

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO di ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA in INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

In

ARCHITETTURA TECNICA II

**RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI
UN EDIFICIO RESIDENZIALE:
COMPARAZIONE FRA CALCOLO STATICO E DINAMICO
DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E ANALISI DI UN
MODELLO SEMPLIFICATO**

CANDIDATO

Suffritti Valentina

RELATORE:

Chiar.ma Prof. Annarita Ferrante

CORRELATORE/CORRELATORI

Ing. Lorna Dragonetti

Ing. Davide Prati

Anno Accademico 2020/21

Sessione II

Ringrazio i miei genitori, Pietro e Monica, per avermi supportata, sopportata e fatta arrivare alla fine di questi 10 anni senza mai farmi pesare la lunghezza di questo percorso, permettendomi di non fare altro che focalizzarmi sul mio obiettivo e spronandomi a fare tutte le esperienze che questo percorso potesse offrirmi

Ringrazio Vittorio, per avermi aspettata, aiutata, calmata e aver fatto tutti questi km per starmi accanto ogni volta. Ma soprattutto, per avermi fatto vivere il mondo fuori da queste mura ogni volta che riusciva a convincermi a staccarmi dai libri

Ringrazio i miei nonni, per essere sempre stati presenti e aver festeggiato con me ogni esame dato, condiviso ogni arrabbiatura e offerto spunti di riflessione

Ringrazio Elisa, amica di sempre, per aver risposto ogni volta che avevo bisogno, che mi serviva qualcuno che mi conoscesse e capisse prima ancora che riuscissi a farlo io.

Ringrazio Lisa, la mia bionda, e Francesca, la mia mora, amiche trovate lungo la strada di questa tortuosa facoltà, che per qualche assurda ragione mi sopportano, aiutano e fanno ridere a ogni occasione; che hanno deciso sarebbero state parte della mia vita e ringrazio ogni giorno l'abbiano fatto

Ringrazio Emanuele, la persona più sorprendente che abbia mai conosciuto, che mi ha mostrato Bologna e insegnato a viverla, col quale posso litigare furiosamente per un progetto e uscire poi la sera a bere un drink e fare le pazzie

Ringrazio Marika, Giulio e tutti i compagni di studio che hanno progettato con me, urlato con me, riso e pianto e maledetto tutto con me. Valentina, che in 2 sole settimane è rimasta più parte di questo percorso di altri coi quali ho passato mesi, portandomi in una fontana di vita. Jack and Rachel, who made my 4 months in England feel like I was finally, simply, in the right place with the right people

Ringrazio tutte le persone che ho trovato lungo questo percorso, che si sono affiancate ad esso anche solo per un momento prestandomi appunti, risolvendo dubbi o facendomi sorridere

Ringrazio l'Ing. Lorna Dragonetti, per avermi aiutata, seguita e aver risposto a ogni mia domanda rapidamente e incessantemente al meglio delle sue abilità, senza mai farmi sentire abbandonata, dal momento in cui sono capitata fra le sue mani fino alla fine di questa tesi

Ringrazio il Prof. Semprini, per avermi aiutata anche quando non era tenuto a farlo

E infine ringrazio me stessa, per non essermi mai arresa

INDICE

0.	PREFAZIONE	7
1.	NORMATIVA IN TEMA DI EFFICIENZA ENERGETICA	10
1.1.	QUADRO NORMATIVO EUROPEO	10
1.2.	QUADRO NORMATIVO ITALIANO	22
1.3.	QUADRO NORMATIVO EMILIANO-ROMAGNOLO	37
2.	EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI	43
2.1.	EDIFICI nZEB	44
2.2.	PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO	46
2.3.	TRASMITTANZA TERMICA	48
3.	CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO	51
3.1.	CALCOLO IN REGIME STATICO (O STAZIONARIO)	52
3.2.	CALCOLO IN REGIME SEMI-STAZIONARIO	52
3.3.	CALCOLO IN REGIME DINAMICO	53
3.4.	TERMUS	54
3.4.1.	Considerazioni d'uso pratico	55
3.5.	ENERGY PLUS E DESIGN BUILDER	56
3.5.1.	Considerazioni d'uso pratico	56
3.6.	CONFRONTO FRA TERMUS ED ENERGY PLUS/DESIGN BUILDER	58
4.	PROGETTO TABULA	60
4.1.	CLASSIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA EDILIZIA ITALIANA	61
4.2.	TIPOLOGIE COSTRUTTIVE	64
4.3.	TIPOLOGIE IMPIANTISTICHE	69
4.4.	MISURE DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	70
5.	PROGETTO TripleA-reno	72
5.1.	CASO STUDIO	73
5.1.1.	Tipologia Strutturale	79
5.1.2.	Impianti	81
		4

5.1.3.	Stato di conservazione	82
5.2.	PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE	84
6.	CREAZIONE DEI MODELLI ENERGETICI CON CALCOLO SEMI-STAZIONARIO E DINAMICO	91
6.1.	MODELLO ALLO STATO DI FATTO	91
6.1.1.	Modello realizzato con TerMus	92
6.1.2.	Modello realizzato con DesignBuilder	97
6.2.	MODELLO ALLO STATO RIQUALIFICATO	101
6.2.1.	Modello realizzato con TerMus	102
6.2.2.	Modello realizzato con DesignBuilder	106
7.	VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE FRA CALCOLO SEMI-STAZIONARIO E DINAMICO	107
7.1.	DATI CLIMATICI DI REGGIO EMILIA	107
7.1.1.	Dati climatici con TerMus	107
7.1.2.	Dati climatici con EnergyPlus	108
7.1.3.	Confronto dati climatici	110
7.2.	PRESTAZIONI ENERGETICHE	113
7.2.1.	Modello dettagliato allo stato di fatto con TerMus	113
7.2.2.	Modello dettagliato allo stato di fatto con EnergyPlus	115
7.2.3.	Modello dettagliato allo stato riqualificato con TerMus	117
7.2.4.	Modello dettagliato allo stato riqualificato con EnergyPlus	119
7.3.	CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE	120
7.3.1.	Dati geometrici	121
7.3.2.	Dispersioni e apporti energetici	122
7.3.3.	Climatizzazione invernale e produzione di ACS	126
7.3.4.	Indici di prestazione	127
8.	CREAZIONE DEL MODELLO ENERGETICO SEMPLIFICATO	128
8.1.	SEMPLIFICAZIONI APPLICATE	128
8.2.	MODELLO SEMPLIFICATO ALLO STATO ORIGINARIO	132
8.3.	MODELLO SEMPLIFICATO ALLO STATO RIQUALIFICATO	133

8.4. EDIFICIO TIPO ALLO STATO DI FATTO E RIQUALIFICATO	
135	
9. VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE FRA MODELLO DETTAGLIATO E MODELLO SEMPLIFICATO	136
9.1. PRESTAZIONI ENERGETICHE	136
9.1.1. Modello semplificato allo stato originario	137
9.1.2. Modello semplificato allo stato riqualificato	138
9.2. CONFRONTO FRA LE PRESTAZIONI ENERGETICHE	139
9.2.1. Dati geometrici	142
9.2.2. Dispersioni e apporti energetici	142
9.2.3. Climatizzazione invernale e produzione di ACS	145
9.2.4. Indice di prestazione	148
10. CONCLUSIONI	150
10.1. CREAZIONE E ANALISI DEI MODELLI ENERGETICI IN REGIME SEMI-STAZIONARIO E DINAMICO	150
10.1.1. Dati preimpostati	151
10.1.2. Metodo di calcolo	151
10.2. COMPARAZIONE FRA MODELLO DETTAGLIATO E MODELLO SEMPLIFICATO	152
10.2.1. Confronto dei modelli allo stato di fatto originario	153
10.2.2. Confronto dei modelli allo stato riqualificato	154
10.2.3. Confronto dei modelli con l'edificio-tipo di TABULA	155
10.3. VALUTAZIONE E ANALISI DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA SVOLTA	156
10.4. RACCOMANDAZIONI	158
BIBLIOGRAFIA	159

0. PRAFAZIONE

Sono ormai diversi anni che si parla di sostenibilit  della vita e salvaguardia dell'ambiente. Buco nell'ozono, riscaldamento globale, emissioni di CO₂, sono tutti termini ormai frequenti nel vocabolario di ognuno di noi e sin dalle scuole elementari viene insegnato ai bambini il rispetto per l'ambiente e l'idea di "risparmio energetico". Tali semplici concetti di vita quotidiana derivano dall'essersi resi conto che le attivit  umane sono diventate gradualmente sempre pi  impattanti per l'ambiente che ci circonda e che lo sviluppo industriale e tecnologico hanno purtroppo un tipo di prezzo che inizialmente non era stato considerato.

Seppur una considerevole parte dell'odierno inquinamento derivi dal settore dei trasporti, oltre il 53% delle emissioni di polveri fini derivano oggi unicamente dal riscaldamento domestico. Risulta quindi evidente come la riqualificazione del patrimonio edilizio e la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici sia un tema non solo estremamente attuale, ma fondamentale per la salvaguardia dell'ambiente che abbiamo per tanti anni trascurato.   essenziale che si incentivino e facilitino un aggiornamento del nostro ampio patrimonio edilizio, portando gli edifici che fanno parte del nostro heritage culturale a rispettare gli standard edilizi moderni.

Lo scopo di questo studio   quello di fornire una analisi delle differenze fra vari metodi di calcolo delle dispersioni energetiche di un edificio, sia calcolate in maniera dettagliata che tramite approssimazioni, al fine ultimo di semplificarlo e renderlo pi  accessibile all'utente comune.

Per ottenere tale risultato si   analizzato prima di tutto il quadro normativo nel quale il progetto va ad insediarsi, partendo dal livello europeo e scendendo fino a quello regionale relativo al nostro caso studio. Si   poi analizzato il concetto di efficienza energetica e sono stati approfonditi i differenti metodi di calcolo disponibili per analizzare le prestazioni termiche di un edificio: il

calcolo di tipo statico, di tipo semi-stazionario e di tipo dinamico. Comprese le essenziali differenze fra questi metodi è stato selezionato il programma TerMus per svolgere analisi di tipo semi-stazionario e il programma EnergyPlus, tramite l'interfaccia DesignBuilder, per svolgerne di tipo dinamico.

Il caso studio analizzato è un classico complesso condominiale risalente al 1936 situato in via Magenta presso Reggio Emilia ed è attualmente oggetto di riqualificazione progettata e realizzata dal gruppo ACER. Tale edificio è stato inserito nel progetto europeo "Horizon 2020", dal quale ha ricevuto parte dei fondi necessari alla propria riqualificazione, e rientra nel progetto "TripleA-Reno", avente fra i propri obiettivi la realizzazione di un software di calcolo semplificato per una rapida valutazione delle dispersioni energetiche di un edificio anche da parte dell'utente comune, senza andare a discapito della precisione dei dati.

Sono stati quindi creati modelli del complesso al suo stato di fatto originario sia con TerMus che con DesignBuilder/EnergyPlus, modelli al suo stato riqualificato come da progetto ACER sempre sia con TerMus che con DesignBuilder/EnergyPlus e infine modelli semplificati relativi allo stato di fatto originario e allo stato riqualificato realizzati unicamente con DesignBuilder/EnergyPlus.

La semplificazione è stata effettuata seguendo i parametri offerti dal progetto TABULA. Tale progetto nasce al fine di creare una matrice armonizzata delle tipologie edilizie residenziali europee. Ogni tipologia nazionale è costituita da un insieme di edifici residenziali modello con tipiche caratteristiche energetiche, e ciascun edificio rappresenta un determinato periodo di costruzione e una specifica dimensione. Vengono qui inoltre classificate le più probabili tipologie costruttive per ogni modello dal punto di vista sia strutturale che impiantistico, sia relativamente al suo stato originale che a due suoi differenti livelli di successiva riqualificazione.

Realizzati i modelli sopracitati ed eseguite le dovute simulazioni, sono stati ricavati i dati relativi alle dispersioni energetiche e sono stati estrapolati parametri comuni confrontabili fra i differenti software. Sono state quindi svolte analisi comparative a livello principalmente qualitativo fra i risultati dei modelli dettagliati ottenuti con calcolo semi-stazionario e dinamico al fine di identificare dove siano insite le principali differenze fra i metodi e i programmi usati, e in che parametri queste risultino maggiormente evidenti. Infine sono stati confrontati i dati ricavati dal modello dettagliato e dal modello semplificato (sia pre che post-riqualificazione) e sono state tratte le dovute conclusioni in merito a quanto siano lecite le semplificazioni applicate.

1. NORMATIVA IN TEMA DI EFFICIENZA ENERGETICA

Presa consapevolezza che il crescente sviluppo tecnologico a livello mondiale stava incidendo in maniera sempre più grave sul clima e che le risorse del pianeta non erano inesauribili nel 1997 venne siglato il Protocollo di Kyoto, il primo trattato realizzato a livello internazionale in materia ambientale riguardante il surriscaldamento globale e firmato da oltre 180 paesi.

A seguito di questo trattato la legislatura europea e quella italiana, così come quella di molti altri paesi, continuarono ad evolversi in tale ambito fissando negli anni obiettivi sull'efficienza energetica sempre maggiori e con l'intento finale di implementare l'utilizzo unico di fonti di energia rinnovabile e arrivare a una completa decarbonizzazione del settore, oltre ad incentivare una profonda ristrutturazione e innovazione delle industrie e del patrimonio edilizio rendendo ogni aspetto della vita umana più energeticamente efficiente.

1.1. QUADRO NORMATIVO EUROPEO

Dagli anni '90 il consiglio europeo inizia quindi a emanare diversi provvedimenti che mettano in pratica una effettiva lotta al cambiamento climatico e attuino il Protocollo di Kyoto

1.1.1. Direttiva 93/76/CEE

Del 13/09/1993, nota come "Direttiva SAVE". Con essa si intendono limitare le emissioni di biossido di carbonio tramite il miglioramento dell'efficienza energetica.

L'Art. 1 dichiara:

“La presente direttiva mira alla realizzazione da parte degli Stati membri dell'obiettivo di limitare le emissioni di biossido di carbonio grazie a un miglioramento dell'efficienza energetica, particolarmente mediante l'elaborazione e l'attuazione di programmi nei settori seguenti:

- certificazione energetica degli edifici,
- fatturazione delle spese di riscaldamento, climatizzazione ed acqua calda per usi igienici sulla base del consumo effettivo,

- del finanziamento tramite terzi degli investimenti di efficienza energetica nel settore pubblico,
- isolamento termico degli edifici nuovi,
- controllo periodico delle caldaie,
- diagnosi energetiche presso imprese ad elevato consumo di energia.

I programmi possono comprendere disposizioni legislative e regolamentari nonché strumenti economici e amministrativi, l'informazione, l'istruzione e accordi volontari il cui effetto sia oggettivamente valutabile”.

Grazie a questa normativa viene introdotto per la prima volta il concetto di certificazione energetica degli edifici e viene richiesto che le nuove costruzioni siano isolate termicamente.

1.1.2. Direttiva 2002/91/CE

Del 16/12/2002, nota come EPBD (Energy Performance Buildings Directive) tratta il rendimento energetico nel campo dell'edilizia. L'Art.1 dichiara:

“L'obiettivo della presente direttiva è promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella Comunità, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi. Le disposizioni in essa contenute riguardano: a) il quadro generale di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici; b) l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione; c) l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni; d) la certificazione energetica degli edifici, e e) l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.”

Tale normativa venne promulgata al fine di recepire il Protocollo di Kyoto a livello europeo e fissa dei requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici, dopo essersi assicurati ogni paese avesse sviluppato una propria metodologia di calcolo per tale rendimento.

1.1.3. Direttiva 2006/32/CE

Del 5/04/2006, tratta il miglioramento dell'efficienza negli usi finali dell'energia, andando direttamente a rivolgersi anche ai fornitori e gestori della sua distribuzione.

L'Art. 1 e 2 dichiarano:

“Articolo 1 – Scopo

Scopo della presente direttiva è rafforzare il miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi/benefici negli Stati membri:

- a) fornendo gli obiettivi indicativi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari ad eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia;
- b) creando le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici e la fornitura di altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica agli utenti finali.

Articolo 2 - Campo d'applicazione

La presente direttiva si applica:

- a) ai fornitori di misure di miglioramento dell'efficienza energetica, ai distributori di energia, ai gestori dei sistemi di distribuzione e alle società di vendita di energia al dettaglio. Tuttavia, gli Stati membri possono escludere dall'applicazione degli articoli 6 e 13 i piccoli distributori, i piccoli gestori dei sistemi di distribuzione e le piccole società di vendita di energia al dettaglio;

- b) ai clienti finali. La presente direttiva non si applica tuttavia alle imprese operanti nelle categorie di attività di cui all'allegato I della direttiva 2003/87/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 ottobre 2003, che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissione dei gas a effetto serra nella Comunità;
- c) alle forze armate, solo nella misura in cui l'applicazione della direttiva non è in contrasto con la natura e l'obiettivo primario delle attività delle forze armate e ad eccezione dei materiali utilizzati esclusivamente a fini militari.”

1.1.4. Direttiva 2009/28/CE

Del 23/04/2009, tratta la promozione dell'uso di energia ricavata da fonti rinnovabili e promuove la creazione di accordi fra gli stati membri per la realizzazione di progetti comuni atti alla produzione di elettricità da fonti pulite.

L'Art. 1 dichiara:

“La presente direttiva stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili. Fissa obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia e per la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti. Detta norme relative ai trasferimenti statistici tra gli Stati membri, ai progetti comuni tra gli Stati membri e con i paesi terzi, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative, all'informazione e alla formazione nonché all'accesso alla rete elettrica per l'energia da fonti rinnovabili. Fissa criteri di sostenibilità per i biocarburanti e i bioliquidi.”

Questa direttiva contiene inoltre il “Piano 20-20-20”: -20% di emissioni di gas serra, +20% di energia prodotta da fonti rinnovabili, 20% di risparmio energetico totale; una lista cioè di obiettivi che l'Unione Europea si era prefissata di raggiungere entro il 2020.

L'Art. 3 cita:

“Ogni Stato membro assicura che la propria quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia nel 2020, calcolata conformemente agli articoli da 5 a 11, sia almeno pari al proprio obiettivo nazionale generale per la quota di energia da fonti rinnovabili per quell’anno, indicato nella terza colonna della tabella all’allegato I, parte A. Tali obiettivi nazionali generali obbligatori sono coerenti con l’obiettivo di una quota pari almeno al 20 % di energia da fonti rinnovabili nel consumo finale lordo di energia della Comunità nel 2020. Al fine di conseguire più facilmente gli obiettivi fissati nel presente articolo, ogni Stato membro promuove e incoraggia l’efficienza ed il risparmio energetici.”

Raccomanda inoltre gli edifici pubblici siano sottoposti a ristrutturazioni rilevanti a livello nazionale, regionale e locale, e predispone una precisa percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili richiesta singolarmente a ogni paese dell’Unione entro il 2020, considerando i differenti livelli di partenza di ognuno degli stessi. Nei successivi allegati sono inoltre specificati gli obiettivi minimi per le quote energetiche da fonti rinnovabili relative ai differenti settori, le misure da adottare per raggiungere tali obiettivi e le formule necessarie a calcolare le emissioni totali di gas serra provenienti dal consumo di carburanti per differenti funzioni.

1.1.5. Direttiva 2010/31/UE

Del 19/05/2010 che abroga e sostituisce la precedente Direttiva 2002/91/CE, è nota come EPBD recast. Tratta e promuove il miglioramento delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio presente nell’Unione, mirando a incrementare i valori precedentemente introdotti relativi al risparmio energetico nel settore.

L’Art.1 dichiara:

“1. La presente direttiva promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all’interno dell’Unione, tenendo conto delle

condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi.

2. Le disposizioni della presente direttiva riguardano:

a) il quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari;
b) l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici e unità immobiliari di nuova costruzione;

c) l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di:

i) edifici esistenti, unità immobiliari ed elementi edilizi sottoposti a ristrutturazioni importanti;

ii) elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono rinnovati o sostituiti; nonché

iii) sistemi tecnici per l'edilizia quando sono installati, sostituiti o sono oggetto di un intervento di miglioramento;

d) i piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero;

e) la certificazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari;

f) l'ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria negli edifici; e

g) i sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione.

3. I requisiti stabiliti dalla presente direttiva sono requisiti minimi e non impediscono ai singoli Stati membri di mantenere o prendere provvedimenti più rigorosi. Tali provvedimenti devono essere compatibili con il trattato sul funzionamento dell'Unione europea. Essi sono notificati alla Commissione.”

Tale direttiva impone, nello specifico, che entro la fine del 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici nZEB.

1.1.6. Direttiva 2012/27/UE

Del 25/10/2012, tratta l'efficienza energetica modificando le precedenti Direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abrogando le Direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

L'Art.1 dichiara:

“1. La presente direttiva stabilisce un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica nell'Unione al fine di garantire il conseguimento dell'obiettivo principale dell'Unione relativo all'efficienza energetica del 20 % entro il 2020 e di gettare le basi per ulteriori miglioramenti dell'efficienza energetica al di là di tale data. Essa stabilisce norme atte a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia e prevede la fissazione di obiettivi nazionali indicativi in materia di efficienza energetica per il 2020.

I requisiti stabiliti dalla presente direttiva sono requisiti minimi e non impediscono ai singoli Stati membri di mantenere o introdurre misure più rigorose. Tali misure sono compatibili con il diritto dell'Unione. Qualora la normativa nazionale preveda misure più rigorose, gli Stati membri notificano tale normativa alla Commissione.”

Tale norma inoltre incentiva gli stati membri a progettare strategie di incentivi a lungo termine finalizzati alla ristrutturazione del parco immobiliare sia pubblico che privato e impone che entro il 2014 almeno il 3% degli edifici di proprietà statale in uso vengano ristrutturati con cadenza annuale per rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica.

1.1.7. Direttiva 2018/844

Del 30/05/2018, tratta l'efficienza energetica modificando la Direttiva 2010/31/UE (EPBD recast) e la Direttiva 2012/27/UE.

Tale norma impone la definizione di una strategia a lungo termine al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta

efficienza entro il 2050, trasformando gli edifici esistenti in edifici nZEB. Impone inoltre una riduzione delle emissioni di gas effetto serra dell'Unione per il 2050 dell'80-95% rispetto al 1990, con tappe indicative da raggiungere per il 2030 e il 2040, e raccomanda la mobilitazione dei necessari investimenti pubblici finalizzati alla riduzione del rischio e l'incentivazione di investimenti privati nella ristrutturazione.

Aggiorna i requisiti minimi di prestazione energetica e introduce il concetto di “sistemi di automazione e controllo dell'edificio”, raccomandandone l'implemento laddove possibile, e definendo un indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza. Agevola inoltre la mobilità elettrica, raccomandando l'installazione di punto di ricarica e la realizzazione delle infrastrutture necessarie ad averne in futuro almeno 1 ogni 5 posti auto.

Estende le istruzioni precedentemente disposte in merito alla necessità di ispezioni periodiche agli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione.

1.1.8. Regolamento 2018/1999

Dell'11/12/2018, tratta la governance da parte dell'Unione dell'energia e l'azione per il clima, modificando le Direttive n. 663/2009 e n. 715/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, le Direttive 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE e 2013/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, le Direttive del Consiglio 2009/119/CE e 2015/652 e che abroga il regolamento n. 525/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio.

L'Art.1 dichiara:

“1. Il presente regolamento istituisce un meccanismo di governance per:
a) attuare strategie e misure volte a conseguire gli obiettivi e traguardi dell'Unione dell'energia e gli obiettivi a lungo termine dell'Unione relativi alle emissioni dei gas a effetto serra conformemente all'accordo

di Parigi, e in particolare, per il primo decennio compreso tra il 2021 e il 2030, i traguardi dell'Unione per il 2030 in materia di energia e di clima;

b) incoraggiare la cooperazione tra gli Stati membri, anche, se del caso, a livello regionale, al fine di conseguire gli obiettivi e i traguardi dell'Unione dell'energia;

c) assicurare la tempestività, la trasparenza, l'accuratezza, la coerenza, la comparabilità e la completezza delle informazioni comunicate dall'Unione e dagli Stati membri al segretariato della convenzione UNFCCC e dell'accordo di Parigi;

d) contribuire a garantire una maggiore certezza normativa nonché una maggiore certezza per gli investitori e a sfruttare appieno le opportunità per lo sviluppo economico, la promozione degli investimenti, la creazione di posti di lavoro e la coesione sociale. Il meccanismo di governance è basato sulle strategie a lungo termine, sui piani nazionali integrati per l'energia e il clima che coprono periodi di dieci anni a partire dal decennio 2021-2030, sulle corrispondenti relazioni intermedie nazionali integrate sull'energia e il clima trasmesse dagli Stati membri e sulle modalità integrate di monitoraggio della Commissione. Il meccanismo di governance garantisce al pubblico effettive opportunità di partecipare alla preparazione di tali piani nazionali e di tali strategie a lungo termine. Esso comprende un processo strutturato, trasparente e iterativo tra la Commissione e gli Stati membri volto alla messa a punto e alla successiva attuazione dei piani nazionali integrati per l'energia e il clima, anche per quanto riguarda la cooperazione regionale, e la corrispondente azione della Commissione.

2. Il presente regolamento si applica alle cinque dimensioni dell'Unione dell'energia, che sono strettamente correlate e si rafforzano reciprocamente:

a) sicurezza energetica;

- b) mercato interno dell'energia;
- c) efficienza energetica;
- d) decarbonizzazione;
- e) ricerca, innovazione e competitività.”

Tale norma impone quindi la presentazione di piani statali con cadenza decennale rivolti alle sopracitate cinque dimensioni dell'Unione dell'energia, indicando le procedure per definire il contributo minimo che ogni stato deve provvedere a fornire in ogni ambito.

1.1.9. Direttiva 2018/2001

Dell'11/12/2018, tratta la promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

L'Art.1 dichiara:

“La presente direttiva stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili. Essa fissa un obiettivo vincolante dell'Unione per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia dell'Unione nel 2030. Detta anche norme relative al sostegno finanziario per l'energia elettrica da fonti rinnovabili, all'autoconsumo di tale energia elettrica, all'uso di energia da fonti rinnovabili nel settore del riscaldamento e raffrescamento e nel settore dei trasporti, alla cooperazione regionale tra gli Stati membri e tra gli Stati membri e i paesi terzi, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative e all'informazione e alla formazione. Fissa altresì criteri di sostenibilità e di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per i biocarburanti, i bioliquidi e i combustibili da biomassa.”

Nell'Art.3 infatti specifica “Gli Stati membri provvedono collettivamente a far sì che la quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo finale lordo di energia dell'Unione nel 2030 sia almeno pari al 32 %. ... La Commissione sostiene gli obiettivi ambiziosi degli Stati membri introducendo un quadro favorevole che comprenda un maggior

utilizzo dei fondi dell'Unione, compresi fondi aggiuntivi volti a favorire una transizione equa delle regioni ad alta intensità di carbonio verso un aumento delle quote di energia rinnovabile, in particolare gli strumenti finanziari”

Tale norma incentiva l'uso di energia da fonti rinnovabili nel riscaldamento e raffrescamento domestico, specialmente se prodotta in loco. Inoltre, al fine di integrare l'utilizzo dell'energia da fonti rinnovabili nel settore dei trasporti, fissa un obbligo in capo ai fornitori di carburante per assicurare che entro il 2030 la quota di energia da fonti rinnovabili sia almeno il 14 % del consumo finale di energia nel settore.

Aggiorna anche i criteri di calcolo riguardo le quote minime di energia rinnovabile e il calcolo dell'impatto dei gas a effetto serra dei biocarburanti, dei bioliquidi e dei combustibili da biomassa.

1.1.10. Direttiva 2018/2002

Dell'11/12/2018, tratta l'efficienza energetica e modifica la Direttiva 2012/27/UE.

Tale norma modifica gli obiettivi di efficienza energetica da raggiungere fissandone di precisi per il 2030 e indicando “La presente direttiva stabilisce un quadro comune di misure per promuovere l'efficienza energetica nell'Unione al fine di garantire il conseguimento degli obiettivi principali dell'Unione in materia di efficienza energetica del 20% per il 2020 e il conseguimento dell'obiettivo principale in materia di efficienza energetica di almeno il 32,5% per il 2030, e getta le basi per ulteriori miglioramenti dell'efficienza energetica al di là di tali scadenze. La presente direttiva stabilisce norme idonee a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia e prevede la fissazione di obiettivi e contributi nazionali indicativi in materia di efficienza energetica per il 2020 e il 2030. La presente direttiva

contribuisce all'attuazione del principio che pone l'efficienza energetica al primo posto.”

Aumenta inoltre le soglie minime di risparmio energetico (dall'1,3% all'1,5%) analizzato nelle vendite medie annue di energia ai clienti finali. Impone inoltre che nei condomini e negli edifici polifunzionali alimentati da una fonte centrale di riscaldamento o di raffreddamento oppure da un sistema di teleriscaldamento o di teleraffrescamento siano installati contatori individuali per misurare il consumo di calore, raffreddamento o acqua calda per uso domestico per ciascuna unità immobiliare, incentivando in tale modo anche il singolo condomino a effettuare lavori di adeguamento energetico nel proprio appartamento. Impone inoltre un aggiornamento dei contatori perché sia eseguita la lettura da remoto.

1.1.11. Raccomandazione 2019/786

Dell'8/15/2019, tratta la ristrutturazione degli edifici.

Essa, date le precedenti Direttive in vigore e in particolar modo la Direttiva 2018/844, stabilisce nuovi indicatori e metodi di calcolo aggiornati relativi alle prestazioni energetiche degli edifici, al fine di supportarne la corretta applicazione nei quadri normativi regionali e nazionali. Inoltre introduce nuovi e più ampi obblighi e identifica nuovi settori e nuove azioni da includere nelle strategie di ristrutturazione a lungo termine, facendo un riferimento più forte alla povertà energetica e aggiungendo riferimenti a

- i) salute, sicurezza e qualità dell'aria;
- ii) iniziative volte alla promozione di tecnologie intelligenti, competenze e formazione;
- iii) politiche rivolte ai segmenti del parco immobiliare nazionale caratterizzati dalle prestazioni peggiori; 16.5.2019 IT Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 127/37
- iv) problemi derivanti dalla frammentazione degli incentivi;

v) fallimenti del mercato;

vi) edifici pubblici.

1.1.12. Raccomandazione 2019/1019

Del 7/06/2019, tratta l'ammodernamento degli edifici.

Tale raccomandazione fornisce orientamenti su come interpretare e recepire la Direttiva "2018/844 - Prestazione energetica nell'edilizia", in particolare le disposizioni concernenti i sistemi tecnici per l'edilizia e le loro ispezioni, ivi compreso: requisiti sull'installazione di dispositivi autoregolanti e sui sistemi di automazione e controllo degli edifici (articolo 8 e articoli 14 e 15), l'infrastruttura di ricarica per la mobilità elettrica (articolo 8), e il calcolo dei fattori di energia primaria.

Dal 17/11/2020 al 9/2/2021 si è tenuta una consultazione pubblica sulla revisione della Direttiva sull'efficienza energetica (2018/2002). La Commissione prevede che una proposta legislativa finalizzata alla revisione della direttiva sull'efficienza energetica sarà adottata nel Luglio 2021.

1.2. QUADRO NORMATIVO ITALIANO

Dopo la guerra del Kippur il prezzo del greggio salì bruscamente e per la prima volta i paesi occidentali si resero conto della propria vulnerabilità energetica causata dalla dipendenza dal petrolio, bene difficilmente rintracciabile su territorio europeo. La crisi energetica che ne conseguì, dal 1973 in avanti, spinse l'Italia a promulgare la propria prima legge in materia di risparmio energetico.

1.2.1. Legge 373/76

Del 30/4/1976, tratta il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.

L'Art.1 dichiara:

“Al fine di contenere il consumo energetico per usi termici negli edifici, sono regolate dalla presente legge le caratteristiche di prestazione dei componenti, la installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici per il riscaldamento degli ambienti e per la produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari, alimentati da combustibili solidi, liquidi o gassosi negli edifici pubblici e privati, con esclusione di quelli adibiti ad attività industriali o artigianali. Sono regolate altresì le caratteristiche di isolamento termico degli edifici da costruire o ristrutturare, nei quali sia prevista l'installazione di un impianto termico di riscaldamento degli ambienti. Agli effetti della presente legge è considerato edificio sia un intero fabbricato, sia un insieme di locali, sia un locale isolato.”

Tale Legge trova attuazione nei decreti

- D.P.R. 28/6/1977, n.1052 “Regolamento di esecuzione alla Legge 30 aprile 1976, n.373 relativa al consumo energetico per usi termici negli edifici”;
- Decreto Ministeriale 10/3/1977 “Determinazione delle zone climatiche, dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici di dispersione termica”;
- Decreto Ministeriale 30/7/1986 “Aggiornamento dei coefficienti di dispersione termica degli edifici”.

Tali normative predispongono quindi per la prima volta una regolamentazione e limitazione agli impianti di riscaldamento, ne richiedono il collaudo e adeguata manutenzione.

Introducono inoltre l'obbligo di aggiungere un adeguato isolamento termico alle nuove costruzioni, determinano le zone climatiche e definiscono nuovi parametri di analisi quali il coefficiente volumico di dispersione termica negli edifici C_d , i gradi giorno e il rapporto S/V.

1.2.2. Legge n.10 del 9 Gennaio 1991

Tratta l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.

L'Art.1 dichiara:

“Al fine di migliorare i processi di trasformazione dell'energia, di ridurre i consumi di energia e di migliorare le condizioni di compatibilità ambientale dell'utilizzo dell'energia a parità di servizio reso e di qualità della vita, le norme del presente titolo favoriscono ed incentivano, in accordo con la politica energetica della Comunità economica europea, l'uso razionale dell'energia, il contenimento dei consumi di energia nella produzione e nell'utilizzo di manufatti, l'utilizzazione delle fonti rinnovabili di energia, la riduzione dei consumi specifici di energia nei processi produttivi, una più rapida sostituzione degli impianti in particolare nei settori a più elevata intensità energetica, anche attraverso il coordinamento tra le fasi di ricerca applicata, di sviluppo dimostrativo e di produzione industriale.”

Tale legge introduce a livello nazionale il concetto di certificazione energetica degli edifici (Art.30), ma tale concetto non trovò applicazione pratica non essendo mai stato emanato il relativo Decreto Attuativo. Il resto della legge venne invece attuato attraverso:

- il D.P.R. 26/8/1993, n.412 “Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art.4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n.10”,
- il D.P.R. 21/12/1999, n.511 “Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del

contenimento dei consumi di energia in attuazione dell'art. 4, comma 4 della legge 9 Gennaio 1991, n.10”.

1.2.3. Decreto del Presidente della Repubblica n. 412 del 26/8/1993

Tale norma suddivide il territorio nazionale in sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, classifica gli edifici per categoria in base alla loro destinazione d'uso, indica dei valori massimi della temperatura ambientale nel periodo nel quale è in funzione l'impianto di climatizzazione invernale per ogni categoria di edificio, determina i requisiti di dimensionamento degli impianti termici, il loro rendimento minimo e impone dei limiti di esercizio (numero di ore massime di funzionamento giornaliero dell'impianto).

