incirca la metà) rispetto agli altri. Essi inoltre presentano le più alte temperature radianti. Questo fatto spiega le differenze di temperatura rispetto agli altri mesi invernali, infatti si potrebbero quasi trascurare tali mesi dal periodo di consumo impostando la regolazione dell'intero impianto su valori ancora più bassi di temperatura. Di seguito è riportata una tabella con i valori espressi in kWh e in % per ogni mese considerato, inoltre è stato anche riportato il totale.

	EPh,nd [kWh]	%
Ottobre	5742	5
Novembre	17892	15,5
Dicembre	26665	23,1
Gennaio	29118	25,2
Febbraio	20405	17,6
Marzo	12311	10,6
Aprile	3485	3
Totale	115618	100

(*)Il fabbisogno energetico è stato arrotondato.

Figura 46: Tabella del fabbisogno energetico dell'intero edificio per ogni mese del periodo invernale

Ultimata questa prima parte, si può passare ad una seconda ed altrettanto fondamentale quella legata ai consumi dell'edificio. Il caso in questione presenta un notevole aspetto innovativo, infatti il consumo di fonti energetiche degli edifici solitamente si suddivide tra elettrico e gas naturale. Questo fatto spesso crea una marcata separazione nei consumi e porta a complicazioni impiantistiche non indifferenti, inoltre l'uso della sola energia elettrica semplifica anche possibili valutazioni economiche, conversioni in energia primaria, ecc... Ora, andando per gradi, si può partire con una considerazione globale sull'intero consumo elettrico dell'edificio e per fare ciò è stata elaborata la tabella che seguirà. I dati utilizzati fanno riferimento alla voce "Site Energy", ovvero l'energia utilizzata dall'edificio.

	Eel,cons [kWh]	%
Ottobre	3155	4,5
Novembre	10134	14,5
Dicembre	16384	23,5
Gennaio	18386	26,4
Febbraio	12558	18
Marzo	7153	10,3
Aprile	1963	2,8
Inverno	69733	100

(*)Il consumo elettrico è stato arrotondato.

Figura 47: Tabella del consumo elettrico dell'intero edificio per ogni mese del periodo invernale

Si può immediatamente notare come la percentuale più alta di consumo si riscontri nel mese di gennaio, seguito da quello di dicembre. Valori molto inferiori invece si rilevano nei mesi estivi come ottobre e aprile. La voce “Eel,cons” indica quindi i valori globali di consumo, quelli lordi dell’intero edificio ma essa ha al suo interno dei sottogruppi di consumo che devono essere analizzati per capire quali elementi pesano maggiormente sulla spesa energetica finale. Questa parte si apre proprio considerando le varie voci che compongono il consumo elettrico dell’edificio, il quale può essere da subito rappresentato tramite un istogramma.

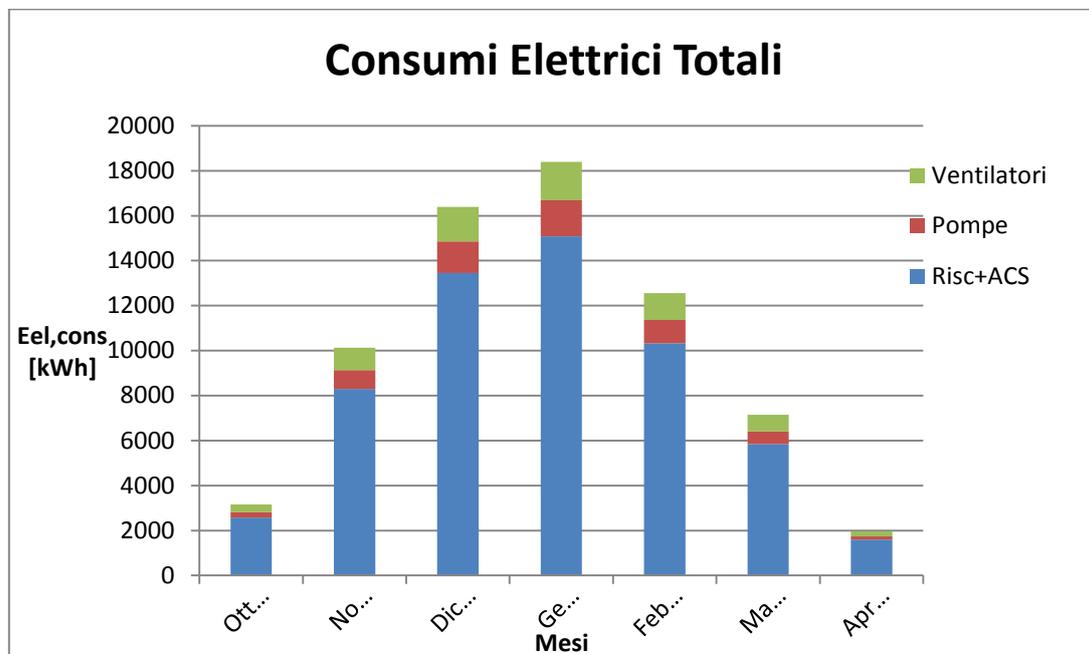


Figura 48: Grafico del consumo elettrico, diviso in base alle classi di consumo, dell’intero edificio per ogni mese del periodo invernale

Tale diagramma permette di evidenziare le principali classi su cui il consumo si articola, in particolare si evidenziano: “Risc+ACS”, “Pompe”, “Ventilatori”. La prima classe è indubbiamente quella che gioca un ruolo fondamentale, poiché presenta sempre valori più elevati. “Risc+ACS” indica il consumo elettrico connesso al riscaldamento dell’acqua sia per quella destinata ai pannelli radianti, sia quella destinata all’utenza per l’ACS. In questo caso la fornitura di energia elettrica è simulata tramite una resistenza interna al principale serbatoio, che ha il compito di mantenere il livello di temperatura dell’ acqua ai valori richiesti. La seconda classe “Pompe” fa riferimento ai compressori

che compongono il circuito, infatti ogni pompa di calore ha la necessità di avere un proprio macchinario di compressione che permetta il ricircolo del fluido al suo interno. L'ultima è sicuramente quella dal peso minore ma non trascurabile, infatti quando DesignBuilder fa riferimento a "Ventilatori" intende il consumo elettrico connesso alla ventilazione meccanica, in particolare alla parte esterna simulata per mezzo delle UTA. Il consumo in questo caso è legato a delle ventole che servono ad immettere ed espellere l'aria, così da favorirne il ricambio negli alloggi.

L'analisi sui consumi non può essere ancora considerata completa, infatti l'edificio 3 presenta l'installazione di pannelli fotovoltaici che anche nel periodo invernale portano un loro contributo non trascurabile.

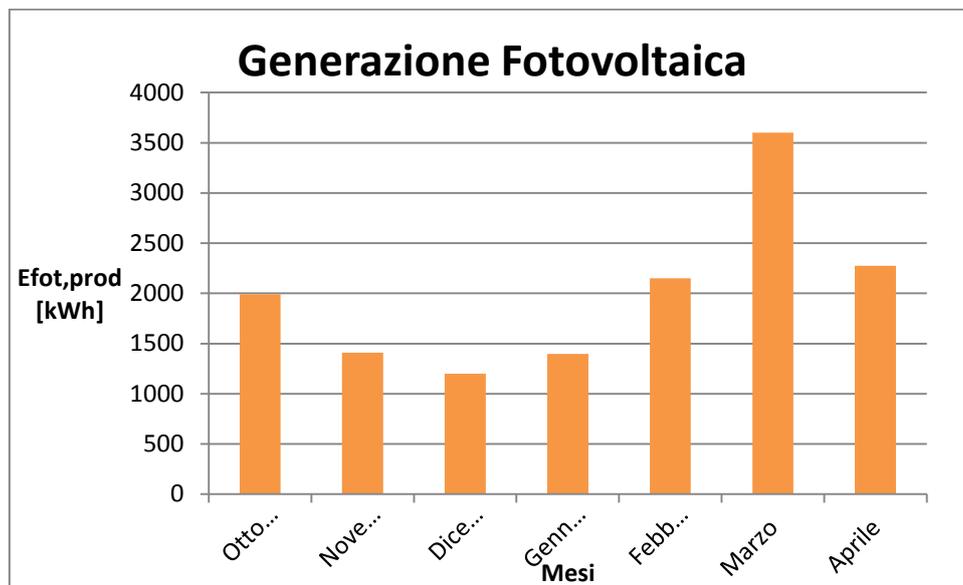


Figura 49: Grafico della produzione di energia elettrica da parte dei pannelli fotovoltaici dell'intero edificio per ogni mese del periodo invernale

Il grafico riporta lungo le ordinate i valori legati all'energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mentre in ascissa ci sono i mesi corrispondenti. Come spesso ci si può aspettare, la produzione ha dei picchi maggiori verso marzo, che solitamente è uno dei mesi invernali più caldi ma anche dei più sereni: infatti un elemento che bisogna tenere

in conto è senz'altro la presenza di nuvole, che fanno da schermo alla radiazione solare. Risulta invece facile da vedere come i mesi centrali, novembre, gennaio e dicembre siano quelli meno incisivi nella produzione dato che sono i mesi con minor ore di luce; ottobre ed aprile sono invece meno indicativi, dato che o giorni per cui vengono considerati sono solo la metà rispetto agli altri.

A questo punto tutte le voci di consumo elettrico sono state analizzate e si possono facilmente riassumere qui di seguito:

	Vent [kWh]	Pompe [kWh]	R+ACS [kWh]	Totale [kWh]	PV [kWh]	Netto [kWh]
Ottobre	339,4	245,4	2570,6	3155,4	1991,6	1163,8
Novembre	998	843,8	8291,8	10133,6	1408,2	8725,4
Dicembre	1529,9	1405,8	13448,2	16383,9	1200	15183,9
Gennaio	1701,1	1602,8	15082,5	18386,4	1395,4	16991
Febbraio	1200,3	1028,8	10328,5	12557,7	2149,2	10408,4
Marzo	745,4	560,2	5847,3	7153	3601,2	3551,8
Aprile	224,7	140,7	1598	1963,5	2275,4	-311,9
Totale	6739	5827,5	57167	69733,5	14021	55712,5

Figura 50: Tabella finale con tutte le voci di consumo, comprese quelle totali e nette, dell'edificio nell'intero periodo invernale

La tabella riportata mostra tutti i dati di consumo elettrico, in particolare i consumi netti che rappresentano la vera spesa che va ad incidere a livello economico. Andando per gradi si può notare come “Risc+ACS” rappresenti la spesa maggiore sul consumo totale e, considerando l'intero periodo “Inverno”, la percentuale si aggira intorno al 82%. Un dato significativo risulta il consumo netto che si ottiene sottraendo semplicemente l'apporto della generazione fotovoltaica al consumo totale. I risultati ottenuti sotto questa voce indicano come gennaio sia ancora il mese con il più elevato consumo, mentre nei mesi di ottobre, marzo e aprile si rilevano valori più bassi; in aprile è addirittura negativo. Questo fatto è dovuto alla generazione da fotovoltaico che supera il consumo ed è quindi più che soddisfatta la domanda. L'ultimo punto non è banale, poiché in questi mesi erano state rilevate temperature nettamente superiori rispetto agli altri, quindi si può supporre che nei mesi non considerati fino ad ora e per cui si può escludere il funzionamento del sistema di riscaldamento la spesa energetica sia coperta per intero dal PV e vi sia anche un guadagno dal surplus energetico.

Un altro aspetto legato ai consumi energetici si può fare riferendosi all'energia primaria, calcolata semplicemente partendo dai consumi totali e convertendoli tramite due fattori di conversione: $f_{P,nren}$ (energia primaria non rinnovabile) e $f_{P,ren}$ (energia primaria rinnovabile). Entrambi i fattori fanno riferimento ad un vettore specifico che può essere il Gas Naturale, il Carbone, la Biomassa liquida o gassosa, ecc... Nel nostro caso si fa riferimento solo all'energia elettrica da rete. Quindi i valori forniti da D.M. sono i seguenti:

$$f_{P,nren} = 1,95$$

$$f_{P,ren} = 0,47$$

$$f_{P,tot} = f_{P,nren} + f_{P,ren} = 2,42$$

$f_{P,tot}$ è il fattore di conversione totale dato dalla somma di quello non rinnovabile e rinnovabile. Anche in questo caso si può riportare una rappresentazione grafica dei consumi di energia primaria riferita alla superficie totale netta dell'edificio.

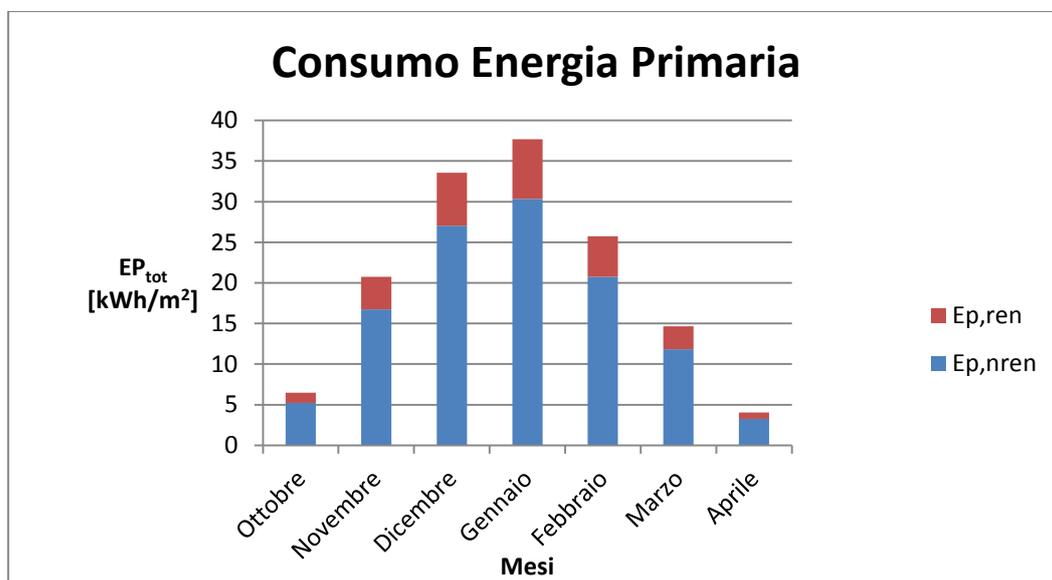


Figura 51: Grafico del consumo dell'edificio in termini di energia primaria per tutti i mesi del periodo invernale

Si nota che avendo applicato uno stesso fattore di conversione a tutti i mesi, i consumi in termini di energia primaria sono aumentati ma l'andamento no. Si può poi riportare una tabella conclusiva con i valori totali riferiti in termini di energia primaria.