1.2.4. Decreto Ministeriale 2/4/1998

Tratta le modalità di certificazione delle caratteristiche e delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti ad essi connessi.

L'Art. 3 dichiara:

“la certificazione può essere costituita da una "dichiarazione del produttore" mediante la quale quest'ultimo o il suo mandatario stabilito nell'Unione europea attesta le caratteristiche e le prestazioni energetiche del prodotto indicate nell'allegato A e dichiara che dette caratteristiche e prestazioni sono state determinate mediante prove effettuate presso un laboratorio o certificate da un organismo di certificazione di prodotto, accreditati presso uno dei Paesi membri della Comunità europea”

1.2.5. Decreto Legislativo n. 192 del 19/8/2005

Tale norma è stata emanata, relativamente al rendimento energetico nell'edilizia, per recepire la Direttiva europea 2002/91/CE (nota come EPBD). È la prima a introdurre in Italia la certificazione energetica, meglio definendone gli usi nel DL 311/2006.

L'Art. 1 dichiara:

“Il presente decreto stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Il presente decreto disciplina in particolare:

- a) la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- b) l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- c) i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- d) le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- e) i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- f) la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- g) la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Ai fini di cui al comma 1, lo Stato, le regioni e le province autonome, avvalendosi di meccanismi di raccordo e cooperazione, predispongono programmi, interventi e strumenti volti, nel rispetto dei principi di semplificazione e di coerenza normativa, alla:

- a) attuazione omogenea e coordinata delle presenti norme;
- b) sorveglianza dell'attuazione delle norme, anche attraverso la raccolta e l'elaborazione di informazioni e di dati;

c) realizzazione di studi che consentano adeguamenti legislativi nel rispetto delle esigenze dei cittadini e dello sviluppo del mercato;

d) promozione dell'uso razionale dell'energia e delle fonti rinnovabili, anche attraverso la sensibilizzazione e l'informazione degli utenti finali”

1.2.6. Decreto Legislativo n.311 del 29/12/2006

Stabilisce delle disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19/8/2005 n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

Tale decreto impone che gli edifici messi in vendita dichiarino il proprio consumo energetico a mezzo di certificazione energetica, definendo quindi le caratteristiche dell'”attestato di qualificazione energetica” (ACE) e le classi di possibile appartenenza dell'edificio.

Impone inoltre che per gli edifici di nuova costruzione o a seguito di ristrutturazione degli impianti termici di edifici preesistenti almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sia prodotto tramite energia solare.

1.2.7. Decreto Legislativo n.115 del 30/5/2008

Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

L'Art.1 dichiara:

“Il presente decreto, al fine di contribuire al miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, stabilisce un quadro di misure volte al miglioramento dell'efficienza degli usi finali dell'energia sotto il profilo costi e benefici. Per tali finalità, il presente decreto:

a) definisce gli obiettivi indicativi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico necessari ad eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia;

b) crea le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici e la fornitura di altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica agli utenti finali”

Tale norma è volta a ottenere una riduzione minima del 10% dell'indice di prestazione energetica previsto dal DL n.192 del 19/8/2005 sia per edifici di nuova costruzione che sottoposti a riqualificazione energetica.

1.2.8. Decreto del Presidente della Repubblica n. 59 del 2/4/2009

Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.

Definisce i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari.

1.2.9. Decreto Ministeriale 26/6/2009

Definisce le linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici e gli strumenti di raccordo e cooperazione fra Stato e Regioni in materia.

Viene qui definito, nell'allegato A, l'indice di prestazione energetica globale EP_{gl} come

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill}$$

dove:

- EP_i : è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale
- EP_{acs} : l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria
- EP_e : l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

- EP_{ill}: l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale

Vengono definite le metodologie per la determinazione della prestazione energetica degli edifici, viene indicato come effettuare una valutazione qualitativa delle caratteristiche dell'involucro edilizio volta a contenere il fabbisogno per la climatizzazione estiva, esposta la metodologia di classificazione degli edifici e la procedura di certificazione energetica.

1.2.10. Decreto Legislativo n. 28 del 3/3/2011

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.

L'Art.1 dichiara:

“Il presente decreto, in attuazione della direttiva 2009/28/CE e nel rispetto dei criteri stabiliti dalla legge 4 giugno 2010 n.96, definisce gli strumenti, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari per il raggiungimento degli obiettivi fino al 2020 in materia di quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia e di quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti. Il presente decreto inoltre detta norme relative ai trasferimenti statistici tra gli Stati membri, ai progetti comuni tra gli Stati membri e con i paesi terzi, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative, all'informazione e alla formazione nonché all'accesso alla rete elettrica per l'energia da fonti rinnovabili e fissa criteri di sostenibilità per i biocarburanti e i bioliquidi”

Tale norma attua quindi in Italia il Piano 20-20-20, indicando nello specifico che l'energia totale consumata per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria in un edificio residenziale sia prodotta da fonti rinnovabili per una percentuale del:

- 20% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013;
- 35% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2016;
- 50% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° gennaio 2017.

1.2.11. Decreto Ministeriale del 22/11/2012

Modifica del decreto 26/6/2009, recante: «Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.».

L'Art.1 dichiara:

“Il presente decreto modifica il decreto ministeriale 26 giugno 2009 per una applicazione omogenea, coordinata e immediatamente operativa della certificazione energetica degli edifici su tutto il territorio nazionale”.

Tale norma rende obbligatoria la consulenza di un tecnico abilitato per far redigere certificati energetici per ogni tipologia di edificio.

1.2.12. Decreto del Presidente della Repubblica n.75 del 16/04/2013

Regolamento recante disciplina dei criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettera c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192.

Questo è l'ultimo dei tre decreti applicativi che rendono pienamente effettivo il D.lgs 192/2005. Essa indica i contenuti minimi del corso di formazione per diventare tecnici abilitati alla certificazione energetica degli edifici.

1.2.13. Decreto-Legge n. 63 del 4/6/2013

Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE (EPBD recast) del Parlamento europeo e del Consiglio del 19/5/2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.

L'Art.1 dichiara:

“Il presente decreto definisce e integra criteri, condizioni e modalità per:

- migliorare le prestazioni energetiche degli edifici;
- favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici;
- sostenere la diversificazione energetica;
- promuovere la competitività dell'industria nazionale attraverso lo sviluppo tecnologico;
- coniugare le opportunità offerte dagli obiettivi di efficienza energetica con lo sviluppo del settore delle costruzioni e dell'occupazione;
- conseguire gli obiettivi nazionali in materia energetica e ambientale;
- razionalizzare le procedure nazionali e territoriali per l'attuazione delle normative energetiche al fine di ridurre i costi complessivi, per la pubblica amministrazione e per i cittadini e per le imprese;
- applicare in modo omogeneo e integrato la normativa su tutto il territorio nazionale”

Successivamente convertito in legge con modificazioni dalla **Legge n.90 del 3/8/2013**, tale norma aggiorna il D.lgs 192/2005 aggiungendo il concetto di edificio a energia quasi zero e imponendo ogni edificio di nuova costruzione dopo il 2018 appartenga a tale categoria. Vengono qui aggiornati gli obiettivi

in tema di efficienza energetica e si trasforma l'attestato di certificazione energetica (ACE) in attestato di prestazione energetica (APE).

1.2.14. Decreto Legislativo n.102 del 4/7/2014

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.

L'Art.1 dichiara:

“Il presente decreto, in attuazione della direttiva 2012/27/UE e nel rispetto dei criteri fissati dalla legge 6/8/2013 n.96, stabilisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica che concorrono al conseguimento dell'obiettivo nazionale di risparmio energetico indicato all'articolo 3. Il presente decreto, inoltre, detta norme finalizzate a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e negli usi finali dell'energia”.

Tale norma ha lo scopo di portare l'Italia a conseguire gli obiettivi fissati per il 2020.

1.2.15. Decreti 26/6/2015

Il 26/6/2015 vengono pubblicati tre decreti dal Ministero dello Sviluppo Economico. Tali norme, assieme alle altre precedentemente redatte, portano a completo adeguamento la normativa italiana alla Direttiva europea 2010/31/UE e sono i decreti attuativi del Decreto-Legge 63/2013.

Esse sono:

- Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici, detto anche “decreto requisiti minimi”.
- Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico: linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, detto anche “Decreto Linee guida APE”

- Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.

L'Art. 1 del Decreto Requisiti Minimi dichiara:

“Il presente decreto definisce le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari, nel rispetto dei criteri generali di cui all'art. 4, comma 1, del decreto legislativo 19/8/2005 n.192, come riportati nell'Allegato 1.

I criteri generali di cui al comma 1 si applicano agli edifici pubblici e privati, siano essi edifici di nuova costruzione o edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione”.

Tale norma definisce le ristrutturazioni di primo e secondo livello, i relativi requisiti e prescrizioni, aggiorna il metodo di calcolo per l'EP globale e stabilisce un nuovo metodo per la determinazione della classe energetica degli edifici.

L'Art. 1 del Decreto Linee Guida APE dichiara:

“Ai sensi dell'art. 1 e dell'art. 6, comma 12, del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 e successive modifiche ed integrazioni, nel seguito solo decreto legislativo, il presente decreto si pone la finalità di favorire l'applicazione omogenea e coordinata dell'attestazione della prestazione energetica degli edifici e delle unità immobiliari, nel seguito, per brevità, solamente edifici o immobili, su tutto il territorio nazionale. Il presente decreto definisce:

- a) le Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici
- b) gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le regioni

c) la realizzazione di un sistema informativo comune per tutto il territorio nazionale per la gestione di un catasto nazionale degli attestati di prestazione energetica e degli impianti termici”

Tale norma approfondisce il tema degli attestati di prestazione energetica, indicando come redigerli, che metodi di calcolo applicare, la procedura da seguire e definendo il Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica (SIAPE), un sistema informatico di supporto al monitoraggio e controllo degli APE archiviati.

Il terzo decreto definisce invece i moduli da compilare per redigere relazioni tecniche di progetto necessarie per ogni differente tipologia di lavoro.

1.2.16. Decreto Legislativo n.141 del 18/7/2016

Disposizioni integrative al decreto legislativo 4/7/2014 n. 102, di 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.

Tale norma stabilisce scadenze e impone sanzioni in caso di mancato rispetto relativamente all'aggiunta di contatori per le singole unità immobiliari in caso di impianti centralizzati.

1.2.17. Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 16/9/2016

Modalità di attuazione del programma di interventi per il miglioramento della prestazione energetica degli immobili della pubblica amministrazione centrale

L'Art.1 dichiara:

“Il presente decreto disciplina la predisposizione e l'attuazione dei programmi di interventi per il miglioramento della prestazione energetica degli immobili della pubblica amministrazione centrale ai sensi dell'art. 5 del decreto legislativo n.102 del 2014.

Ai fini di cui al comma 1, il presente decreto disciplina in particolare:

- a) le modalità di finanziamento;
- b) le modalità e i criteri per l'individuazione e la selezione degli interventi ammessi al finanziamento;
- c) la presentazione delle proposte di intervento e l'approvazione del programma di interventi;
- d) le attività di informazione e assistenza tecnica necessarie;
- e) il coordinamento, la raccolta dei dati e il monitoraggio necessario per verificare lo stato di avanzamento del programma.

Restano comunque esclusi dai programmi di cui al comma 1 gli interventi sugli immobili individuati dall'art.5 comma 6 del decreto legislativo n.102 del 2014”.

Tale norma garantisce un supporto finanziario ai proprietari che desiderino svolgere opere di riqualificazione energetica gli immobili di propria proprietà, purchè siano rispettati i requisiti richiesti. Indica inoltre le modalità nelle quali è possibile presentare domanda per accedere a tali fondi e i criteri in base ai quali sarà valutata la proposta presentata, oltre alle modalità di erogazione del finanziamento.

1.2.18. Decreto Interministeriale 19/6/2017

Tale decreto approva il “Piano d’azione nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero”. Questo piano viene redatto ogni 3 anni ed è parte di un gruppo di tre piani settoriali:

- Strategia per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale (STREPIN), finalizzata ad incentivare investimenti volti alla ristrutturazione partendo dalla ricognizione del parco immobiliare nazionale e analizzando le barriere tecniche, economiche e finanziarie che ostacolano la realizzazione degli interventi di efficienza energetica e proponendo il miglioramento degli strumenti di supporto per incrementare il risparmio energetico atteso

- il Piano d’Azione per gli Edifici ad Energia Quasi Zero (PANZEB), che traccia gli orientamenti e le linee di sviluppo nazionali per incrementare il numero di edifici ad energia quasi zero tramite misure di regolazione e incentivazione disponibili
- il Programma per la Riqualificazione Energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale (PREPAC), il quale dispone che i Ministeri dello Sviluppo economico e dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare predispongano, entro il 30 novembre di ogni anno, un programma di interventi annuali di riqualificazione energetica negli edifici della pubblica amministrazione relativi ad almeno il 3% annuo della superficie coperta utile climatizzata.

1.2.19. Decreto Legislativo n.48 del 10/6/2020

Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30/5/2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

L’Art.1 dichiara

“Il presente decreto attua la direttiva (UE) 2018/844 e promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi delle azioni previste, ottimizzando il rapporto tra oneri e benefici per la collettività”

Tale norma fissa a livello italiano degli obiettivi a lungo termine, che mirano al 2050 in modo coordinato a quelli europei. Provvede inoltre ad assicurare incentivi fiscali nel medio-lungo termine, aggiorna i criteri generali per la metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici, prevede l’istituzione di un portale nazionale sulla prestazione energetica degli edifici e introduce una sanzione nel caso di omissione dell’APE.

1.3. QUADRO NORMATIVO EMILIANO-ROMAGNOLO

A seguito del DL del 19/8/2005 l'attuazione di parte degli obblighi normativi da rispettare in tema di efficienza energetica, prestazioni energetiche e loro controllo è stato rimandato alle singole Regioni; la procedura di certificazione energetica da rispettare è infatti stabilita a livello locale.

1.3.1. Delibera dell'Assemblea Legislativa n.156 del 4/3/2008

Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici.

Tale atto disciplina, in particolare

- l'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli impianti energetici in essi installati
- le metodologie per la valutazione della prestazione energetica degli edifici e degli impianti
- il rilascio dell'attestato di certificazione energetica degli edifici
- il sistema di accreditamento degli operatori preposti alla certificazione energetica degli edifici
- l'esercizio e la manutenzione degli edifici e degli impianti
- il sistema informativo regionale per il monitoraggio della efficienza energetica degli edifici e degli impianti
- le misure di sostegno e di promozione finalizzate all'incremento dell'efficienza energetica ed alla riduzione delle emissioni climalteranti.

1.3.2. Delibera della Giunta Regionale n.1050 del 7/7/2008

Sistema di accreditamento dei soggetti preposti alla certificazione energetica degli edifici.

Tale atto disciplina la procedura da seguire per diventare tecnici accreditati preposti alla certificazione energetica degli edifici

1.3.3. Delibera della Giunta Regionale n. 1754 del 28/10/2008

Disposizioni per la formazione del certificatore energetico in edilizia in attuazione della Delibera dell'Assemblea legislativa n. 156/08.

Indica i requisiti minimi e il programma da svolgere per diventare tecnici preposti alla certificazione energetica degli edifici.

1.3.4. Delibera dell'Assemblea Legislativa n.255 del 6/10/2009

Modifica alla DAL n. 156/2008: approvazione atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici.

Modifica i requisiti minimi necessari affinché un soggetto possa essere accreditato come tecnico preposto alla certificazione energetica degli edifici.

1.3.5. Delibera della Giunta Regionale n.1390 del 21/9/2009

Modifica agli allegati tecnici della DAL n.156/2008 recante "Approvazione atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici" (DGR n. 1390/09)"

Aggiorna i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici, i metodi di calcolo per la determinazione della prestazione energetica e si impone la necessità di un rapporto di controllo tecnico per impianti termici di potenza maggiore o uguale a 35kW.

1.3.6. Delibera della Giunta Regionale n.1362 del 20/9/2010

Modifica degli allegati di cui alla parte seconda della DAL n. 156/2008.

Essa definisce o aggiorna i temi:

- Disposizioni in materia di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli impianti
- Requisiti minimi di prestazione energetica
- Attestato di qualificazione energetica
- Procedura di certificazione degli edifici

- Attestato di certificazione energetica
- Metodologie per la determinazione della prestazione energetica degli edifici
- Sistema di classificazione della prestazione energetica degli edifici
- Rapporto di controllo tecnico per impianti termici di potenza maggiore o uguale a 35 kW
- Rapporto di controllo tecnico per impianti termici di potenza inferiore a 35 kW
- Valore minimo di rendimento di combustione dei generatori di calore rilevati nel corso dei controlli
- Linee guida per la formazione dei certificatori e degli operatori che intervengono nel processo edilizio

1.3.7. Delibera della Giunta Regionale n.855 del 20/5/2011

Approvazione di una procedura semplificata per il riaccreditamento dei soggetti iscritti nell'elenco regionale dei soggetti certificatori istituito ai sensi della Dal n.156/2008

1.3.8. Delibera della Giunta Regionale n.429 del 16/4/2012

Disposizioni concernenti il sistema di accreditamento dei soggetti preposti alla certificazione energetica degli edifici. Affidamento delle funzioni di organismo regionale di accreditamento di cui al punto 6) della Delibera dell'Assemblea legislativa n.156/08 alla Società NuovaQuasco s.c.r.l.

1.3.9. Indicazioni metodologiche per l'applicazione dei requisiti della DGR n.1366/2011 in materia di fonti energetiche rinnovabili, revisione 3

Tratta il calcolo del fabbisogno di energia primaria dell'edificio in presenza di impianti a FER (da Fonti Energetiche Rinnovabili), il calcolo della percentuale di energia da FER sui consumi finali e provvede a dare degli esempi di calcolo per configurazioni tipo.

1.3.10. Delibera della Giunta Regionale n.453 del 7/4/2014

Modifica dei criteri di riconoscimento dei soggetti cui affidare la certificazione energetica degli edifici: modifiche alla deliberazione dell'Assemblea legislativa del 4/3/2008 n.156 "Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici - parte prima - disposizioni generali" e s.m.i., nonché alle DGR n.1754/2008 e n.429/2012 e ai successivi provvedimenti

1.3.11. Delibera della Giunta Regionale n.1577 del 13/10/2014

Modifiche alle disposizioni in materia di prestazione energetica degli edifici di cui agli Allegati 1, 2 e 3 della delibera dell'Assemblea legislativa del 4 marzo 2008 n. 156 e s.m

1.3.12. Delibera della Giunta Regionale n.1578 del 13/10/2014

Definizione dei nuovi modelli di libretto di impianto e di rapporto di controllo di efficienza energetica e abrogazione degli Allegati 10 e 11 della delibera dell'Assemblea legislativa del 4/3/2008 n.156 e s.m.

1.3.13. Delibera della Giunta Regionale n.181 del 28/2/2015

Rettifica della DGR n.1577 del 13/10/2014 riportante "Modifiche alle disposizioni in materia di prestazione energetico degli edifici di cui agli allegati 1, 2 e 3 della delibera dell'Assemblea legislativa del 4/3/2008 n.156 e s.m."

1.3.14. Delibera della Giunta Regionale n.967 del 20/7/2015

Approvazione dell'Atto di coordinamento tecnico regionale per la definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici.

1.3.15. Delibera della Giunta Regionale n.1275 del 7/9/2015

Approvazione delle disposizioni regionali in materia di attestazione della prestazione energetica degli edifici (certificazione energetica).

1.3.16. Indicazioni metodologiche per l'applicazione dei fattori di conversione al metodo di calcolo di cui alle DGR 967/2015 e 1275/2015

Tratta il calcolo del fabbisogno di energia primaria, il calcolo dei consumi finali di fonti e vettori energetici e il calcolo delle emissioni di CO₂ per fonte/vettore energetico

1.3.17. Indicazioni metodologiche per il rispetto dei requisiti di cui alla DGR 967/2015 in materia di contabilizzazione del calore

Tratta la contabilizzazione del calore per le singole unità immobiliari, definendo il corretto utilizzo dei sistemi di contabilizzazione indiretta del calore al fine di rispettare le precedenti normative in materia.

1.3.18. Delibera della Giunta Regionale n.304/2016

Sistema di certificazione energetica degli edifici: determinazione del contributo richiesto ai soggetti certificatori ai sensi del comma 7 dell'art. 25-ter della L.R. n.26 del 2004 e modifiche agli Allegati della DGR n.1275/2015

1.3.19. Delibera della Giunta Regionale n.1715 del 24/10/2016

Modifiche all'”Atto di coordinamento tecnico regionale per la definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici” di cui alla DGR n.967 del 20/7/2015

1.3.20. Delibera della Giunta Regionale 1978 del 13/12/2017

Concessione di contributi per la realizzazione di interventi per la riqualificazione energetica degli edifici pubblici e dell'edilizia residenziale pubblica. Prevede misure specifiche per la trasformazione degli edifici esistenti in “edifici a energia quasi zero” e la diffusione di edifici nZEB. Ad agosto 2018 è stata inoltre approvata la sesta graduatoria relativa alle domande 2017 e 2018.

1.3.21. Delibera della Giunta Regionale n.1385 del 19/10/2020

Modifiche alle disposizioni regionali in materia di attestazione della prestazione energetica degli edifici (Certificazione energetica) di cui alla DGR n.1275 del 7/9/2015 e s.m.i.

1.3.22. Delibera della Giunta Regionale n.1383 del 19/10/2020

Modifiche all'atto di coordinamento tecnico regionale per la definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici di cui alle DGR n.967 del 20/7/2015 e 1715 del 24/10/2016.

2. EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI

Nei luoghi di lavoro, nella nostra abitazione, in un ufficio pubblico, avere un ambiente confortevole e salubre è fondamentale per gli standard odierni. Purtroppo per poterlo garantire tutto l'anno sono essenziali impianti di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria e altro ancora, ognuno dei quali consuma energia.

I consumi energetici di luce e gas negli edifici causano oggi oltre il 53% delle emissioni di polveri fini e il settore dell'edilizia nel suo complesso rimane il più grande consumatore di energia in Europa, con una fetta di oltre il 40%.

Quando si parla di efficienza energetica negli edifici si fa riferimento non solo al suo fabbisogno energetico, ma anche all'effettivo consumo di energia: minori sono i consumi per soddisfarne il fabbisogno, migliore è il rendimento e quindi migliore è la sua efficienza energetica. Per ottenere questo risultato si può andare contemporaneamente a lavorare su due fronti distinti: da un lato, migliorare il rendimento dell'edificio migliorandone le prestazioni in termini di dispersioni energetiche, dall'altro aggiungere sistemi locali di produzione energetica da fonti rinnovabili, quali per esempio i pannelli solari, il geotermico o l'eolico.

Oggi oltre il 75% del parco immobiliare europeo è definito energeticamente inefficiente, quindi si ha un alto margine di miglioramento in questo settore andandolo a riqualificare energeticamente. La ristrutturazione degli edifici esistenti potrebbe ridurre già del 5-6% il consumo totale di energia dell'UE e del 5% le emissioni di CO₂. Dal 1° Gennaio 2021 (dal 1° Gennaio 2019 per l'Emilia-Romagna) tutti i nuovi edifici vengono per norma progettati e realizzati come edifici a energia quasi zero, cioè come edifici ad altissima prestazione energetica il cui minimo fabbisogno energetico è per la maggior parte coperto da energia prodotta in loco tramite fonti rinnovabili.

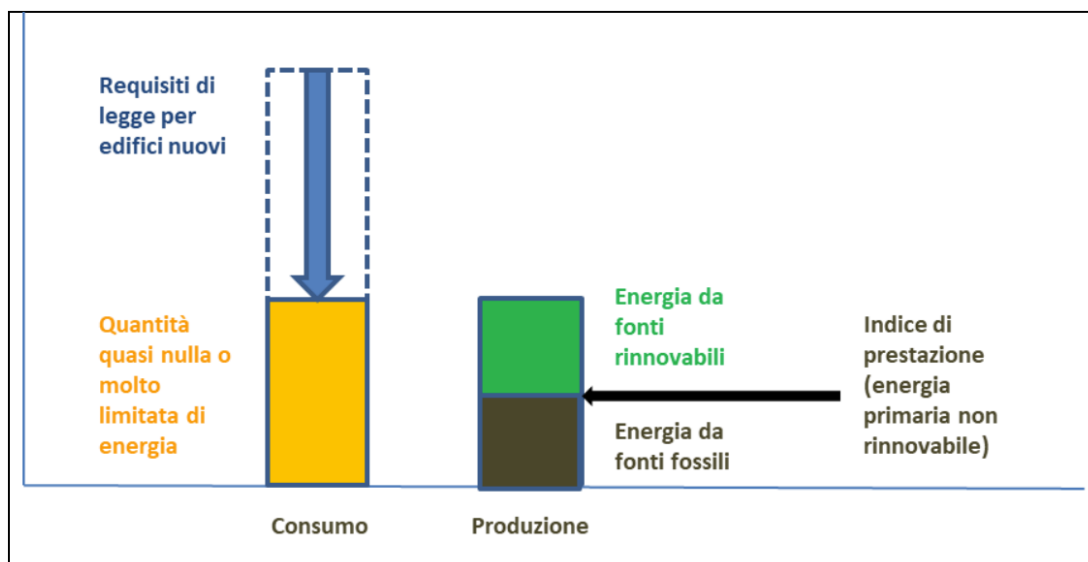


Figura 1 – Rappresentazione della definizione di edificio nZEB nella direttiva EPBD

2.1. EDIFICI nZEB

Come accennato, tale acronimo definisce un “edificio ad altissima prestazione energetica (...). Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l’energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze” (direttiva 2010/31/UE, EPBD).

La lettera Z sta per “Zero”, E per “Energy” e B per “Building”. La sigla ZEB indica un edificio ad alta prestazione energetica che produce interamente in sito da fonti rinnovabili l’energia consumata, ma arrivare a tali livelli di prestazione energetica risulta particolarmente costoso e sono rare le situazioni nelle quali tutta l’energia necessaria al sostentamento dell’edificio possa essere prodotta nei pressi dell’edificio stesso, data la scarsità di spazi; per questo si trattano normalmente i “nearly” ZEB, edifici che sono qui “quasi” ZEB.

Non ci sono “ricette” predefinite per realizzare un nZEB, ma normalmente si seguono i principi della progettazione sostenibile sfruttando al meglio le risorse naturali, assicurando le dispersioni siano minime e il calore sia contemporaneamente captato a meglio in inverno e fermato in estate; è

quindi chiaro come un edificio nZEB progettato in un clima freddo risulti molto differente da uno progettato in climi più caldi.

L'energia può essere prodotta da qualsiasi fonte rinnovabile ma specialmente sul territorio italiano quella maggiormente sfruttata rimane la solare, sia tramite l'uso di pannelli fotovoltaici che tramite pannelli solari per scaldare l'acqua.

Requisiti da rispettare nella progettazione di nZEB _Decreto Ministeriale 26.06.2015		
$H'T$ [W/ m ² K]	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente	$H'T < H'T_{limite}$ tabulato e variabile con S/V e zona climatica
$A_{sol,est}/ A_{sup,utile}$	Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile	$A_{sol,est}/ A_{sup,utile} \leq A_{sol,est}/ A_{sup,utile}_{limite}$ Il valore di riferimento è tabulato e varia con la categoria di edificio
η_H η_C η_W	Efficienze medie stagionali di impianto di climatizzazione invernale (H), impianto di climatizzazione estiva compreso l'eventuale controllo dell'umidità (C), impianto di produzione acqua calda sanitaria (W)	$\eta_H > \eta_H_{limite}; \eta_C > \eta_C_{limite}; \eta_W > \eta_W_{limite}$ Valori, in forma tabellare, delle efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione e di generazione, riferiti all'edificio di riferimento 2019-2021
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	$EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}$ (2019,2021) Limite relativo all'edificio di riferimento
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$ (2019,2021) Limite relativo all'edificio di riferimento
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m ²]	Indice di prestazione globale dell'edificio	$EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}$ (2019,2021) Limite relativo all'edificio di riferimento
U trasmissioni termiche dell'involucro [W/m ² K]	Trasmissioni pareti, copertura, pavimento, chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti	U < Valori, in forma tabellare, delle trasmissioni termiche delle strutture di involucro riferiti all'edificio di riferimento 2019-2021
Integrazione delle fonti di energia rinnovabile (FER) _Decreto Legislativo 28/2011		
Percentuale minima di copertura del consumo energetico complessivo (per produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento) 50% proroga 1.1.2018 Nessun obbligo se l'edificio è allacciato ad una rete di teleriscaldamento che ne copra l'intero fabbisogno di calore per il riscaldamento degli ambienti e la fornitura di ACS	Percentuale minima di copertura del consumo energetico per la produzione di ACS 50% Nessun obbligo se l'edificio è allacciato ad una rete di teleriscaldamento che ne copra l'intero fabbisogno di calore per il riscaldamento degli ambienti e la fornitura di ACS la fornitura di ACS	Potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili da installare sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze 1/50 dell'Impronta dell'edificio
Per gli edifici pubblici tali obblighi per le fonti energetiche rinnovabili sono incrementati del 10%.		

Figura 2 – Requisiti minimi di un nZEB per la normativa italiana

All'estate 2018 era possibile contare circa 1400 edifici nZEB in tutta Italia, del quale il 90% erano nuove costruzioni e l'85% a uso residenziale. La maggior parte delle informazioni in materia disponibili oggi derivano dagli APE depositati e dalle analisi svolte da ENEA questi edifici presentano un indice di prestazione globale EP_{gl} medio di 75kWh/m² e sono certificati in classe A4.

Il costo per realizzare nuovi edifici residenziali monofamiliari si aggira, nel 2019, attorno i 3000/3600€/m² e attorno ai 1500€/m² per i plurifamiliari.

2.2. PRESTAZIONE ENERGETICA DI UN EDIFICIO

È definita tale la “quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare, con un uso standard dell'immobile, i vari bisogni energetici dell'edificio, la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e, per il settore terziario, l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili. Tale quantità viene espressa da uno o più descrittori che tengono conto del livello di isolamento dell'edificio e delle caratteristiche tecniche e di installazione degli impianti tecnici. La prestazione energetica può essere espressa in energia primaria non rinnovabile, rinnovabile, o totale come somma delle precedenti” (Art.2 Legge 90/2013).

Per parlare di prestazioni energetiche di un edificio in ambito europeo è quindi necessario definire anche l'energia primaria. L'energia è detta primaria quando è presente in natura e non deriva quindi dalla trasformazione di nessun'altra forma di energia; può essere di fonte rinnovabile (eolica, solare, geotermica, biomasse...) o non rinnovabile (petrolio, gas naturale, carbone...) e quando si prendono in considerazione entrambe le tipologie si parla di energia primaria totale.

Per definire la prestazione energetica di un edificio si usa l'Indice di Prestazione Energetica Globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$, avente per unità di misura i kWh/m², che indica l'energia primaria non rinnovabile consumata dall'edificio per metro quadro di superficie in un anno.

Sulla base di tale indice la normativa italiana ha progettato una scala di classificazione della prestazione energetica degli immobili, ma mentre le prime normative in materia vedevano questa scala andare dalla classe A alla G in funzione diretta dell' $EP_{gl,nren}$, col DM 26/6/2015 dal 1/10/2015 le classi vanno ora dalla A4 alla G e l'indice viene invece valutato in rapporto a quello di un edificio di riferimento. Tale edificio di riferimento ha le stesse caratteristiche geometriche, di esposizione e localizzazione

dell'immobile oggetto di studio, ma con parametri energetici performanti equivalenti a una classe A1. Sulla base quindi del rapporto $EP_{gl,nren}/EP_{gl,rif}$ è possibile individuare la classe energetica dell'edificio

	CLASSE A4	$\leq 0,40 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$0,40 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE A3	$\leq 0,60 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$0,60 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE A2	$\leq 0,80 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$0,80 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE A1	$\leq 1,00 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$1,00 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE B	$\leq 1,20 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$1,20 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE C	$\leq 1,50 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$1,50 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE D	$\leq 2,00 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$2,00 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE E	$\leq 2,60 EP_{gl, nren,rif, standard}$
$2,60 EP_{gl, nren,rif, standard} <$	CLASSE F	$\leq 3,50 EP_{gl, nren,rif, standard}$
	CLASSE G	$> 3,50 EP_{gl, nren,rif, standard}$

Figura 3 – Scala di classificazione della prestazione energetica degli immobili dopo il 1/10/2015

I due dati che maggiormente influenzano il calcolo delle prestazioni energetiche di un edificio sono i gradi giorno (GG) e il rapporto S/V.

I GG sono la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle differenze giornaliere tra la temperatura dell'ambiente interno e la temperatura media esterna. Naturalmente, maggiori sono i gradi giorno e più è rigido il clima della località considerata. Per fare un esempio, a Roma i GG sono 1415, a Milano sono 2404, a Palermo 751.

Il rapporto S/V è il rapporto fra superficie disperdente ed il volume riscaldato di un immobile. La superficie disperdente comprende le superfici dell'immobile che confinano con l'esterno, con il terreno e con altri ambienti non riscaldati. Più un edificio risulta di forma compatta, minori sono normalmente le dispersioni termiche.

Il calcolo dell' $EP_{gl,nren}$ viene normalmente fatto da un tecnico abilitato e può essere svolto con differenti metodi, più o meno accurati, ma questo argomento sarà trattato nei capitoli successivi.

2.3. TRASMITTANZA TERMICA

La trasmittanza termica U è il valore basilare per arrivare a sviluppare il calcolo delle dispersioni energetiche di un edificio e quindi il suo $EP_{gl,nren}$. È una grandezza fisica che viene utilizzata per calcolare le dispersioni termiche attraverso una superficie (ad esempio parete esterna, serramenti trasparenti); più è basso il suo valore, minori saranno le dispersioni termiche. Per legge (DLgs 311/2006) sono stati fissati dei valori limite di trasmittanza termica, sia per le strutture opache che trasparenti, che devono essere rispettati al momento della progettazione e costruzione dell'edificio. Più precisamente, in condizioni di regime stazionario (flusso di calore e temperature rimangono stabili nel tempo), la trasmittanza termica rappresenta il flusso di calore che attraversa la superficie unitaria sottoposta a una differenza di temperatura pari a 1°C ed è misurata in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. È definibile anche come l'inverso della resistenza termica R , la difficoltà cioè del calore nell'attraversare la superficie.

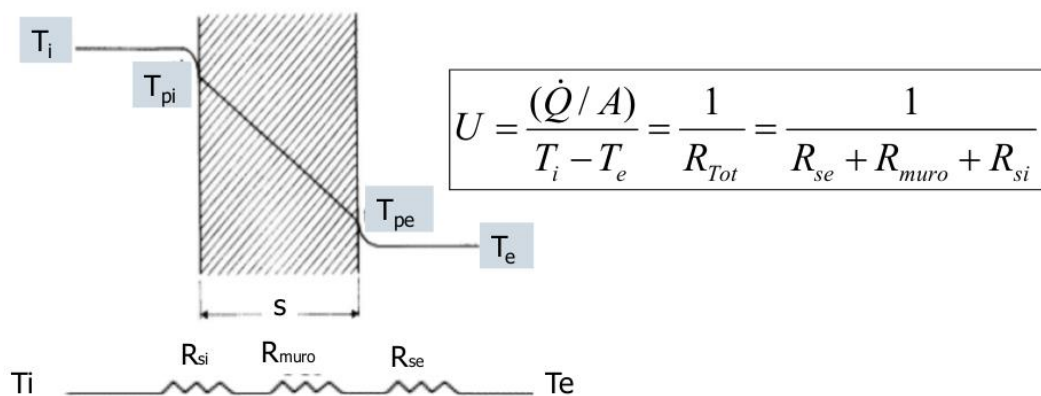


Figura 4 – Trasmittanza termica per un materiale omogeneo in regime stazionario

La resistenza termica è specifica per ogni materiale in quanto dipende non solo dalla sua geometria (spessore del materiale), ma anche dalla sua conducibilità termica λ , un parametro intrinseco del materiale che ne caratterizza la capacità di condurre calore e si misura in W/mK .

A seconda del metodo di trasmissione del calore la resistenza termica R viene calcolata con differenti metodologie

➤ per la conduzione:

$$R_i = \frac{s}{\lambda} = \frac{1}{C_i} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

con:

s = spessore dello strato [m]

λ = resistenza termica dello strato [W/m K]

C = conduttanza unitaria del materiale [W/m² K]

➤ per la convezione ed irraggiamento:

$$R_i = R_s = \frac{1}{h_c + h_r} = \frac{1}{\alpha}$$

con:

R_s = resistenza termica superficiale [m² K / W], che tiene conto dei coefficienti limitari di convezione, h_c e di irraggiamento, h_r

α = coefficiente di adduzione [W / m² K]

Figura 5 – Metodi di calcolo della Resistenza Termica

Al fine di calcolare la R totale di una classica parete, normalmente composta da più strati di materiali omogenei posizionati uno in successione all'altro, è possibile sommare le R dei singoli strati, come si farebbe in un circuito elettrico trovandosi di fronte a più resistenze differenti fra loro posizionate in serie.

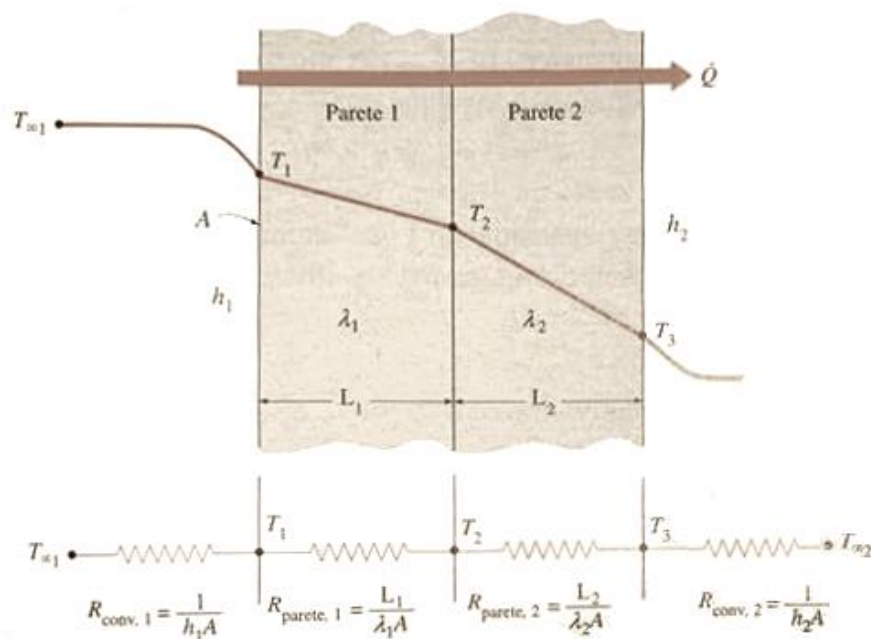


Figura 6 – Resistenze termiche in serie per trovare la Resistenza Totale

Risulta a questo punto chiaro come l'aggiunta di materiali definiti "isolanti" aventi alte resistenze termiche sia in grado di abbassare il valore della trasmittanza termica U totale del pacchetto murario

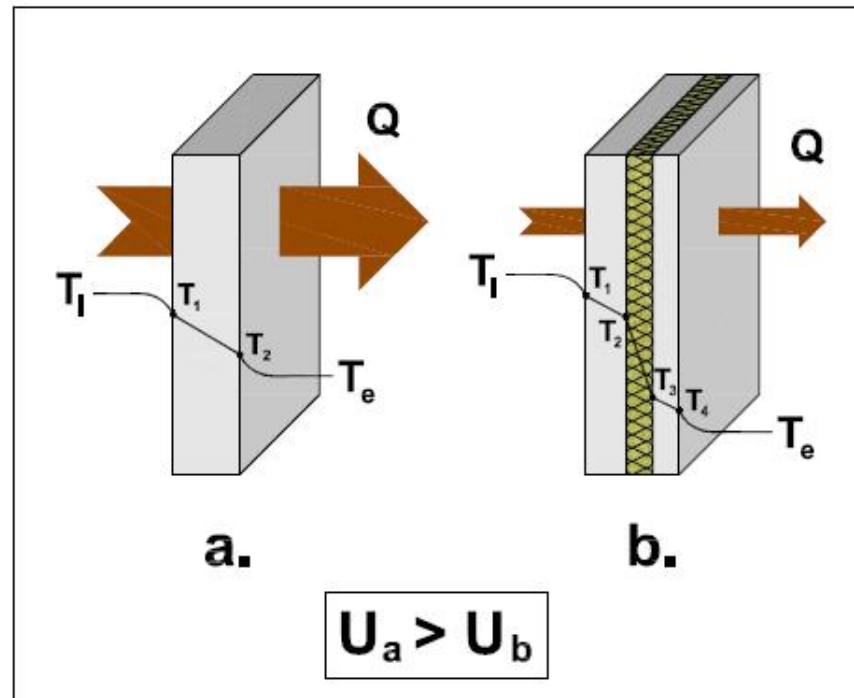


Figura 7 – Differenza fra la trasmittanza U con o senza uno strato isolante

3. CALCOLO DEL FABBISOGNO ENERGETICO

Il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio viene oggi svolto implementando la simulazione energetica; questo è un sistema che consiste nella realizzazione di un modello dell'edificio che ne descriva le caratteristiche geometriche, termiche e impiantistiche e nella successiva esecuzione di calcoli finalizzati a ottenere informazioni energetiche relative a tale sistema. Negli anni sono state realizzate diverse procedure di calcolo a questo fine e sulla base di esse, molti software di calcolo nei quali è sufficiente inserire i dati necessari.

Tali procedure di calcolo si basano tutte, oltre che su altri parametri, sulla analisi della differenza di temperatura (gradi giorno) rilevata fra l'ambiente interno ed esterno all'edificio. In base alla frequenza di rilevazione di questa differenza, i calcoli vengono svolti in quelli che definiamo

- Regime Statico o Stazionario: uso di temperature medie stagionali
- Regime Semi-Stazionario: uso di temperature medie mensili
- Regime Dinamico: temperature calcolate anche fino al minuto

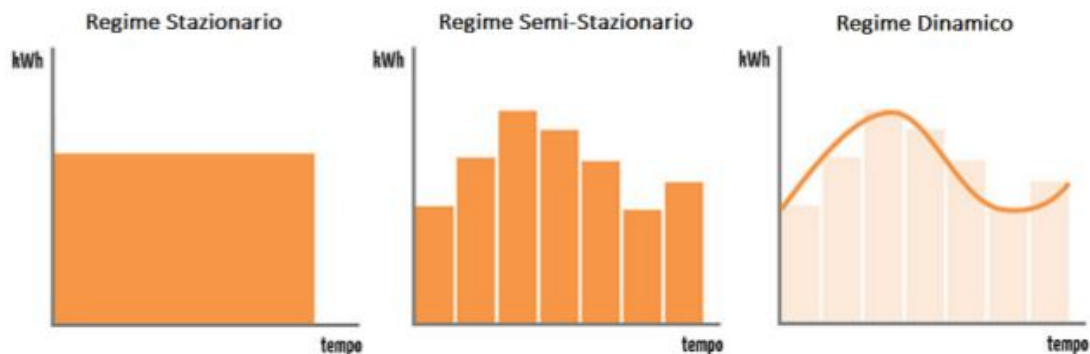


Figura 8 – Rappresentazione dei diversi tipi di analisi

Mentre i primi due regimi considerano comunque dei valori medi di temperatura, seppur presi su lassi di tempo differenti, il terzo tratta delle temperature variabili su periodi anche molto brevi, dando così una precisione del risultato molto maggiore; il lato negativo di questo metodo è però l'ovviamente molto maggiore quantità di calcoli da svolgere.

3.1. CALCOLO IN REGIME STATICO (O STAZIONARIO)

Nelle simulazioni energetiche svolte in regime stazionario l'intervallo temporale di simulazione coincide con la stagione di riscaldamento o con quella di raffrescamento. Il modello di analisi sarà quindi estremamente semplificato, prendendo un'unica temperatura media esterna e una interna, senza contare gli sbalzi termici o le modifiche all'impianto di riscaldamento che, quasi sempre, apportano gli occupanti. Gli apporti interni, i consumi previsti, le dispersioni per ventilazione, sono tutti ridotti a valori medi e dato il lungo lasso temporale nel quale si svolge tale media con questo regime di calcolo ci si finisce per discostare abbastanza dalla realtà.

3.2. CALCOLO IN REGIME SEMI-STAZIONARIO

Usando un regime semi-stazionario l'intervallo di calcolo delle temperature medie usate è mensile, quindi le approssimazioni sono molto minori rispetto a quelle di un calcolo svolto in regime stazionario.

Questo è il regime normalmente usato dai software di calcolo non dinamici, in quanto coniuga la necessità di ottenere risultati simili alla realtà con quella di semplificare i calcoli.

Da normativa (UNI TS 11300) ai fini della redazione dell'APE è necessario svolgere calcoli “in base alla media delle temperature esterne medie mensili del comune in cui si sta calcolando”, quindi in regime semi-stazionario. È lasciato al tecnico incaricato la scelta in merito al metodo di calcolo da usare a tal fine, ma è indicato tramite ENEA un software di simulazione semplificato (DOCET) che è possibile usare in caso di edifici aventi superficie utile sotto i 200 m² e si richiede che qualsiasi sia il programma scelto per svolgere i calcoli i risultati ottenuti non si discostino di più del 5% da quelli ottenibili con tale programma.

3.3. CALCOLO IN REGIME DINAMICO

Nelle simulazioni energetiche in regime dinamico sono usati intervalli temporali di simulazione più brevi rispetto a quelli dei regimi precedenti, definibili dall'utente a seconda delle necessità; si lavora spesso a livello giornaliero, orario, o a volte addirittura fino al minuto.

Sono ora prese in considerazione anche le capacità di immagazzinamento del calore degli elementi massivi, valorizzando quindi le proprietà di inerzia termica dell'involucro edilizio opaco. Grazie all'uso di intervalli temporali ridotti e prendendo come condizione di partenza nei calcoli energetici per ciascun intervallo di tempo il risultato dei calcoli condotti per l'intervallo di tempo precedente, si ottiene che la temperatura interna ai locali non è più un dato imposto pre-inserito, ma un risultato stesso della simulazione energetica; è addirittura possibile in questi casi non prevedere alcun tipo di impianto termico e vedere l'andamento naturale delle temperature all'interno dell'abitazione.

In questa tipologia di simulazione l'impianto può essere considerato attivo anche solo quando si arriva a una temperatura interna dell'ambiente inferiore a quella impostata come desiderata, o ancora è possibile impostare preferenze più dettagliate in merito all'uso dell'utente finale indicandone le concrete abitudini; questo ragionamento non riguarda solo l'impianto di riscaldamento e raffrescamento, ma anche ogni altro apporto: la tendenza a lasciare maggiori o minori ricambi d'aria nell'arco della giornata o della stagione, l'uso più frequente del forno nei mesi invernali che potrà maggiori apporti interni, la scelta del livello di schermatura alle finestre differente in un caldo giorno estate rispetto agli altri.

Naturalmente però questo livello di accuratezza arriva al costo di calcoli molto più pesanti ed elaborati, oltre che di un maggior numero di input da inserire. È necessario conoscere più dati in merito all'edificio e alle abitudini dei suoi occupanti, e anche le tempistiche di calcolo si allungano.

Mentre quindi un software di calcolo di tipo stazionario è più immediato da usare, ma dà risultati meno accurati, quelli che si basano su regimi dinamici richiedono una maggior abilità da parte del tecnico nel saperli usare in maniera appropriata, ma offrono risultati su più ampia scala e più accurati.

È chiaro che un tipo di calcolo pienamente stazionario, con intervalli stagionali, sia eccessivamente approssimato e ad oggi raramente usato; tutti i programmi che si definiscono basati sul calcolo statico fanno in realtà riferimento ad intervalli di calcolo mensili semi-stazionari, come richiesto da normativa.

Andiamo ora a vedere con maggior precisione due fra i software più usati per calcolare il fabbisogno energetico di un edificio che fanno riferimento rispettivamente all'uno o all'altro metodo, considerando da questo punto in avanti come “calcolo statico” quello in regime semi-stazionario.

3.4. TERMUS

TerMus è uno dei programmi maggiormente usati attualmente dai tecnici abilitati per verificare le prestazioni energetiche di un edificio, per farne la certificazione energetica e progettare interventi. Appartiene alla ACCA Software e viene costantemente aggiornato con le ultime normative. Seppur possa essere impostato anche diversamente, di norma lavora su intervalli mensili e rientra quindi fra i programmi che si basano sul regime semi-stazionario.

Esistono molte versioni di TerMus: quello base, il BIM, quello con pacchetto specifico per pareti ventilate, per tetti verdi, per serre solari, per il calcolo dinamico, per i carichi termici estivi...

Permette alla fine di ottenere relazioni tecniche ed elaborati grafici in maniera automatica e allo svolgimento dei calcoli indica, secondo la più recente normativa, la classe energetica di appartenenza e se l'edificio modellato rispetti le normative vigenti.

3.4.1. Considerazioni d'uso pratico

La realizzazione di un modello con la versione TerMus BIM, anche per un tecnico che non abbia mai aperto in precedenza il programma, risulta molto veloce e intuitiva. La modellazione può essere contemporaneamente svolta sia in 2D che in 3D lavorando anche per livelli altimetrici. Una volta creati i propri pacchetti ed elementi personalizzati (seppure molte soluzioni siano già presenti e offerte nei loro cataloghi) ci sono pochi rapidi comandi di progettazione per creare solai, pareti, coperture o inserire elementi come nicchie e finestre. La sola mancanza riscontrata in merito è stata per il comando “foro”, non avendo trovato modo di realizzare un foro nel solaio per una scala ad esso centrale. Per quanto concerne la modellazione energetica anche la realizzazione degli impianti è molto veloce e intuitiva. Permette di creare il proprio generatore con le specifiche di fabbrica e indicare con precisione il tipo di impianto presente, collegando ogni ambiente alla porzione di impianto corretta e indicando l'efficienza dell'elemento inserito.

Un elemento più complesso sono invece i ponti termici: è presente un sistema di riconoscimento automatico delle situazioni che possono rappresentare un ponte termico ma è necessario successivamente segnalarli uno per uno e specificarne la geometria nell'apposito wizard; tale lavoro già risulterebbe particolarmente lungo per una abitazione standard monofamiliare, ma diventa oggettivamente difficile da mettere in pratica per edifici di maggiori dimensioni.

Le verifiche di legge, una volta impostato all'inizio della modellazione il genere di verifica che si desidera portare a termine, vengono svolte automaticamente nel momento di esecuzione dei calcoli indicando i singoli punti nei quali queste non siano, eventualmente, rispettate.

3.5. ENERGY PLUS E DESIGN BUILDER

È uno dei maggiori software di calcolo per la simulazione energetica in regime dinamico. È gratuito e opensource ma non possiede una vera interfaccia grafica, quindi viene normalmente associato ad altre interfacce che ne permettono un più comodo utilizzo come DesignBuilder.

DesignBuilder è un software proprietario, al contrario di EnergyPlus, ed è costituito da un'interfaccia principale di modellazione 3D e da un massimo di 8 moduli che comunicano fra loro in modo da permettere una analisi approfondita sull'utilizzo, consumo e impiego di energia dell'edificio. È possibile con questa interfaccia quindi, oltre che ottenere un preciso modello 3D dell'edificio, svolgere simulazioni energetiche, progettare l'impianto HVAC, eseguire simulazioni fluidodinamiche, ottenere una chiara simulazione dei livelli di illuminazione interna, una valutazione economica del progetto e molto altro.

Il risultato finale è un programma in grado di svolgere analisi estremamente precise e dettagliate, con dati visualizzabili sia in maniera tabulata che grafica e risultati separati per ogni singolo ambiente o elemento.

3.5.1. Considerazioni d'uso pratico

La realizzazione di un modello tramite l'interfaccia di DesignBuilder si svolge tramite la sommatoria di blocchi essenziali, successivamente internamente divisibili da partizioni in differenti ambienti ma senza la classica formattazione a "pareti e solai". Sono presenti differenti tipi di blocchi (edificio, profilo, componente) a seconda che siano da comprendere nei calcoli termici o siano elementi esterni che, ad esempio, fanno semplicemente ombra sull'edificio analizzato.

Dati come la stratigrafia delle pareti, il pacchetto solaio o il tipo di telaio delle finestre vengono inseriti fra le caratteristiche costruttive su differenti livelli: si assegna una specifica metodologia costruttiva a tutte le componenti dell'edificio aventi una specifica caratteristica di

localizzazione (ad esempio, tutte le pareti che danno su ambienti non riscaldati, i pavimenti controterra, i tetti piani...) ed è successivamente possibile andare a modificare tale impostazione nel singolo blocco o nel singolo elemento. Non si hanno però elementi standard, come ad esempio una tipologia di finestra, che sia possibile selezionare e inserire in più punti: ogni finestra va disegnata e impostata singolarmente, ognuna con le proprie caratteristiche se ci si trovasse nella situazione di avere più differenti modelli di finestra nello stesso edificio (ad esempio, il caso di un condominio nel quale alcuni inquilini abbiano negli anni singolarmente rifatto gli infissi del proprio appartamento).

Lo stesso problema si riscontra anche quindi nella progettazione di pareti o solai: se si hanno più pareti che si scostano dalla “tipologia base” inserita a livello generale, risulta necessario andare a selezionare ogni singola parete per indicare la modifica senza la possibilità di fare una selezione multipla e apportare un cambiamento unico a più elementi.

La progettazione delle pareti avviene inoltre “a fil di ferro”, non tenendo conto dello spessore della stessa e dando la possibilità di disegnarne solo l’asse mediano: questo in più situazioni si è rivelato problematico all’atto pratico.

Per quanto riguarda invece la modellazione energetica il programma risulta molto preciso e ben fatto. Diversi template di attività sono già progettati e previsti all’interno del programma ed è possibile, per ogni stanza, indicarne la precisa funzione e selezionare il template corrispondente che attiverà automaticamente i più probabili usi e consumi di tale ambiente; ad esempio, indicando che una stanza è una cucina col template corrispettivo, questo predisporrà a priori il setpoint di riscaldamento relativo previsto, conteggerà fra gli apporti interni quelli dei normali elettrodomestici che si possono trovare in tale ambiente, prevederà una particolare ventilazione e illuminazione... Ma sarà sempre possibile per il progettista in un secondo momento andare

ad alterare tali apporti: se si sa che l'utente di quella abitazione lavora da casa si prevederà un periodo di riscaldamento maggiore rispetto quello ipotizzabile per un ambiente vissuto solo all'infuori del normale orario lavorativo, andando a modificare le specifiche del singolo impianto di riscaldamento di quel singolo appartamento.

Anche l'impianto HVAC lavora sulla stessa compartimentalizzazione a livelli e blocchi: è possibile inserire dei dati generali in merito, ad esempio, al COP stagionale dell'impianto di riscaldamento, ma per modificare quelli di un appartamento che ha magari cambiato la propria caldaia è necessario andare a farlo per ogni stanza appartenente a tale appartamento. Una grossa mancanza che ho trovato è stata proprio la possibilità di raggruppare più stanze in un sottolivello unico che indicasse il singolo appartamento cui appartenevano.

3.6. CONFRONTO FRA TERMUS ED ENERGY PLUS/DESIGN BUILDER

Dal punto di vista della mera modellazione 3D si può dire che TerMus permetta una modellazione molto più rapida e intuitiva, permettendo in poco tempo di comprenderne il funzionamento e realizzare modelli anche di edifici complessi. EnergyPlus/DesignBuilder prevedono invece una progettazione più macchinosa e complessa del modello e l'utente è necessario faccia dei progetti di prova per impararne il corretto funzionamento, possibilmente con un supporto esterno, prima di eseguirne di più complessi.

Nel caso sia in un secondo momento necessario apportare delle modifiche alle stratigrafie e pacchetti usati nel modello iniziale, EnergyPlus/DesignBuilder si rivelano invece molto più comodi: nonostante sia magari necessario apportarle ai singoli elementi senza la possibilità di una selezione multipla differente da quella presente di livello dei blocchi, con l'applicazione del concetto a "fil di ferro" delle pareti non

si creano problemi sui differenti spessori, mentre TerMus presenta in questo caso molto spesso errori di compenetrazione e volumi non chiusi. TerMus risulta in pratica un programma ideato direttamente per i tecnici che hanno necessità, in poco tempo, di ottenere elaborati grafici, certificazioni, APE e Relazioni Tecniche assicurandosi ogni obbligo di legge venga rispettato durante la progettazione senza passare troppo tempo a fare analisi extra. EnergyPlus/DesignBuilder invece risultano principalmente di stampo accademico o per realizzare edifici modello progettati in funzione delle loro capacità fluidodinamiche, per progettisti esperti che vadano oltre le semplici applicazioni delle normative minime. Per quanto riguarda invece una analisi di confronto più approfondita riguardante i dati di base usati, i metodi di calcolo e le differenze fra i risultati ottenibili da questi programmi si rimanda ai capitoli successivi.

4. PROGETTO TABULA

Il progetto TABULA è un progetto del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino, sviluppato a partire da Giugno 2009, e finanziato poi dal programma europeo Intelligent Energy Europe.

L'acronimo TABUTA sta per Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment e l'obiettivo di questo progetto è la creazione di una struttura armonizzata delle tipologie edilizie europee, principalmente residenziali.

Ciascun paese partecipante ha sviluppato la "Tipologia Edilizia Nazionale" che è costituita da un insieme di edifici residenziali modello con caratteristiche energetiche tipiche. Ciascun edificio-tipo rappresenta un determinato periodo di costruzione e una specifica dimensione.

Gli edifici-tipo sono stati utilizzati in ciascun paese come mezzo per rendere nota la prestazione energetica ed i potenziali di risparmio energetico raggiungibili attraverso azioni di riqualificazione dell'involucro edilizio e degli impianti termici. Sono stati analizzati due livelli di riqualificazione dell'edificio-tipo: una "riqualificazione tipica", mediante l'applicazione di misure comunemente utilizzate all'interno del paese, ed una "riqualificazione avanzata", attraverso l'introduzione di interventi che riflettono le migliori tecnologie disponibili risalenti però all'epoca di primo sviluppo del progetto, conclusosi nel 2012. Le potenzialità di risparmio energetico sono state valutate utilizzando la metodologia di calcolo fornita dalle norme tecniche europee a supporto della EPBD (2002/91/CE) e confrontando la prestazione energetica prima e dopo la riqualificazione.

Il progetto EPISCOPE (Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks, 2013-2016), finanziato sempre dal programma europeo Intelligent Energy Europe, si pone a continuazione del progetto TABULA e ha come principali obiettivi l'aggiornamento della tipologia edilizia e la definizione di "azioni pilota" sul patrimonio edilizio residenziale esistente. In questa seconda fase è stata analizzata la prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione e sono state prese in considerazione più varianti ai requisiti

minimi definiti dalla legislazione vigente che includono anche i parametri prestazionali caratterizzanti gli edifici ad energia quasi zero.

4.1. CLASSIFICAZIONE DELLA TIPOLOGIA EDILIZIA ITALIANA

Dato lo scopo del progetto, la classificazione delle tipologie edilizie è focalizzata su parametri edilizi correlati al consumo energetico. Essa infatti si basa su 3 parametri fondamentali:

- Regione/zona climatica
- Epoca di costruzione
- Dimensione edilizia

Per quanto riguarda il primo parametro, secondo il D.P.R. n. 412/1993 il territorio nazionale è stato suddiviso in 6 zone climatiche, dalla A alla F; per la classificazione della tipologia edilizia si sono individuate tre aree climatiche che risultano dal raggruppamento di alcune zone:

- *Area climatica media*, coincidente con la zona E
- *Area climatica alpina*, coincidente con la zona F
- *Area climatica mediterranea-costiera*, coincidente con le rimanenti

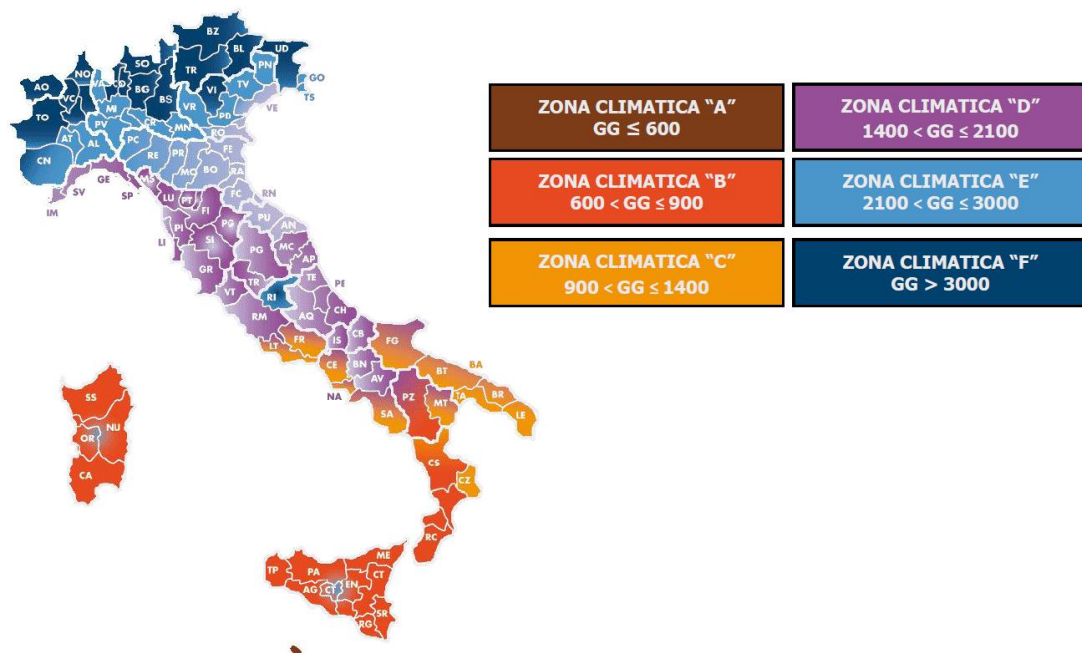


Figura 9 – Indicazione delle zone climatiche secondo normativa nel territorio nazionale

Per quanto riguarda il secondo parametro, ogni classe rappresenta un determinato periodo storico che riflette specifiche tipologie dimensionali e costruttive:

- *classe 1*, fino al 1900, rappresentata dal diciannovesimo secolo
- *classe 2*, dal 1901 al 1920, identificata dall'inizio del ventesimo secolo
- *classe 3*, dal 1921 al 1945, compresa tra le due Guerre Mondiali
- *classe 4*, dal 1946 al 1960, caratterizzata dal Dopoguerra e dalla Ricostruzione
- *classe 5*, dal 1961 al 1975, definita dal periodo della crisi petrolifera
- *classe 6*, dal 1976 al 1990, contraddistinta dalle prime disposizioni legislative in materia di efficienza energetica negli edifici
- *classe 7*, dal 1991 al 2005, caratterizzata dalle più recenti normative sulla prestazione energetica degli edifici (dalla Legge 10/1991 al DL 192/2005)
- *classe 8*, dopo il 2005, avente i più restrittivi requisiti di prestazione energetica richiesti alle nuove costruzioni (decreti attuativi del DL 192/2005 e successive deliberazioni regionali)

Per quanto riguarda il terzo parametro, è possibile individuare diverse classi di dimensione edilizia in ogni epoca di costruzione, costruzioni caratterizzate da una specifica estensione e geometria:

- *casa monofamiliare*, un'unica unità immobiliare su uno o due piani, di tipo isolato o confinante con un altro edificio
- *casa a schiera*, un'unica unità immobiliare su uno o due piani, confinante con altre unità abitative (complesso a schiera);
- *edificio multifamiliare*, edificio di ridotte dimensioni caratterizzato da un numero limitato di unità immobiliari (da 2 a 5 piani e fino a 15 appartamenti, oppure da 2 a 4 piani e da 16 a 20 appartamenti);

- *blocco di appartamenti*, edificio di grandi dimensioni caratterizzato da un numero più elevato di unità immobiliari.

La “Matrice della Tipologia Edilizia” è stata sviluppata per la zona climatica E ed è rappresentata in Figura 10. Gli edifici-tipo all’interno della matrice per le classi di edifici multifamiliari e di blocchi di appartamenti, per le epoche da 1 a 7, sono edifici reali; i loro principali dati tipologico-dimensionali (volume lordo riscaldato, rapporto di forma, superficie lorda di pavimento, numero di piani, numero di appartamenti) sono a loro volta quindi dati reali.

Per quanto riguarda le case monofamiliari e le case a schiera, per tutte le epoche di costruzione, e gli edifici multifamiliari e i blocchi di appartamenti per l’ottava epoca di costruzione, i rispettivi edifici-tipo sono stati individuati geometricamente mediante l’approccio teorico e sono quindi invece caratterizzati da proprietà dimensionali (volume lordo riscaldato, rapporto di forma, superficie utile di pavimento, numero di piani, numero di appartamenti) medie di un campione di edifici, determinate mediante analisi statistica.

CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA

















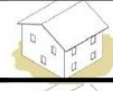




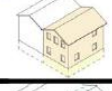


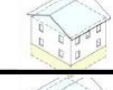
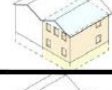


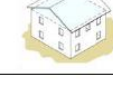
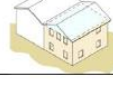


<i>Area climatica media</i>	CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI	
CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE	1 Fino al 1900				
2 1901-1920					
3 1921-1945					
4 1946-1960					
5 1961-1975					
6 1976-1990					
7 1991-2005					
8 Dopo il 2005					

Figura 10 – Matrice della tipologia edilizia italiana con illustrazione degli edifici tipo

Classe di dimensione edilizia	Classe di epoca di costruzione	Volume lordo climatizzato [m ³]	Superficie utile di pavimento [m ²]	Superficie lorda di pavimento [m ²]	Rapporto di forma [m ⁻¹]	N. piani	N. appartamenti
Case monofamiliari	1	533	139	-	0,77	2	1
	2	448	115	-	0,82	2	1
	3	455	116	-	0,81	2	1
	4	583	162	-	0,75	2	1
	5	679	156	-	0,73	2	1
	6	725	199	-	0,72	2	1
	7	605	172	-	0,73	2	1
	8	607	174	-	0,72	2	1
Case a schiera	1	500	123	-	0,51	2	1
	2	478	112	-	0,51	2	1
	3	428	113	-	0,49	2	1
	4	400	111	-	0,51	2	1
	5	374	89	-	0,52	2	1
	6	434	125	-	0,69	2	1
	7	426	111	-	0,67	2	1
	8	519	127	-	0,64	2	1
Edifici multifamiliari	1	2684	-	647	0,55	2	5
	2	4113	-	1306	0,54	2	16
	3	4388	-	1164	0,51	4	20
	4	3076	-	961	0,51	3	12
	5	3074	-	934	0,54	5	10
	6	4136	-	1209	0,48	3	12
	7	3526	-	1120	0,54	3	15
	8	2959	829	-	0,54	3	13
Blocchi di appartamenti	1	3745	-	1058	0,35	5	16
	2	11029	-	2880	0,47	4	40
	3	7197	-	2249	0,46	5	30
	4	5949	-	1763	0,46	4	24
	5	9438	-	2869	0,46	8	40
	6	12685	-	4125	0,37	6	48
	7	9912	-	3271	0,43	6	36
	8	8199	2124	-	0,40	7	31

Figura 11 – Dati geometrici degli edifici-tipo dell'area climatica media

4.2. TIPOLOGIE COSTRUTTIVE

Le tipologie costruttive nazionali segnalate da questo progetto, con particolare riferimento alla zona climatica E per la quale è stata sviluppata l'analisi, sono state definite mediante l'esperienza con il supporto della letteratura e della normativa tecnica; riguardano le tecnologie d'involucro che si considerano tipiche all'interno di un dato periodo storico. Di ciascun componente edilizio esso fornisce la descrizione, il periodo di massima diffusione e il valore della trasmittanza termica (U) per i componenti

opachi e trasparenti, e della trasmittanza di energia solare totale ($g_{gl,n}$) per i componenti trasparenti.