	EP _{tot} [kWh/m ²]
Ottobre	6,5
Novembre	20,8
Dicembre	33,6
Gennaio	37,7
Febbraio	25,7
Marzo	14,7
Aprile	4
Inverno	143

(*)Il consumo di energia primaria è stato arrotondato.

Figura 52: Tabella del consumo in termini di energia primaria per tutti i mesi del periodo invernale

Per concludere la trattazione si deve ancora considerare un consumo che riguarda l'intero edificio, quello legato all'acqua. Sotto questa voce "DesignBuilder" riporta valori mensili molto simili tra loro. Infatti il consumo mensile varia solo in base al numero dei giorni di ciascun mese, mentre quello giornaliero è pari a 0,79 m³ e quello legato all'intero periodo invernale è di 144,62 m³. Anche per quanto riguarda questa parte, si svilupperanno alcuni ragionamenti nel paragrafo successivo.

6.2 Problematiche riscontrate a livello abitativo

6.2.1 Ventilazione

Dal punto di vista abitativo sono stati riscontrati dei miglioramenti nel sistema attuale, rispetto a quello che si era inizialmente ipotizzato. Basti pensare che uno dei problemi che si crea più frequentemente, in prossimità dei ponti termici, è il formarsi di muffe a causa di un elevato tasso di umidità. Esse rappresentano un danno per l'immobile e per i Soci che vivono al suo interno, quindi sono state considerate come uno dei punti critici su cui intervenire. Alla base di questo ragionamento sono state effettuate due procedure:

-Sensibilizzare i Soci al ricircolo d'aria, così da evitare ed arginare tale problematica.

-Installare un sistema meccanico per il ricircolo dell'aria.

Il primo punto è stato tenuto in considerazione tramite la ventilazione naturale, la quale gioca un ruolo fondamentale ma non è programmabile per mezzo di strumenti meccanici. Questo fatto ha reso necessario impostarla seguendo il profilo occupazionale dell'edificio, confidando che in tale periodo i Soci decidano di effettuare i ricambi d'aria minimi per depurare l'aria interna degli alloggi. Il secondo punto invece è stato considerato nell'analisi energetica a livello impiantistico ed è risultato avere una percentuale non troppo elevata rispetto al consumo totale, si parla di circa il 10 % nel l'intero periodo invernale. Questo di fatto è un miglioramento che è stato necessario per non dover incorrere nelle problematiche sopra citate, infatti non si è considerato un periodo specifico per il funzionamento ma si è impostato l'arco dell'intera giornata. Date le elevate temperature interne riscontrate nei mesi di ottobre e aprile, si può pensare che un incremento nel ricircolo d'aria da parte della ventilazione meccanica possa portare a miglioramenti anche nei mesi più caldi.

6.2.2 ACS

Un altro fattore di vitale importanza riguarda il consumo di ACS, infatti su tale sistema si possono effettuare diversi ragionamenti. Uno di questi parte proprio dai consumi di acqua che vengono stimati tramite software, considerati legati alla sola ACS poiché quella legata al riscaldamento a pavimento viene ricircolata e non è effettivamente consumata. Partendo da tale ragionamento e considerando il consumo giornaliero del singolo appartamento si possono ricavare diverse considerazioni. Il consumo del singolo appartamento si può facilmente desumere dal consumo totale giornaliero rispetto alle 19 unità installate, questo porta ad avere un consumo i-esimo utilizzabile per stimare le seguenti percentuali:

Consumo giornaliero singolo appartamento [m ³]	0,042
Consumo ACS rispetto a singolo serbatoio [%]	14,85
Ricircolo per sistema di riscaldamento rispetto a singolo serbatoio[%]	85,15

Figura 53: Tabella della distribuzione di acqua destinata al riscaldamento e all'ACS

La tabella sintetizza molto bene come il serbatoio di accumulo venga usato e di come l'uso destinato all'ACS non superi mai il 15% del totale. Questo ragionamento risulta interessante per diversi motivi, uno è senz'altro legato al fatto che ogni mese una certa quantità di acqua andrà a consumarsi, producendo lo svuotamento del serbatoio. In condizioni ideali questa situazione tiene conto dell'acqua usata per l'ACS, mentre eventuali perdite non sono qui considerate. Si può quindi stimare quanta acqua viene consumata mensilmente e quante volte il serbatoio deve essere rifornito per mantenere il livello iniziale inalterato. Tale considerazione viene fatta prendendo in esame un mese di 31 giorni.

Consumo mensile ACS [m ³]	1,3
Numero di rifornimenti mensili per singolo serbatoio	4,6

Figura 54: Tabella del consumo di acqua per l'utenza ACS

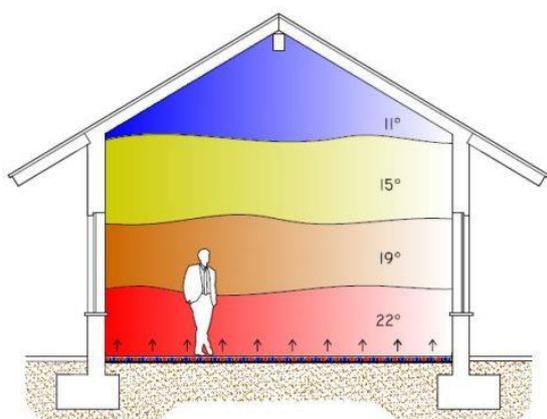
Si può quindi pensare che 5 rifornimenti mensili coprano eventuali anomalie, come ad esempio un uso superiore rispetto alla media, perdite o altre situazioni che si discostano dall'uso giornaliero standard di ACS. Tale dato ha una certa potenzialità infatti, oltre a stabilire un controllo generale da effettuare sul serbatoio, permette di svincolare il consumo di ACS dal ricircolo per il sistema di riscaldamento che nei mesi fuori dal periodo di analisi ha molta rilevanza. Se si considera ad esempio il mese di agosto, nel quale non vi è di fatto necessità di far circolare acqua nei pannelli radianti a pavimento si può notare come l'unica spesa energetica sia quella per ACS. Il modello usato su DesignBuilder, purtroppo, non permette di svincolare né la spesa energetica, né di dividere il serbatoio di acqua in due sottosistemi così da poterli analizzare separatamente ma si possono applicare le equazioni di bilancio energetico che con determinate ipotesi possono condurre a dei risultati. Un'altra osservazione riguarda la temperatura di accumulo, la quale è fissata a 60 °C dato che permette sia di soddisfare la regolazione di mandata dell' ACS il cui valore non supera mai i 40°C ed inoltre di eliminare il problema della Legionella. Tale batterio è infettivo per l'uomo e prolifera a temperature comprese tra i 25°C e i 42 °C, ma a temperature superiori ai 55 °C non è più in grado di sopravvivere.

.

6.2.3 Riscaldamento

Per quanto riguarda il riscaldamento si è adottata la tipologia a pavimento a pannelli radianti, il quale crea una miglior distribuzione del calore nella zona abitativa ma che in certi casi può risultare non sufficiente; ad esempio nei bagni si è ipotizzata l'idea di inserire dei radiatori a muro per migliorare lo scambio termico.

RISCALDAMENTO A PAVIMENTO



RISCALDAMENTO TRADIZIONALE

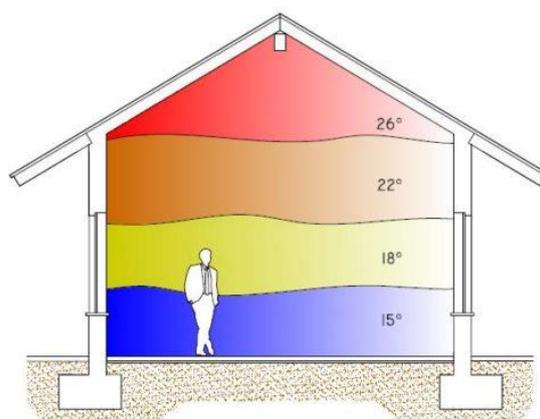


Figura 55 : differenze tra due sistemi di riscaldamento, fonte Infobuild

Come si può notare dalla tipica immagine di distribuzione del calore, il riscaldamento a pavimento consente di avere delle distribuzioni di temperatura differenti rispetto ad un sistema tradizionale. In particolare si riducono le perdite di calore creando dei moti d'aria calda che restano a contatto con gli occupanti. Questo fattore fa sì che la sorgente che produce calore non debba essere ad una temperatura troppo elevata, rispetto ai sistemi tradizionali, così da raggiungere uno stato di comfort adeguato riducendo allo stesso tempo i costi di produzione. Inoltre le zone in cui non è richiesta una temperatura di comfort rimangono a valori più bassi, permettendo così di ridurre gli sprechi. Tale tipologia va detto che si abbina bene agli accumuli termici, sfruttando tecnologie rinnovabili come il fotovoltaico, il solare termico, le pompe di calore, le pompe geotermiche e tutte quelle tipologie di impianto che spesso hanno problemi di intermittenza. Un'osservazione va fatta sui dati tecnici che sono stati forniti ed utilizzati, infatti la relazione tecnica riportata dalla Cooperativa G. Di Vittorio indica valori di massimi di temperatura del pavimento radiante di 29°C e della temperatura di mandata di acqua calda di 55 °C, valori che sono stati ampiamente rispettati nell'analisi fatta senza compromettere le condizioni di comfort ambientale. La situazione rimane invece più complicata per quanto riguarda la pompa di calore e la continuità di servizio. In questo caso i dati nominali usati sono nelle migliori condizioni possibili ma, al variare della temperatura esterna dell'aria e della temperatura interna dell'acqua, il valore di efficienza registra cambiamenti significativi che di fatto vanno ad influire sulle caratteristiche globali dell'impianto. A titolo di esempio la Clivet fornisce un grafico molto utile per capire il campo di funzionamento della pompa di calore.

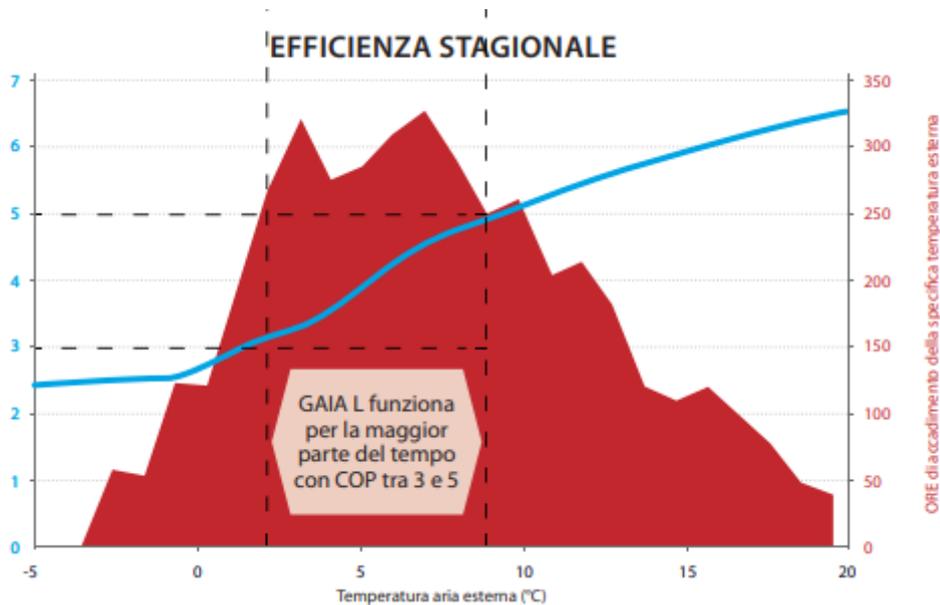


Figura 56: efficienza pompa di calore_ Clivet, fonte sito clivet

Tale grafico compara la temperatura dell'aria esterna, le ore per cui tale temperatura è in genere presente durante il periodo invernale e la corrispondente efficienza della pompa di calore. Come mostrato in figura l'andamento non è costante ma per la maggior parte del tempo si tiene in media tra valori di COP compresi tra 3 e 5, quindi l'uso di un COPN pari a 3,91 sembra fornire una scelta adeguata per il dimensionamento. Da questa considerazione le temperature ricavate nell'edificio approssimano in modo adeguato l'andamento reale.

6.2.4 Raffrescamento

Questa sezione non è stata ancora affrontata dal punto di vista tecnico, poiché attualmente non è presente un vero e proprio sistema di raffrescamento interno all'edificio. L'aspetto però del comfort estivo non va trascurato, infatti nella località di Settimo Torinese si andrà a vedere come il periodo "Estivo" si estenda da quando il sistema di riscaldamento viene spento fino a quando viene riacceso. Questo caso che va quindi dal 15 Aprile al 15 Ottobre sarà interpretato tramite delle teorie e dei modelli illustrati nel capitolo successivo. Nel caso in cui si riscontrino situazioni non adeguate al comfort interno dei Soci, si potrà valutare l'uso di sistemi ulteriori per migliorare le condizioni attuali.

Capitolo 7

7.1 Introduzione

L'introduzione a questo capitolo riguarda elementi che caratterizzano le teorie più accreditate nel campo del "Benessere Termoigrometrico", tra cui quella non utilizzata ma di grande valore conosciuta con il nome di "Teoria di Fanger". Per questi aspetti maggiormente teorici, si rimanda all'appendice del capitolo settimo. Ora si hanno elementi sufficienti per passare ai casi di applicabilità, infatti è buona pratica effettuare anche questo tipo di analisi quando si va trattare il caso di un edificio residenziale. A questo proposito le normative UNI EN 7730 e UNI EN 15251 stabiliscono tre categorie di comfort con i rispettivi intervalli di PMV e PPD.

Categoria	PPD%	PMV
A	< 6%	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10%	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15%	$-0,7 < PMV < +0,7$

Figura 57: Tabella dei valori PPD e PMV per classe di comfort

Tali valori saranno di grande utilità per chiunque voglia adottare tale metodo di analisi.