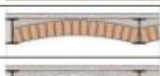
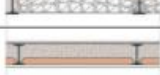



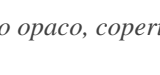




	DESCRIZIONE	IMMAGINE	PERIODO DI MAGGIORE DIFFUSIONE		U [W/(m ² K)]
CHIUSURA OPACA SUPERIORE (Copertura)	Tetto a falde con struttura e tavolato in legno		-	1950	1,80
	Tetto a falde in laterizio		1930	1975	2,20
	Tetto piano in latero-cemento		1930	1975	1,85
	Tetto a falde con struttura e tavolato in legno, basso livello di isolamento		1976	1990	0,95
	Tetto a falde in laterizio, basso livello di isolamento		1976	1990	1,14
	Tetto piano in latero-cemento, basso livello di isolamento		1976	1990	1,01
	Tetto a falde con struttura e tavolato in legno, medio livello di isolamento		1991	2005	0,64
	Tetto a falde in laterizio, medio livello di isolamento		1991	2005	0,74
	Tetto piano in latero-cemento, medio livello di isolamento		1991	2005	0,70
	Tetto a falde con struttura e tavolato in legno, alto livello di isolamento		2006	-	0,30
	Tetto a falde in laterizio, alto livello di isolamento		2006	-	0,30
	Tetto piano in latero-cemento, alto livello di isolamento		2006	-	0,30
CHIUSURA OPACA ORIZZONTALE SUPERIORE (Solaio verso sottotetto non climatizzato)	Solaio a volte in laterizio		-	1900	2,07
	Solaio in legno e tavelle in laterizio		-	1900	2,86
	Solaio in legno e tavelle in laterizio, finitura in canniccato		-	1900	1,96
	Solaio a profilati in acciaio e voltine in laterizio		-	1930	2,60
	Solaio a profilati in acciaio e volterrane		1910	1940	1,88
	Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio		1920	1945	2,48
	Soletta in calcestruzzo armato		1901	1930	2,66
	Solaio latero-cementizio		1930	1975	1,65
	Solaio latero-cementizio, basso livello di isolamento		1976	1990	0,97
	Solaio latero-cementizio, medio livello di isolamento		1991	2005	0,69

Figura 12 – Tipologie costruttive, involucro opaco, coperture e solai





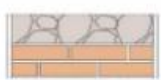


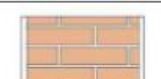
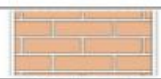




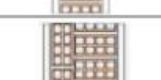

		DESCRIZIONE	IMMAGINE	PERIODO DI MAGGIORE DIFFUSIONE		U [W/(m ² K)]
CHIUSURA OPACA VERTICALE (Parete)		Solaio latero-cementizio, alto livello di isolamento		2006	-	0,30
		Muratura di pietra intonacata (45 cm)		-	1920	2,40
		Muratura di pietra intonacata (60 cm)		-	1920	2,00
		Muratura di pietra listata con mattoni (40 cm)		-	1930	1,61
		Muratura di pietra listata con mattoni (60 cm)		-	1930	1,19
		Muratura in mattoni pieni (25 cm)		1900	1950	2,01
		Muratura in mattoni pieni (38 cm)		1900	1950	1,48
		Muratura in mattoni pieni (50 cm)		1900	1950	1,14
		Muratura in mattoni pieni (62 cm)		1900	1950	1,02
		Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 cm)		1930	1975	1,15
		Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (40 cm)		1930	1975	1,10
		Muratura a cassa-vuota con mattoni pieni (paramano) e forati (40 cm)		1930	1975	1,26
		Muratura in mattoni forati (25 cm)		1950	1975	1,76
		Muratura in mattoni forati (40 cm)		1950	1975	1,26
		Muratura in calcestruzzo (18 cm)		1955	1975	3,40

Figura 13 – Tipologie costruttive, involucro opaco, solai e pareti


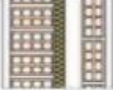










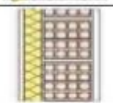

DESCRIZIONE	IMMAGINE	PERIODO DI MAGGIORE DIFFUSIONE		U [W/(m ² K)]
Muratura in calcestruzzo (30 cm)		1955	1975	2,80
Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 cm), basso livello di isolamento		1976	1990	0,78
Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (40 cm), basso livello di isolamento		1976	1990	0,76
Muratura in mattoni forati (25 cm), basso livello di isolamento		1976	1990	0,80
Muratura in mattoni forati (40 cm), basso livello di isolamento		1976	1990	0,76
Muratura in calcestruzzo (anche prefabbricata, 18 cm), basso livello di isolamento		1976	1990	0,82
Muratura in calcestruzzo (anche prefabbricata, 30 cm), basso livello di isolamento		1976	1990	0,79
Muratura a cassa-vuota con mattoni forati (30 e oltre), medio livello di isolamento		1991	2005	0,59
Muratura in mattoni forati (25 cm), medio livello di isolamento		1991	2005	0,61
Muratura in mattoni forati (40 cm), medio livello di isolamento		1991	2005	0,59
Muratura in calcestruzzo (anche prefabbricata, 18-20 cm), medio livello di isolamento		1991	2005	0,62
Muratura in calcestruzzo (anche prefabbricata, 30 cm), medio livello di isolamento		1991	2005	0,60
Muratura in mattoni alveolati (alta resistenza termica), alto livello di isolamento		2006	-	0,34
Muratura in calcestruzzo (anche prefabbricata), alto livello di isolamento		2006	-	0,34

Figura 14 – Tipologie costruttive, involucro opaco, pareti





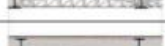

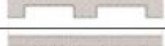
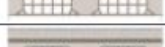
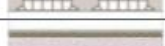

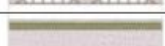

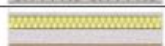


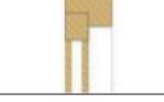
	DESCRIZIONE	IMMAGINE	PERIODO DI MAGGIORE DIFFUSIONE		U [W/(m ² K)]
CHIUSURA OPACA ORIZZONTALE INFERIORE	Solaio a volte in laterizio		-	1900	1,58
	Solaio in legno e tavelle in laterizio		-	1900	2,04
	Solaio a profilati in acciaio e voltine in laterizio		-	1930	1,87
	Basamento in calcestruzzo su terreno		-	1975	2,00
	Solaio a profilati in acciaio e volttrane		1910	1940	1,47
	Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio		1920	1945	1,81
	Soletta in calcestruzzo armato		1901	1930	1,95
	Solaio latero-cementizio		1930	1975	1,30
	Solaio latero-cementizio, basso livello di isolamento		1976	1990	0,98
	Basamento in calcestruzzo su terreno, basso livello di isolamento		1976	1990	1,24
	Solaio latero-cementizio, medio livello di isolamento		1991	2005	0,77
	Basamento in calcestruzzo su terreno, medio livello di isolamento		1991	2005	0,93
	Solaio latero-cementizio, alto livello di isolamento		2006	-	0,33
	Basamento in calcestruzzo su terreno, alto livello di isolamento		2006	-	0,33
CHIUSURA OPACA VERTICALE (Porta)	Porta in legno		-	1980	3,00
	Porta in legno a doppio pannello		1980	-	1,70

Figura 15 – Tipologie costruttive, involucro opaco, solai controterra e porte










	DESCRIZIONE	IMMAGINE	PERIODO DI MAGGIOR DIFFUSIONE		U [W/(m ² K)]	g_{glb} [-]
CHIUSURA TRASPARENTE (Finestra)	Vetro singolo, telaio in legno		-	1975	4,9	0,85
	Vetro singolo, telaio in metallo senza taglio termico		-	1975	5,7	0,85
	Vetro-camera con intercapedine d'aria, telaio in legno		1976	2005	2,8	0,75
	Vetro-camera con intercapedine d'aria, telaio in metallo senza taglio termico		1976	2005	3,7	0,75
	Vetro-camera con intercapedine d'aria, telaio in metallo a taglio termico		1991	2005	3,4	0,75
	Vetro-camera basso-emissivo con intercapedine d'aria o di altri gas, telaio in legno		2000	-	2,2	0,67
	Vetro-camera basso-emissivo con intercapedine d'aria o di altri gas, telaio in metallo con taglio termico		2000	-	2,4	0,67
CHIUSURA TRASPARENTE (Porta)	Porta in vetro e metallo		-	1980	5,7	0,85
	Porta in vetro e metallo (migliorata termicamente)		1980	2005	3,8	0,75

Figura 16 – Tipologie costruttive, involucro trasparente, porte e finestre

4.3. TIPOLOGIE IMPIANTISTICHE

Le tipologie impiantistiche nazionali, così come per le tipologie costruttive, sono state definite secondo l'esperienza con il supporto della letteratura e della normativa tecnica. Riguardano le tecnologie di impianto di riscaldamento e di impianto di produzione di acqua calda sanitaria che si considerano tipiche all'interno di un dato periodo storico.

La tipologia impiantistica è definita attraverso la combinazione dei tipi di sottosistemi impiantistici (emissione/distribuzione, accumulo, generazione, ausiliari elettrici); di essi è fornita la descrizione, l'epoca caratteristica di installazione/costruzione e il valore medio del parametro prestazionale di riferimento (efficienza, perdita di energia termica, etc.). L'insieme dei tipi

di sottosistemi impiantistici forniti non è da considerarsi esaustivo di tutti quelli presenti nella realtà, ma significativo per rappresentare le tecnologie più diffuse sul territorio nazionale.

Ciascun tipo di sottosistema impiantistico può essere riferito separatamente ad una specifica classe di dimensione edilizia oppure a tutte le classi dimensionali.

CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE	TIPO DI SOTTOSISTEMA DI EMISSIONE	SPECIFICHE (rif. UNI/TS 11300-2)	$\eta_{H,e}$ [-]
1 – fino al 1900	Radiatori	parzialmente su parete esterna non isolata – carico termico medio annuo compreso tra 4 e 10 W/m ³	0,925
2 – dal 1901 al 1920			
3 – dal 1921 al 1945			
4 – dal 1946 al 1960			
5 – dal 1961 al 1975			
6 – dal 1976 al 1990	Radiatori	parzialmente su parete esterna isolata – carico termico medio annuo compreso tra 4 e 10 W/m ³	0,945
7 – dal 1991 al 2005	Pannelli radianti	annegati a pavimento – carico termico medio annuo compreso tra 4 e 10 W/m ³	0,960
8 – dopo il 2005	Pannelli radianti	isolati/annegati – inferiore a 4 W/m ³	0,98-0,99

Figura 17 – Sottosistemi di emissione di riferimento, impianto di riscaldamento

Nella relazione progettuale di TABULA sono tabulati per tipologia i sottosistemi di distribuzione, accumulo e generazione sia per l'impianto di riscaldamento che per l'impianto di produzione dell'ACS, ma per i fini di questo trattato non si ritiene rilevante dilungarsi ulteriormente su tale punto rimandando a una lettura completa della relazione per successivi approfondimenti.

4.4. MISURE DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

In riferimento alle misure di riqualificazione energetica proposte il progetto TABULA considera interventi sull'involucro edilizio e interventi sull'impianto termico (riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria) separatamente.

Le misure di riqualificazione energetica si applicano agli edifici della “Matrice della Tipologia Edilizia” costruiti prima del 2005 e sono state valutate su due livelli:

- riqualificazione standard, volta all'applicazione di misure di intervento comunemente utilizzate all'interno del paese
- riqualificazione avanzata, che prevede l'introduzione di interventi che riflettono le migliori tecnologie disponibili nel 2012

Sono stati quindi stabiliti dei livelli di trasmittanza termica U per le chiusure opache e trasparenti che si desidera ottenere nei due livelli di riqualificazione e, in funzione di questi e della tipologia costruttiva di base, lo spessore di isolante da implementare nella riqualificazione.

È stata anche prevista la sostituzione dei serramenti al fine di raggiungere determinati requisiti di trasmittanza e una riqualificazione degli impianti fino a prefissati rendimenti di generazione, accumulo e distribuzione.

Ancora una volta, per approfondire l'argomento si rimanda a una lettura del testo completo della relazione.

5. PROGETTO TripleA-reno

TripleA-reno è un progetto finanziato dall'Unione Europea tramite Horizon2020, da Maggio 2018 fino ad Aprile 2021. Basato sull'esperienza di precedenti progetti europei, TripleA-reno è focalizzato sulle necessità dei consumatori e sugli utenti finali. Il team del progetto lavora sul miglioramento della qualità e della salubrità dell'ambiente interno attraverso rinnovamenti energetici ad energia quasi zero (nZEB).

La sigla sta per Attractive, Acceptable & Affordable deep RENOVation, cioè una rinnovazione attraente, accettabile e accessibile.

Attrante perché uno degli obiettivi del progetto è innalzare la consapevolezza dell'utente rispetto al proprio comportamento all'interno delle abitazioni: attraverso un pacchetto di soluzioni informatizzate che fornisce in forma attraente indicazioni ad-hoc sull'utilizzo dell'energia, sull'ambiente interno, la salute e lo stile di vita. Verranno implementate, ad esempio, la piattaforma di gioco, la realtà virtuale, il calcolo energetico e la modellazione 3D. I caratteri essenziali della «gamificazione» saranno progettati per essere attraenti.

Accettabile si riferisce all'approccio centrato sull'utente di TripleA-reno. Il progetto mira a mantenere “il motore del rinnovamento acceso, con l'utilizzatore al posto di guida”. TripleA-reno mira a coinvolgere diversi tipi di utenti all'interno del processo di co-progettazione, mantenendo costante il flusso di comunicazione tra i consumatori e gli sviluppatori per assicurare prodotti pensati a misura delle persone.

Accessibile significa che usando gli strumenti di supporto alle decisioni di TripleA-reno (come i modelli dinamici di business centrati sull'utente) gli utilizzatori potranno modulare il progetto di rinnovamento prendendo decisioni ponderate ed economicamente accessibili. In TripleA-reno l'accessibilità riflette l'idea di un modello di business che consenta più risparmi per l'utente all'interno di un approccio «olistico» che vede la persona al centro.

Per lo sviluppo pratico di questo progetto sono stati selezionati 8 casi studio iniziali localizzati in molteplici paesi dell'Unione Europea: Slovenia, Olanda,

Ungheria, Grecia, Italia e Spagna. Questi casi sono stati progetti pilota per incentivare ulteriori progetti di riqualificazione e sono stati monitorati lungo il processo per analizzarne gli effettivi benefici a lavori ultimati e il livello di soddisfazione finale degli occupanti.

In Italia sono presenti 3 casi dimostrativi che si insidiano sulla medesima area climatica ma rappresentano soluzioni di social housing molto differenti fra loro per concezione strutturale, tipologie costruttive e soluzioni architettoniche. Il primo è un complesso situato a Bologna degli anni '60, il secondo è situato a Concordia Sagittaria degli anni '80 e il terzo a Reggio Emilia degli anni '30.

5.1. CASO STUDIO

L'edificio oggetto di studio è il complesso residenziale situato a Reggio Emilia.



Figura 19 – Inquadramento del fabbricato rispetto al centro di Reggio Emilia

Sito in via Magenta ai civici n.18 e 20, direttamente affiancato dal torrente Crostolo, è stato edificato nel 1936 come intervento di Edilizia Popolare

allo scopo di ospitare la gente del “Popolo Giusto” sfollata in precedenza dall’abbattimento per risanamento del quartiere di Santa Croce. Gli appartamenti qui costruiti furono ceduti nel 1938 all’ IFACP (Istituto Fascista Autonomo Case Popolari) e sono stati realizzati con le tipologie costruttive migliori offerte all’epoca.



Figura 18 – Foto del complesso nei primi anni ‘40

Al momento, il complesso residenziale è di proprietà mista per un totale di 49 alloggi (33 pubblici, 16 privati) più due locali aventi destinazione commerciale situati al piano terra su fronte strada del civico 18.

Si sviluppa su 5 vani scala, 4 dei quali (civ. 18/1 – 18/2 – 18/4 – 18/5) si affacciano su una corte interna mentre il quinto, il civico 20, affaccia su un parcheggio in via G. B. Venturi e risulta quasi essere un’appendice al complesso principale di forma a C. I due tronchi principali di forma rettangolare si sviluppano su quattro piani fuori terra più un seminterrato adibito a cantine e servizi. La copertura è a falde con sottotetto praticabile adibito a cantine. I due fabbricati sono collegati tra loro da un corpo più basso destinato alle precedentemente nominate attività commerciali. Al centro di questo corpo vi è un portico che fa da ingresso al complesso da Viale Magenta.



Figura 20 – Vista aerea del fabbricato oggetto di studio e area circostante



Figura 21 – Prospetto nord, lato strada su via Magenta del civico 18



Figura 22 – Prospetto est, civico 18



Figura 23 – Prospetto sud, lato interno alla corte del civico 18



Figura 24 – Prospetto sud, civico 20



Figura 25 – Prospetto ovest del civico 18, nord del civico 20

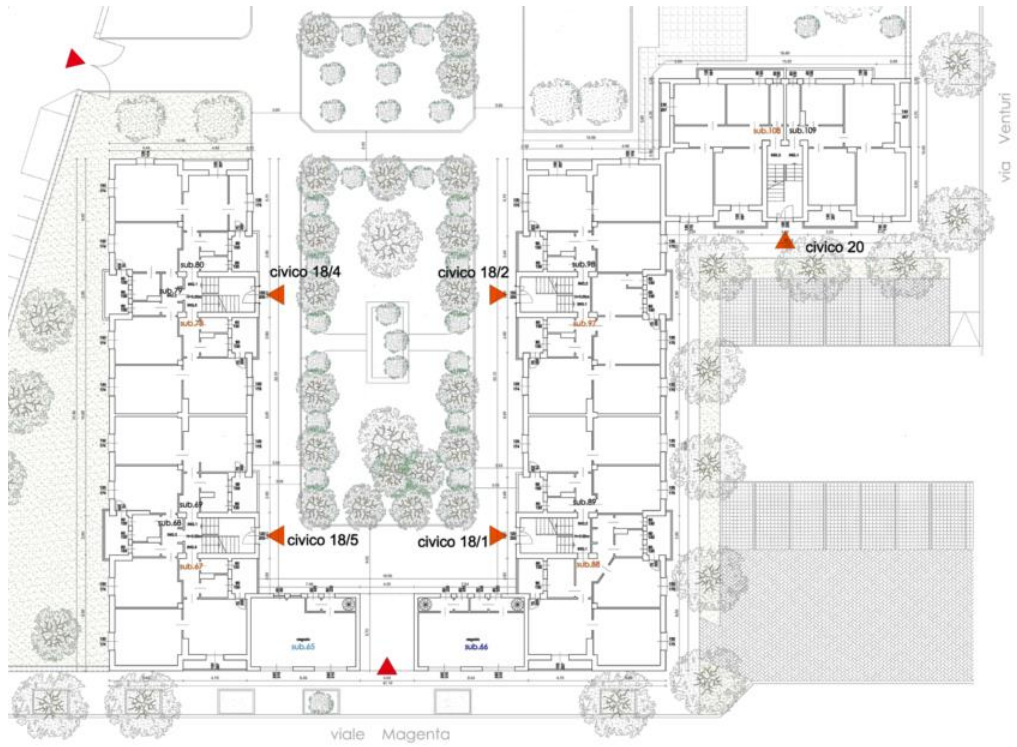


Figura 26 – Planimetria del complesso, piano primo



Figura 27 – Prospetti

5.1.1. Tipologia Strutturale

La struttura portante dell'edificio è un telaio a travi e pilastri in cemento armato, con luci di circa 5m x 4m sfruttando i corpi scala come punto di appoggio.

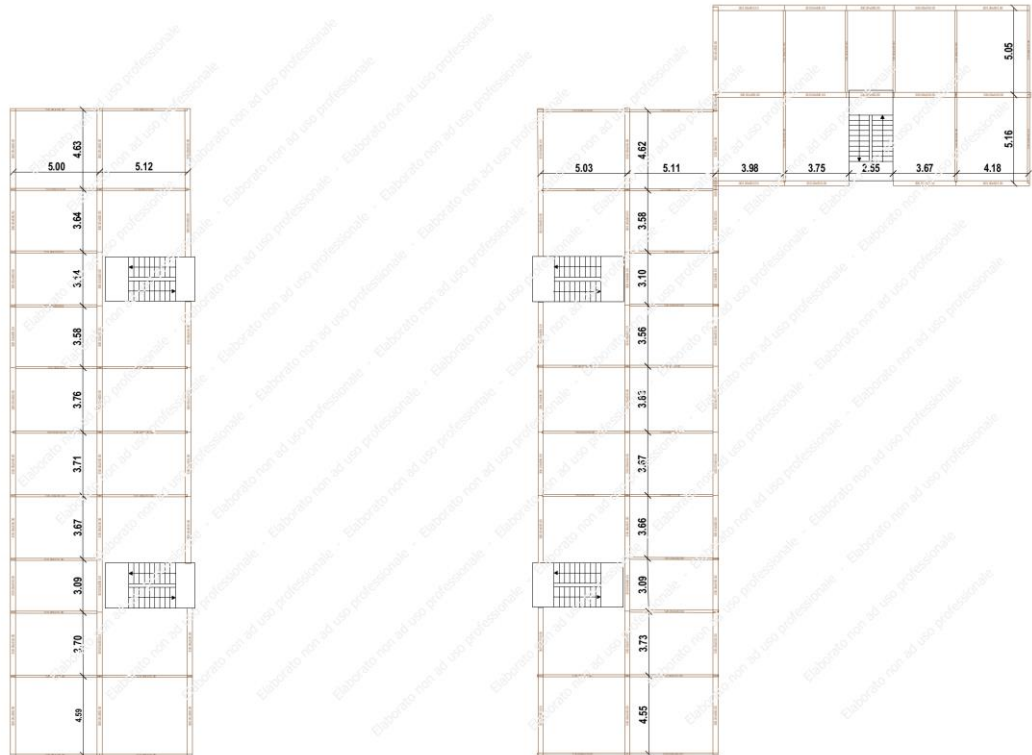


Figura 28 – Struttura portante a travi e pilastri

I tamponamenti sono stati realizzati in mattoni pieni disposti:

- a 1 testa in corrispondenza del sottotetto, del vano scala e dei balconi a ottenere una parete di 30cm (intonaco interno 2cm + mattone pieno 25cm + malta cementizia esterna e intonachino 2cm)
- 2 teste in corrispondenza delle tamponature perimetrali a ottenere una parete di 40cm (intonaco interno 2cm + mattone pieno 25+12 cm + malta cementizia esterna e intonachino 2cm)

I parapetti dei balconi sono invece spessi 10cm e realizzati in cemento debolmente armato.



Figura 29 – Tamponamenti in laterizio pieno e solaio interpiano

I solai sono in laterocemento spessi 22cm (piastrelle 1,5cm + caldana 3cm + pignatte armate tipo S.A.P. 16cm + intonaco 1,5cm) e, così come per le pareti, non presentano alcuna forma di isolante. Sono stati realizzati alla stessa maniera per ogni piano dell'edificio, quindi non solo fra i piani riscaldati ma anche verso il piano interrato delle cantine e verso il sottotetto.

Il solaio di copertura è composto da tegole in laterizio, isolamento in polistirolo 4cm, tavelloni 4cm e travetti in legno 20x8cm a passo 60cm; è disposto a una inclinazione di 21°, corrispondente al 40%.

I serramenti erano stati originariamente installati in alluminio con vetro singolo e le porte in listelli di legno.



Figura 30 – Porta e finestra

I piani internamente risultano sfalsati rispetto la quota 0 del terreno in modo da assicurare illuminazione naturale alle cantine nel piano interrato e risolvere il dislivello presente fra la corte interna e il piano strada

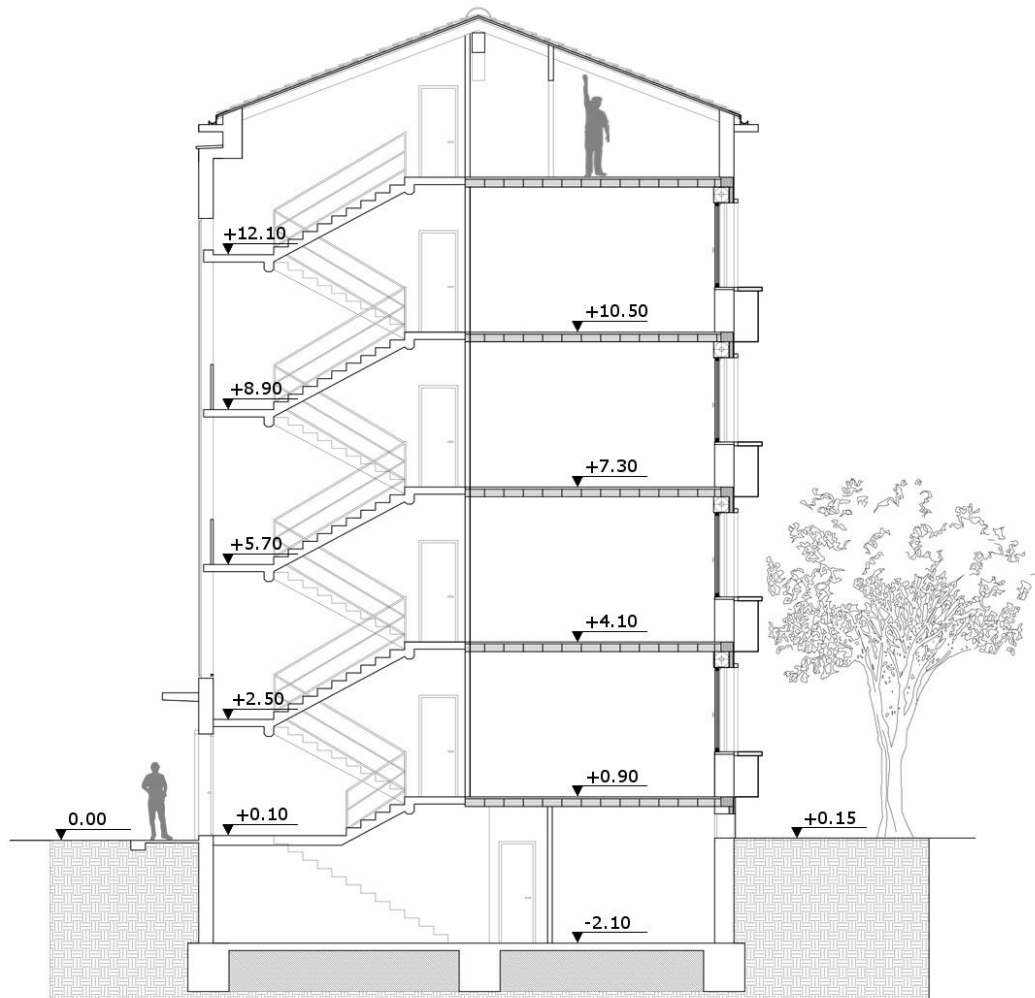


Figura 31 – Sezione con quote altimetriche

5.1.2. Impianti

L'impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria sono autonomi per ogni appartamento.

Le aree comuni quali vani scala, piano interrato e sottotetto non presentano riscaldamento. Molte unità abitative hanno negli anni sostituito la caldaia e svolto piccole manutenzioni, o hanno aggiunto impianti di raffrescamento estivo, ma non è stato possibile accedere ai singoli alloggi e svolgere una analisi più accurata in merito.

5.1.3. Stato di conservazione

Nel corso degli anni si sono susseguiti vari lavori di manutenzione per lo più rivolti alla sistemazione e all'adeguamento degli alloggi. Lavori significativi sono stati il rifacimento delle coperture e relative lattonerie nel 2008 e il lavoro di adeguamento degli impianti intrapreso nel 2014, ma ancora nel 2015 il complesso versava in uno stato di forte degrado. Molti dei proprietari hanno deciso di chiudere i balconi creando delle logge, ma in maniera separata e creando un effetto visivo di estrema discontinuità sulle facciate.

È evidente in molti punti (ma soprattutto nella facciata nord-ovest, verso il Crostolo) il distacco totale di intonaco e vernice mentre nel punto di ingresso porticato si può notare una spessa patina biologica e l'imbarcamento dell'intonaco.

Nelle cantine sono presenti forti infiltrazioni che hanno causato l'ammaloramento del calcestruzzo e aggravato lo stato del solaio di copertura, che risulta imbarcato e pericolante.

In generale tutto il cortile interno versa in uno stato di disordine e degrado, con piante non curate e luci malfunzionanti, che comunicano una sensazione di insicurezza. Il sistema fognario a sua volta non è stato adeguatamente mantenuto e necessita di nuove colonnine di scarico per le acque nere.

Nonostante molti siano stati negli anni sostituiti, gli infissi e le porte di ingresso risultano in cattivo stato di manutenzione e permettono forti infiltrazioni. Le pensiline di copertura agli ingressi dei vani scala sono state realizzate in cemento armato e negli anni sono state fortemente erose dagli eventi metereologici, così come tutti i balconi e ogni altra sporgenza.

È stato possibile fare un confronto fra un primo sopralluogo effettuato a Marzo 2016 e un secondo svolto a fine 2016 e già lo stato della facciata risultava notevolmente peggiorato, con un distacco dell'intonaco molto maggiore.



Figura 32 – Analisi del degrado

Alla luce dei finanziamenti stanziati a livello europeo per la riqualificazione del complesso ACER ha presentato un progetto che è stato approvato e avviato, e si stanno attualmente concludendo i lavori previsti.

5.2. PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE

Secondo il PSC approvato dal Consiglio Comunale il 05/4/2011, l'edificio in questione è compreso nell'ambito della città storica di Reggio Emilia e quindi soggetto alla disciplina particolareggiata del RUE. Nel RUE risulta inquadrato in ACS2 ed è sottoposto alla categoria di tutela e modalità di intervento 2.C di ripristino tipologico, secondo il quale il solo genere di interventi ammessi sono quelli di ristrutturazione edilizia (gli interventi cioè rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente).

Analizzato lo stato del complesso è stato realizzato un progetto che rientri nelle tipologie permesse e che risolva i problemi presentatisi, svolgendo un intervento integrato di riqualificazione energetica, la manutenzione straordinaria necessaria ai componenti strutturali e tecnologici e che ripristini i 6 alloggi attualmente non allocati.

In particolare la riqualificazione energetica consisterà in:

- sostituzione di tutti gli infissi degli alloggi di proprietà pubblica con finestre in PVC a basso consumo energetico e minima esigenza di manutenzione
- isolamento delle chiusure verticali opache con sistema “a cappotto” e finitura esterna a intonaco
- isolamento del solaio sottotetto praticabile e della copertura bassa dei negozi
- isolamento del solaio freddo delle cantine a piano seminterrato
- installazione di valvole termostatiche per la regolazione degli impianti autonomi di riscaldamento

- chiusura con infissi in PVC ad ante scorrevoli di tutti i balconi e delle logge ad eccezione del lato SUD del civico n.20 e installazione di schermature mobili per la protezione dal soleggiamento estivo

La chiusura delle logge è una scelta progettuale che è stata dettata da varie considerazioni. Innanzitutto, allo stato attuale ci sono dei balconi e delle logge che sono stati chiusi con infissi di diversa tipologia e forma che non modificano la destinazione d'uso originale permanendo l'infisso di chiusura interno. Ne risulta un disordine complessivo dal punto di vista della percezione dei prospetti pertanto la sostituzione delle vetrate esistenti e la chiusura delle logge aperte rimanenti è intesa come soluzione per dare uniformità e regolarizzare dal punto di vista compositivo le facciate. Anche i fabbricati non oggetto di intervento che completano il complesso (via Magenta 18/3 e via G. B. Venturi ai civici 2-4-6-8) presentano una situazione eterogenea di logge chiuse ed aperte con infissi di diversa tipologia, pertanto il presente intervento risulta volto ad uniformare questo aspetto e fungere da linea guida per gli altri fabbricati. Inoltre, dal punto di vista della riqualificazione energetica l'isolamento delle chiusure verticali opache incontra nei balconi e nelle logge aperte dei ponti termici non risolvibili con tecniche di uso comune. L'isolamento delle murature negli sfondati comporterebbe una riduzione delle superfici calpestabili delle logge e dei balconi che, essendo già di superficie ridotta e con spazi percorribili larghi circa 70cm, comporterebbe per gli utilizzatori disagi e difficoltà di manovra; chiudendo le logge, invece, la superficie accessoria e gli spazi utilizzabili non verrebbero modificati e si possono eliminare i ponti termici con vantaggi sui consumi e sulla salubrità degli spazi interni in relazione all'uniformità igrotermica dei componenti di chiusura. Infine, le vetrate apribili consentono l'areazione e la schermatura durante il periodo estivo e durante il periodo invernale, quelle esposte ad est, sud e ovest contribuiscono ad aumentare gli apporti gratuiti solari funzionando da serra bioclimatica.

La manutenzione straordinaria consisterà in:

- la creazione di uno scannafosso sul perimetro esterno dei fabbricati per il rinforzo della fondazione e l'impermeabilizzazione delle murature contro terra
- la riparazione della muratura perimetrale interrata in cemento, che attualmente presenta uno stato avanzato di degrado, tramite l'esecuzione di un intonaco armato su entrambi i lati
- il rifacimento della linea di adduzione del gas con conseguente spostamento dei contatori dall'interno degli alloggi o dai balconi verso l'esterno, posizionandoli in appositi armadietti sull'area cortiliva nelle aree verdi antistanti i rispettivi civici
- la sostituzione del manto di copertura del corpo basso che ospita i negozi e ripassatura puntuale di tutte le altre coperture
- la sistemazione delle aree cortilive comprendente la potatura delle alberature, la rivitalizzazione delle aree a prato, l'eventuale sostituzione di alberature non recuperabili e il rifacimento dei cordoli e delle pavimentazioni.
- il rifacimento degli impianti elettrici delle parti comuni
- la rimozione delle parabole in facciata e l'installazione di un impianto TV e satellitare centralizzato
- la sostituzione dei citofoni
- interventi localizzati di riparazione del solaio a piano seminterrato per prevenirne lo sfondamento

Si prevede poi il ripristino dei seguenti alloggi pubblici attualmente non locati:

- Viale Magenta 18/1 Piano 2 Interno 3
- Viale Magenta 18/2 Piano 2 Interno 6
- Viale Magenta 18/2 Piano 2 Interno 10
- Viale Magenta 18/4 Piano 2 Interno 1

- Viale Magenta 18/4 Piano 2 Interno 8
- Viale Magenta 18/5 Piano 2 Interno 5

che consisterà principalmente nella sostituzione/adeguamento degli impianti idrico, elettrico e di riscaldamento, nel rifacimento dei bagni e delle pavimentazioni oltre all'eventuale sostituzione di porte interne, portoncini di ingresso e al ritinteggiato, opere necessarie per la riassegnazione degli stessi a nuovi assegnatari.

In seguito a tutti questi interventi è stato previsto da ACER si possa arrivare ad avere un risparmio energetico medio del 31%.

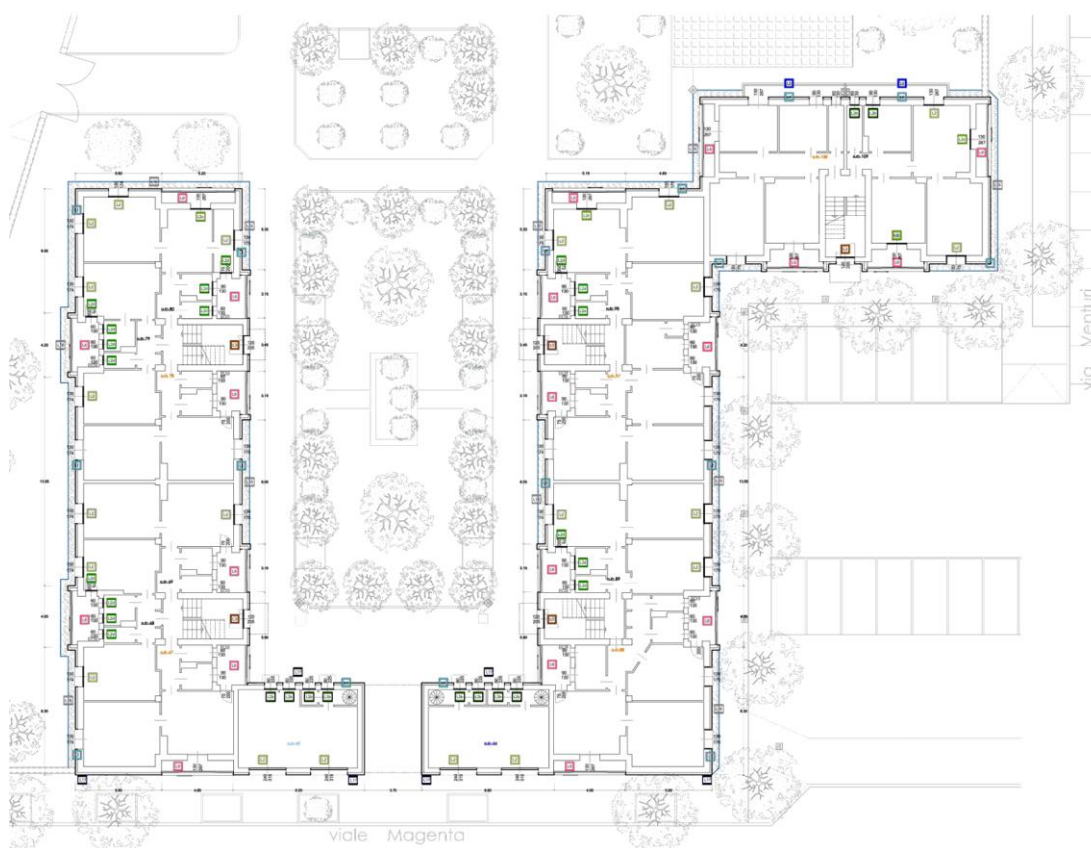


Figura 33 – Masterplan di progetto



PROSPETTO NORD



PROSPETTO SUD



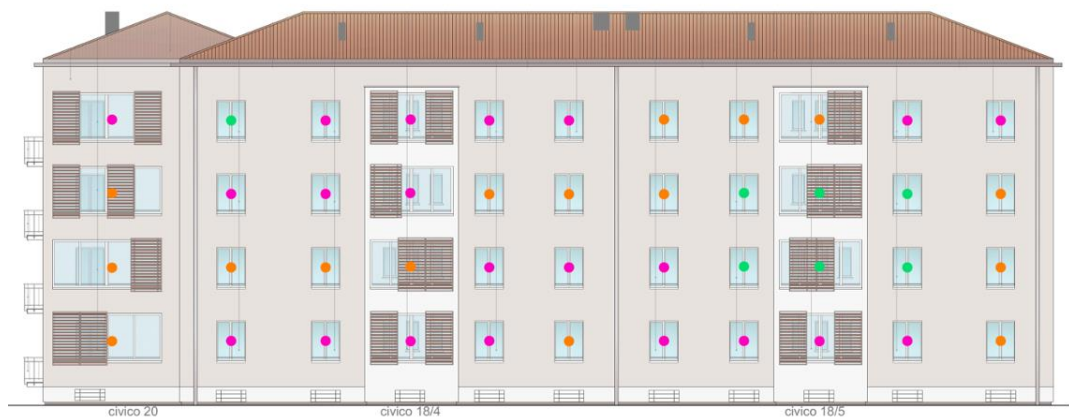
PROSPETTO EST INTERNO



PROSPETTO OVEST INTERNO



PROSPETTO OVEST ESTERNO



PROSPETTO EST ESTERNO

Figura 34 – Prospetti di progetto



Figura 35 – Render di progetto

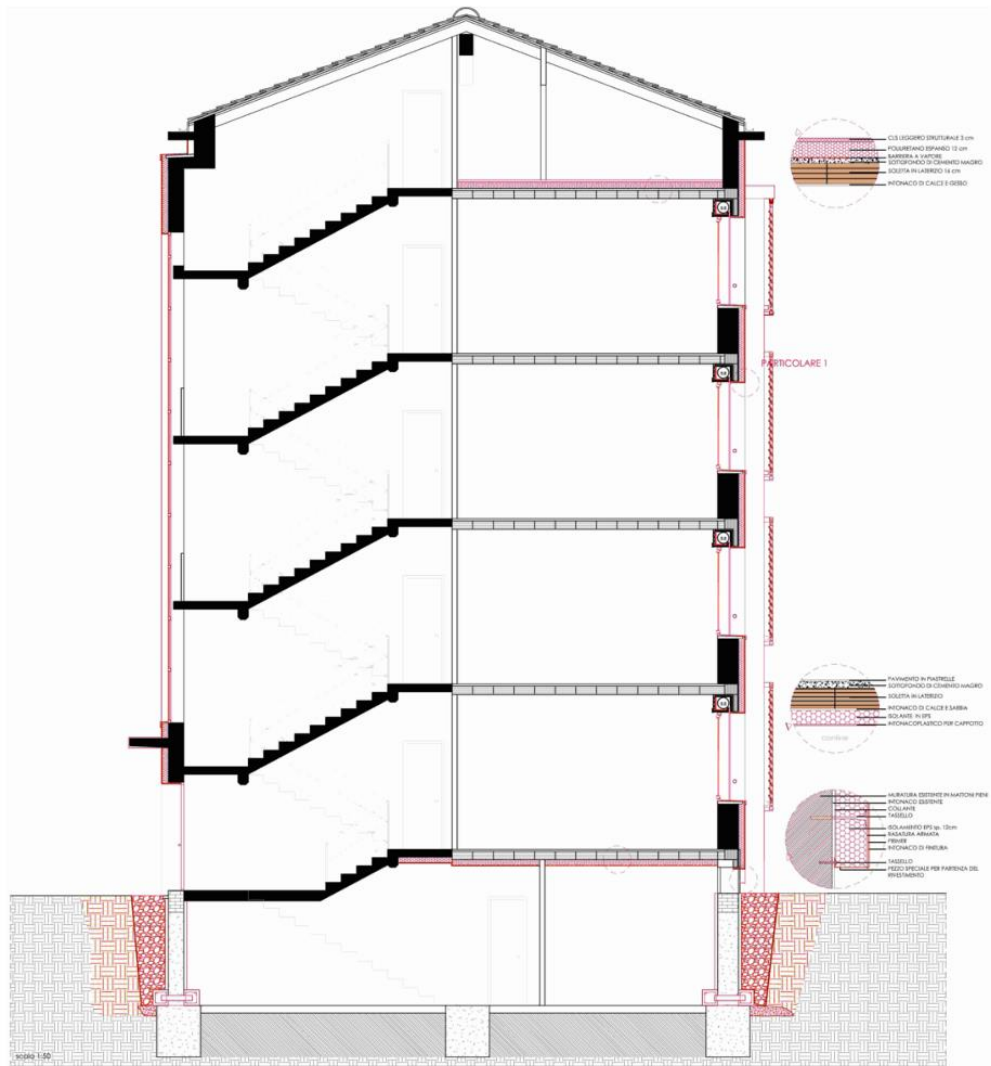


Figura 36 – Sezione di progetto con aggiunte e rimozioni

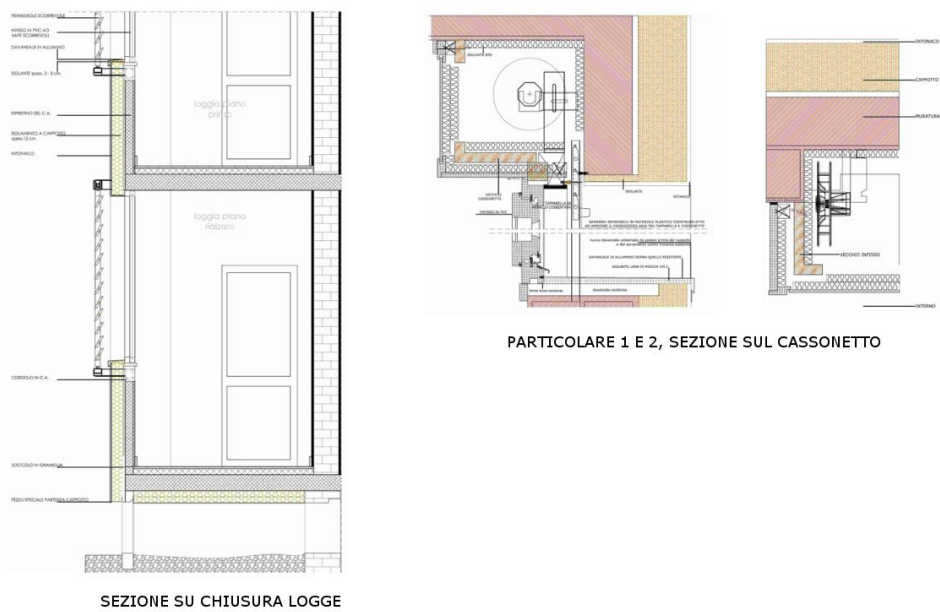


Figura 37 – Sezione e particolari progettuali

6. CREAZIONE DEI MODELLI ENERGETICI CON CALCOLO SEMI-STAZIONARIO E DINAMICO

Per la creazione dei modelli energetici dell'edificio si è quindi scelto di usare il programma "TerMus" per svolgere un calcolo di tipo semi-stazionario e il programma "EnergyPlus" sull'interfaccia di DesignBuilder per svolgere un calcolo di tipo dinamico.

Sono stati realizzati quattro modelli dettagliati dell'edificio:

- allo stato di fatto (al momento della costruzione) con TerMus
- allo stato di fatto (al momento della costruzione) con EnergyPlus/DesignBuilder
- allo stato riqualificato (come da progetto ACER) con TerMus
- allo stato riqualificato (come da progetto ACER) con EnergyPlus/DesignBuilder

Tali modelli sono stati realizzati al fine di rispecchiare perfettamente le situazioni esistenti e le tipologie costruttive presenti prima allo stato di fatto e successivamente in quello riqualificato.

6.1. MODELLO ALLO STATO DI FATTO

Sono stati fatti separatamente due modelli dell'edificio allo stato di fatto: uno con TerMus e uno con DesignBuilder. Si è scelto di realizzarne due singolarmente nelle interfacce invece che crearne uno unico tramite Revit che venisse successivamente caricato in entrambi i programmi per meglio comprendere il funzionamento dei programmi fin dal momento iniziale di progetto, ma si raccomanda di seguire l'altro metodo nel caso si stesse cercando un confronto più preciso nei valori numerici finali.

L'analisi qui proposta è stata svolta a livello qualitativo di confronto fra i programmi e i metodi di calcolo, e non a livello quantitativo per estrapolarne precisi valori numerici.

6.1.1. Modello realizzato con TerMus

Prima di creare il modello effettivo, sono stati creati nella libreria degli oggetti BIM del programma tutti gli elementi che sarebbero stati successivamente usati. Questo comprende quindi le stratigrafie delle pareti, dei solai, le finestre, porte e caldaie.

Gli elementi inseriti corrispondono a quelli precedentemente descritti nel capitolo “5.1.1 Tipologia Strutturale” e per ognuno di essi il programma ha autonomamente ricavato il valore di trasmittanza termica U. Si riportano gli elementi principali



Figura 38 – Stratigrafia muro di tamponamento perimetrale

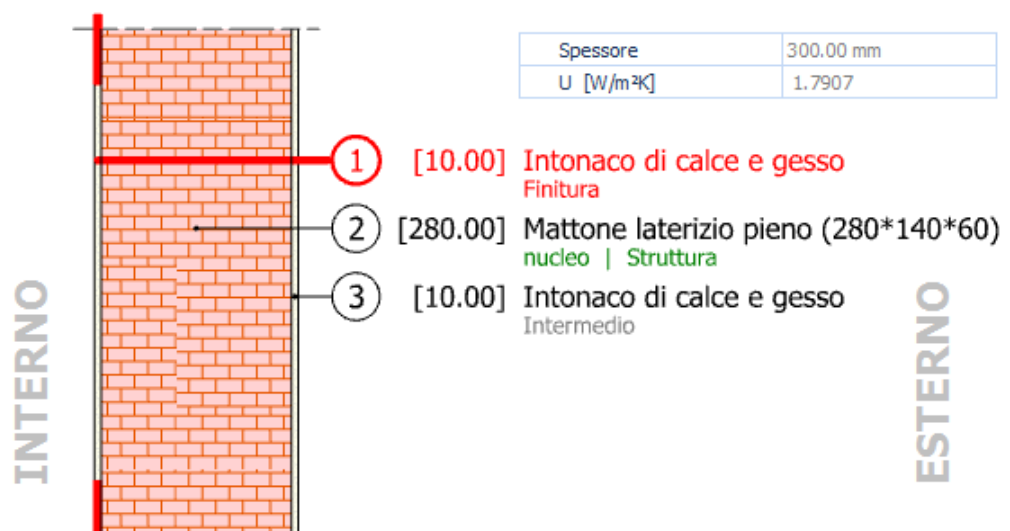


Figura 39 – Stratigrafia muro di tamponamento sui balconi

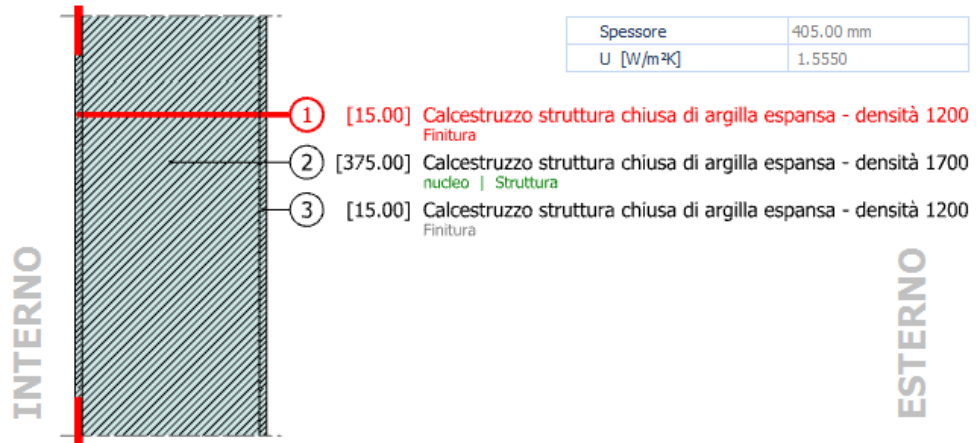


Figura 40 – Stratigrafia muro controterra, piano cantine interrato

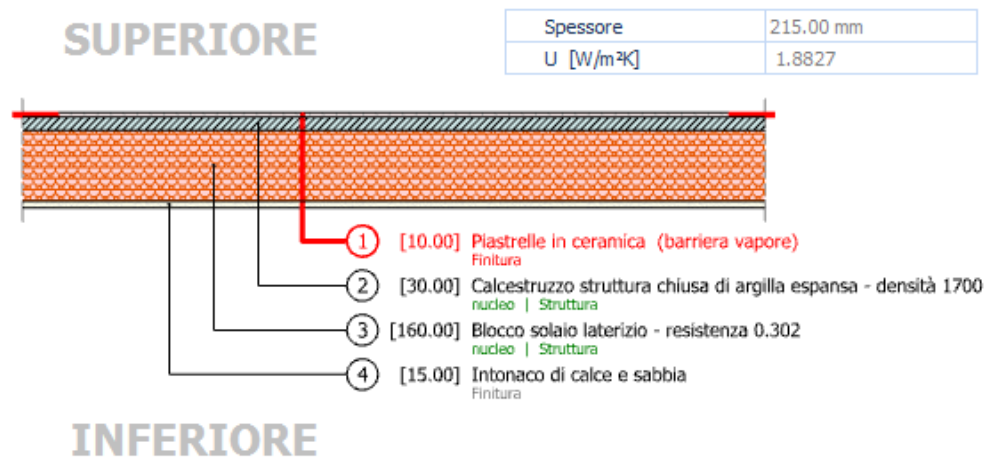


Figura 41 – Stratigrafia solaio interpiano

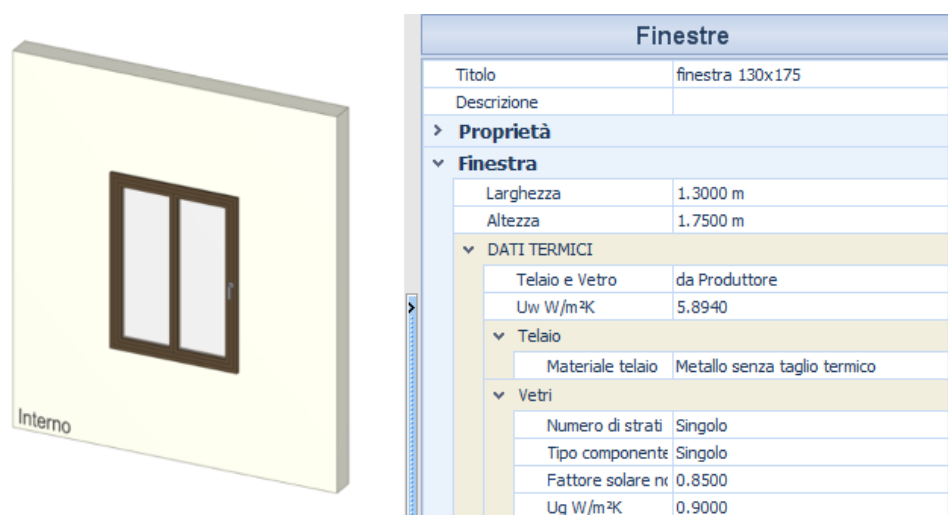


Figura 42 – Stratigrafia finestra principale, le altre variano solo nella forma

Il passo successivo è stata la definizione dei livelli altimetrici: nella sezione livelli è possibile impostare la quota di livello per ognuno dei piani di lavoro (normalmente corrispondenti ai piani dell'edificio). È possibile inserire anche dei subLivelli, per indicare solai sfalsati o pianerottoli

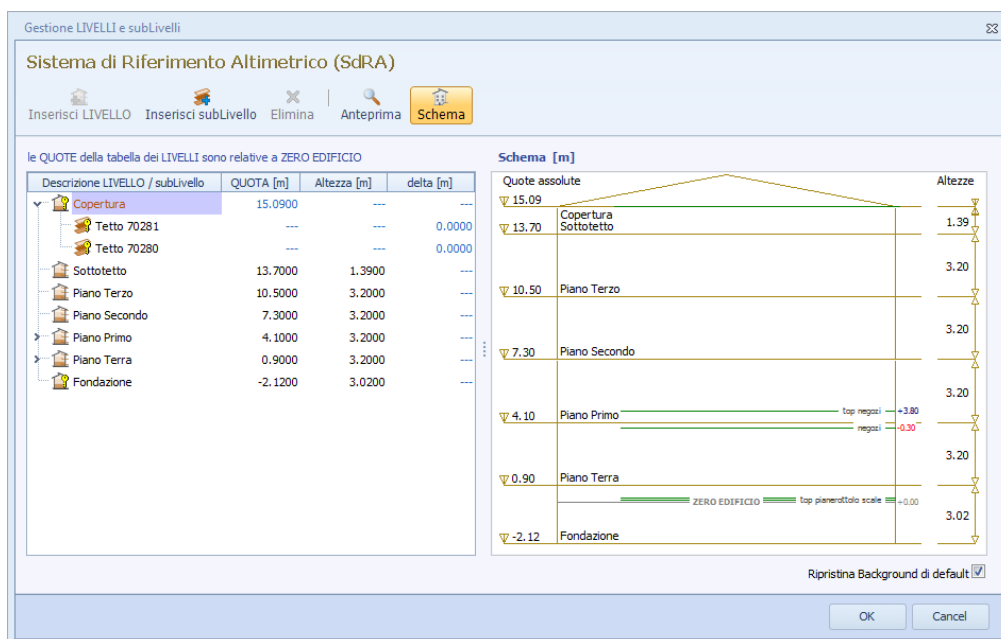


Figura 42 – Livelli altimetrici impostati nell'edificio

Il modello è stato costruito importando le piante in PDF relative a ogni piano in ognuno dei corrispettivi livelli. Partendo dal piano interrato sono quindi stati realizzati solaio, involucro esterno e partizioni interne, per poi aggiungere particolari come porte, nicchie e finestre. Si è quindi proseguito realizzando le scale con l'apposito editor e i piani successivi. Data la presenza della diversa stratigrafia fra le pareti del piano interrato che danno controterra e quelle dalla quota 0.00 in poi, sono stati realizzati elementi di involucro esterno differenti. Si è poi andata ad aggiungere la struttura portante a travi e pilastri, e infine la copertura anch'essa con l'apposito editor e il comando "autofalde", che progetta automaticamente le falde una volta indicato perimetro, sporgenza e inclinazione.

Completato l'assetto principale murario si sono andati a progettare i dettagli dal punto di vista energetico. È stata progettata la centrale termica, indicando per ogni appartamento il corrispettivo impianto di distribuzione e generazione per riscaldamento e ACS, indicandone le specifiche e il rendimento

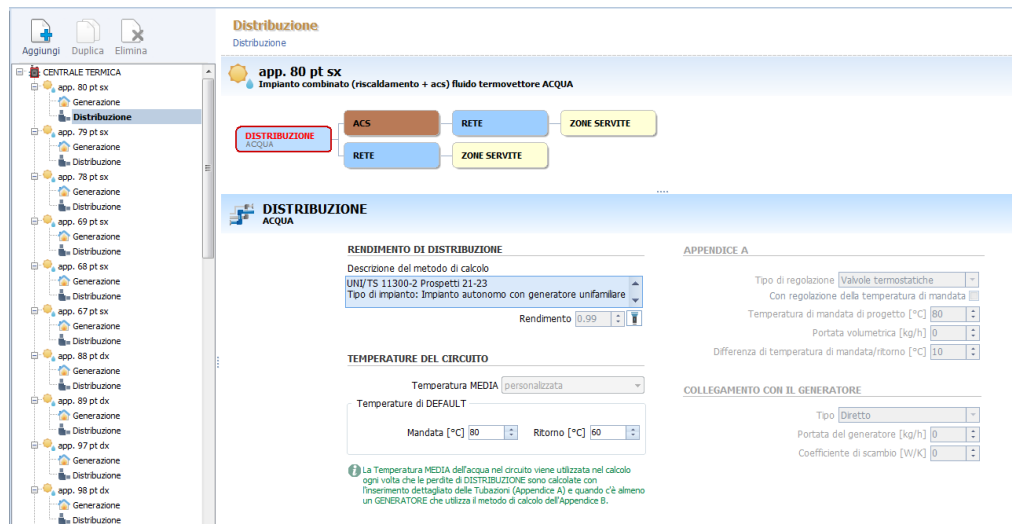


Figura 43 – Impianto di distribuzione dell'appartamento tipo

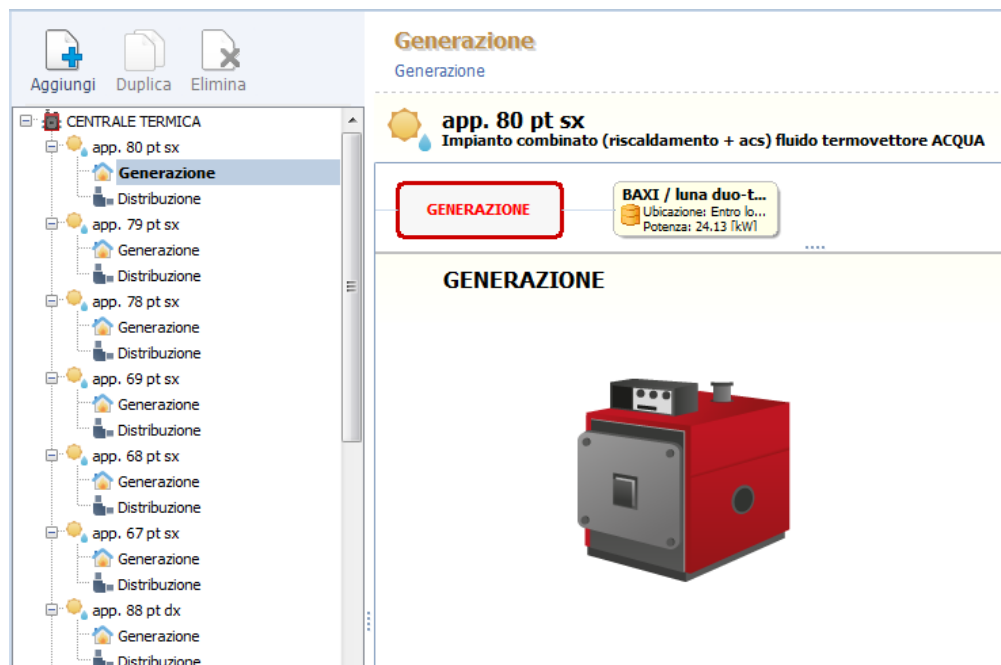


Figura 44 – Generatore per riscaldamento e ACS dell'appartamento tipo

Si creano inoltre le “zone” termiche, che in questo caso rappresentano i singoli appartamenti all’interno del condominio, per ognuna delle quali vengono indicati gli impianti presenti (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, ACS, illuminazione) e le loro specifiche di funzionamento (ad esempio, per l’impianto di riscaldamento si indica la tipologia di terminali presente, la loro potenza e il tipo di regolazione coi dovuti rendimenti). Fra le zone vengono anche inseriti i possibili ambienti di confine climatizzati, non climatizzati, le serre e le pertinenze.

The screenshot displays the software interface for 'Condominio Reggio Emilia'. The left sidebar shows a hierarchical tree of the building's zones and boundary environments. The main area on the right is titled 'app. 80 pt sx' and contains the following configuration details:

- DESCRIZIONE:** Valutazione sul progetto o standard ; app. 80 pt sx
- Destinazione d'uso:** E1(1) - abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo
- CALCOLO PRESTAZIONE ENERGETICA:**
 - Temperature interne:** (20.00 °C - invernale, 26.00 °C - estiva)
 - Umidità relative interne:** (50 % - invernale, 50.00 % - estiva)
 - Adduttanze:** Superfici opache: ascendente 10.00 W/m²; discendente 5.90 W/m²; orizzontale 7.70 W/m²; Superfici trasparenti: orizzontale 7.70 W/m²
 - Verifica igrometrica:** Condizioni climatiche INTERNE: UNI EN ISO 13788; Classe di concentrazione del vapore: Media
- CARICO TERMICO INVERNALE:**
 - Temperatura interna di progetto [°C]: 20.0
 - Fattore di ripresa: 0.0
- CARICO TERMICO ESTIVO:**
 - Modalità di calcolo:** CON fattori di accumulo
 - Condizioni interne di progetto:** Temperatura: 25°C; Umidità relativa: 50%
 - Impianto di climatizzazione:** Tipologia: ARIA Primaria; Temperatura di mandata: 15°C; Ore di funzionamento: 24

Figura 45 – Zone e aree di confine

Sono stati quindi creati i “vani” in ogni appartamento, coincidenti con le stanze presenti, che indicano le zone cui il singolo ambiente è allacciato. Si indicano qui gli apporti interni, se la stanza abbia particolari ambienti di confine, l’altezza del vano e il livello cui appartiene o la presenza di eventuali dislivelli dal livello standard. Completato quindi il modello si è verificata la presenza di errori nello stesso andando ad avviare la procedura di calcolo, la quale evidenzia

eventuali discrepanze, mancanze o errori di disegno da risolvere per poter successivamente procedere al calcolo.



Figura 46 – Modello completo allo stato di fatto realizzato con TerMus

6.1.2. Modello realizzato con DesignBuilder

Anche in questo caso per prima cosa si è provveduto alla modellazione delle stratigrafie, realizzate in maniera identica a quelle presentate con TerMus. Sono state quindi inserite nei corretti livelli di costruzione, indicando così quale stratigrafia fosse presente in ogni situazione

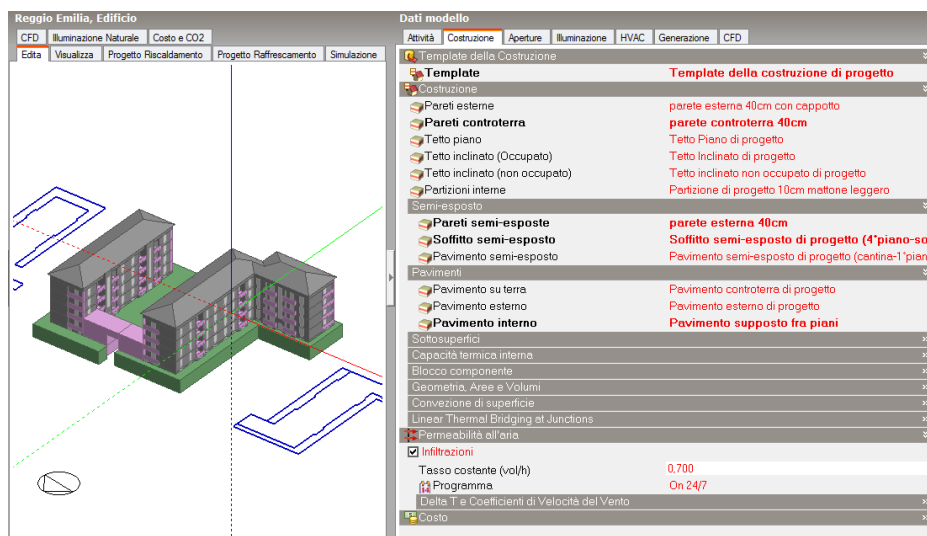


Figura 47 – Impostazione delle stratigrafie nella costruzione

Si è quindi provveduto alla realizzazione del modello importando le piante PDF relative a ogni piano, inserendole una per volta. La modellazione in questo caso viene svolta per blocchi, ognuno corrispondente a un piano di una delle due porzioni di edificio, che è stato successivamente suddiviso con partizioni interne nei singoli ambienti. Il blocco (di tipo “blocco edificio”) comprende solo il corpo principale dell’edificio; è stato realizzato con un blocco separato ognuno dei vani scala presenti e creati come “blocchi componente” ognuno dei balconi, in quanto essendo aperti offrono solo funzione di ombreggiatura. Sono inoltre stati creati come blocco componente anche i negozi presenti nel vano basso centrale indicandone una funzione adiabatica: essa è infatti ideata per corpi riscaldati adiacenti all’edificio che non siano però parte delle analisi termiche.



Figura 48 – Blocco secondo piano, porzione di edificio a ovest, internamente suddiviso in ambienti

Creato ognuno dei blocchi e le partizioni interne sono state quindi definite le attività per ogni stanza indicandone la funzione. Coi

Template già presenti è possibile avere una pre-impostazione standard del genere di attività che si svolge all'interno e degli elettrodomestici che si potranno trovare per avere una indicazione precisa degli apporti interni, ma questi sono progettati in base alle norme americane (essendo il programma di origine americana) e vanno quindi modificati e rivisti per seguire le indicazioni europee già invece presenti in TerMus (ad esempio, la temperatura setpoint per il riscaldamento interno è messa automaticamente a 18° invece che 20°)

Sono state quindi aggiunte le aperture. Il programma prevede di base una percentuale di parete finestrata, quindi al momento della creazione del blocco edificio saranno già realizzate delle finestre standard. Se si desidera invece crearne di proprie, come in questo caso per ricreare un edificio già esistente, sarà necessario impostare tale percentuale allo 0% e aggiungerle manualmente una per una nei singoli blocchi, disegnando prima manualmente la dimensione e poi descrivendone le specifiche nella sezione “aperture”

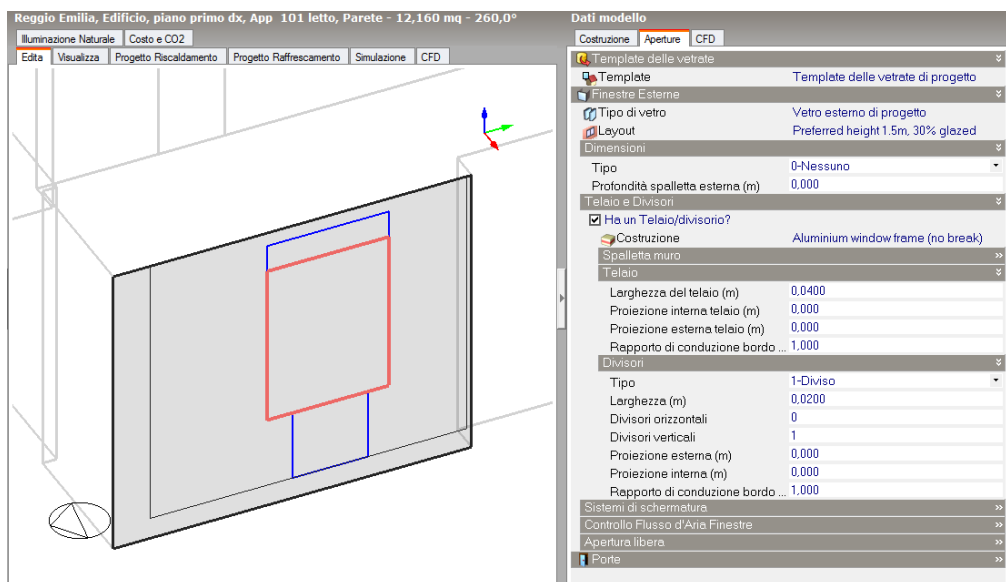


Figura 49 – Finestra, specifiche di costruzione

Lo stesso tipo di lavoro va svolto per indicare ogni altro genere di discontinuità nella parete, come la presenza di nicchie, di cassonetti per

gli avvolgibili sopra alle finestre, o differenti stratigrafie nella parete (nel caso, ad esempio, vi fosse un pilastro annegato internamente).

Per progettare gli impianti è possibile invece, per ogni ambiente che si sarà automaticamente creato dalla divisione fatta con le partizioni interne, andare a indicare i dettagli dell'impianto di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione naturale, ventilazione meccanica, ACS, controllo umidità

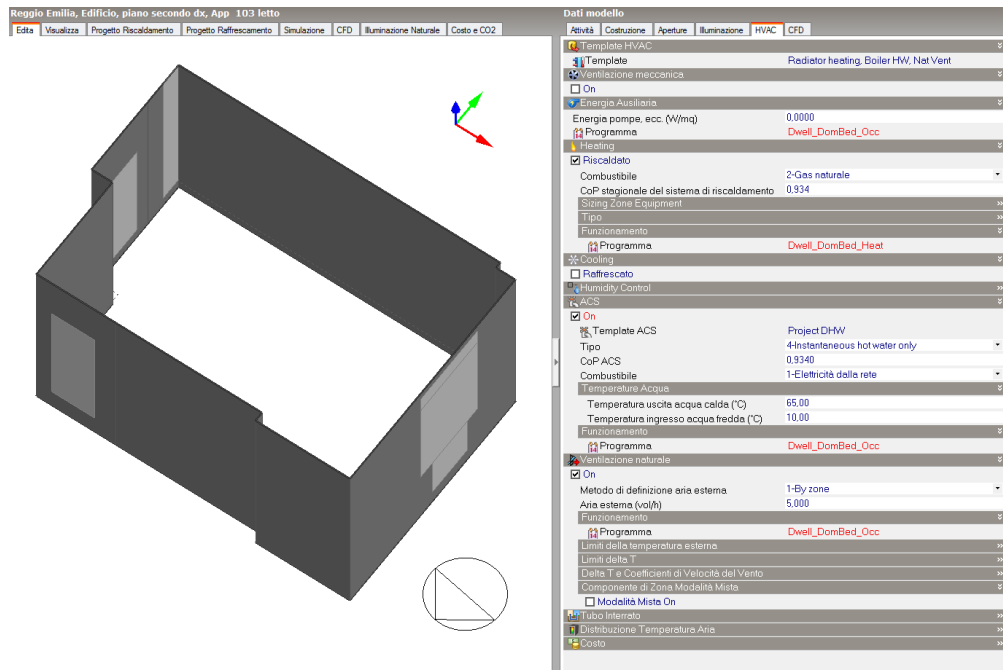


Figura 50 – Impostazioni impianto HVAC

Questo genere di informazioni deve però essere impostato ambiente per ambiente e non è possibile, ad esempio, indicare che una serie di ambienti costituiscono un appartamento e dare un impianto HVAC unico all'intero appartamento. Questo, mentre può funzionare per edifici di piccole dimensioni e permettere un genere di controllo molto più preciso, non risulta molto funzionale per un edificio di queste dimensioni, rendendo estremamente lunga ogni genere di modifica successiva alle impostazioni definite inizialmente.