Per quanto riguarda la teoria di Fanger va ancora sottolineato come gli intervalli di comfort, indicati dalla normativa, non siano comunque universalmente sicuri nell'assicurare il benessere termoigrometrico. Essi sono in grado di assicurare che

l'individuo non lamenti sensazioni di caldo/freddo nel suo complesso. La questione infatti che deve essere ancora tenuta da conto è quella riguardante la disomogeneità dei parametri ambientali, che creano un "Discomfort Locale". Lo stesso Fanger arrivò a comprendere e sottolineare le principali cause legate a questo stato locale che l'individuo può percepire come sensazione di disagio. Le cause sono principalmente quattro:

- 1) Elevata differenza verticale di temperatura (aria stratificata).
- 2) Pavimento troppo caldo o troppo freddo.
- 3) Correnti d'aria.
- 4) Elevata asimmetria della temperatura media radiante.

Sarebbe interessante analizzare ogni punto e capire che condizioni lo riguardano, ma questo lo lasciamo agli appassionati. Sembra invece intuitivo riportare una tabella che riassume tutto quanto detto sino ad ora, partendo dagli indici PMV per arrivare al concetto di "Discomfort Locale".

Classe	Comfort Globale		Discomfort Locale			
	PPD (%)	PMV	3) (%)	1) (%)	2) (%)	4) (%)
A	<6	-0.2<PMV<+0.2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0.5<PMV<+0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7<PMV<+0.7	<30	<10	<15	<10

Figura 58: Tabella dei valori di comfort e discomfort per ogni classe

La tabella sopra riportata è proposta dalla UNI EN ISO 7730 e considera i vari punti del “Discomfort Locale”, assegnando quindi una percentuale d’insoddisfazione per ognuno di essi. Un’ultima osservazione va fatta ancora per quanto riguarda la descrizione di ogni categoria, per capire come mai siano stati assegnati determinati valori agli intervalli di accettabilità in base alla classe di riferimento. In questo caso ci viene in aiuto la normativa UNI EN 15251 che definisce ogni classe in base alla seguente spiegazione:

-Classe A: Alto livello di aspettativa; è raccomandata per spazi occupati da persone molto sensibili e fragili che hanno bisogno di requisiti specifici (bambini, malati, ecc..).

-Classe B: Livello normale di aspettativa; utilizzata per le nuove costruzioni o per le ristrutturazioni.

-Classe C: Un moderato livello di aspettativa; utilizzata per edifici esistenti.

-Classe D: Valori al di fuori dei criteri delle classi precedenti; questa categoria dovrebbe essere accettata solo per una limitata parte dell’anno.

Con questa prima parte si esaurisce la “Teoria di Fanger”, una delle più accreditate nel valutare il comfort abitativo data la sua potenzialità. Essa non verrà però adottata per il caso studio, infatti si vuole sottolineare il fatto che vi sono anche altre teorie applicabili al medesimo ambito, tra le quali si ricorda la “Teoria del Comfort Adattivo”. Quest’ultima vedremo sarà invece utilizzata per l’analisi del comfort durante la stagione estiva.

7.2 Teoria del Comfort Adattivo

Anche in questo caso senza addentrarci nella teoria che vi è alla base (si rimanda sempre all'appendice del capitolo settimo) e nelle formulazioni specifiche che portano alla determinazione dei vari parametri, ci affidiamo alla normativa europea UNI ISO 15251 che riporta l'equazione sopra indicata con il calcolo delle costanti:

$$T_{CO} = 0,33T_{Out} + 18,8$$

Inoltre per ogni categoria è definito un ΔT_{CO} che corrisponde alla fascia di accettabilità.

Categoria	ΔT_{CO} [°C]
I	Upper Limit: +2 Lower Limit: -3
II	Upper Limit: +3 Lower Limit: -4
III	Upper Limit: +4 Lower Limit: -5

Figura 59: Tabella con gli intervalli di accettabilità per ogni classe di comfort

Anche in questo caso, come già visto per il modello di Fanger, ci sono dei limiti di applicabilità in base alla dotazione impiantistica (impianto di climatizzazione estivo o invernale, sistema di ventilazione meccanica, apertura delle finestre da parte dell'utenza) ma anche da variabili come l'umidità relativa, la velocità dell'aria, la radiazione solare, ecc..

Tale modello presenta però caratteristiche in grado di tenere in considerazione la variabilità delle condizioni climatiche, le strategie passive di controllo ambientale e la

capacità dell'utenza di agire direttamente sulle variabili ambientali. Inoltre è di più semplice applicabilità ed è per questo che verrà utilizzato nel paragrafo successivo.

7.3 Analisi comfort caso studio

In questo paragrafo si è deciso di analizzare la situazione durante il periodo “Estivo” per quanto riguarda l'edificio del caso studio. Questo periodo va esattamente dal 15 aprile al 15 ottobre. L'analisi si basa sull'idea di confrontare le temperature operative fornite dal modello, che determinano il comfort dei Soci, con i valori ricavabili tramite l'equazione del “Comfort Adattivo” e questo procedimento si effettua per tutti i giorni del periodo considerato. L'idea è quella di ricavare una temperatura ideale interna all'edificio, sfruttando i dati climatici esterni e di confrontarla con quella elaborata dal software. Naturalmente vi saranno degli scostamenti tra le due, i quali porteranno a capire in che range di accettabilità (Categoria I,II,II) ci troviamo. L'indagine quindi è abbastanza immediata, ma per condurla bisogna partire dal considerare che la temperatura esterna utilizzata non è il semplice dato climatico ma una media ponderata sui 7 giorni precedenti, tale valore quindi si calcola con la seguente formula:

$$T_{med_i} = (T_{out_{i-1}} + 0,8T_{out_{i-2}} + 0,6T_{out_{i-3}} + 0,5T_{out_{i-4}} + 0,4T_{out_{i-5}} + 0,3T_{out_{i-6}} + 0,7T_{out_{i-7}})/3,8$$

Per ogni T_{med_i} calcolata con la precedente formula, avremo un valore di Top_i fornita dal software e confrontabile con i valori calcolati tramite l'equazione del “Comfort Adattivo”.

Ora che gli strumenti di calcolo sono chiari, si vuole sottolineare come vi siano dei parametri che agiscono maggiormente sulle condizioni rilevate all'interno dell'edificio. In particolare si considera che la ventilazione naturale, le infiltrazioni esterne e la ventilazione meccanica siano i fattori che maggiormente modificano le condizioni termiche interne nel periodo estivo (dato che non vi è un vero e proprio sistema di raffrescamento). La ventilazione naturale è già stata analizzata nel secondo capitolo e si basa sui valori forniti da normativa in funzione del programma “Occ App”, mentre la ventilazione meccanica era stata impostata sul valore minimo di portata con programma di funzionamento “On 24/7”. L'aspetto che fino ad ora non era stato analizzato è invece quello delle infiltrazioni esterne, che nel caso considerato è il parametro che agisce maggiormente sulle temperature interne all'edificio. Le “Infiltrazioni Esterne” sono quindi definite come scambi di calore attraverso le infiltrazioni d'aria, le quali non sono

volontarie ma sono dovute alle caratteristiche dell'edificio. A tale proposito si rimanda alla norma UNI-EN 12831 la quale fornisce le formulazioni e i parametri per il calcolo delle infiltrazioni esterne. In base a queste considerazioni si è deciso di analizzare due casi:

A) Infiltrazioni minime (Ipotesi usata anche nel caso invernale).

B) Infiltrazioni massime.

Partendo dal caso A, vediamo subito come la temperatura ottimale rilevata nel periodo estivo assuma valori che vanno dalla banda media fino a superare il limite superiore della III Categoria.

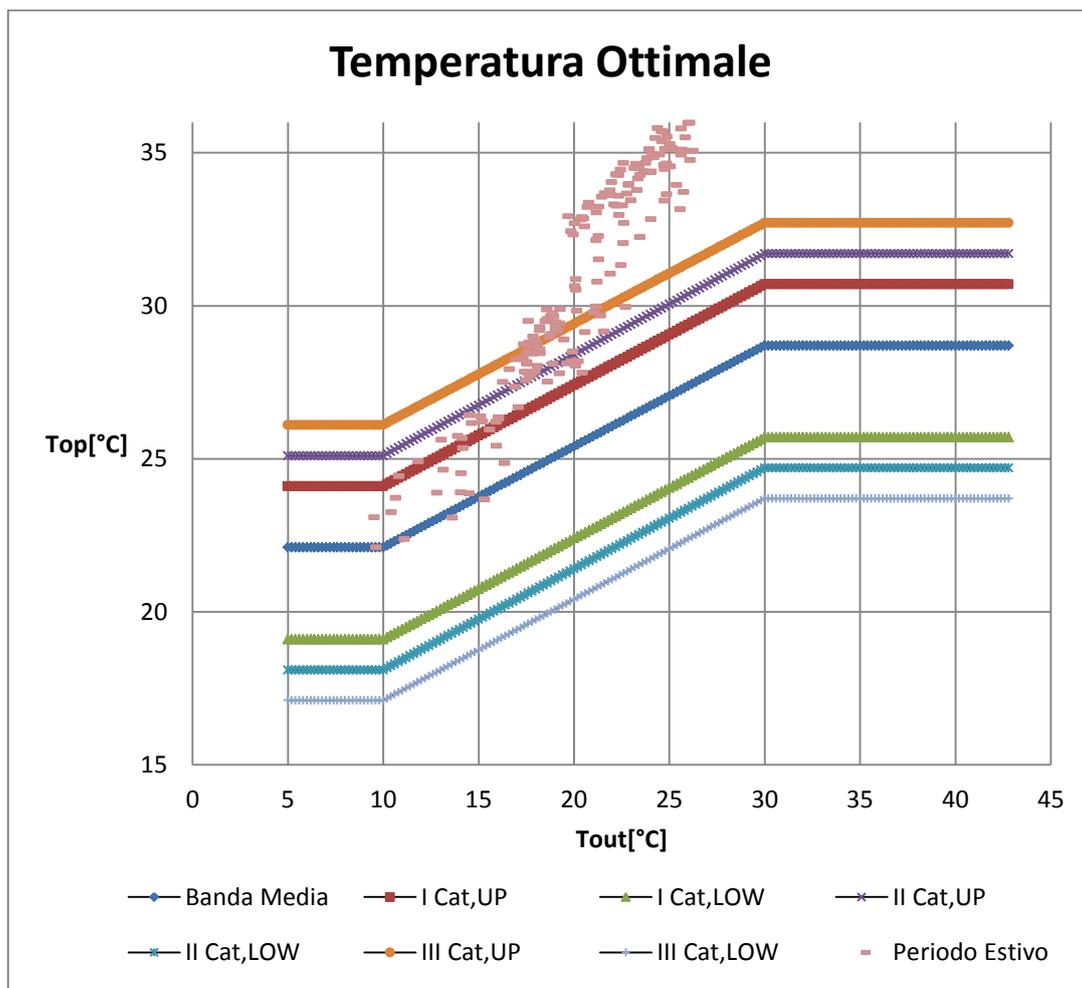


Figura 60: Grafico con i valori di temperatura ottimale per il periodo estivo

Come si vede dal precedente grafico i valori in rosa indicano le temperature operative che si vanno a collocare tra le varie bande delle tre Categorie, le quali dal punto di vista fisico sono paragonabili alle categorie A,B,C riportate nella descrizione della Teoria di Fanger. Si nota facilmente come nel caso A i superamenti sono molteplici e questo fa già capire come le condizioni di comfort non siano rispettate per un periodo molto lungo. A tal proposito sembra interessante andare a vedere percentualmente il “Discomfort” rilevato mese per mese.

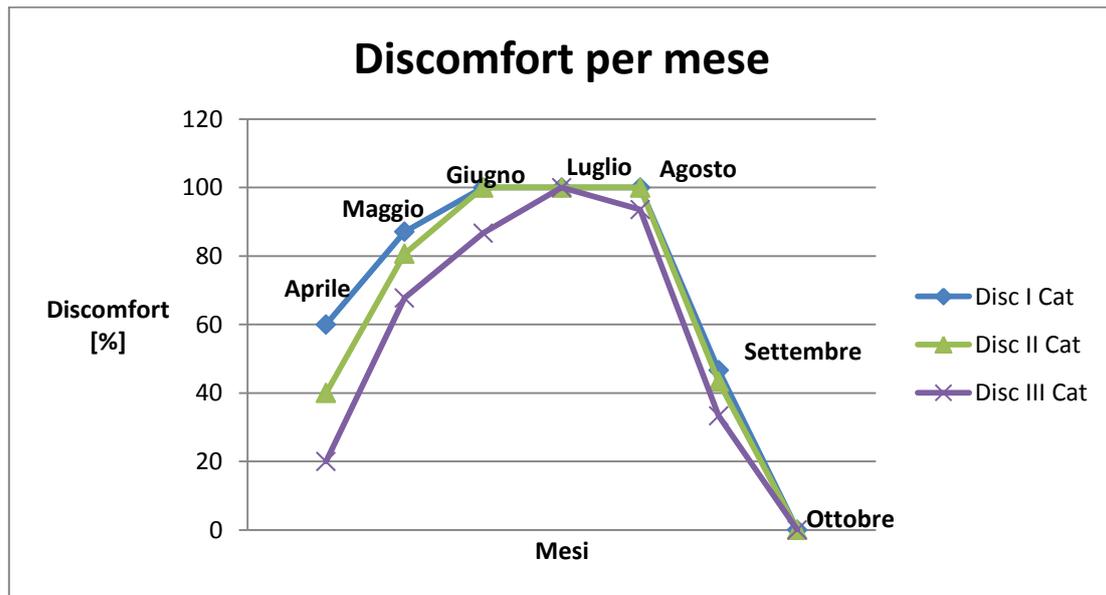


Figura 61: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dei limiti assegnati, valutati su ogni mese

Si nota come i mesi più critici siano giugno, luglio ed agosto, per tutte e tre le Categorie, infatti le ore di superamento sono molte e quindi le condizioni di comfort non sono adeguate. L’unico caso che rientra completamente nel range di tutte le categorie è ottobre.

Analizzata questa situazione sembra interessante capire per mese la percentuale di superamento di ogni mese per la categoria considerata. Questo fatto non è banale, infatti mostra la criticità di ogni mese, così da poter comprendere quale sia effettivamente il periodo che pesa di più nel “Discomfort”.