Definita la quota 0.00 di costruzione, il software identifica automaticamente ogni elemento perimetrale dell'edificio sottostante ad essa come in contatto col terreno. Se fossero, come in questo caso,

presenti dislivelli e si volesse indicare anche una porzione di edificio superiore alla quota 0.00 come a contatto col terreno sarebbe necessario costruire un “blocco terreno” confinante all’edificio che vada ad affiancarsi a tale porzione.

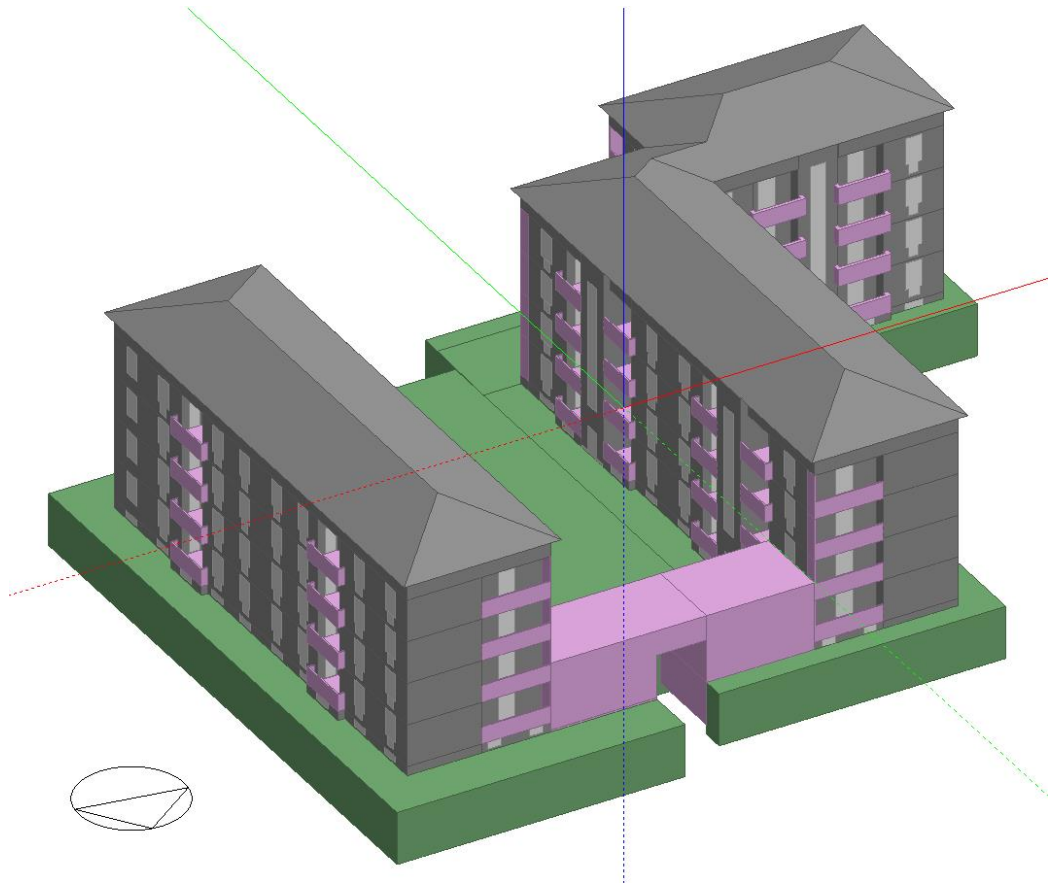


Figura 51 – Modello completo allo stato di fatto realizzato con DesignBuilder

6.2. MODELLO ALLO STATO RIQUALIFICATO

Lo stesso genere di lavoro svolto allo stato di fatto è stato riproposto anche allo stato riqualificato come da progetto ACER, creando modelli che rispecchino con precisione tale visione dell’edificio. ACER ha progettato la riqualificazione creando un modello energetico tramite il software EdilClima e ci è stato possibile analizzare la relazione tecnica ottenuta tramite tale software. Le stratigrafie sono pertanto state estrapolate da qui e re-inserite in maniera identica nei due programmi utilizzati.

6.2.1. Modello realizzato con TerMus

Partendo dal modello allo stato di fatto, al fine di mantenere le stesse impostazioni precedentemente impartite, sono state sostituite le stratigrafie allo stato di fatto con quelle dello stato riqualificato.

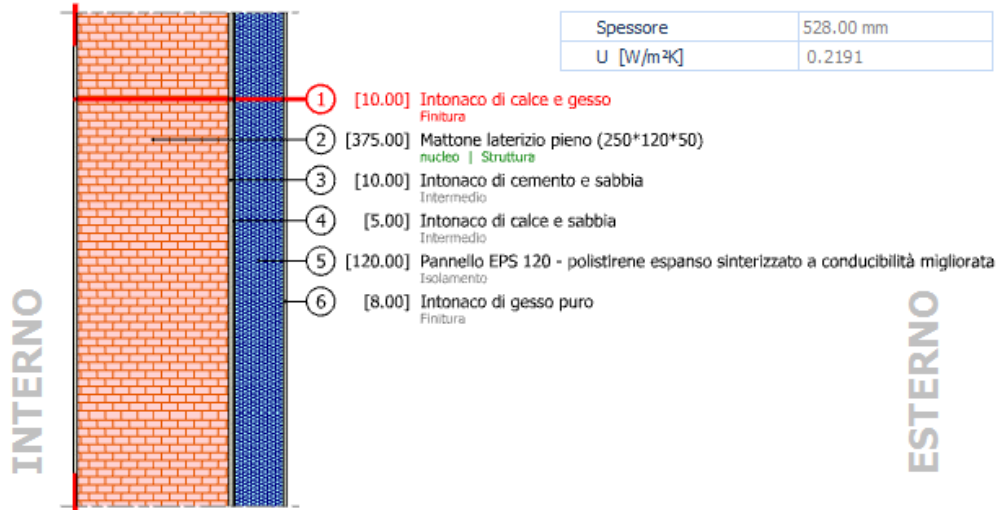


Figura 52 – Stratigrafia muro di tamponamento perimetrale con cappotto

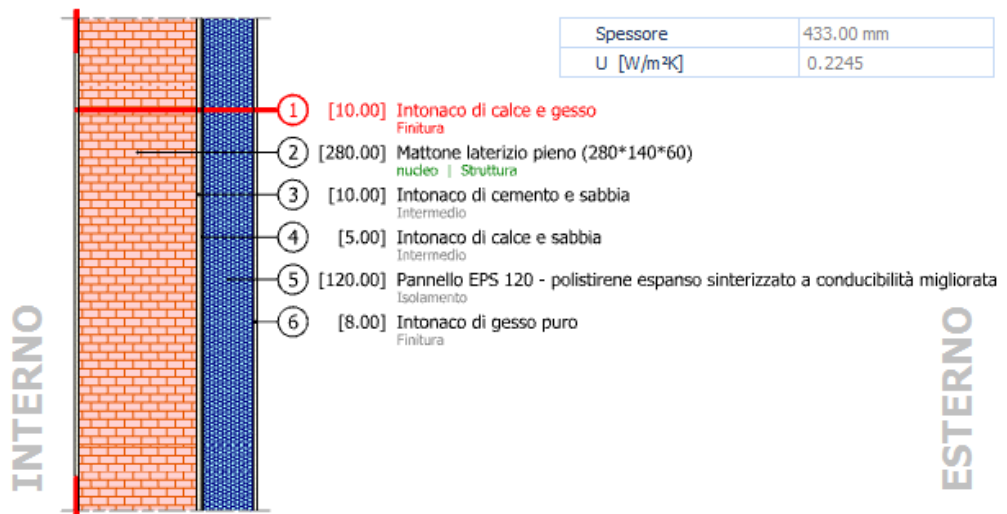


Figura 53 – Stratigrafia muro vano scale con cappotto

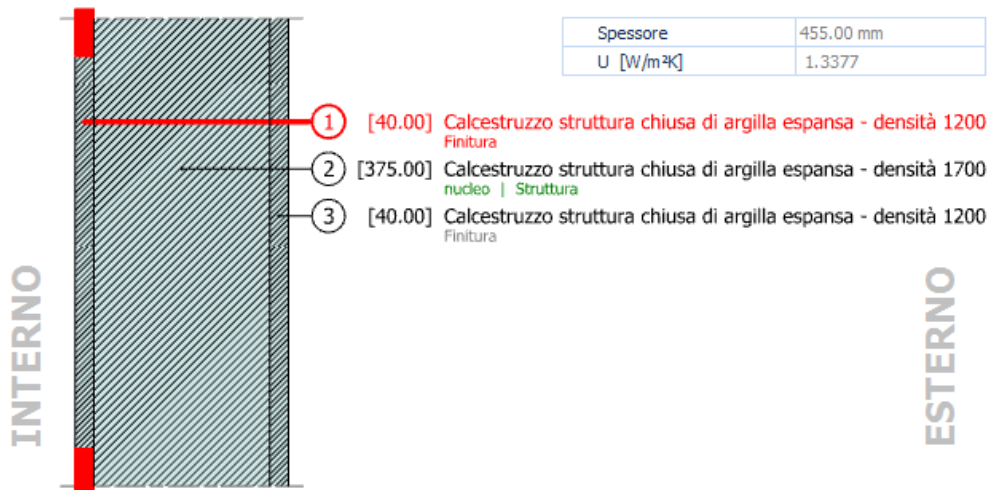


Figura 54 – Stratigrafia muro controterra, piano cantine interrato

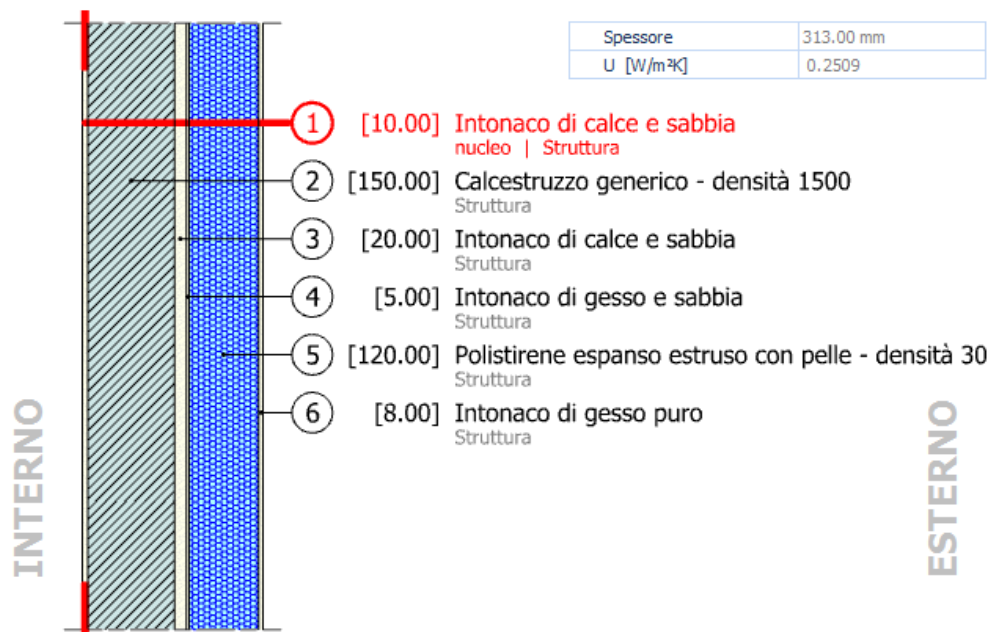
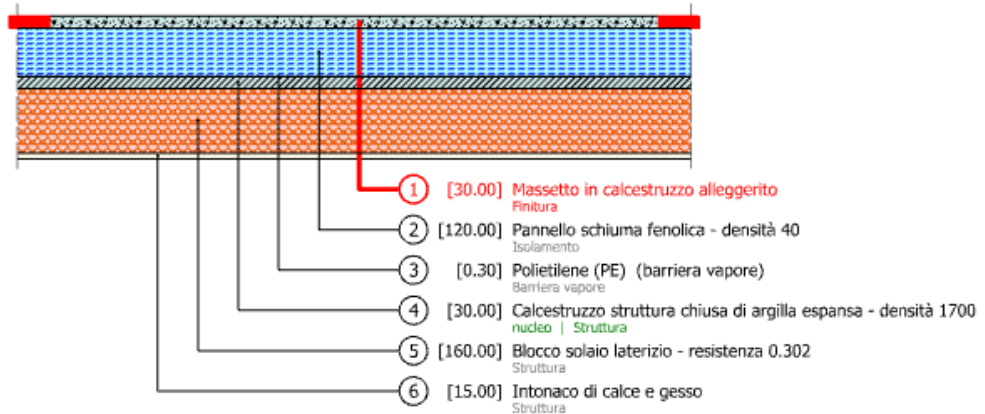


Figura 55 – Stratigrafia parapetto loggia con cappotto

SUPERIORE

Spessore	355,30 mm
U [W/m ² K]	0,1657

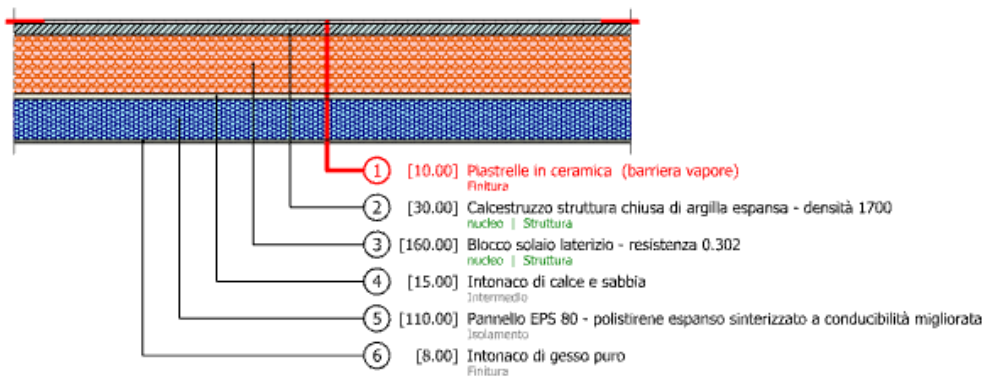


INFERIORE

Figura 56 – Stratigrafia solaio fra il 4° piano e il sottotetto

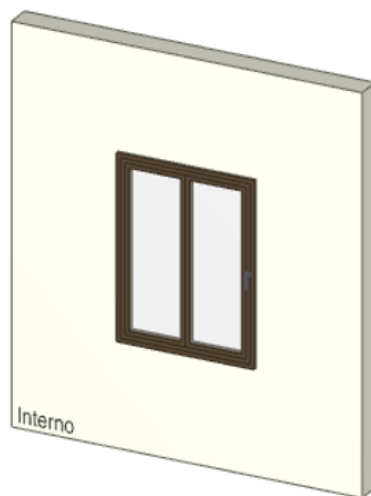
SUPERIORE

Spessore	333,00 mm
U [W/m ² K]	0,2438



INFERIORE

Figura 57 – Stratigrafia solaio fra il piano terra e le cantine interrato



Finestre	
Titolo	finestra 130x175
Descrizione	
> Proprietà	
v Finestra	
Larghezza	1.3000 m
Altezza	1.7500 m
v DATI TERMICI	
Telaio e Vetro	da Produttore
Uw W/m ² K	1.1030
v Telaio	
Materiale telaio	Plastica
v Vetri	
Numero di strati	Doppio
Tipo componente	Doppio (rivestimento basso-emissivo)
Fattore solare n _f	0.6700
Ug W/m ² K	1.1000
Distanziatori vetri	PVC
Trasmit. distanzi	0.06

Figura 58 – Stratigrafia finestra principale, le altre variano solo nella forma

Non è stato immediato fare la sostituzione delle stratigrafie, in quanto TerMus lavora per vani e considera lo spessore delle pareti: si rischiava quindi modificandone lo spessore di non avere più vani completamente chiusi. Si è quindi fatta molta attenzione procedendo con tale operazione dal basso verso l'alto, ma ha invece semplificato molto la possibilità di fare una selezione per genere e sostituire tutti gli elementi di un certo tipo con altri della tipologia aggiornata (ad esempio, sostituire tutte le finestre 130x175cm col vecchio telaio con finestre della stessa dimensione e col telaio aggiornato).

Sono inoltre stati modificati i balconi, eliminando le solette e muretti precedentemente adoperati e sostituendoli con involucri e solai che ne permettessero l'identificazione come vano chiuso; tali vani sono stati infine dichiarati come “serre” nella definizione della zona e ne è stata impostata la prossimità coi vani precedentemente identificati internamente all'edificio.



Figura 59 – Modello completo allo stato riqualificato realizzato con TerMus

6.2.2. Modello realizzato con DesignBuilder

Anche in questo caso si è partiti dal modello precedentemente realizzato allo stato di fatto per sostituire poi le vecchie caratteristiche dell'edificio con quelle nuove.

In questo caso la sostituzione delle stratigrafie dei pacchetti murari e dei solai è risultata molto semplice e immediata: il programma lavora per “fogli”, considerando solo l'asse medio della parete e non il suo spessore, quindi non si sono creati errori nei volumi come col modello realizzato in TerMus.

La sostituzione dei telai e dei vetri delle finestre è stata fatta al livello più generale. La modifica che si è rivelata più lunga è stata quella dell'impianto di generazione, che essendo autonomo per ogni appartamento ha richiesto modifiche svolte stanza per stanza.

Sono inoltre stati modificati i balconi, eliminando i semplici blocchi componente e sostituendoli con blocchi edificio per i quali è stato impostato il template di ambiente chiuso non riscaldato.

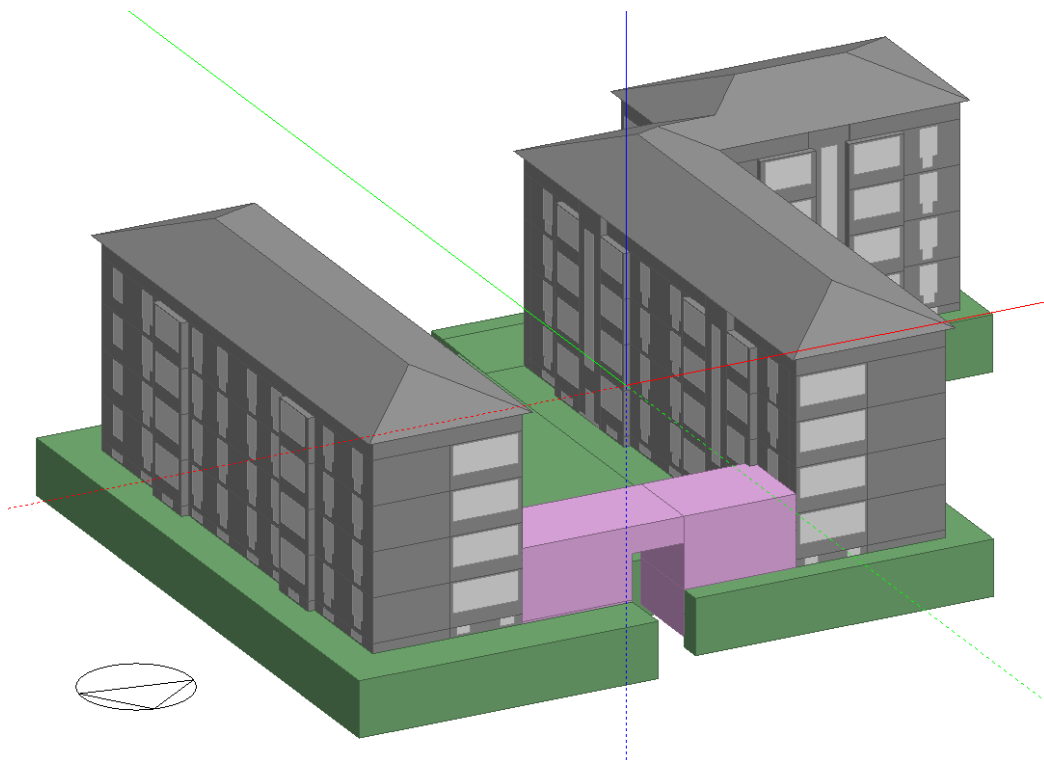


Figura 60 – Modello completo allo stato riqualificato realizzato con DesignBuilder

7. VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE FRA CALCOLO SEMI-STAZIONARIO E DINAMICO

Per svolgere le simulazioni e il calcolo delle prestazioni energetiche è innanzitutto necessario impostare i dati generali dell'edificio per poterlo geolocalizzare. Ad ogni comune di appartenenza da normativa corrispondono precisi dati climatici relativi all'ambiente esterno che saranno necessari per svolgere i calcoli.

7.1. DATI CLIMATICI DI REGGIO EMILIA

Una delle differenze essenziali rilevate fra il calcolo svolto con TerMus e quello con EnergyPlus consta proprio nei dati climatici usati dal programma, sia per quanto riguarda i dati climatici effettivi che per l'uso che ne viene fatto.

7.1.1. Dati climatici con TerMus

I dati usati da TerMus sono quelli aggiornati alla più recente normativa in materia relativi al comune di Reggio Emilia

DATI INVERNALI DI PROGETTO						DATI ESTIVI DI PROGETTO					
Zona Climatica E											
Temperatura esterna [°C]	-5.00					Temperatura esterna [°C]	31.5				
Umidità relativa esterna [%]	37.00					Umidità relativa esterna [%]	55.0				
Gradi Giorno	2560					Escursione termica giornaliera [°C]	10.0				
Velocità Vento [m/s]	3.61					Riduzione irrad. TOT per foschia [%]	0.0				
TEMPERATURE MEDIE MENSILI [°C]											
gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
0.7	3.4	9.0	13.1	18.4	22.8	24.3	22.9	19.2	15.1	8.2	2.9
UMIDITA' RELATIVA MENSILE [%]											
gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
86.40	74.20	61.20	63.30	54.60	50.80	50.20	50.30	66.20	66.70	85.10	87.00

Figura 61 – Dati climatici di Reggio Emilia con TerMus, temperature e umidità

TerMus usa dati medi mensili per analizzare le differenze di temperatura fra l'ambiente interno e quello esterno

Irradiazioni												
IRRADIAZIONI [MJ/m ²]												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
N	1.48	2.34	3.94	5.57	8.54	9.94	9.67	6.75	4.84	3.19	1.84	1.27
NE	1.59	2.89	5.35	7.80	11.51	12.80	12.97	9.62	6.67	3.90	2.06	1.34
E	2.94	5.25	8.10	10.32	14.05	14.97	15.59	12.43	9.30	6.03	3.76	2.50
SE	4.83	7.66	9.88	10.81	13.08	13.06	13.87	12.31	10.48	7.85	5.88	4.26
S	6.05	9.08	10.34	9.83	10.77	10.29	10.94	10.56	10.24	8.77	7.24	5.41
SW	4.83	7.66	9.88	10.81	13.08	13.06	13.87	12.31	10.48	7.85	5.88	4.26
W	2.94	5.25	8.10	10.32	14.05	14.97	15.59	12.43	9.30	6.03	3.76	2.50
NW	1.59	2.89	5.35	7.80	11.51	12.80	12.97	9.62	6.67	3.90	2.06	1.34
H Tot.	3.80	6.90	11.40	15.30	21.50	23.30	24.00	18.60	13.50	8.40	4.90	3.20

Figura 62 – Dati climatici di Reggio Emilia con TerMus, irradiazioni

Per quanto riguarda le irradiazioni, TerMus usa sempre valori medi mensili, e questi sono calcolati rispetto al piano verticale per ogni direzione cardinale.

7.1.2. Dati climatici con EnergyPlus

I dati usati invece da EnergyPlus sono automaticamente presi da un set di 66 file denominati IGDG, sviluppati dal Politecnico di Milano negli anni '70, e facenti riferimento solo a 66 località italiane. La località più vicina a quella del sito del caso studio è risultata essere Bologna Borgo Panigale e sono stati usati per l'analisi i relativi dati in merito all'anno 2002. I dati presenti sono precisi fino al minuto ma, in questo caso, è stata svolta una analisi con intervallo giornaliero su scala annuale e impostando un taglio di controllo della temperatura dell'aria di 2 step per ora.

Le irradiazioni inoltre in questo caso vengono invece indicate solo come dirette o diffuse e riferite al piano orizzontale

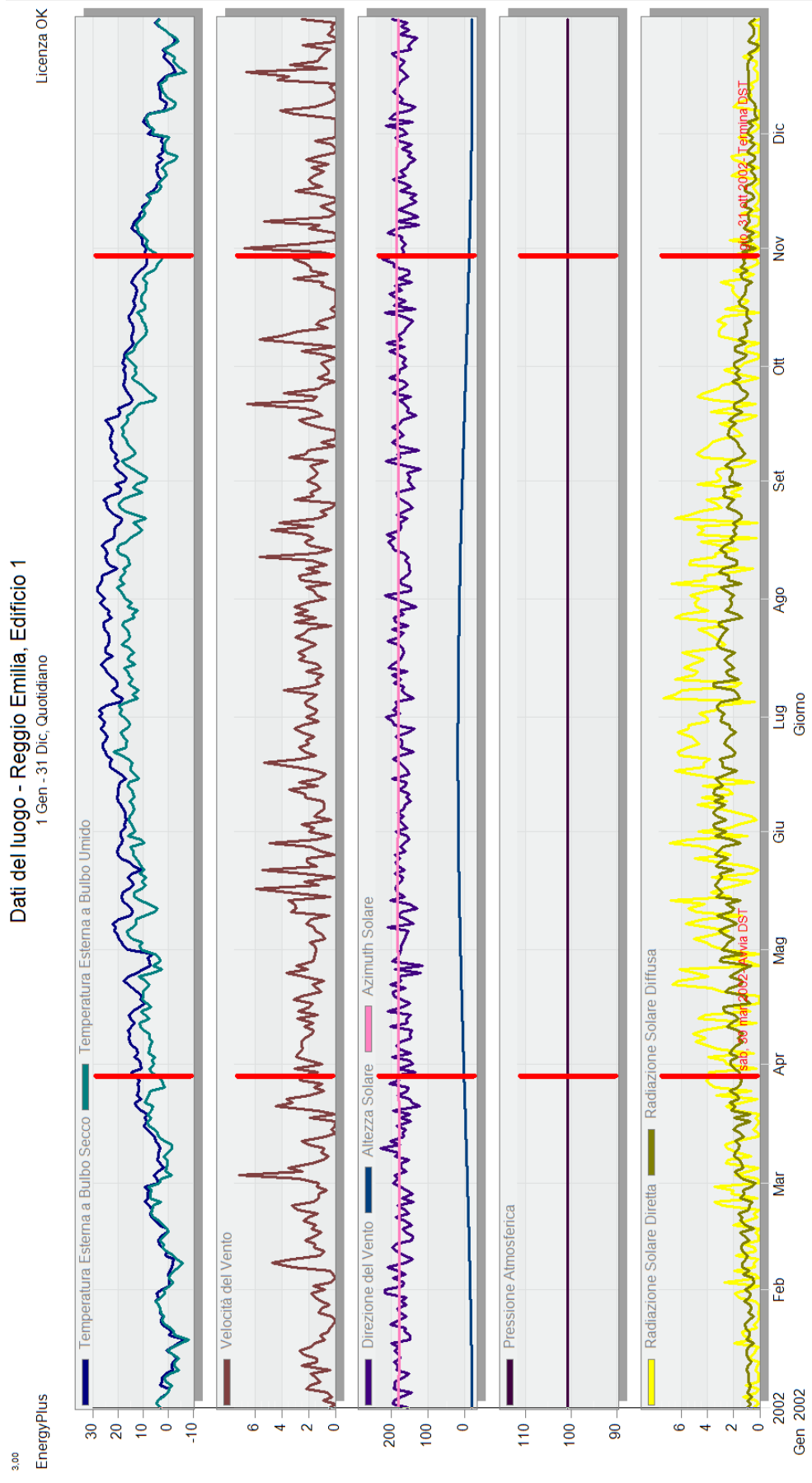


Figura 63 – Dati climatici con EnergyPlus, giornalieri

Per poter meglio svolgere un confronto fra i fati climatici usati sono stati estrapolati anche quelli medi mensili

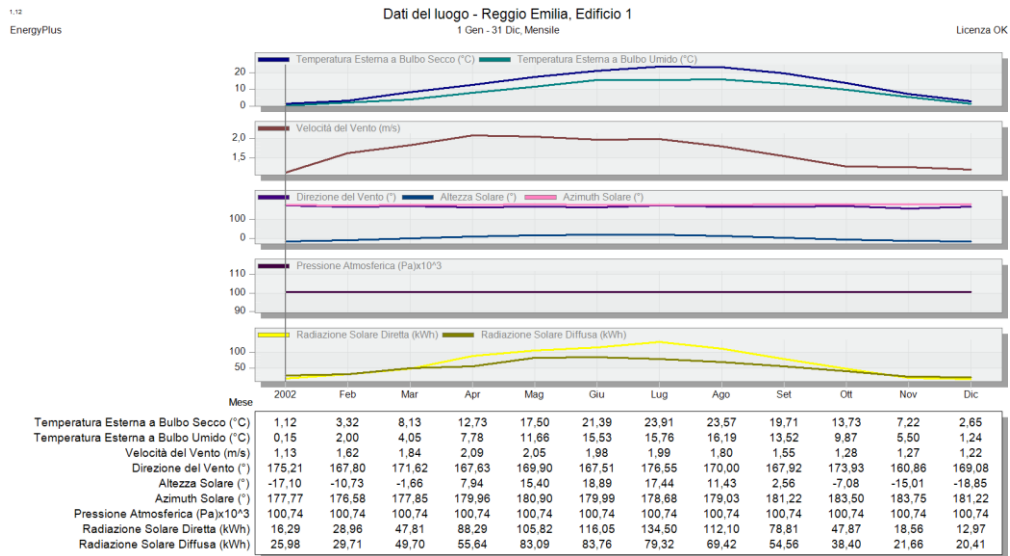


Figura 64 – Dati climatici con EnergyPlus, mensili

7.1.3. Confronto dati climatici

Confrontando le differenze fra le temperature esterne usate dai programmi in maniera pre-impostata si può notare come, mensilmente, varino anche di oltre 1°C (da un minimo di 0,08°C fino a un massimo di 1,41°C).

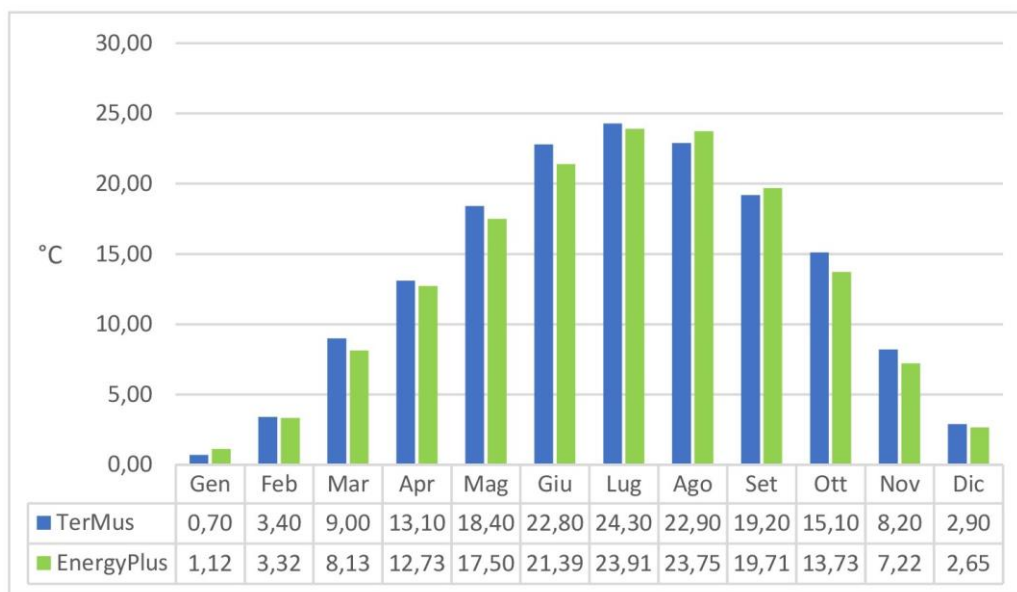


Figura 65 – Confronto fra i dati climatici medi mensili con TerMus ed EnergyPlus

In totale, a livello annuale i dati si scostano di circa il 3%, ma se si vanno ad analizzare i singoli mesi si arriva a differenze che, viste in percentuale, nei mesi invernali sono anche molto forti (62% a gennaio, 14% a novembre); questo è ovviamente dovuto al fatto che le temperature invernali sono molto più basse di quelle estive e anche la minima differenza messa in percentuale pesa molto di più.

Inoltre, per quanto riguarda le impostazioni ambientali interne, TerMus considera per ambienti adibiti a residenza delle impostazioni base prese sempre dalla normativa vigente









DESCRIZIONE	Valutazione sul progetto o standard <input checked="" type="checkbox"/>
app. 80 pt sx	
Destinazione d'uso E1(1) - abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo	
CALCOLO PRESTAZIONE ENERGETICA 	
Temperature interne (20.00 °C - invernale 26.00 °C - estiva)	
Umidità relative interne (50 % - invernale 50.00 % - estiva)	
Adduttanze Superfici opache: ascendente 10.00 W/m²K; discendente 5.90 W/m²K; orizzontale 7.70 W/m²K Superfici trasparenti: orizzontale 7.70 W/m²K	
Verifica igrometrica Condizioni climatiche INTERNE: UNI EN ISO 13788 Classe di concentrazione del vapore: Media	
CARICO TERMICO INVERNALE	
Temperatura interna di progetto [°C] <input type="text" value="20.0"/>    Fattore di ripresa <input type="text" value="0.0"/>   	
CARICO TERMICO ESTIVO 	
Modalità di calcolo CON fattori di accumulo	Impianto di climatizzazione Tipologia: ARIA Primaria Temperatura di mandata: 15°C Ore di funzionamento: 24
Condizioni interne di progetto Temperatura: 25°C Umidità relativa: 50%	

Figura 66 – Impostazioni ambientali interne con TerMus

EnergyPlus usa invece dei template preimpostati relativi alla funzione principale della stanza (come cucina, camera da letto, circolazione domestica, bagno). Sono impostabili singolarmente per ogni ambiente,

cosa che permette di differenziare la temperatura interna e gli apporti interni fra i differenti ambienti e indicare una caratterizzazione molto più precisa dell'ambiente, ma che ha impostazioni di base differenti dalle standard di normativa europea

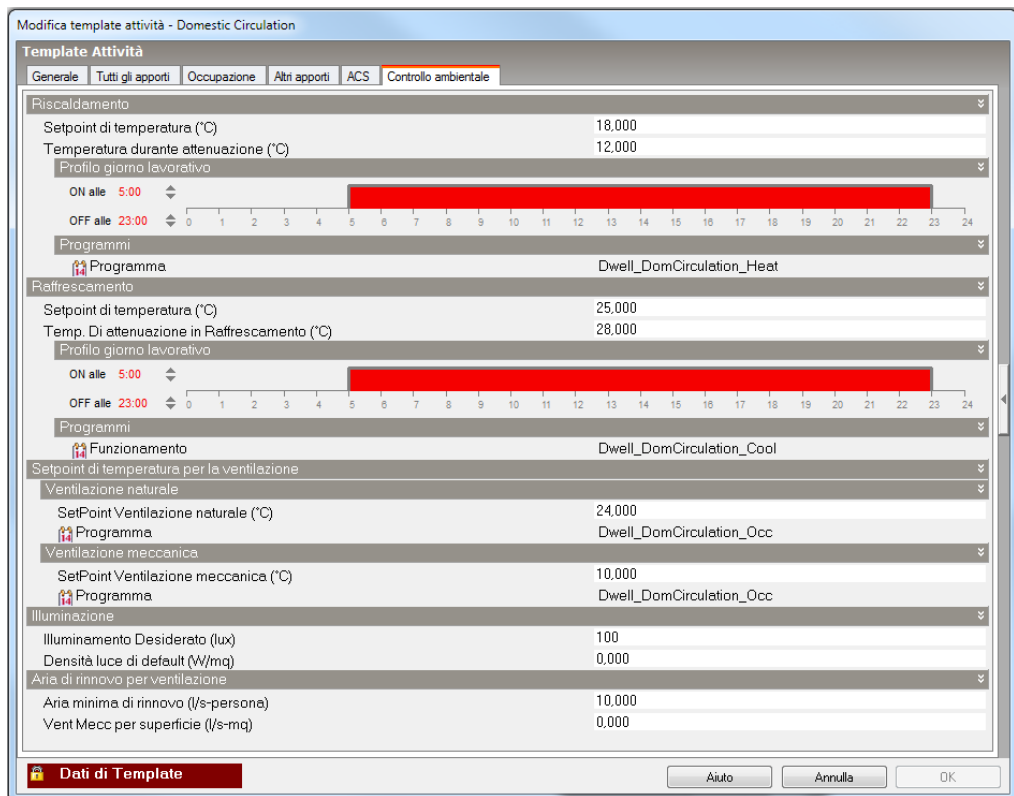


Figura 67 – Impostazioni ambientali interne con EnergyPlus

La prima essenziale differenza che si può notare è il setpoint della temperatura interna: mentre con TerMus è automaticamente a 20°C, con EnergyPlus la troviamo a 18°C. I template non sono inoltre facilmente modificabili: risulta necessario a tal fine farne una copia, modificarla e infine impostarla, per ogni ambiente presente nell'edificio.

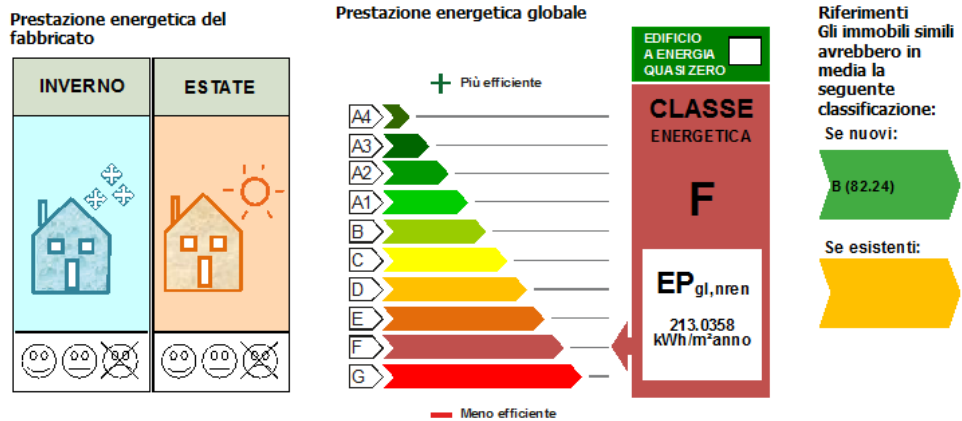
Si nota inoltre come siano estremamente maggiori le quantità di dati impostabili e inseribili nell'interfaccia di EnergyPlus, come il periodo di riscaldamento che qui può essere precisamente impostato a seconda dell'uso effettivo dell'utente.

7.2. PRESTAZIONI ENERGETICHE

Impostati i dati climatici e valutate le temperature interne, sono state quindi svolte le simulazioni nei programmi per i 4 modelli dettagliati realizzati.

7.2.1. Modello dettagliato allo stato di fatto con TerMus

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO



SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

<input checked="" type="checkbox"/>	Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/>	Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/>	Illuminazione
<input type="checkbox"/>	Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/>	Trasporto di persone o cose

DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

Volume lordo	10'983.11 [m³]
Superficie lorda disperdente	4'299.14 [m²]
Rapporto di forma S/V	0.39 [1/m]
Volume netto	7'972.43 [m³]
Superficie netta calpestabile	2'718.71 [m²]
Capacità termica totale	763'767.13 [kJ/K]

INDICI DI PRESTAZIONE

Classe energetica	F
Indice di prestazione energetica globale	214.09 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	120.340 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione termica utile per raffrescamento	9.763 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per riscaldamento	180.52 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per raffrescamento	0.00 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per acs	33.57 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per ventilazione	0.00 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per illuminazione	0.00 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per trasporti	0.00 [kWh/m² anno]

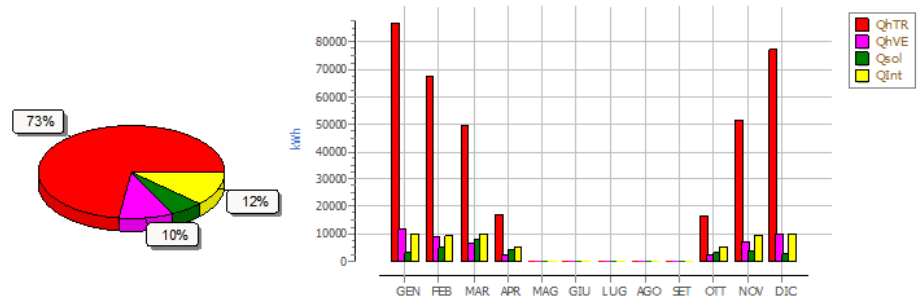
FABBISOGNI

Riscaldamento	Fabbisogno di energia termica utile	327'169.58 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria totale	490'778.33 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	2'364.79 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	488'413.55 [kWh]
Raffrescamento	Fabbisogno di energia frigorifera utile	26'542.33 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria totale	0.00 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	0.00 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	0.00 [kWh]

Acqua calda sanitaria	Volumi di ACS	1'641.00 [m³]
	Fabbisogno di energia termica utile	50'849.10 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria totale	91'277.03 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	508.89 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	90'768.14 [kWh]

VALORI MENSILI e ANNUALI			
Annuale			
riscaldamento			
QsoIT	Energia termica da apporti solari delle superfici trasparenti	kWh	30'101.66
QsoIO	Energia termica da apporti solari delle superfici opache	kWh	4'504.54
QsoLCNR	Energia termica da apporti solari dai locali non climatizzati	kWh	0.00
ExVC	Extra flusso verso la volta celeste	kWh	7'981.24
QhTR	Dispersione per trasmissione in riscaldamento	kWh	367'138.04
QhInt	Energia termica da apporti interni	kWh	59'702.78
QhIntL	Fabbisogno energia termica per umidificazione	kWh	0.00
QhVE	Dispersione termica invernale per ventilazione	kWh	48'201.14
QhVE_rif	Dispersione termica invernale per ventilazione (di riferimento)	kWh	48'201.14
Qh	Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento	kWh	327'169.58
ACS			
Qw	Fabbisogno di energia termica per acqua calda sanitaria	kWh	50'849.10
VoACS	Volumi di acs	m³	1'641.00
raffrescamento			
QsoIT	Energia termica da apporti solari delle superfici trasparenti	kWh	33'951.96
QsoIO	Energia termica da apporti solari delle superfici opache	kWh	5'202.37
QsoLCNR	Energia termica da apporti solari dai locali non climatizzati	kWh	0.00
ExVC	Extra flusso verso la volta celeste	kWh	5'509.25
QcTR	dispersione per trasmissione in raffrescamento	kWh	31'318.75
QcInt	Energia termica da apporti interni	kWh	27'408.29
QcIntL	Fabbisogno energia per deumidificazione	kWh	0.00
QcVE	Dispersione termica estiva per ventilazione	kWh	4'221.03

FABBISOGNI DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNI DI ENERGIA PER RAFFRESCAMENTO

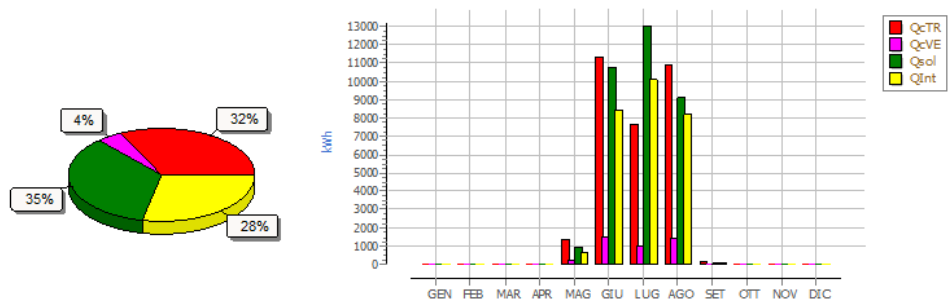


Figura 68 – Risultati di calcolo per il modello dettagliato allo stato di fatto originale con TerMus

7.2.2. Modello dettagliato allo stato di fatto con EnergyPlus

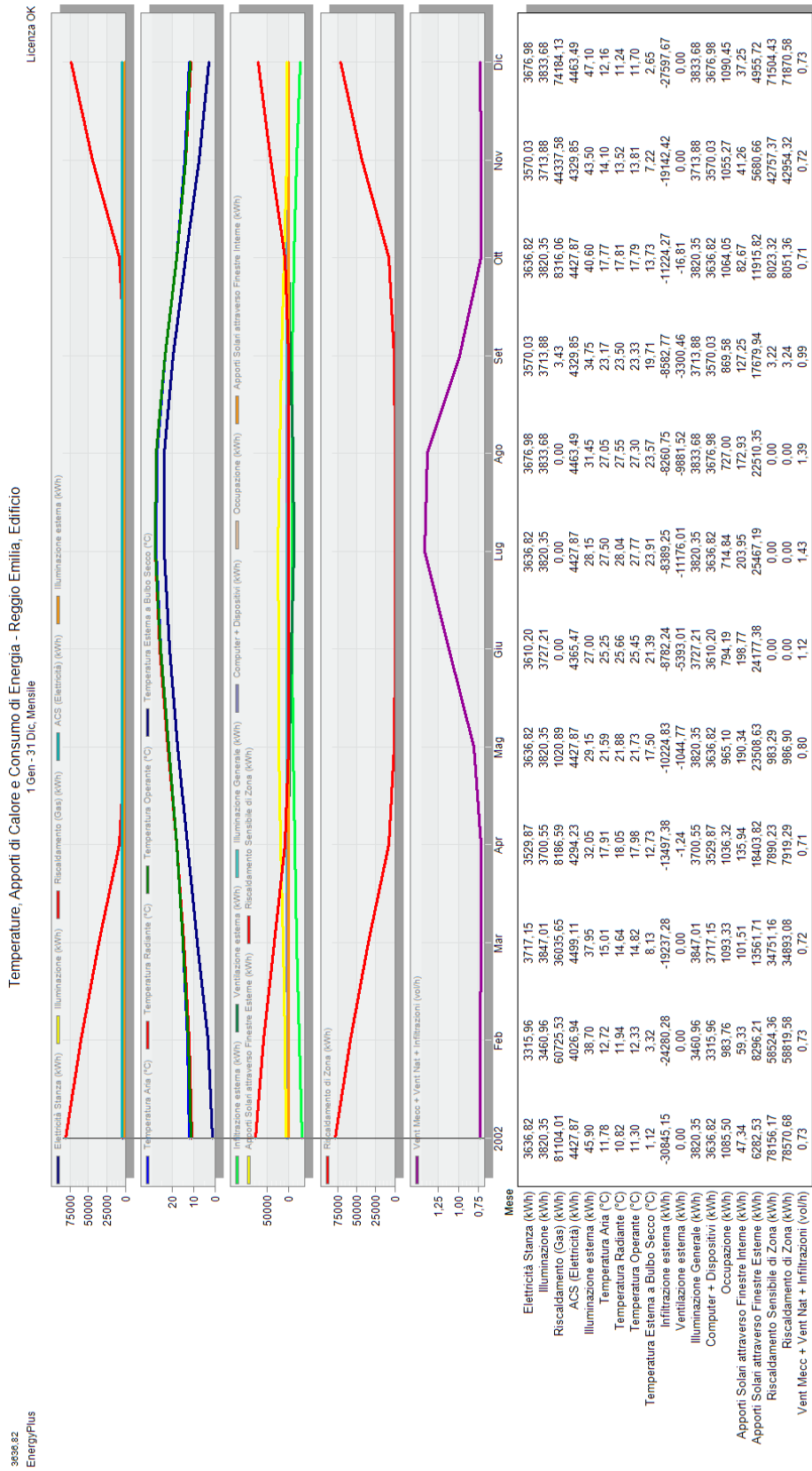


Figura 69 – Risultati di calcolo per il modello dettagliato allo stato di fatto originale con EnergyPlus, valori mensili

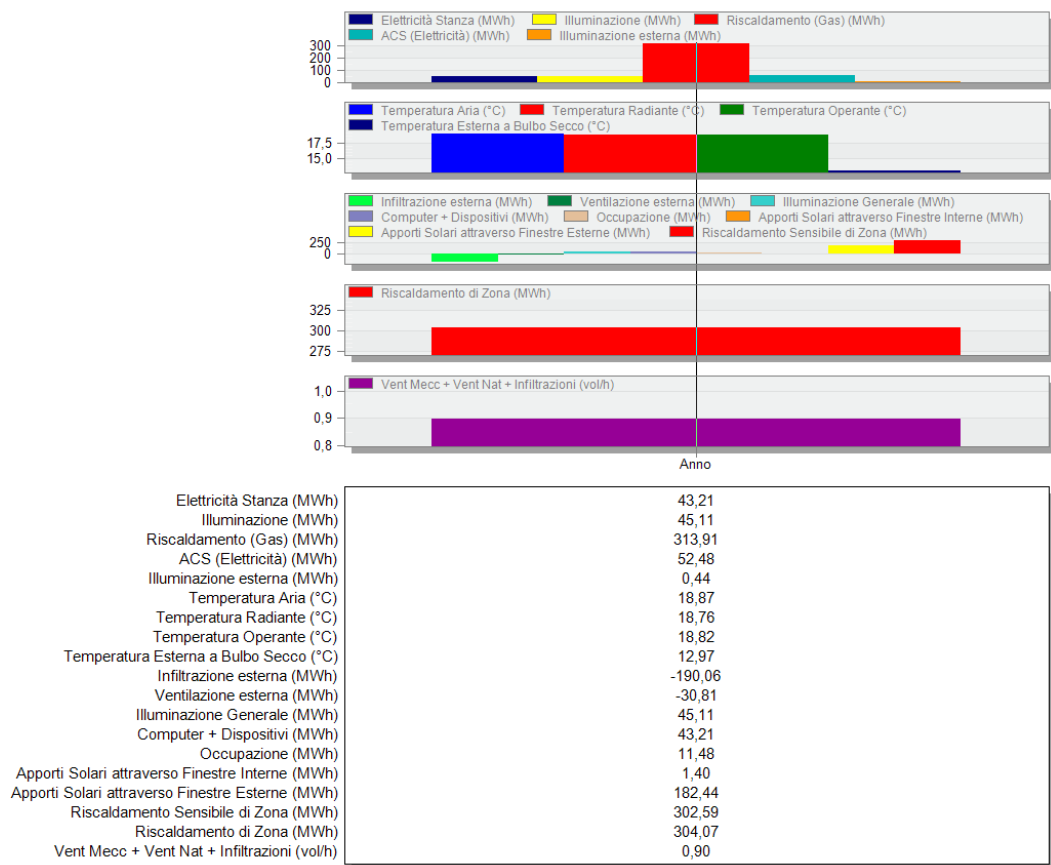


Figura 70 – Risultati di calcolo per il modello dettagliato allo stato di fatto originale con EnergyPlus, valori annuali

Oltre ai risultati qui tabulati il programma produce anche un riepilogo completo con le dispersioni e consumi per ogni singolo ambiente dell'edificio, indicandone anche i dati geometrici. Per non appesantire eccessivamente la trattazione si è deciso di aggiungere ai dati già presentati unicamente il valore dell' $EP_{gl} = 152,72 \text{ kWh/m}^2$.

È inoltre possibile, come detto in precedenza, visionare risultati in maniera molto più dettagliata con lassi temporali minori di quelli qui indicati, ma non avendo dati allo stesso lasso temporale e altrettanto quindi dettagliati tramite TerMus non sono stati riportati, essendo il fine della trattazione un confronto fra i programmi e i risultati ottenuti. Si ricorda però che anche se analizzati a livello mensile i dati qui mostrati sono calcolati con intervalli temporali di 30minuti e gli apporti finali unicamente sommati, non semplificati.

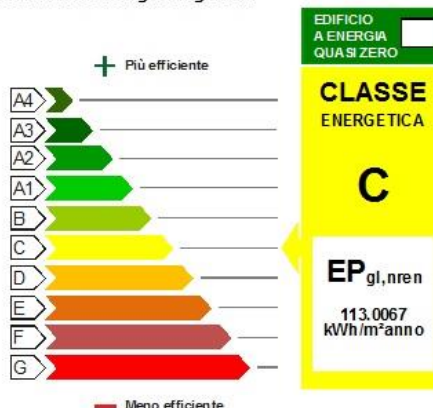
7.2.3. Modello dettagliato allo stato riqualificato con TerMus

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti
Gli immobili simili
avrebbero in
media la
seguente
classificazione:
Se nuovi:

B (84.24)

Se esistenti:

SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

<input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica	<input type="checkbox"/> Illuminazione
<input type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose

DATI DI DETTAGLIO DEL FABBRICATO

Volume lordo	11'241.27 [m³]
Superficie lorda disperdente	4'326.85 [m²]
Rapporto di forma S/V	0.38 [1/m]
Volume netto	7'972.69 [m³]
Superficie netta calpestabile	2'718.80 [m²]
Capacità termica totale	754'981.84 [kJ/K]

INDICI DI PRESTAZIONE

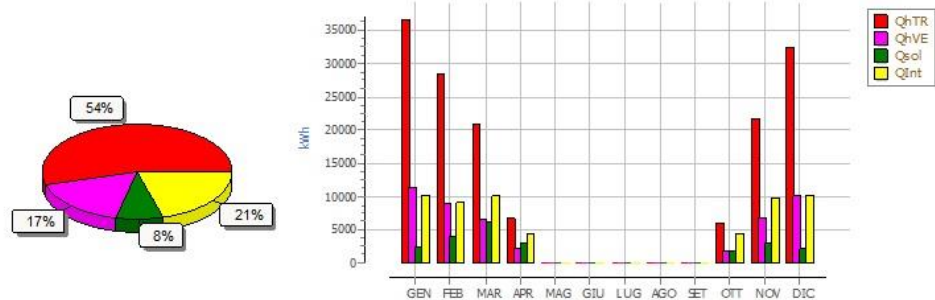
Classe energetica	C
Indice di prestazione energetica globale	113.61 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	44.966 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione termica utile per raffrescamento	15.632 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per riscaldamento	79.42 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per raffrescamento	0.00 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per acs	34.19 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per ventilazione	0.00 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per illuminazione	0.00 [kWh/m² anno]
Indice di prestazione energetica per trasporti	0.00 [kWh/m² anno]

FABBISOGNI

Riscaldamento	Fabbisogno di energia termica utile	122'252.09 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria totale	215'918.51 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	1'116.17 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	214'802.33 [kWh]
Raffrescamento	Fabbisogno di energia frigorifera utile	42'499.83 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria totale	0.00 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	0.00 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	0.00 [kWh]
Acqua calda sanitaria	Volumi di ACS	1'641.06 [m³]
	Fabbisogno di energia termica utile	50'850.99 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria totale	92'953.59 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile	513.94 [kWh]
	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile	92'439.65 [kWh]

VALORI MENSILI e ANNUALI			
Annuale			
riscaldamento			
QsoIT	Energia termica da apporti solari delle superfici trasparenti	kWh	22'340.07
QsoIO	Energia termica da apporti solari delle superfici opache	kWh	686.69
QsoLCNR	Energia termica da apporti solari dai locali non climatizzati	kWh	0.00
ExVC	Extra flusso verso la volta celeste	kWh	1'244.72
QhTR	Dispersione per trasmissione in riscaldamento	kWh	153'054.49
QhInt	Energia termica da apporti interni	kWh	58'200.35
QhIntL	Fabbisogno energia termica per umidificazione	kWh	0.00
QhVE	Dispersione termica invernale per ventilazione	kWh	47'655.23
QhVE_rif	Dispersione termica invernale per ventilazione (di riferimento)	kWh	47'655.23
Qh	Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento	kWh	122'252.09
ACS			
Qw	Fabbisogno di energia termica per acqua calda sanitaria	kWh	50'850.99
VolACS	Volumi di acs	m ³	1'641.06
QPwnr	Fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per acqua calda sanitaria	kWh	92'439.65
QPwr	Fabbisogno di energia primaria rinnovabile per acqua calda sanitaria	kWh	513.94
QPw	Fabbisogno di energia primaria totale per acqua calda sanitaria	kWh	92'953.59
raffrescamento			
QsoIT	Energia termica da apporti solari delle superfici trasparenti	kWh	38'373.17
QsoIO	Energia termica da apporti solari delle superfici opache	kWh	1'236.07
QsoLCNR	Energia termica da apporti solari dai locali non climatizzati	kWh	0.00
ExVC	Extra flusso verso la volta celeste	kWh	1'317.99
QcTR	dispersione per trasmissione in raffrescamento	kWh	29'440.23
QcInt	Energia termica da apporti interni	kWh	42'422.29
QcIntL	Fabbisogno energia per deumidificazione	kWh	0.00
QcVE	Dispersione termica estiva per ventilazione	kWh	9'475.84
QcVE_rif	Dispersione termica estiva per ventilazione (di riferimento)	kWh	9'475.84
Qc	Fabbisogno di energia termica utile per raffrescamento	kWh	-42'499.83

FABBISOGNI DI ENERGIA PER RISCALDAMENTO



FABBISOGNI DI ENERGIA PER RAFFRESCAMENTO

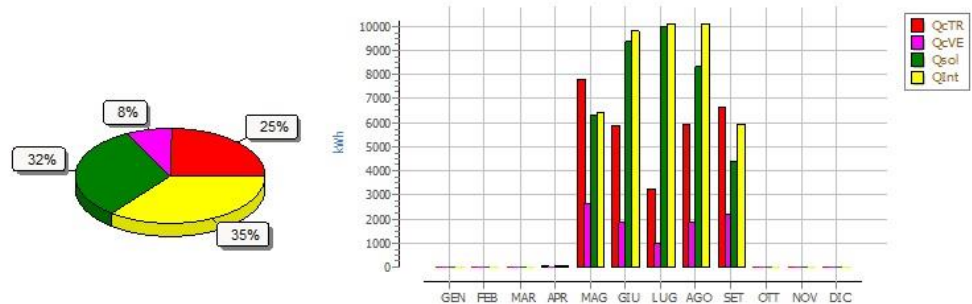


Figura 71 – Risultati di calcolo per il modello dettagliato allo stato riqualificato con TerMus

7.2.4. Modello dettagliato allo stato riqualificato con EnergyPlus

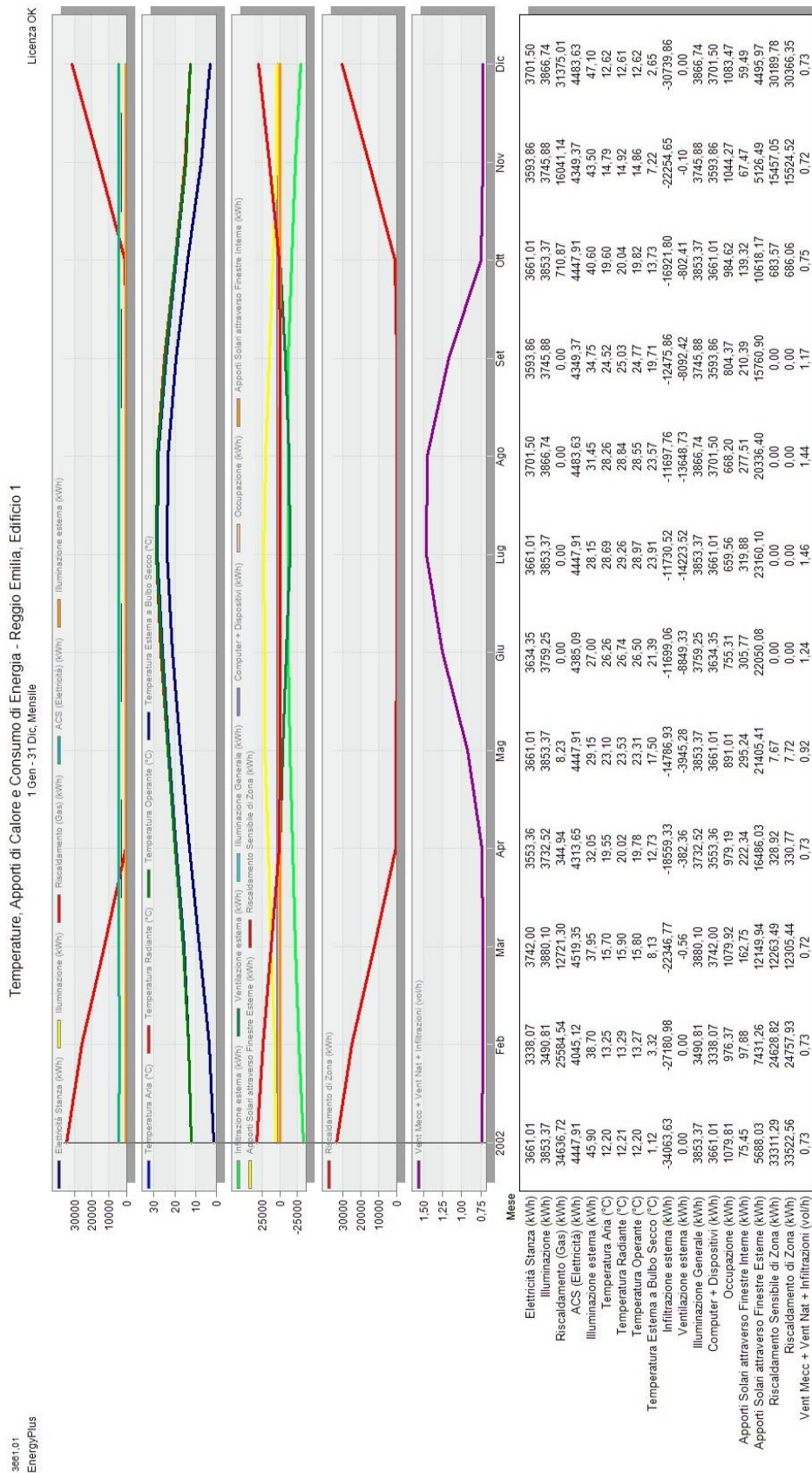


Figura 72 – Risultati di calcolo per il modello dettagliato allo stato riqualificato con EnergyPlus, valori mensili

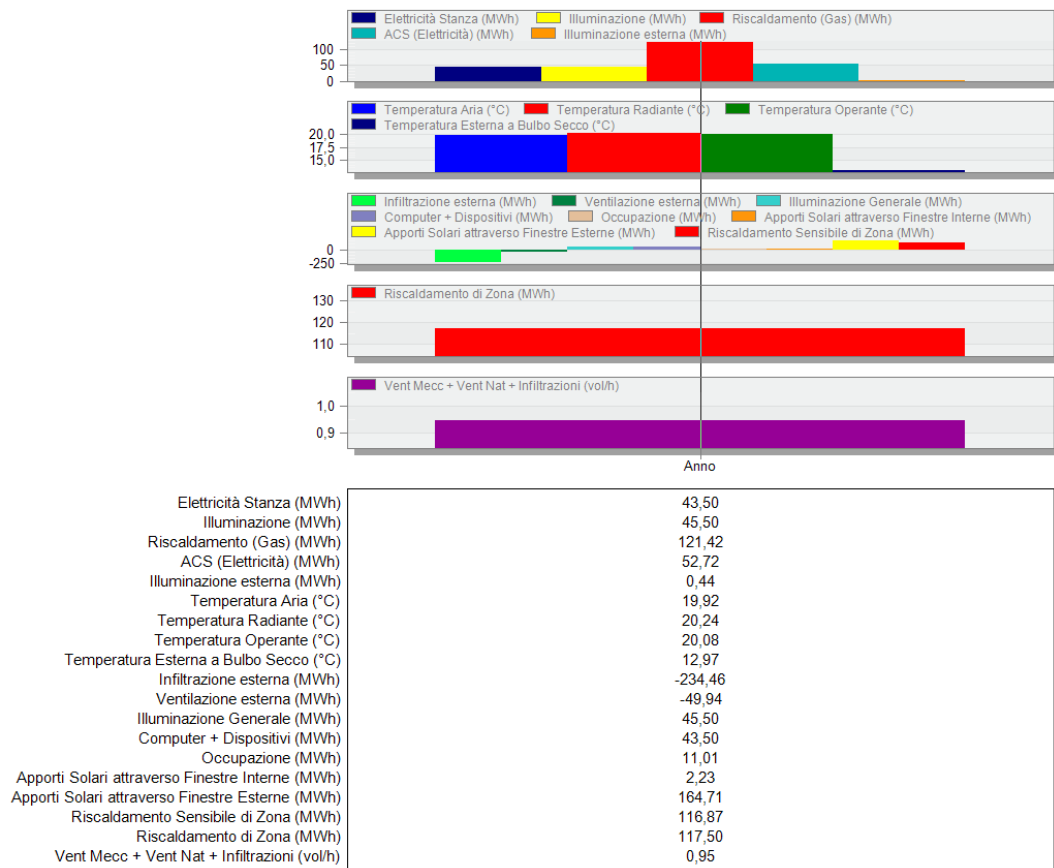


Figura 73 – Risultati di calcolo per il modello dettagliato allo stato riqualificato con EnergyPlus, valori annuali

Risulta il valore dell'EP_{gl} = 88,80 kWh/m².

7.3. CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE

Un punto di grossa difficoltà è stato comprendere cosa indicassero i dati in output offerti da TerMus rispetto quelli offerti da EnergyPlus, e comprendere di conseguenza cosa potesse essere messo a confronto fra i due programmi. Questi programmi sono basati su normative estremamente differenti: mentre TerMus è nato in Italia e si basa sulla normativa e i parametri europei, EnergyPlus è stato sviluppato in America e si basa quindi sulla normativa, e i parametri, americani. Un chiaro esempio di questa differenza è ad esempio la definizione di energia primaria: mentre in Europa risulta essere un concetto fondamentale e molti dei parametri in

TerMus sono dati in tali termini, in America risulta essere un concetto sconosciuto e non ci sono quindi parametri confrontabili a pari livello.

Si analizza ora ogni dato per il quale è stato possibile svolgere un confronto, offrendo motivazioni alle differenze riscontrate fra il calcolo dello stesso coi due differenti programmi.

7.3.1. Dati geometrici

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+
Dati geometrici					
Superficie netta calpestabile riscaldata Su,H	m ²	2718,00	2901,00	2718,00	2899,00
Volume lordo V,H	m ³	10983,00	14472,00	11241,00	15444,00
Superficie lorda disperdente Sdisp	m ²	4299,00	7232,00	4327,00	6716,00
Superficie lorda di pavimento	m ²	3340,00	4853,00	3418,00	5085,00
Numero di piani abitati		4	4	4	4
Numero di appartamenti		49	49	49	49
Rapporto di forma	1/m	0,39	0,50	0,38	0,43

Figura 74 – Dati geometrici dei modelli confrontati

La prima fondamentale differenza che si può notare sta nelle dimensioni dell'edificio calcolate con TerMus e con EnergyPlus, sia come superficie che come volume.

Tale differenza è data sì, in piccola parte, dal fatto che i modelli sono stati realizzati separatamente nei due programmi, ma per maggior quantità dai diversi modi di calcolare gli ambienti:

- TerMus calcola le superfici e volumi al netto degli spessori delle pareti e solai
- EnergyPlus calcola superfici e volumi al lordo degli spessori, considerando pareti e solai solo come linee di separazione situate nel loro asse mediano

Infatti è possibile osservare, già solo prendendo un singolo appartamento all'interno dell'edificio e calcolandone l'area netta calpestabile, che dove con TerMus il valore risultante è pari a 65m² lo stesso appartamento in EnergyPlus risulta essere di 82m². Andando a riportare tale differenza sulla vasta dimensione dell'edificio caso di studio, si può ben comprendere come si arrivi ad avere un edificio che

in EnergyPlus risulta essere di 183 m² più grande (7%), e che ha un volume di ben 3489 m³ maggiore (25%).

La grossa differenza inoltre fra superficie netta scaldata e superficie lorda di pavimento è dovuta alla presenza del piano cantine e del piano sottotetto, che non sono ambienti riscaldati.

Andando inoltre a confrontare lo stato di fatto originario e lo stato riqualificato, anche con lo stesso programma, si può osservare una nuova variazione di superficie e volumi: questo è dovuto al fatto che durante la riqualificazione tutti i balconi sono stati chiusi rendendoli logge, che rientrano quindi ora negli ambienti chiusi non riscaldati e vanno quindi a incrementare sia il volume lordo che la superficie lorda di pavimento, oltre a modificarne il rapporto di forma.

7.3.2. Dispersioni e apporti energetici

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+
DISPERSIONI E APPORTI ENERGETICI					
Energia dispersa per ventilazione	kWh	52422,00	30810,00	57116,00	49940,00
Energia termica da apporti solari tramite le superfici trasparenti	kWh	64054,00	182440,00	60174,00	164710,00
Energia termica da apporti interni	kWh	87111,00	99800,00	100598,00	100010,00

Figura 75 – Dispersioni e apporti energetici dei modelli confrontati

È stato possibile confrontare i carichi per ventilazione e infiltrazione, l'energia termica da apporti solari tramite le superfici trasparenti e i carichi da apporti interni.

I carichi per ventilazione e infiltrazione sono calcolati come

$$\dot{Q}_v = m_a \cdot c_p \cdot (t_e - t_i) = 0,34 \cdot n \cdot V \cdot (t_e - t_i) \quad [W]$$

dove:

c_p = calore specifico isobaro dell'aria (1000 J/KgK)

m_a = portata in massa di aria di ventilazione [kg/s]

n = numero di ricambi d'aria orari per ventilazione ed infiltrazione

V = volume interno della zona [m³]

Essi dipendono quindi in maniera diretta dal volume interno degli ambienti e dai ricambi d'aria.