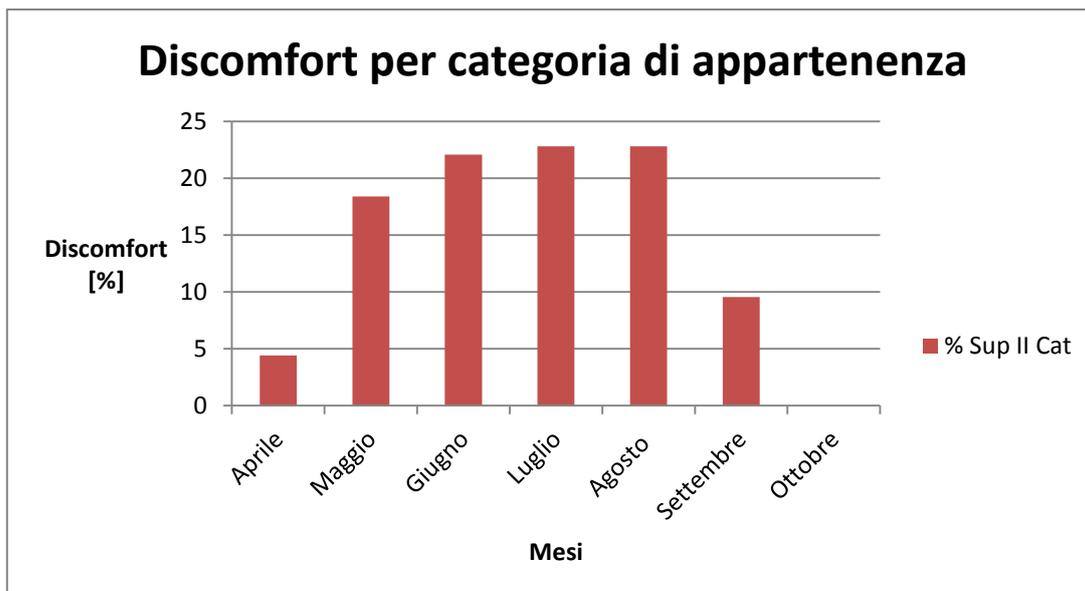


Figura 62: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento per la categoria di interesse, valutati sull'intero periodo

Si nota, come già visto in precedenza, che i mesi centrali più caldi siano i più critici. In particolare se andiamo a considerare solo la II Categoria, quella di nostro interesse, vediamo come luglio ed agosto presentino valori percentuali più alti in assoluto e siano quindi i mesi con la peggior situazione. Un ultimo grafico riassuntivo è invece legato all'intero periodo estivo che riporta in modo globale la percentuale di superamento ed è quindi la situazione su cui bisogna agire per rientrare maggiormente nei limiti assegnati.

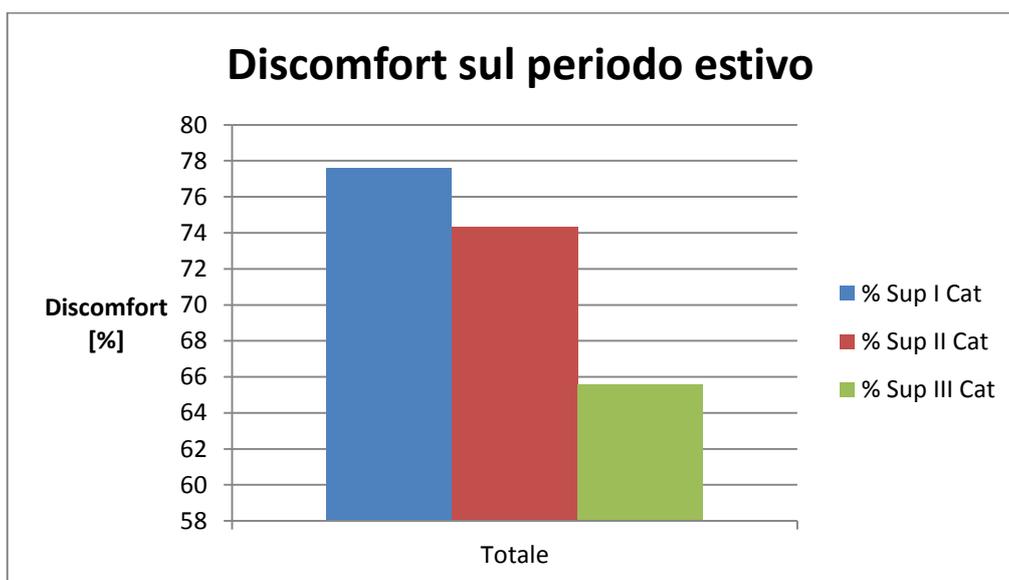


Figura 63: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dell'intero periodo estivo

Si osserva che la situazione più conservativa, adottata per il periodo invernale, risulta invece parecchio dannosa per il periodo estivo. Infatti se si va a considerare la categoria di interesse si ha una percentuale di superamento del 74%, valore molto alto. Vale quindi la pena di analizzare il caso B, dove le infiltrazioni sono massime.

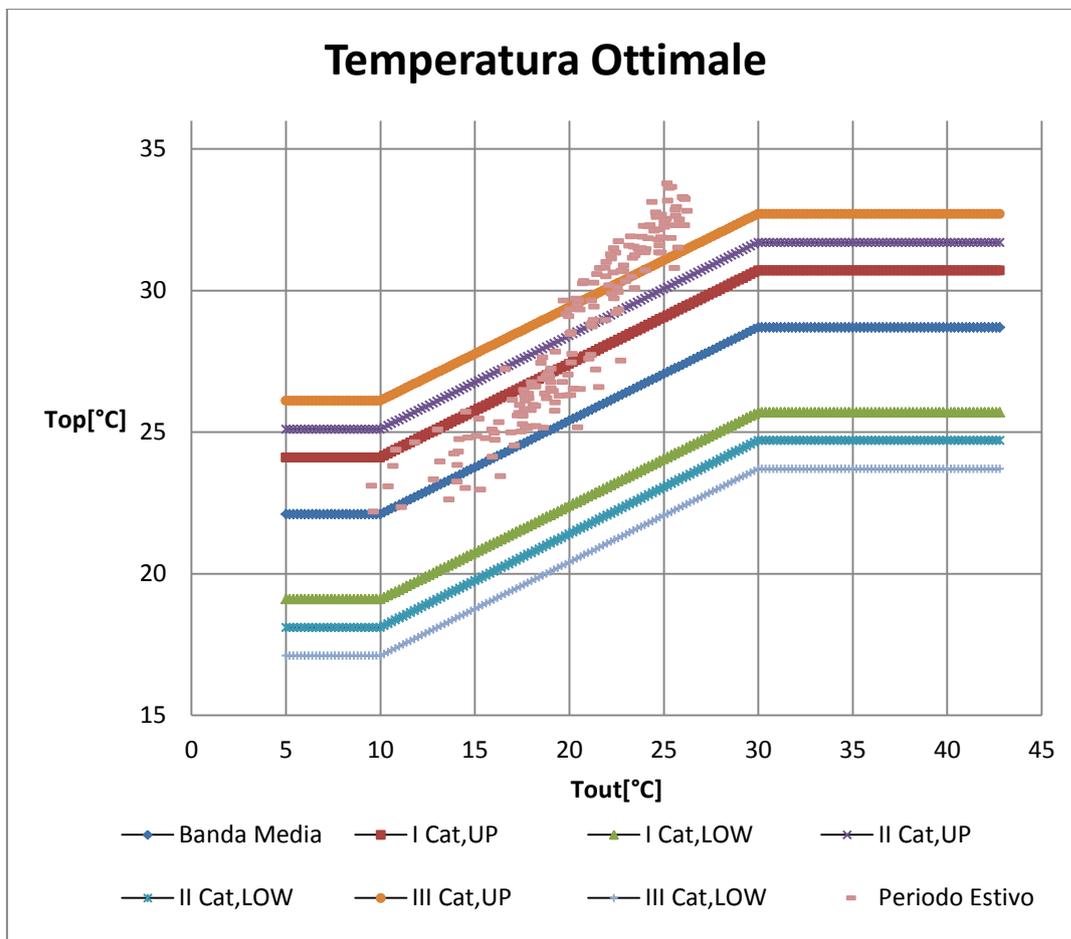


Figura 64: Grafico con i valori di temperatura ottimale per il periodo estivo

Già da un primo sguardo si può notare come i valori siano più raccolti e maggiormente compresi nelle fasce delle tre categorie, questo fatto permette di capire che un aumento delle infiltrazioni d'aria nell'edificio migliori il comfort estivo. Ciò si può riscontrare anche per quanto riguarda la percentuale di "Discomfort" valutata mese per mese.

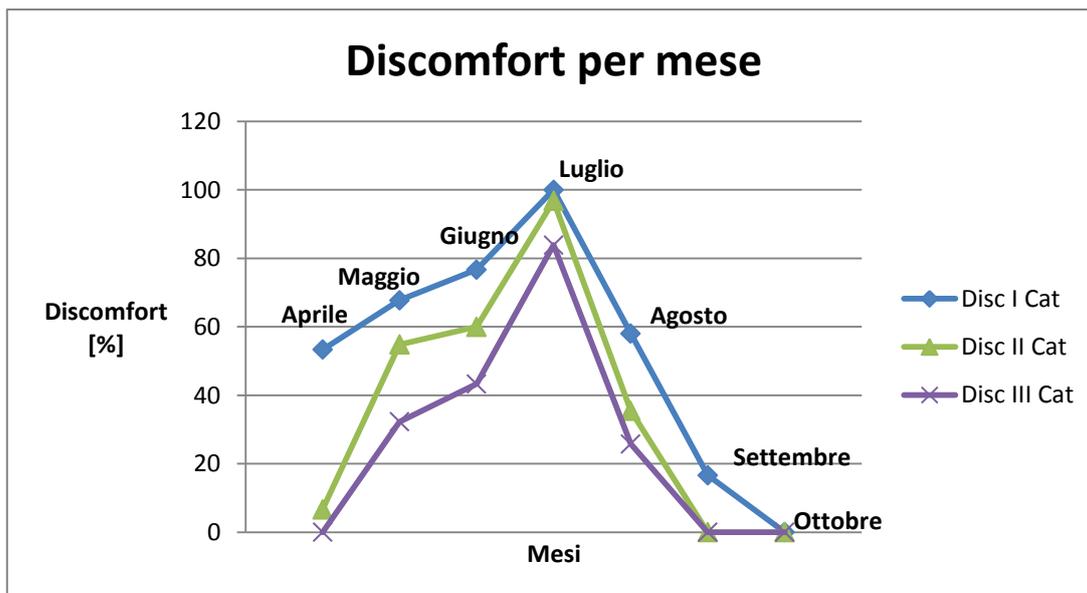


Figura 65: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dei limiti assegnati, valutati su ogni mese

Qui si nota come ci sia un netto miglioramento generale per quanto riguarda la percentuale di “Discomfort”, in particolare i massimi prima comprendevano più mesi, mentre ora solo il mese di luglio assume valori nettamente più alti. Miglioramenti significativi si riscontrano in giugno e agosto, inoltre va sottolineato come tra le varie categorie vi sia una più marcata differenza.

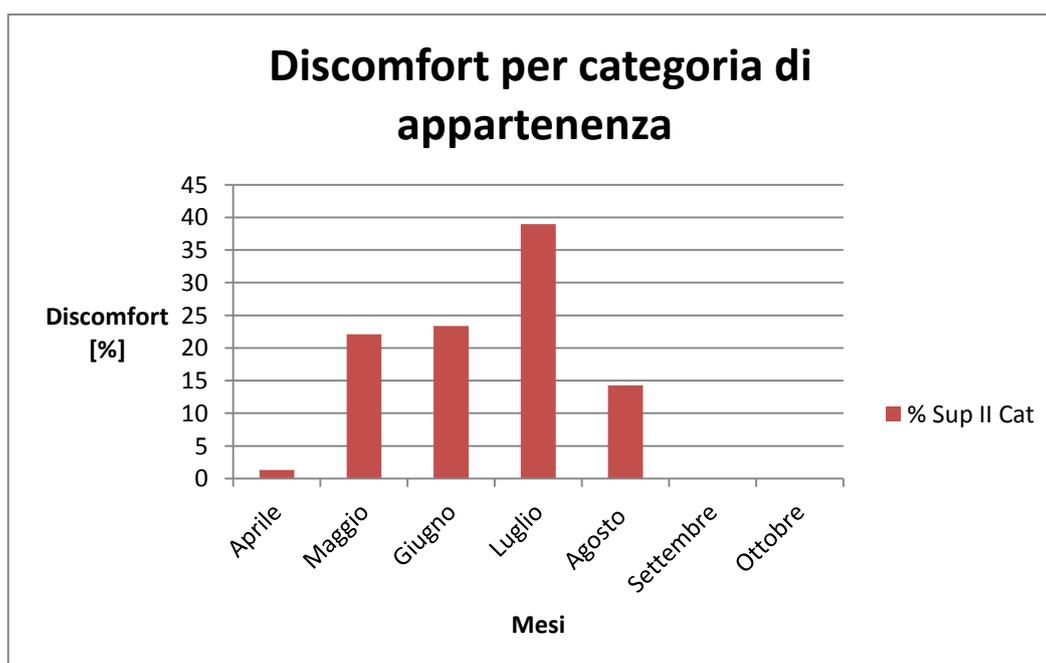


Figura 66: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento per la categoria di interesse, valutati sull'intero periodo

La situazione, riportata dal grafico, evidenzia come i mesi più estivi come aprile, settembre e ottobre ora siano in condizioni ottimali. Una situazione di netto miglioramento si ha anche per quanto riguarda gli altri mesi, fatta eccezione per luglio, che ora diviene il mese in assoluto più critico per la categoria considerata. Sul totale di superamento della II Categoria, che ricordiamo essere quella che maggiormente si avvicina al caso studio, si è passati da un 20% a quasi un 40%. Questo fatto in realtà si può leggere in chiave positiva, infatti ora siamo in grado di rilevare il mese in assoluto più critico, nonostante ci sia stato un miglioramento globale. Il dato sicuramente più significativo, come analizzato precedentemente, riguarda senz'altro l'intero periodo estivo.

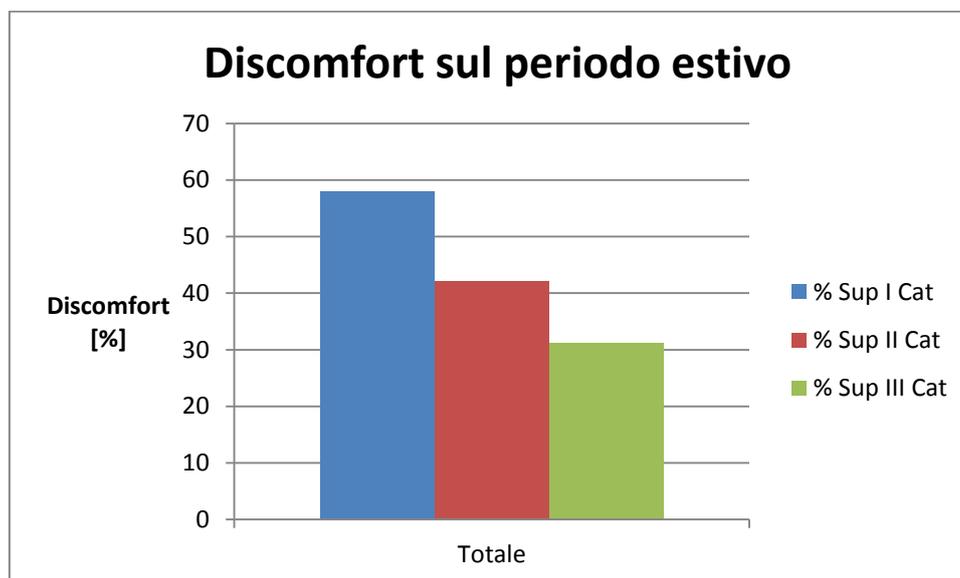


Figura 67: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dell'intero periodo estivo

Si nota immediatamente che per la Categoria II si è scesi ad una percentuale globale di discomfort del 42%. Questa analisi rappresenta ad oggi la situazione attuale, che tendenzialmente non è ideale e necessita di essere migliorata. Le soluzioni che si potrebbero adottare sono molteplici, si può pensare di introdurre un sistema di raffrescamento meccanico che però per certi versi comporterebbe costi elevati o adottare soluzioni più semplici come l'uso di schermature solari. Nel caso studio si è deciso di adottare la seconda soluzione e, nel paragrafo successivo, vedremo in dettaglio i benefici che ne derivano.

7.4 Soluzioni al caso studio

L'idea di questo paragrafo, come sottolinea il titolo, è di andare a trovare una soluzione per migliorare le condizioni attuali. Il primo pensiero è stato rivolto ad un miglioramento che fosse vantaggioso dal punto di vista economico ma che allo stesso tempo portasse un beneficio tangibile. Detto questo introduciamo il concetto di "schermatura solare", che può essere definito in molti modi. Uno di questi, sicuramente affascinante, è il seguente:

"Le finestre sono come occhi: permettono di vedere il mondo e lasciano intravedere. Le schermature solari sono come palpebre: si aprono e chiudono per regolare la luce e proteggere dal sole, creano le condizioni migliori per vivere gli ambienti dell'edificio."

Questa definizione lascia molto spazio all'immaginazione, infatti nello specifico vi sono diverse categorie di schermature. Esse possono essere classificate ad esempio in persiane, serrande, tende, ecc.. e principalmente in base alla loro posizione interne, o esterne. La classificazione può diventare anche più specifica, andando a considerare il tipo di controllo: sempre attive, luce diurna, solare, ecc... Queste categorie sono solo alcune che si possono trovare, ma per semplicità faremo ora riferimento al caso scelto. Infatti si è deciso di adottare una tipologia di tenda con le seguenti caratteristiche:

Nome	Tende Finestre
Spessore [mm]	5
Conducibilità [W/m/K]	0,1
Fattore di trasmissione [-]	0,2
Fattore di riflessione[-]	0,4
Posizione	Esterne
Tipo di controllo	Solare
Programma Funzionamento	“Occ App”

(*) “Occ App” è stato definito nel capitolo sull’occupazione dell’edificio

Figura 68: Tabella con le caratteristiche tecniche delle tende adottate

Si nota che le tende sono state posizionate all’esterno dell’edificio con un tipo di controllo solare, impostando quindi un Set Point Solare di 300 W/m^2 al di sopra del quale esse vengono chiuse per svolgere il loro compito di schermatura. Naturalmente si sfrutta il programma di funzionamento che dipende dalle ore del giorno in cui i Soci sono presenti nell’edificio. Va sottolineato che i fattori principali che caratterizzano la tenda sono legati dalla seguente relazione:

$$1 = \alpha_t + \rho_t + \tau_t$$

$-\rho_t$, rappresenta il fattore di riflessione solare della tenda

$-\tau_t$, rappresenta il fattore di trasmissione solare della tenda

$-\alpha_t$, rappresenta il fattore di assorbimento solare della tenda (si ottiene dalla precedente equazione).

Dal punto di vista visivo, si riporta un'immagine generica per rendere l'idea.

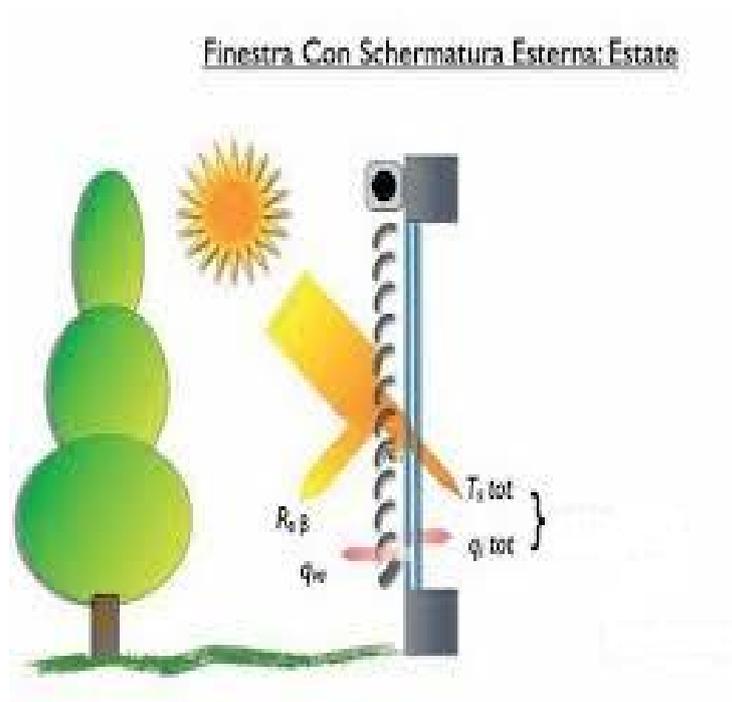


Figura 69: Disegno della schermatura solare

Analizzate le caratteristiche delle tende adottate, si può passare a valutare il caso studio dato che il funzionamento di una tenda è molto semplice ed è conosciuto a tutti. L'idea è stata quella di riprendere i due sotto-casi A e B visti nel paragrafo precedente e legati alle infiltrazioni. Si ricorda che il caso A (minime infiltrazioni) era quello che presentava le condizioni peggiori durante l'assetto estivo, mentre il caso B (massime infiltrazioni) era decisamente migliore.

Caso A:

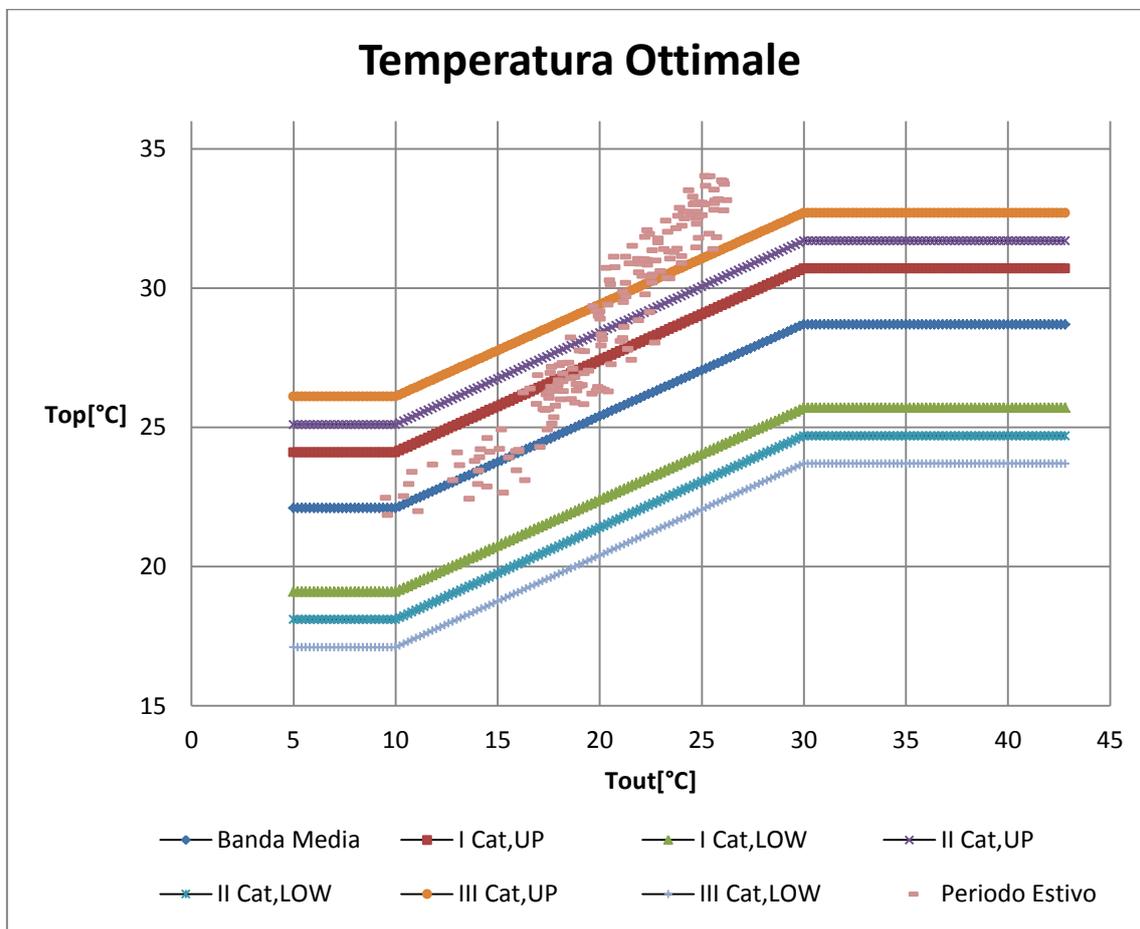


Figura 70: Grafico con i valori di temperatura ottimale per il periodo estivo

Si nota subito come, rispetto al caso senza tende, le temperature siano maggiormente raccolte e rientrino nei limiti delle varie categorie. Inoltre i massimi sono inferiori a conferma che l'effetto di schermatura ha una certa utilità. A questo punto si va a considerare il "Discomfort" per mese per le tre categorie considerate. Il parametro "Discomfort" in forma percentuale sarà utilizzato molto spesso nella trattazione e sta ad indicare la percentuale delle ore di superamento di un determinato periodo ad esempio mensile riferito allo stesso, oppure facendo riferimento all'intero periodo estivo.

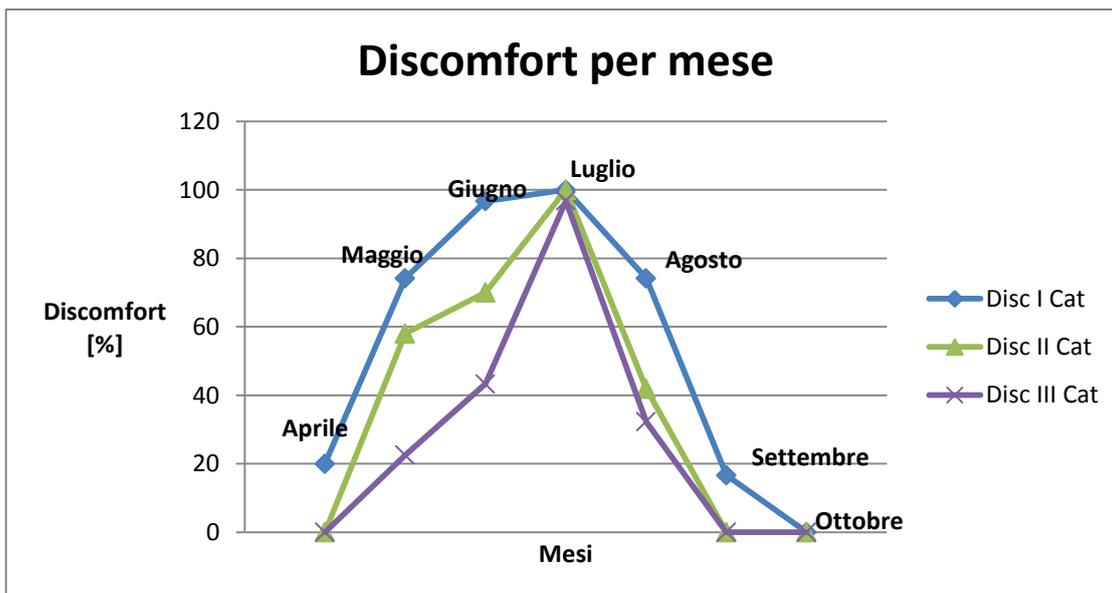


Figura 71: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dei limiti assegnati, valutati su ogni mese

Se nel caso senza tende per quanto riguarda la Cat II, che di fatto rappresenta quella di maggior interesse per il caso studio, si rilevavano tre mesi con elevata criticità (giugno, luglio, agosto) ora si nota come solo il mese di luglio presenti una forte percentuale mentre a beneficiare di un ottimo miglioramento sono proprio gli altri due mesi, giugno ed agosto, con forti riduzioni. Giugno passa dal 100% al 70%, mentre agosto passa addirittura al 42%. In generale si nota una riduzione globale per tutti i mesi.

Un altro grafico è il "Discomfort per categoria di appartenenza".

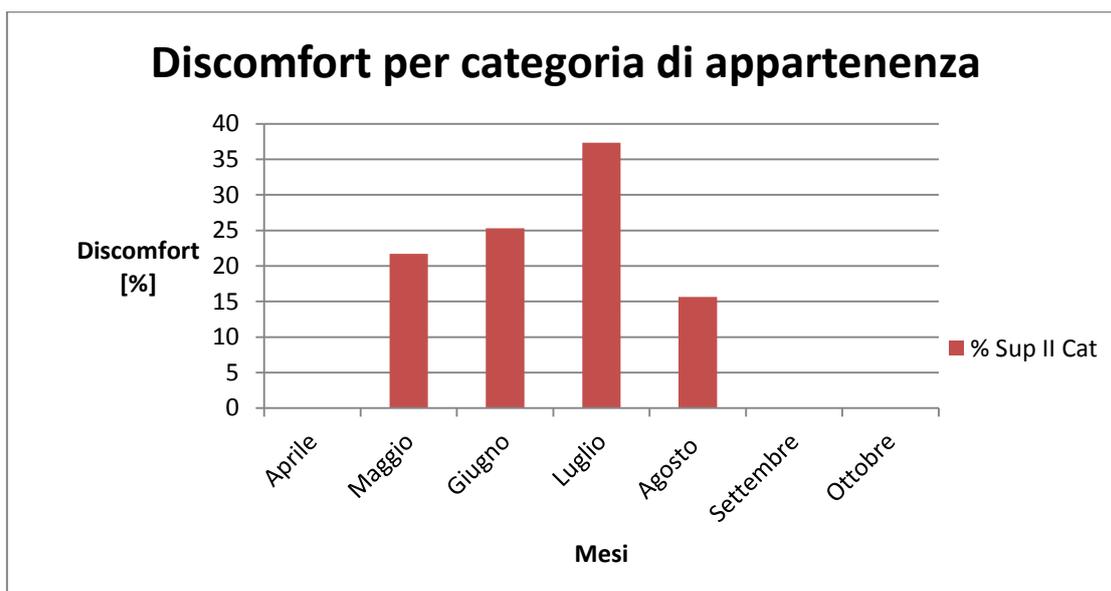


Figura 72: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento per la categoria di interesse, valutati sull'intero periodo

In questo caso si nota come certi mesi che prima presentavano una percentuale di “Discomfort”, ora non vi contribuiscano più in alcun modo (vedi aprile e settembre). Mentre agosto ha di fatto un peso inferiore al mese di maggio, mentre tale grafico sottolinea la criticità che mantiene il mese di luglio. Se si valutano i due grafici precedenti, si sottolinea quindi come i vantaggi vi siano stati, ma come per il mese di luglio la situazione non sia variata.

L'ultimo grafico che permette di capire se globalmente l'effetto sperato sia stato raggiunto, si lega all'intero periodo estivo.

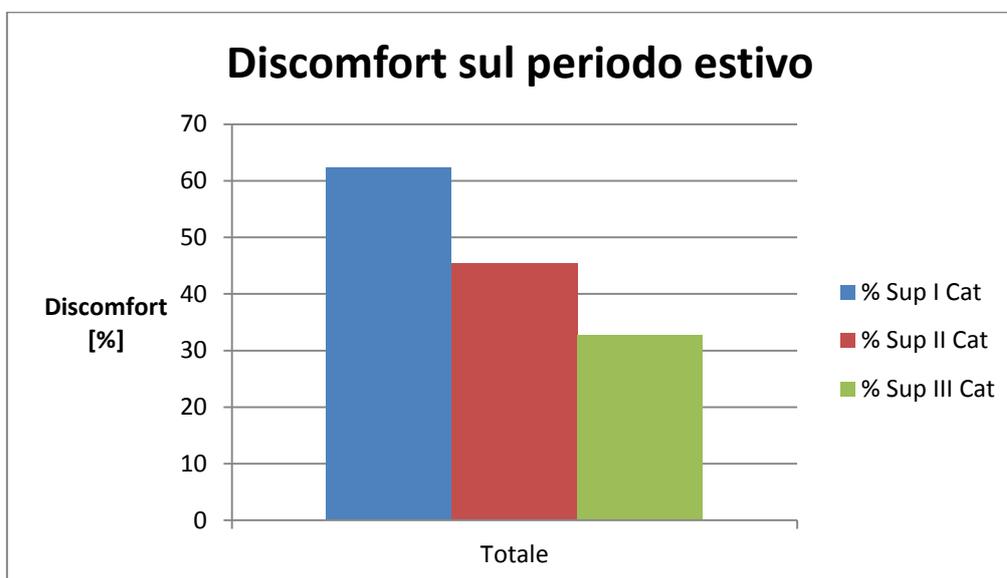


Figura 73: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dell'intero periodo estivo

Se prima per la Categoria II si aveva un superamento altissimo intorno al 74%, ora ci aggiriamo intorno al 45%. Dato molto importante poiché dimostra che con un investimento nelle schermature solari, siamo in grado di ottenere un miglioramento globale consistente ma che in queste condizioni soddisferebbe solamente una percentuale di persone di poco superiore al 50% ed è quindi ancora migliorabile.

Caso B:

Come per il caso A, si parte considerando le temperature ottimali per capire quali miglioramenti hanno portato l'uso di tende. A differenza del caso precedente, qui si parte da una condizione assai più favorevole per quanto riguarda il caso estivo.

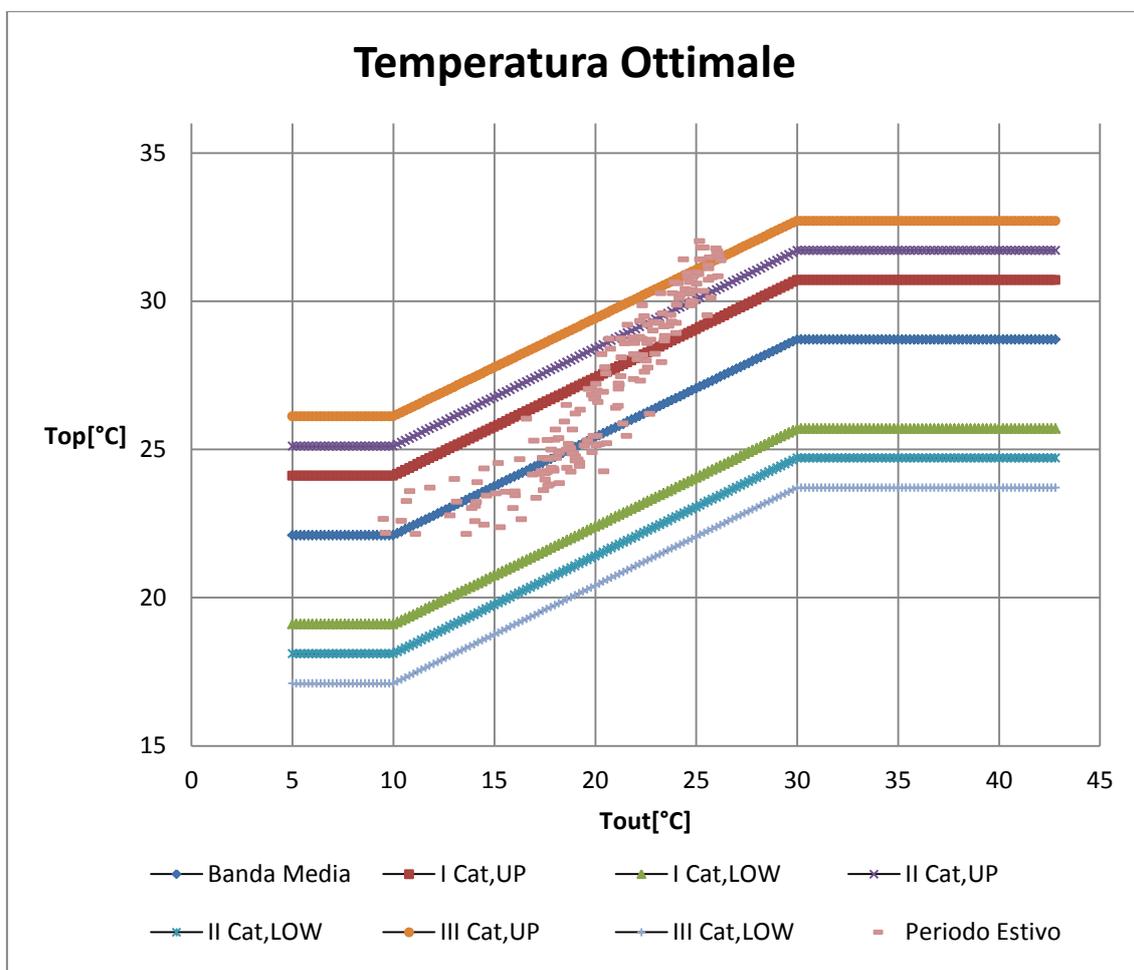


Figura 74: Grafico con i valori di temperatura ottimale per il periodo estivo

Con un primo colpo d'occhio si nota come i valori non siano solo maggiormente raggruppati, ma tendano a rientrare quasi tutti nei limiti della III Categoria. Questo

fatto, per chi non se lo ricordi, risultava differente nel caso base senza tende. Continuando quindi per gradi, si può analizzare il comportamento mensile.

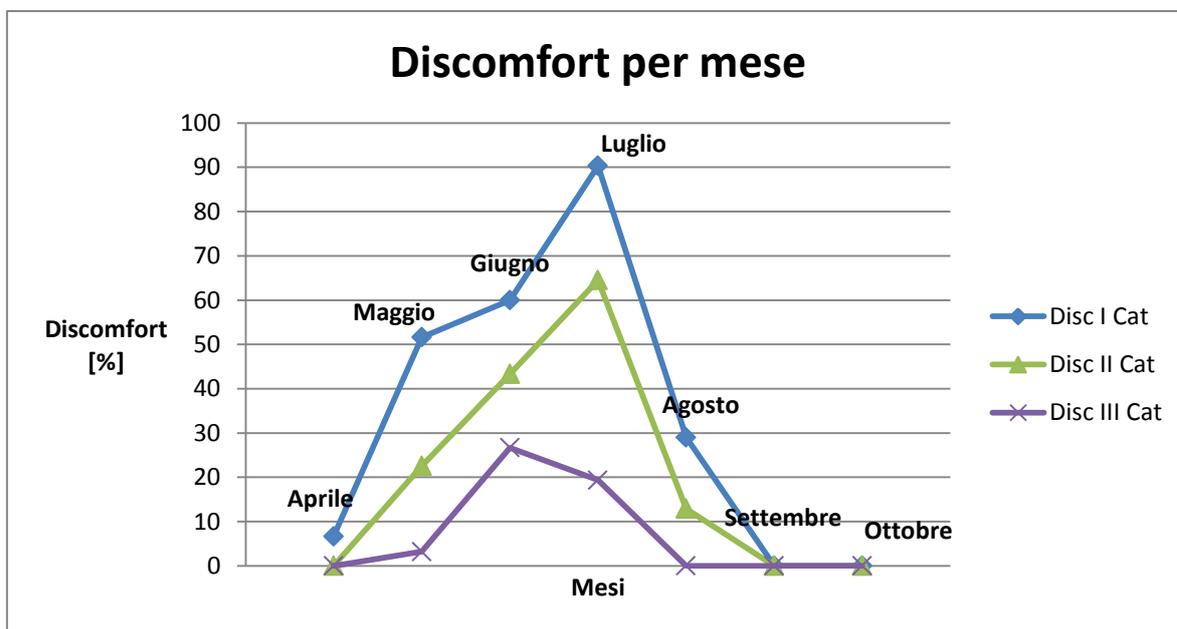


Figura 75: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dei limiti assegnati, valutati su ogni mese

Facendo riferimento sempre alla II Categoria, si nota facilmente come vi sia un generale miglioramento. Si ricorda che i mesi di giugno e agosto non rappresentavano le condizioni critiche, infatti l'unico mese su cui ci si era soffermati era luglio. In tale periodo la percentuale si aggirava intorno al 100%, quindi dal grafico si nota come ora ci si aggiri intorno al 65%. Una così drastica riduzione sottolinea come la scelta sia stata adeguata, infatti per quanto riguarda gli altri mesi si nota come solo giugno superi il 40% che è comunque un valore di tutto rispetto. Spingendoci ancor più in là, possiamo sottolineare come il "Discomfort per categoria" si concentri quindi su un unico mese.

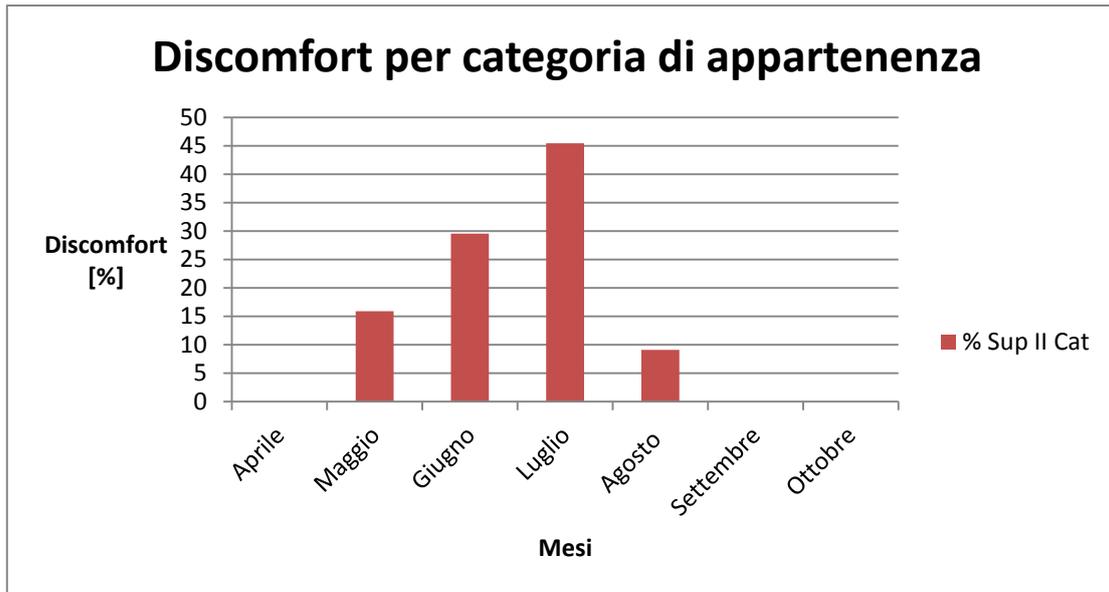


Figura 76: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento per la categoria di interesse, valutati sull'intero periodo

Il grafico precedente mostra come luglio pesi parecchio sull'intero periodo; questo dato potrebbe essere ora molto significativo. Infatti se consideriamo i grafici precedenti, questo è quello che marca maggiormente la criticità di tale mese. Si potrebbe quindi pensare ad una soluzione da utilizzare solo in questo periodo, senza magari andare a stravolgere l'impianto energetico. L'ultimo dato che di fatto ci permette di concludere l'intera trattazione è quello globale sull'intero periodo estivo.

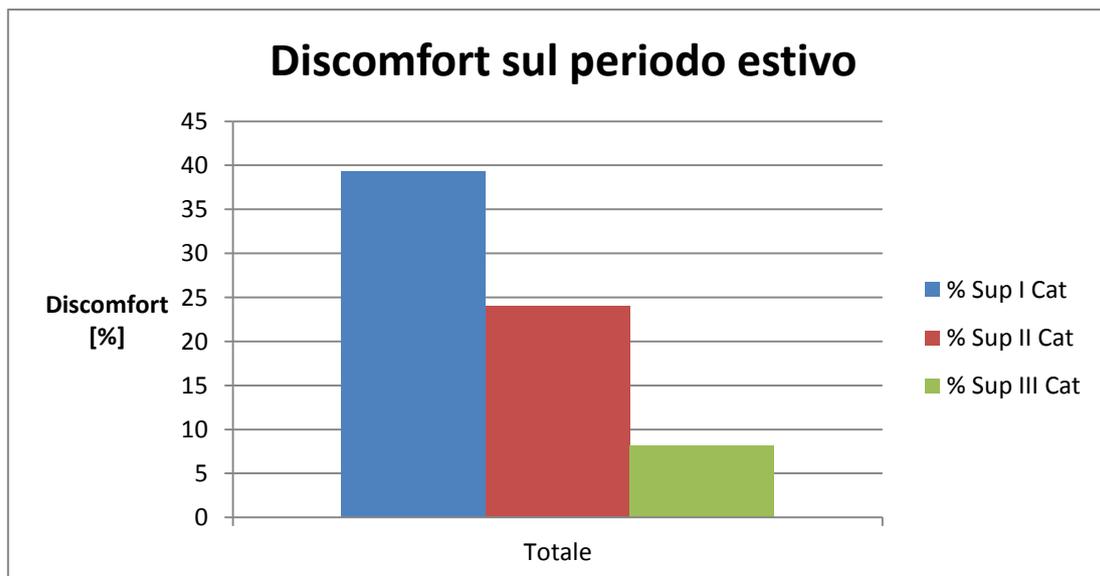


Figura 77: Grafico con i valori percentuali delle ore di superamento dell'intero periodo estivo

Vediamo dunque che la percentuale ora è intorno al 24%, che di fatto risulta abbastanza bassa da potersi considerare accettabile per i Soci. Per ricapitolare, si riporta la seguente tabella:

Caso	Discomfort periodo estivo [%]
Minime Infiltrazioni	74
Massime Infiltrazioni	42
Minime Infiltrazioni (con tende)	45
Massime Infiltrazioni (con tende)	24

Figura 78: Tabella riassuntiva con le percentuali di discomfort calcolate nei casi A e B, prima e dopo aver adottato la soluzione di schermatura.

Si può notare come percentualmente sia diminuito in entrambi i casi il “Discomfort” quindi i vantaggi, sia che si consideri un modello più conservativo o uno meno, sono innegabili. Nel caso di “Minime Infiltrazioni” si può dire che la variazione percentuale del caso con le tende, rispetto a quello senza, ha portato ad una riduzione del 39%, mentre nel caso di “Massime Infiltrazioni” si arriva quasi al 47%. L’idea è che trovarsi tra i due casi studio sia comunque un ottimo compromesso e che altre soluzioni adottabili potrebbero essere ancora sviluppate in seguito.

Capitolo 8

Conclusione

L'intera tesi sviluppata è servita per valutare una realtà già esistente e di concezione moderna; questo fatto ha reso inutile soffermarsi su modifiche strutturali o impiantistiche che avrebbero portato ad una riqualificazione o ad un miglioramento in termini di consumo o di efficienza energetica. L'analisi ha avuto lo scopo di sottolineare la situazione attuale per capire in futuro come ci si potrebbe muovere per far fronte a problematiche che potrebbero insorgere, dovute sia alla sostituzione di macchinari come le pompe di calore, sia alle esigenze dei Soci che vi abitano, o alle condizioni climatiche che già negli ultimi vent'anni sono mutate significativamente. L'intera trattazione potrebbe senz'altro essere ampliata andando ad indagare campi che sono stati o solo accennati o trascurati, come un'analisi più approfondita sulle macchine impiegate per il riscaldamento o la ventilazione, oppure una visione dal punto di vista economico sugli investimenti effettuati o su quelli effettuabili in futuro. Anche per quanto riguarda le teorie del comfort termico, si è considerato il caso estivo e non quello invernale che comunque potrebbe avere dei riscontri positivi sempre in un'ottica futura. Inoltre Le scelte della Cooperativa di non introdurre sistemi meccanici per il raffrescamento estivo, quindi di optare per funzionamento della pompa di calore solo in assetto invernale potrebbero essere rivalutate in un futuro non così lontano. Le fonti rinnovabili sfruttate per tale località, attualmente sembrano le più adatte, ma come si può notare il campo energetico è in continua evoluzione e quella che oggi è una tecnologia innovativa, un giorno sarà superata ed è quindi giusto monitorare sempre la situazione attuale. Un ulteriore ragionamento che si potrebbe ancora fare è quello del confronto tra fonte tradizionale e rinnovabile. Infatti oggi i grandi centri abitati sono alimentati da caldaie a gas o allacciati alla rete di teleriscaldamento collegata ad una centrale a ciclo combinato, che nel primo caso sfruttano in modo diretto il gas importato, mentre nel secondo sfruttano il calore di recupero. Questi due casi hanno sicuramente una differenza rispetto a quello trattato, che si può evidenziare come impatto emissivo di sostanze climalteranti. La situazione e lo studio di quale sia il caso migliore comprende comunque ragionamenti non semplici e in molti casi bisognerebbe effettuare un LCA (Analisi di Ciclo Vita) per ogni tecnologia impiegata.

Il punto fermo che è comunque fondamentale ed è stato compreso, a mio avviso, appieno dalla Cooperativa G. Di Vittorio è quello di promuovere ed impiegare le fonti

rinnovabili in un campo come l'edilizia che ha indubbiamente ancora margini di miglioramento. Il messaggio che quindi dovrebbe passare è che ognuno si deve approcciare ai cambiamenti con una certa sensibilità e comprendere che dietro vi è sempre una ricerca di qualcuno, un'idea studiata da un collettivo e che a livello di Nazione siamo sempre in grado di promuovere un modo più sostenibile di agire. Infine le soluzioni elaborate per il miglioramento del comfort nel caso estivo, si possono considerare già attuabili e immediatamente verificabili dato il limitato costo e la semplicità che le caratterizzano.

Un'ultima osservazione va fatta a livello globale. Vista l'elevata portata che hanno oggi le energie rinnovabili e di conseguenza tutti quegli aspetti di un "vivere più sostenibile", sembra che l'idea di realizzare un edificio di questo tipo o comunque di sostenere un'architettura tesa a conciliare il consumo energetico con la domanda, sia ormai di vitale importanza. Molti studiosi sostengono che piccoli cambiamenti non siano sufficienti per ottenere grandi miglioramenti in termini di risparmio energetico, riduzione delle emissioni climalteranti, sostituzione delle fonti fossili. La questione è molto complessa, ma quando si hanno alla mano dei dati significativi siamo in grado di avere un'idea più precisa della situazione attuale. Oggi, in linea con le idee già espresse nella COP21, l'unica alternativa possibile è proprio quella di muoversi nella direzione indicata e far sì che un processo che comunque ha bisogno ancora di tempo per svilupparsi appieno venga sostenuto con forza in molti campi. L'edilizia, naturalmente, rimane solo uno dei tanti. Se però nella nuova realizzazione di un edificio siamo in grado di sfruttare il riciclo di rifiuti, di utilizzare tecnologie efficienti che usano aria, acqua e sole come fonti alternative, di promuovere un uso consapevole delle risorse a disposizione, di sensibilizzare gli abitanti a livello ambientale, sociale e anche attraverso l'aspetto economico. Allora se questo è il caso, il cambiamento non sembra poi così piccolo. Se poi l'esempio si estendesse anche su scala globale, allora forse diverrebbe grande.

Capitolo 9

Bibliografia e Sitografia

Bibliografia:

[1] Cooperativa G. Di Vittorio redatto dall'Arch. Graziella Mercuri e dell'Arch. Egidio Giannico, "Relazione fine Lavori Edificio 3", Torino, 2015

[2] Vincenzo Corrado, "Il nuovo Decreto Ministeriale sul calcolo della prestazione energetica e dei requisiti minimi", ROCKWOLL Italia S.p.A., Milano, 2016

[3] Vincenzo Corrado ed Enrico Fabrizio, "Applicazioni di Termofisica dell'edificio e climatizzazione", Editore CULT, 2009

[4] P.O. Fanger, "Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering", Copenhagen, 1970

[5] Fergus Nicol, Susan Roaf, "Adaptive thermal comfort : principles and practice", Editore Routledge, Londra, 2012

[6] Humphreys Michael, Fergus Nicol, Susan Roaf, "Adaptive thermal comfort : foundations and analysis", Editore Routledge, Londra, 2015

[7] UNI EN ISO 7730: Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale, 2006

[8] "EnergyPlus™ Version 9.0.1 Documentation", U.S. Department of Energy, 2018

[9] European Standard, "Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load", British Standard Institute, Londra, 2003

[10] Michele Calì e Paolo Gregorio, "Termodinamica", Editore Esculapio, Bologna, 2012

[11] Cesare Bonacina, Alberto Cavallini, Lino Mattarolo, “Trasmissione del calore”, Editore CLEUP, Padova, 1989

[12] Natale Ventura, “Manuale per la certificazione energetica degli edifici”, Editore EPC, Roma, 2015

[13] Sergio Fabio Brivio, “Schermature solari e tende tecniche Metodi e soluzioni di progetto, tipologie, risparmio energetico”, Editore il Sole 24 Ore, Milano, 2010

[14] Ministero dello Sviluppo Economico, “Strategia Energetica Nazionale”, rapporto, Roma, 2017

[15] ENEA,RSE, “Decarbonizzazione dell’economia italiana: Il catalogo delle tecnologie energetiche”, rapporto, Roma, 2017

[16] ISPRA, “Emissioni nazionali di gas serra, fattori determinanti e confronto con i Paesi Europei”, rapporto, Roma, 2015

[17] ISPRA, “Emissioni nazionali di gas serra: indicatori di efficienza e decarbonizzazione nei principali Paesi Europei”, rapporto, Roma, 2017

[18] Ministero dello Sviluppo Economico, “Relazione annuale sull’efficienza energetica”, Roma, 2017

Sitografia:

-www.coopdivittorio.it

-ec.europa.eu/eurostat

-www.enea.it

-www-designbuilderita.it

-www.regione.piemonte.it

-www.clivetlive.com

-www.bottegaenergia.com

-www.energreengate.com

-www.certifico.com

-www.researchgate.net

Appendice Capitolo 7

Questa appendice vuole sottolineare come lo scopo principale dell'intera trattazione, seppur di carattere ingegneristico, si orienti verso il rapporto tra l'uomo e il luogo in cui esso vive. A tale proposito si cita il concetto di "Comfort Ambientale", che spesso viene suddiviso in tre sottocategorie: "Benessere Termoisgrometrico", "Benessere Acustico", "Benessere Luminoso". Si può senza dubbio affermare che il punto su cui ci si focalizzerà sarà il "Benessere Termoisgrometrico", che in questa analisi costituisce il ruolo fondamentale.

L'ASHRAE (American Society of Heating Ventilation and Air-conditioning Engineers) ha definito tale concetto come *"quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione con l'ambiente circostante"*.

Si nota quindi come il principio di tutto non risieda in una analisi tecnica fine a se stessa ma come essa sia il mezzo per accertarsi che il benessere percepito dall'uomo sia rispettato con l'introduzione di nuovi sistemi energetici che inevitabilmente vanno a mutare il panorama mondiale. Il concetto di "Benessere Termoisgrometrico" si basa dunque su teorie che sono state sviluppate da pionieri del settore e che ancora oggi ricoprono un ruolo di grande importanza.

L'idea iniziale è dunque quella di partire al concetto di "Comfort Termoisgrometrico", appena definito, su cui si articolerà l'intera trattazione e che spesso viene riportato solamente con il nome di "Comfort Termico". Tralasciando per un attimo la dicitura, si può cominciare considerando due aspetti che caratterizzano il concetto di "Comfort". Infatti esso ha carattere sia "Soggettivo" che "Oggettivo":

- "Soggettivo" indica lo stato psicofisico di un individuo che prova soddisfazione nelle condizioni termoisgrometriche in cui si trova. L'individuo di fatto non prova né sensazione di caldo né di freddo.

- "Oggettivo" indica uno stato di neutralità termica, ovvero l'accumulo termico del corpo umano è nullo e i meccanismi del corpo umano rimangono quasi inattivi. Questi possono essere di tipo comportamentale (assenza di brividi o sudorazione), oppure di tipo vasomotoria (assenza di vasocostrizione o vasodilatazione periferica).

Questa distinzione di base è importante per capire quali metodi di analisi vengono utilizzati come mezzo di indagine, infatti si può pensare che l'uomo sia soggetto a degli stimoli esterni oggettivi che sono regolati da leggi fisiche note e codificate. Quindi esiste una relazione di causa-effetto deterministica fra queste grandezze. L'analisi globale allora risulterebbe molto semplificata e basterebbe abbandonarsi alle leggi matematiche per ottenere risultati veritieri. Le cose però risultano più complicate. Infatti se gli stimoli esterni, che il corpo umano percepisce, sono oggettivi le risposte sono soggettive. Esse sono filtrate da ognuno di noi, dalla nostra percezione, divenendo così impossibili da trattare in modo deterministico. Da qui parte l'idea di utilizzare la statistica e di affidarsi ad indagini epidemiologiche per ottenere dei risultati concreti. L'indagine sul "Comfort Termico", che seguirà, si affiderà allora al metodo statistico e alle teorie annesse.

L'idea di base è quindi stata definita. Si può pensare, in modo molto semplice, che essa sia di correlare aspetti fisici (deterministici) e aspetti soggettivi (statistici). Questa connessione fu trovata intorno al 1970 da un professore danese conosciuto come P.O. Fanger. Considerato un dei massimi esperti nel campo del comfort termico e della percezione degli ambienti interni, egli basò la sua teoria su una raccolta di numerosi esperimenti con soggetti di sesso e di età diversa, posti in camere termostatiche. La sua teoria fu di estrema importanza per le analisi che oggi vengono effettuate. In particolare oggi si fa riferimento alla normativa UNI EN ISO 7730 del 2006 e agli indici che la caratterizzano. Per non anticipare troppo le cose, conviene andare per ordine e soffermarsi sul concetto da cui Fanger e gli studiosi dopo di lui si sono concentrati, su cui hanno modellato un'idea nuova e grazie al quale sono giunti a conclusioni che oggi non sono più trascurabili; si sta parlando del corpo umano. Un vero e proprio sistema fisico, sicuramente molto complesso, ma analizzabile con ipotesi semplificate. Si può immaginare di dividerlo in due zone principali: una parte esterna (pelle e tessuti sottocutanei) e una parte interna (organi vitali). Le due zone sono caratterizzate da due diverse temperature:

- T_{sk} di 34°C per la zona esterna, che dipende dall'ambiente con cui il corpo viene a contatto.
- T_{core} di 37°C che deve rimanere abbastanza costante per il corretto funzionamento degli organi interni.

Il corpo umano tende a mantenere sotto controllo questi livelli di temperatura tramite un sistema di termoregolazione. Tale sistema si suddivide a sua volta in “Termoregolazione Vasomotoria” e “Termoregolazione Comportamentale”, ognuno funziona in base all’ambiente con cui il corpo umano interagisce. Se ad esempio consideriamo un ambiente caldo, il corpo umano attiverà una “Termoregolazione Vasomotoria” basata sulla vasodilatazione con un aumento dell’efflusso di sangue verso la periferia, mentre nel caso di “Termoregolazione Comportamentale” il corpo produrrà una determinata sudorazione. Nel caso dell’ambiente freddo si trova una situazione opposta. Senza addentrarci nello specifico di come questi fenomeni agiscano, ci basti pensare che la termoregolazione è essenziale per capire le risposte che il nostro corpo manda a prescindere dalle nostre azioni. Queste ultime invece possono poi andare ad influire e permettere di regolare o meno tali risposte, ad esempio l’introduzione di cibo, il cambiamento di vestiario, l’attività fisica, ecc. portano a modificare il nostro stato. Alla fine ci troveremo in una condizione di “Discomfort”, da intendersi come scostamento dalla condizione di comfort attuale, che ci permetterà di capire se con le nostre abitudini ci stiamo avvicinando o allontanando da quella condizione ideale di benessere.

Teoria di Fanger

Come anticipato le teorie nel campo del “Comfort Termico” sono di grande utilità per andare a valutare le condizioni di benessere in cui l’uomo vive. Quindi per comprendere meglio il discorso elaborato da Fanger, si deve introdurre un indice razionale che correla la sensazione termica ad un voto relativo alla percezione dell’ambiente. L’indice in questione è conosciuto come PMV (Predicted Mean Vote) o “Voto Medio Previsto”. Tale indice si basa su una scala semantica di 7 valori.

+3	Molto caldo
+2	Caldo
+1	Abbastanza caldo
0	Accettabilità termica
-1	Abbastanza freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

Figura 79 : Scala PMV, fonte certifico.com

Dalla tabella si nota come vi siano 7 valori ognuno dei quali è un numero intero tra -3 , che rappresenta il valore di percezione del freddo massimo, e +3 , che invece rappresenta il valore di percezione del caldo massimo. Le condizioni di “comfort” sono rispettate quando la percezione umana cade nell’intervallo compreso tra -1 e +1, al di fuori del quale non si considerano soddisfatte. Tale scala è di facile uso ed intuizione, per questo motivo ancora oggi è di grande rilevanza.

Il valore di PMV ottenuto è però una stima media, attorno alla quale la dispersione dei dati è elevata, questo fatto è dovuto principalmente alle risposte soggettive che risultano fortemente variabili. Fanger, avendo al tempo riscontrato questo problema, decise di introdurre un ulteriore indice che rispecchiasse le risposte soggettive fornite dai vari individui e che allo stesso tempo fosse correlabile con il PMV. L’indice in questione viene definito come PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) e considera insoddisfatte le persone che votano ± 2 o ± 3 . In realtà si è verificato sperimentalmente che anche quando il $PMV=0$ (situazione di “Neutralità Termica”), a causa della dispersione dei dati, ci sarebbe statisticamente un 5% di persone insoddisfatte. Quest’ultima considerazione ha un’elevata potenzialità, perché permette di correlare in un’unica equazione finale il PMV e il PPD e graficamente si traduce così:

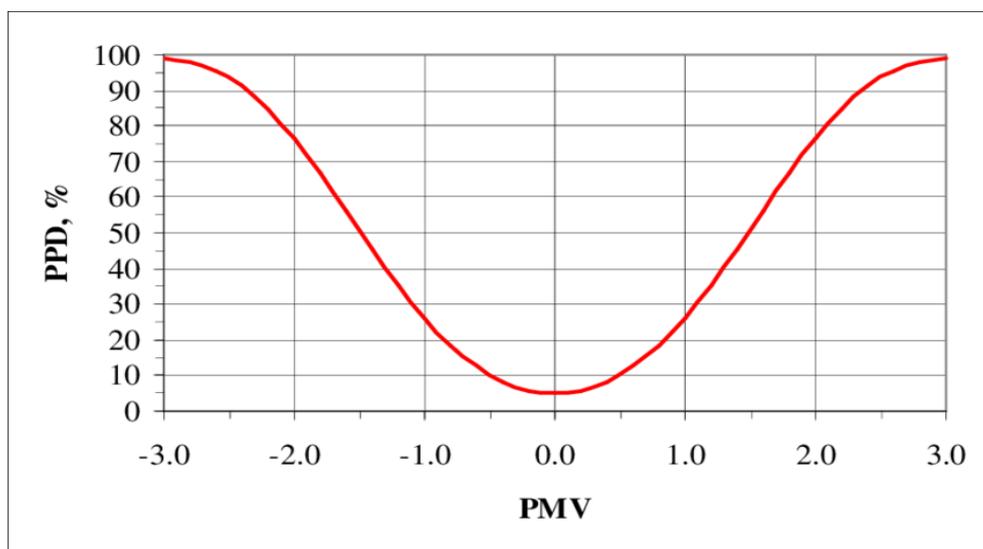


Figura 80: Comfort Termoigrometrico & Teoria di Fanger , fonte slide Marco Perino

Come si nota dal grafico precedente, o da altri possibili grafici che riguardano tale argomento, la fascia di insoddisfatti nell'intervallo di comfort è la più bassa e il valore minimo si ha in presenza appunto di un $PMV=0$.

Teoria del Comfort Adattivo

La “Teoria del Comfort Adattivo” si basa su un modello che richiama la definizione psicologica di benessere, andando ad approfondire la percezione dell'utente nei confronti dell'ambiente.

Tale teoria si potrebbe riassumere come segue: *“Il fondamento è nella capacità della degli esseri umani di adattarsi all'ambiente in cui si trovano, agendo sulle variabili che li riguardano”*.

Questa definizione ha in sé un nuovo aspetto non trascurabile, infatti l'occupante ricopre un ruolo attivo, responsabile, nella gestione del microclima interno all'ambiente in cui vive. Il suo nuovo ruolo riduce il controllo dei sistemi impiantistici a favore delle opportunità di adattamento dell'edificio stesso. Quindi si comincia da un nuovo punto di partenza e da meccanismi differenti, che spesso sono suddivisi come segue:

-Comportamentale

-Fisiologico

-Psicologico

Per cominciare bisogna comprendere cosa si intende per “Meccanismo Comportamentale”, il quale include tutte le azioni condotte da un individuo, sia coscientemente che non, al fine di agire sul bilancio termico del corpo. Tali azioni possono essere di tipo personale (esempio rimozione di un indumento), di tipo tecnologico (accensione di un sistema di condizionamento), o di tipo culturale (riposare

durante le ore più calde del giorno). Si può poi vedere cosa si intende per “Fisiologico”, che in generale rappresenta la capacità dell’uomo di acclimatarsi ad un ambiente attraverso la regolazione dell’attività metabolica. Tale esigenza è rilevata in particolare per quei popoli che si trovano a dover fronteggiare situazioni climatiche estreme. In ultimo vi è il “Meccanismo Psicologico”, che riguarda l’alterazione percettiva delle informazioni sensoriali dovuta alle passate esperienze. Per capire meglio cosa intendiamo, bisogna considerare che ogni individuo percepisce una temperatura di comfort personale che può risultare differente da quella termostatica. In questo caso la differenza è condizionata da una sorta di assuefazione allo stimolo esterno che modificano la percezione dell’individuo. A questo punto compresi gli elementi fondamentali su cui si basa tale teoria, molti studiosi hanno cercato di individuare una correlazione che legasse le effettive sensazioni termiche e le principali grandezze climatiche. A tale proposito è stata ricavata una relazione che lega la temperatura di comfort interno e la temperatura dell’ambiente esterno:

$$T_{CO} = aT_{Out} + b$$

Tale correlazione è molto semplice e i vari termini riportati sono:

- T_{CO} , che rappresenta la temperatura interna di comfort misurata in [°C].

- T_{Out} , è invece la temperatura esterna di riferimento anche essa misurata in [°C].

- a , è una costante adimensionale che correla le due temperature.

- b , è sempre una costante misurata però in [°C] e rappresenta la temperatura minima accettabile.

Strumenti per le misure microclimatiche

Questo capitolo, rispetto ai precedenti, ha sicuramente un tono più generale e guarda oltre i calcoli ingegneristici e ci apre ad un mondo che però ha altrettanto rilevanza. Se fino ad ora abbiamo dato per scontato di avere a disposizione certi dati, ora vediamo che vi è un'origine. Essi, anche detti "Grandezze Microclimatiche" (temperatura dell'aria, umidità relativa, temperatura media radiante e velocità dell'aria) non sono ottenibili con i mezzi elencati sino ad ora. Eppure tali grandezze sono alla base di ogni ragionamento svolto, di ogni dato ricavabile e sono gli elementi portanti su cui poggiano i bilanci di energia. La domanda allora può sorgere spontanea e ci si può chiedere come si giunga a conclusioni di un'elevata importanza, senza sapere da che punto si parte. Sembra allora logico andare a capire come queste grandezze microclimatiche ci vengano fornite e, a tal proposito, ora andiamo a considerare gli strumenti fisici che rendono possibile l'analisi energetica sugli edifici residenziali. Uno dei primi strumenti è lo Psicrometro.

Psicrometro

Esso è in grado di misurare la temperatura dell'aria a bulbo secco e a bulbo umido, di calcolare l'umidità relativa e le altre grandezze ad esso connesse. Ad esempio si possono ricavare la temperatura di rugiada, l'entalpia dell'aria e l'umidità assoluta. Lo Psicrometro è una sonda costituita da due sensori di temperatura; il primo è un termometro a bulbo asciutto che misura la temperatura secca dell'aria, il secondo è un termometro rivestito da una guaina idrofila, con un'estremità immersa in una vaschetta contenente acqua distillata, che misura la temperatura di bulbo umido a ventilazione forzata. Il suo funzionamento è quindi molto semplice, ma al contempo molto efficace. Infatti la lettura delle due temperature permette di conoscere con diagrammi e tabelle l'umidità relativa e assoluta dell'aria.



Figura 81: Psicrometro

Globotermometro

La sonda globotermometrica è utilizzata per misurare la temperatura media radiante. Essa è costituita da un globo metallico cavo nero, al centro del quale è montato un sensore termometrico. La temperatura rilevata consente di calcolare quella media radiante, note che siano la temperatura secca e la velocità dell'aria. Una volta posto in un ambiente esso scambia calore per irraggiamento con le pareti e gli oggetti e per convezione con l'aria ambiente fino al raggiungimento dell'equilibrio termico. All'equilibrio il sensore misura la temperatura dell'aria interna della sfera, detta anche temperatura globotermometrica o di globo.



Figura 82: Globotermometro

Anemometro

La sonda anemometrica a filo caldo è lo strumento per la misura puntuale della velocità dell'aria. Il principio di funzionamento è fondato sullo scambio termico tra l'aria e l'elemento sensibile dello strumento. Questo ultimo è costituito da un filamento di platino posto all'interno di un tubo in cui viene fatta passare l'aria ed è collegato mediante un circuito ad un generatore di corrente. Mediante un voltmetro ed un amperometro viene misurata la differenza di potenziale ai capi del filamento e l'intensità della corrente che lo attraversa consentendo così di calcolare la resistenza R . Nota poi la dipendenza lineare di R con la temperatura si determina la temperatura del filo.



Figura 83: Anemometro

Radiometro Netto

La temperatura radiante piana è la temperatura uniforme di un involucro virtuale in cui lo scambio radiativo su un lato di un piccolo elemento di superficie, piano, è pari a quello che si verifica nell'ambiente reale non uniforme. Per comprendere meglio il suo funzionamento, bisogna considerare il concetto di "asimmetria" della temperatura radiante piana. Essa è definita come differenza di valori di temperatura radiante piana delle due facce opposte di un piccolo elemento di superficie nero e piano. Il concetto di asimmetria può essere utilizzato quando la temperatura media radiante non descrive in modo esauriente lo scambio termico radiativo in ambiente, soprattutto in condizioni di eterogeneità. Lo strumento è quindi il Radiometro Netto, costituito da un elemento piano a due facce su cui si misura la temperatura.



Figura 84: Radiometro Netto

Gli strumenti di misura non si esauriscono con quelli elencati, ma si possono trovare altre tipologie simili che effettuano misure sulle stesse grandezze. Inoltre vi sono strumenti che analizzano anche campi che qui non sono trattati, come la concentrazione della CO₂ presente nell'aria interna all'edificio, quelli legati all'illuminamento negli ambienti interni, quelli relativi alla pressione sonora per misurare i livelli sonori, ecc.. Tutte queste possibili misure e altre ancora sono poi analizzate in laboratorio e tabellate, tenendo conto dei difetti delle incertezze nei rilevamenti e i difetti che possono presentare le varie apparecchiature.