Il primo di questi valori, come abbiamo visto nell'analisi dei dati geometrici, varia molto fra i due programmi analizzati e non può fare a meno di impattare sui risultati ottenuti.

Il secondo, invece, è parte dei valori preimpostati ma modificabili all'interno dei programmi.

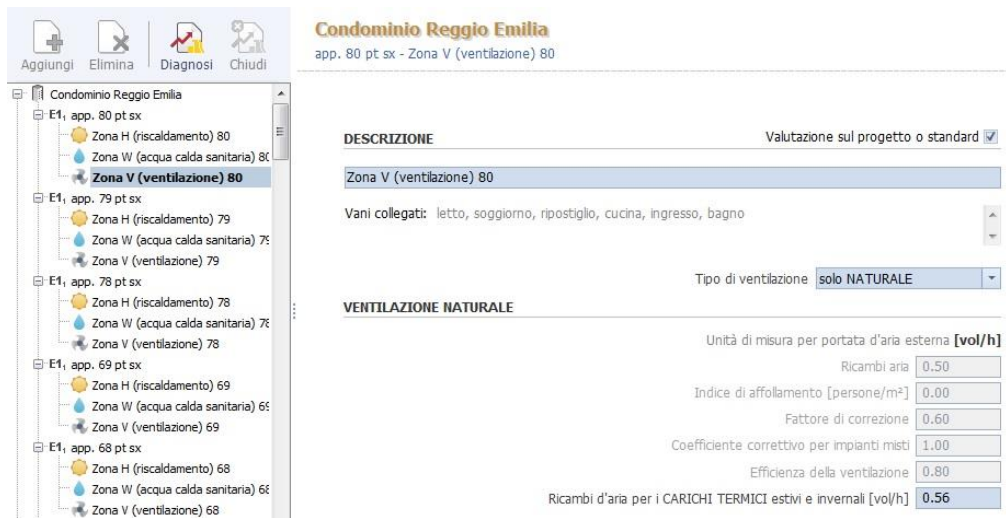


Figura 76 – Ricambi d'aria per ventilazione e infiltrazione in TerMus

In TerMus sono considerati in un valore unico le infiltrazioni e i ricambi d'aria per ventilazioni, preimpostato a 0,56 vol/h per la ventilazione naturale di un edificio residenziale, come da normativa.



Figura 77 – Ricambi d'aria per ventilazione e infiltrazione in EnergyPlus

In EnergyPlus i valori sono invece separati, considerando già solo per le infiltrazioni un ricambio di 0,7 vol/h. Per quanto riguarda la ventilazione il valore preimpostato è di 10 l/s-persona; andando a fare le dovute conversioni, questo si scosta di poco dal valore dato dalla normativa europea per gli ambienti come soggiorno e camere da letto di $11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s-persona}$, ma dovendo essere sommato al valore già indicato delle infiltrazioni la differenza risulta significativa rispetto al valore preimpostato in TerMus.

L'energia termica da apporti solari tramite superfici trasparenti è il valore che maggiormente si discosta fra il calcolo svolto nei due programmi, risultando in entrambe le situazioni circa 3 volte più grande in EnergyPlus che non in TerMus. Questo valore è calcolato come

$$\dot{Q}'_{s,\max} = I_{s,\max} \cdot c_s \cdot S_v \cdot f_h \cdot f_v \quad [W]$$

$I_{s,\max}$ è l'irradianza solare massima trasmessa da un vetro semplice di riferimento $[W/m^2]$ (valori riportati in tabella in funzione di latitudine, esposizione, mese considerato);

c_s è il coefficiente di shading [-];

S_v è la superficie della finestra $[m^2]$;

f_h è il fattore telaio [-] (vale 1 per legno e 1,17 per telai in metallo);

f_v è la frazione di finestra che risulta soleggiata [-].

Alcuni valori di C_s

Vetro singolo:	1
Vetro singolo con veneziana chiara a 45°	0,56
Vetro singolo con veneziana scura a 45°	0,75
Vetro doppio	0,90
Vetro doppio con veneziana chiara a 45	0,54
Vetro doppio con veneziana scura a 45	0,67
Vetrodoppio riflettente	0,46
vetro triplo	0,83

Come si può notare, dipende dall'area di superficie vetrata, dal tipo di vetro presente nelle finestre e dall'irradianza che colpisce la finestra. Come abbiamo inizialmente potuto notare, i valori preimpostati nei due programmi per l'irradianza sul sito sono espressi diversamente e di difficile confronto.

Si possono però notare innanzitutto delle differenze confrontando i valori ottenuti dai modelli allo stato di fatto originario e allo stato riqualificato con lo stesso programma, e queste differenze sono dovute

al tipo di vetro: mentre allo stato di fatto originario questo era un vetro standard singolo, allo stato riqualificato si è passati ad usare un vetro doppio che scherma maggiormente dagli apporti solari.

La più grande differenza, fra il calcolo svolto in TerMus e quello svolto in EnergyPlus, è però imputabile allivello di precisione nel calcolo:

- TerMus vede l'irradianza che arriva sul vetro dall'esterno, prendendone il valore medio nell'arco del mese come se fosse fisso e costante
- EnergyPlus vede sia l'irradianza che arriva sul vetro dall'esterno che l'irradianza che arriva sul vetro dall'interno, dopo essersi riflessa sulle pareti della stanza ed essere tornata indietro in percentuale ridotta. Inoltre, analizzando i valori di irradianza sulla vetrata a intervalli di mezz'ora è possibile coglierne i picchi maggiori, che influenzano molto a rialzo i valori di questi apporti

I carichi da apporti interni sono dovuti agli apparecchi elettrodomestici e alle persone che abitano la residenza. Si calcolano come

$$\dot{Q}_i = n_p \cdot q_p + \sum_{j=1}^m (W_{m,j}) \quad [W]$$

dove:

n_p è il numero di persone;

$W_{m,j}$ è la potenza termica emessa dalla apparecchiatura [W];

Il carico termico (sensibile e latente) dovuto alla presenza di persone dipende dalla contemporaneità di affollamento, dal tipo di attività e dalla temperatura dell'aria interna.

Tabella 7.1 Potenze termiche emesse dalle persone
(valide per una temperatura ambiente di 26 °C).

Attività	Applicazione	Flusso termico sensibile [W]	Flusso termico latente [W]	Flusso termico totale [W]
Seduto a riposo	Teatri	60	40	100
Lavoro leggero	Scuole	60	50	110
Attiv. moderata	Uffici, alberghi	55	70	125
Passaggio	Farmacie, negozi	55	80	135
Lavoro sedentario	Banche	55	80	135
Lavoro in piedi	Ristoranti	70	90	160
Cominato 5 km/h	Fabbriche	100	190	290
Ballò moderato	Discoteche	80	170	250
Lavoro pesante	Fabbriche	145	280	425

Apparecchi elettrici	Car.sens. W	Car.lat. W
Televisore	300	
Frigonifero	320	
Congelatore	540	
Lavapiatti	50	110
Lavabiancheria	50	110
Asciugabiancheria	30	60
Computer	da 90 a 530	
Fotocopiatrice	da 500 a 2000	
Macchina da scrivere elettrica	67	
Macchina da scrivere elettronica	da 90 a 530	

I risultati ottenuti in merito a tali apporti non si discostano particolarmente fra loro.

7.3.3. Climatizzazione invernale e produzione di ACS

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+
		FABBISOGNI DI ENERGIA NETTA			
Riscaldamento	kWh	327170,00	304070,00	122371,00	116870,00
Acqua calda sanitaria	kWh	50829,00	52480,00	50851,00	52720,00
		CLIMATIZZAZIONE INVERNALE: fabbisogni di energia primaria			
Energia primaria totale	kWh	490778,00	313910,00	215918,00	121420,00
		ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria			
Energia primaria acs non rinnovabile	kWh	90768,00	/	92440,00	/
Energia primaria totale	kWh	91277,00	/	92954,00	/

Figura 78 – Climatizzazione invernale e produzione ACS dei modelli confrontati

Non è stato possibile trovare un chiaro confronto fra le dispersioni termiche dell'edificio nei programmi analizzati in quanto EnergyPlus le indica solo stanza per stanza e non a livello dell'intero edificio, ma si sono potuti confrontare i fabbisogni sia di energia netta che di energia primaria relativi al riscaldamento necessario per mantenere l'edificio al setpoint di temperatura richiesto una volta considerati gli apporti energetici precedentemente analizzati. Si ricorda inoltre che mentre in TerMus il setpoint di temperatura è stato indicato a 20°C, in EnergyPlus lo stesso è settato a 18°C, e che i dati climatici delle temperature esterne non sono identici.

Nonostante tali differenze sulla base di calcolo, si può notare come le differenze di energia netta sia per il riscaldamento invernale che per la produzione di ACS calcolate coi due programmi relativamente allo stesso modello siano molto ridotte, con uno scarto di solo il 7% per il riscaldamento e del 3% per l'ACS.

Si nota inoltre come mentre i valori relativi alla produzione di ACS rimangono sostanzialmente invariati fra lo stato prima e dopo la riqualificazione, quelli in merito al fabbisogno di energia per il riscaldamento si siano con entrambi i programmi ridotti di ben il 40% (44% secondo TerMus, 39% secondo EnergyPlus), indicando una forte efficacia della riqualificazione svolta.

7.3.4. Indici di prestazione

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+
INDICI DI PRESTAZIONE TERMICA					
Indice di prestazione termica utile riscaldamento	kWh/m ²	120,34	/	44,97	/
Indice di prestazione termica utile acs	kWh/m ²	33,57	/	34,19	/
FABBISOGNO GLOBALE: INDICI DI PRESTAZIONE					
Indice di prestazione non rinnovabile	kWh/m ²	213,04	/	113,01	/
Indice di prestazione totale	kWh/m ²	214,09	152,72	113,61	88,80

Figura 79 – indici di prestazione dei modelli confrontati

Date le differenze individuate alla base delle impostazioni di calcolo e nel metodo di calcolo fra i programmi selezionati non si ritiene saggio prendere le differenze di EP_{gl} ottenute come dati affidabili e precisi. Risulta però innegabile, in entrambi i programmi, che la riqualificazione abbia portato a un netto miglioramento dello stato dell'edificio, riducendone l'EP_{gl} del 53% secondo TerMus e del 58% secondo EnergyPlus.

Essendo tali dati ottenuti dal confronto dei modelli pre e post riqualificazione nello stesso programma, e quindi con le medesime impostazioni di base, si ritengono tali miglioramenti affidabili e indice che anche un edificio come quello del caso di studio, con grosse dispersioni e in pessimo stato di manutenzione, se adeguatamente riqualificato possa portare a forti miglioramenti.

Si ricorda inoltre che, secondo quanto indicato dal progetto di ACER, si riteneva possibile ottenere un miglioramento dell'EP_{gl} dell'edificio del 30%. Si desidera quindi in questo caso specificare che, secondo le analisi svolte, risulti prevedibile un miglioramento nettamente maggiore.

8. CREAZIONE DEL MODELLO ENERGETICO SEMPLIFICATO

Per la creazione del modello semplificato si è scelto di usare il programma DesignBuilder/EnergyPlus in quanto i risultati di calcolo sono più accurati che non con TerMus e l'interfaccia si presta più facilmente ad applicare le modifiche necessarie. Si è inoltre scelto di svolgerli unicamente con tale programma per non appesantire ulteriormente la trattazione con differenze nei calcoli fra il regime semi-stazionario e il regime dinamico, imputabili quindi a motivi diversi che non la sola semplificazione del modello analizzato.

8.1. SEMPLIFICAZIONI APPLICATE

Come descritto in precedenza, le semplificazioni che sono state applicate in questo modello sono quelle indicate dal progetto TABULA relative a un edificio di fascia climatica, classe temporale e classe di dimensione edilizia equivalenti a quelle del caso studio analizzato. Si tratta quindi di un edificio in area climatica media, in classe temporale 3 (realizzato fra il 1921 e il 1945) e appartenente alla classe di dimensione edilizia del blocco di appartamenti.

































		CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA			
Area climatica media		CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI
CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE	1 Fino al 1900				
	2 1901-1920				
	3 1921-1945				
	4 1946-1960				
	5 1961-1975				
	6 1976-1990				
	7 1991-2005				
	8 Dopo il 2005				

Figura 80 – Identificazione dell'edificio nella matrice della tipologia edilizia

Classe di dimensione edilizia	Classe di epoca di costruzione	Volume lordo climatizzato [m ³]	Superficie utile di pavimento [m ²]	Superficie lorda di pavimento [m ²]	Rapporto di forma [m ⁻¹]	N. piani	N. appartamenti
Edifici multifamiliari	1	2684	-	647	0,55	2	5
	2	4113	-	1306	0,54	2	16
	3	4388	-	1164	0,51	4	20
	4	3076	-	961	0,51	3	12
	5	3074	-	934	0,54	5	10
	6	4136	-	1209	0,48	3	12
	7	3526	-	1120	0,54	3	15
	8	2959	829	-	0,54	3	13
Blocchi di appartamenti	1	3745	-	1058	0,35	5	16
	2	11029	-	2880	0,47	4	40
	3	7197	-	2249	0,46	5	30
	4	5949	-	1763	0,46	4	24
	5	9438	-	2869	0,46	8	40
	6	12685	-	4125	0,37	6	48
	7	9912	-	3271	0,43	6	36
	8	8199	2124	-	0,40	7	31

Figura 81 – Identificazione dell'edificio nella matrice per dati geometrici

Identificata quindi la tipologia edilizia all'interno della matrice si è identificato il genere di semplificazione raccomandata dal programma TABULA per un edificio con le caratteristiche del caso studio analizzato. Per quanto riguarda le semplificazioni in merito allo stato riqualificato sono state applicate quelle previste nella “riqualificazione avanzata” in quanto i lavori di riqualificazione svolti sono stati fatti “con le migliori tecnologie disponibili” e non solo per raggiungere i valori minimi da normativa; ciò è osservabile anche analizzando i valori delle trasmittanze delle stratigrafie applicate allo stato reale riqualificato con quelle indicate relative alla riqualificazione semplificata standard rispetto quelle della riqualificazione semplificata avanzata.

Regione/Zona climatica: **Area climatica media**
 Classe di epoca di costruzione: **3 (1921-1945)**
 Classe di dimensione edilizia: **Blocco di appartamenti**



V [m ³]	S/V [m ⁻¹]	A _{f,i} [m ²]	Numero di appartamenti	Numero di piani climatizzati
7197	0,46	2249	30	5

STATO ORIGINARIO							
TIPOLOGIA COSTRUTTIVA							
COPERTURA	PARETI			SOLAIO (superiore, verso ambiente non riscaldato)	SOLAIO (inferiore, su ambiente non riscaldato)	SERRAMENTO	
 Tetto a falde in laterizio [sottotetto non climatizzato]	 1. Muratura in mattoni pieni (50 cm)	 2. Muratura in mattoni pieni (62 cm)	 3. Muratura in mattoni pieni (25 cm) (verso ambiente non riscaldato)	 Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio	 Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio	 Vetro singolo, telaio in metallo senza taglio termico	
COPERTURA	PARETI			SOLAIO (superiore)	SOLAIO (inferiore)	SERRAMENTO	
U [W/(m ² K)]	U_1 [W/(m ² K)]	U_2 [W/(m ² K)]	U_3 [W/(m ² K)]	U [W/(m ² K)]	U [W/(m ² K)]	U [W/(m ² K)]	$g_{gl,n}$ [-]
2,20	1,14	1,02	1,70	2,48	1,81	5,70	0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA							
IMPIANTO DI RISCALDAMENTO							
GENERAZIONE	$\eta_{H,gn} = 0,71$	ACCUMULO	$Q_{is,H,s} = 0$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	$\eta_{H,d} = 0,84$	AUSILIARIO	$Q_{aux,H} = 1,7$ kWh/m ²
caldaia standard (gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, antecedente al 1996		-		distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / fino al 1960		pompa di circolazione per impianto centralizzato - ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico	
IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA							
GENERAZIONE	$\eta_{W,gn} = 0,73$	ACCUMULO	$Q_{is,W,s} = 6,2$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	$Q_{is,W,d} = 10,5$ kWh/m ²	AUSILIARIO	$Q_{aux,W} = 2,1$ kWh/m ²
caldaia standard (gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, antecedente al 1996		serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS, in ambiente non climatizzato - basso livello di isolamento		distribuzione di ACS centralizzata con ricircolo, rete affacciata all'interno, fino al 1975		produzione di ACS centralizzata con pompa di circolazione - ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico	

Figura 82 – Semplificazioni applicate sullo stato di fatto originario

RIQUALIFICAZIONE STANDARD							
INTERVENTI SULL'INVOLUCRO				INTERVENTI SUGLI IMPIANTI			
ELEMENTO	U_{ex} W/(m ² K)	U_{new} W/(m ² K)	TIPO DI INTERVENTO	RISCALDAMENTO			
COPERTURA	2,20	0,80	Inserimento isolante (3 cm)	GENERAZIONE COP = 2,14	ACCUMULO $Q_{s,Hs} = 0,8$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE $\eta_{Hd} = 0,96$	AUSILIARIO $Q_{aux,H} = 1,6$ kWh/m ²
PARETI	1,14	0,33	Inserimento isolante (9 cm; 8 cm; 10 cm)	pompa di calore ad aria	serbatoio di accumulo di acqua calda per riscaldamento centralizzato - alto livello di isolamento	distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / livello di isolamento elevato	pompa di circolazione per impianto centralizzato
	1,02						
	1,70						
SOLAIO (superiore)	2,48	0,30	Inserimento isolante (12 cm)	ACQUA CALDA SANITARIA			
SOLAIO (inferiore)	1,81	0,30	Inserimento isolante (11 cm)	GENERAZIONE COP = 2,55	ACCUMULO $Q_{s,W,s} = 2,1$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE $Q_{s,W,d} = 3,22$ kWh/m ²	AUSILIARIO $Q_{aux,W} = 2$ kWh/m ²
SERRAMENTO	5,70 ($g_{gl,n} 0,85$)	2,00 ($g_{gl,n} 0,67$)	Sostituzione	pompa di calore ad aria			

RIQUALIFICAZIONE AVANZATA							
INTERVENTI SULL'INVOLUCRO				INTERVENTI SUGLI IMPIANTI			
ELEMENTO	U_{ex} W/(m ² K)	U_{new} W/(m ² K)	TIPO DI INTERVENTO	RISCALDAMENTO			
COPERTURA	2,20	0,80	Inserimento isolante (3 cm)	GENERAZIONE COP _{FNR} = 2,14	ACCUMULO $Q_{s,Hs} = 0,8$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE $\eta_{Hd} = 0,97$	AUSILIARIO $Q_{aux,H} = 1,6$ kWh/m ²
PARETI	1,14	0,25	Inserimento isolante (12 cm; 12 cm; 14 cm)	pompa di calore ad aria (80%)	serbatoio di accumulo di acqua calda per riscaldamento centralizzato - alto livello di isolamento	distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / livello di isolamento elevato	pompa di circolazione per impianto centralizzato
	1,02						
	1,70						
SOLAIO (superiore)	2,48	0,23	Inserimento isolante (16 cm)	ACQUA CALDA SANITARIA			
SOLAIO (inferiore)	1,81	0,23	Inserimento isolante (15 cm)	GENERAZIONE $\eta_{W,gl(FNR)} = 0,99$	ACCUMULO $Q_{s,W,s} = 2,1$ kWh/m ²	DISTRIBUZIONE $Q_{s,W,d} = 3,22$ kWh/m ²	AUSILIARIO $Q_{aux,W} = 2,5$ kWh/m ²
SERRAMENTO	5,70 ($g_{gl,n} 0,85$)	1,70 ($g_{gl,n} 0,50$)	Sostituzione	pompa di calore ad aria (60%)			
				caldaia a condensazione (40%)			

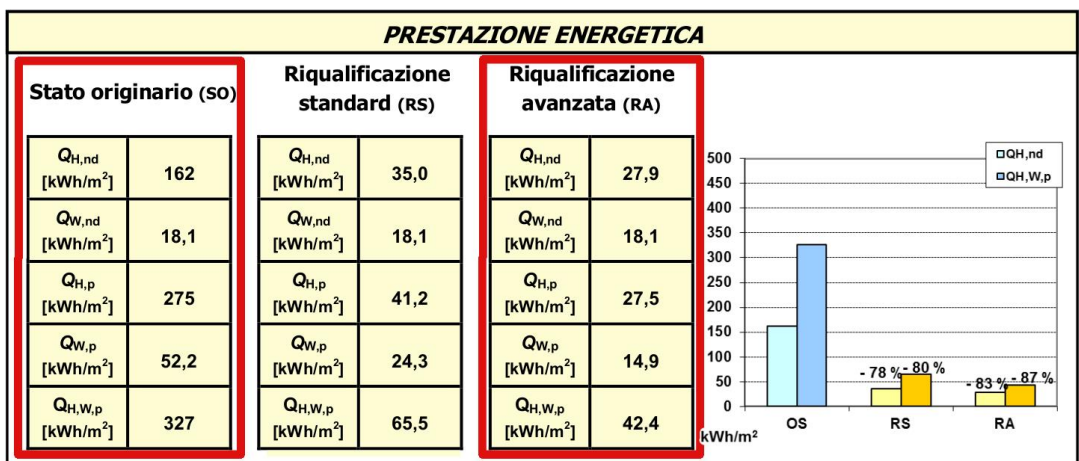


Figura 83 – Semplificazioni applicate sullo stato riqualificato

8.2. MODELLO SEMPLIFICATO ALLO STATO ORIGINARIO

Questo modello è stato realizzato partendo dal modello dettagliato creato in DesignBuilder allo stato di fatto originario e modificandone gli elementi.

Le stratigrafie sono state quindi adeguatamente modificate seguendo le tipologie costruttive indicate nella semplificazione, assicurandomi che le trasmittanze termiche U finali del pacchetto elaborato corrispondessero con quelle indicate. Lo stesso lavoro è stato svolto per murature, solai, coperture e serramenti, prima di passare agli impianti per riscaldamento e produzione ACS indicando i nuovi rendimenti.

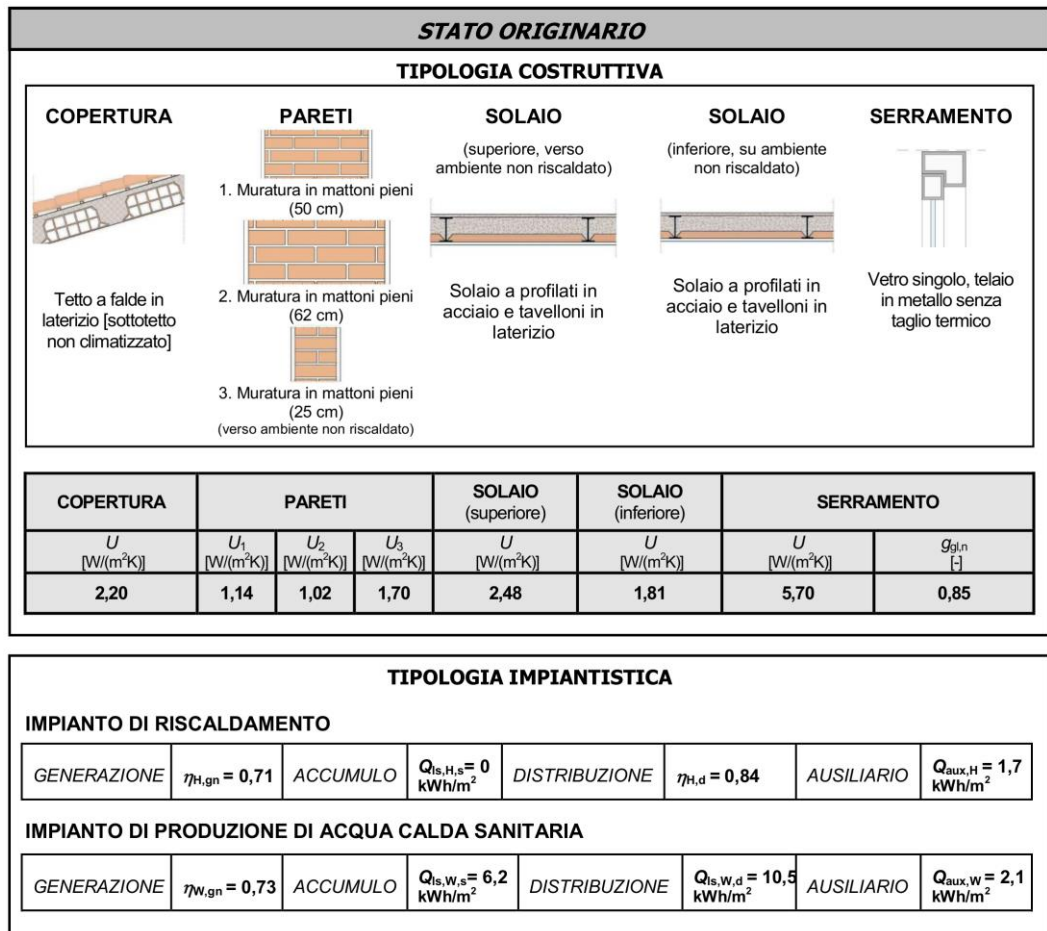


Figura 84 – Semplificazioni applicate sullo stato originario

Confrontando la semplificazione qui illustrata con le tipologie costruttive reali presenti nel modello dettagliato si può notare come queste discostino

principalmente nei solai; mentre qui sono indicati a profilati in acciaio e tavelloni, nel modello reale sono invece solai in laterocemento spessi 22cm composti da 3cm di caldana e pignatte armate di 16cm. La tipologia costruttiva relativa alle pareti è corretta, ma gli spessori presenti sono differenti (30cm o 40cm).

8.3. MODELLO SEMPLIFICATO ALLO STATO RIQUALIFICATO

Ancora una volta, si è scelto di partire dal modello dettagliato precedentemente creato con DesignBuilder, per assicurarsi di avere sempre una base comune a tutti i modelli creati e analizzati.

Le stratigrafie sono state quindi ora adeguate invece ai valori indicati per il modello semplificato di riqualificazione avanzata, partendo dai pacchetti usati nel modello semplificato allo stato di fatto e inserendo lo strato di isolante come indicato nella sezione “tipo di intervento”, selezionando il genere di isolante che permettesse nello spessore previsto di arrivare al livello di trasmittanza termica U richiesto.

Come prima, è stato anche aggiornato il livello di rendimento per gli impianti di riscaldamento e di produzione di ACS in ogni ambiente.

RIQUALIFICAZIONE AVANZATA							
INTERVENTI SULL'INVOLUCRO				INTERVENTI SUGLI IMPIANTI			
ELEMENTO	U_{ex} W/(m ² K)	U_{new} W/(m ² K)	TIPO DI INTERVENTO	RISCALDAMENTO			
COPERTURA	2,20	0,80	Inserimento isolante (3 cm)	GENERAZIONE COP _{FNr} = 2,14	ACCUMULO Q _{acc,HLS} = 0,8 kWh/m ²	DISTRIBUZIONE η _{H,d} = 0,97	AUSILIARIO Q _{aux,H} = 1,6 kWh/m ²
PARETI	1,14	0,25	Inserimento isolante (12 cm; 12 cm; 14 cm)	solare termico (20%)	serbatoio di accumulo di acqua calda per riscaldamento centralizzato - alto livello di isolamento	distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / livello di isolamento elevato	pompa di circolazione per impianto centralizzato
	1,02			pompa di calore ad aria (80%)			
	1,70						
SOLAIO (superiore)	2,48	0,23	Inserimento isolante (16 cm)	ACQUA CALDA SANITARIA			
SOLAIO (inferiore)	1,81	0,23	Inserimento isolante (15 cm)	GENERAZIONE η _{W,gr(FNR)} = 0,99	ACCUMULO Q _{acc,W,S} = 2,1 kWh/m ²	DISTRIBUZIONE Q _{acc,W,d} = 3,22 kWh/m ²	AUSILIARIO Q _{aux,W} = 2,5 kWh/m ²
SERRAMENTO	5,70 (g _{gl,n} 0,85)	1,70 (g _{gl,n} 0,50)	Sostituzione	solare termico (60%)	serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS, in ambiente non climatizzato - alto livello di isolamento	distribuzione di ACS centralizzata con ricircolo, porzione di rete affacciata all'esterno, dopo il 1991	produzione di ACS centralizzata con impianto solare termico, con pompa di circolazione, in associazione ad una caldaia a condensazione (ausiliario elettrico)

Figura 85 – Semplificazioni applicate sullo stato riqualificato

Rispetto la riqualificazione progettata e svolta da ACER presente nel modello dettagliato, quella proposta nel modello semplificato si scosta in alcuni punti:

- Le pareti, portate tutte a una trasmittanza U di 0,25 con 12 o 14cm di isolante, risultano molto simili a quelle perimetrali del modello dettagliato ($U = 0,22$ o $0,23$), ma non a quelle controterra ($U = 1,34$) che essendo a contatto con un ambiente non riscaldato non sono state isolate
- Il solaio superiore, verso il sottotetto, è stato portato a una trasmittanza U di 0,23 con 16cm di isolante, mentre nel modello dettagliato si è raggiunta una trasmittanza U di 0,17 tramite l'uso di un pannello di schiuma fenolica di 12cm
- Il solaio inferiore, verso le cantine, è stato portato a una trasmittanza U sempre di 0,23 con 15cm di isolante, valore uguale a quello presente nel modello dettagliato raggiunto tramite un pannello EPS di 8cm
- I serramenti sono stati sostituiti con modelli in PVC aventi trasmittanza U di 1,7 e valore di trasmissione solare $g_{\text{semp}} = 0,62$, mentre quelli inseriti nel modello dettagliato hanno trasmittanza U di 1,1 e valore di trasmissione solare $g_{\text{dett}} = 0,67$

I dati forniti dalla semplificazione riguardano quindi semplici disposizioni generali di trasmittanza finale e spessore di isolante, ma non dettagliano la tipologia di materiale da usare lasciando ampio spazio di interpretazione in merito. Si nota subito però una discrepanza nella tipologia di serramenti offerti nelle due riqualificazioni sia relativamente agli infissi che alle vetrate. Inoltre, questo genere di semplificazione ha la tendenza a portare allo stesso valore le trasmittanze di tutti gli elementi confrontabili, dove quella proposta da ACER riesce ad essere mirata laddove necessaria realizzando un solaio più performante dove maggiormente necessario, o evitando di isolare le pareti delle cantine quando si tratta di ambienti non riscaldati.

8.4. EDIFICIO TIPO ALLO STATO DI FATTO E RIQUALIFICATO

Un'altra tipologia di semplificazione svolta è stata la sostituzione dell'edificio caso di studio con l'edificio tipo offerto dal progetto TABULA relativamente alla classe d'epoca e di dimensione edilizia di sua appartenenza.

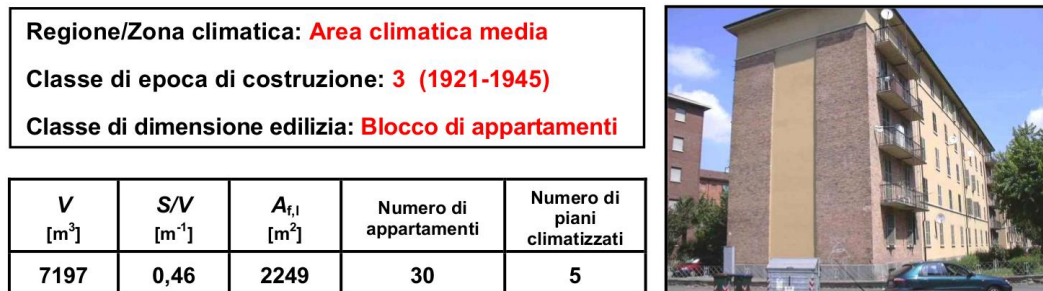


Figura 86 – Semplificazione tramite la sostituzione con l'edificio tipo

In questo caso invece che andare a rimodellare l'edificio caso di studio secondo le tipologie costruttive offerte da TABULA relativamente allo stato di fatto originario e allo stato riqualificato si confronta direttamente con l'edificio tipo, andandone a prendere i valori ottenuti dall'analisi energetica che TABULA ha fatto svolgere su di esso.

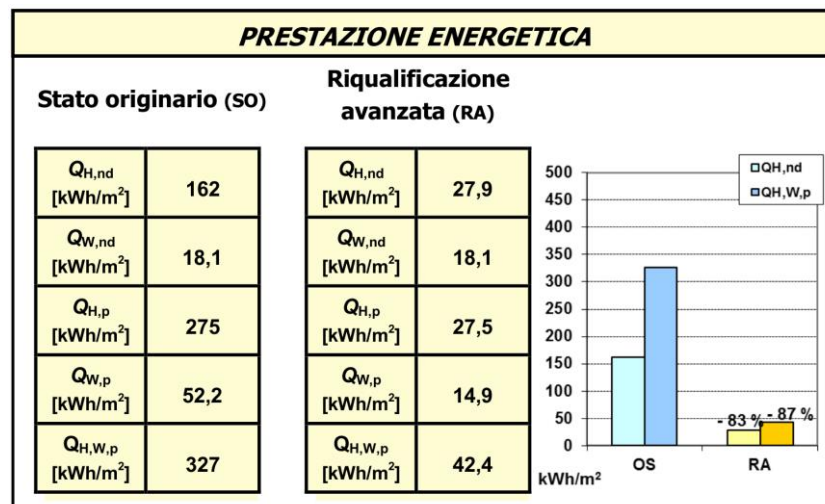


Figura 87 – Risultati dell'analisi energetica sull'edificio tipo

Il genere di riqualificazione svolta su tale edificio corrisponde a quella indicata come “riqualificazione avanzata” e che è stata applicata nella precedente semplificazione.

9. VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE FRA MODELLO DETTAGLIATO E MODELLO SEMPLIFICATO

Avendo realizzato tutti i modelli qui confrontati partendo dal medesimo modello base è in questo caso possibile svolgere una analisi quantitativa fra i risultati ricavati, cercando di analizzare le motivazioni dietro ogni, anche minima, differenza fra i dati ottenuti.

Sono state quindi svolte le simulazioni energetiche anche sui modelli semplificati realizzati, con risultati generati anche in questo caso a intervallo giornaliero su scala annuale e impostando un taglio di controllo della temperatura dell'aria di 2 step per ora.

Opzioni di calcolo	
Generale Opzioni Output Manager di Simulazione	
Descrizione del calcolo	
Periodo di simulazione	
<input type="checkbox"/> Run simulation for sizing periods	
<input checked="" type="checkbox"/> Run simulation for hourly weather	
Da	
Giorno iniziale	1
Mese iniziale	Gen
A	
Giorno finale	31
Mese finale	Dic
<input type="checkbox"/> Run simulation for multiple years	
Intervalli per la generazione dei risultati	
<input checked="" type="checkbox"/> Mensile ed annuale	
<input checked="" type="checkbox"/> Giornaliero	
<input type="checkbox"/> Orario	
<input type="checkbox"/> Sotto-orario	
Opzioni di calcolo	
Metodo di simulazione	1-EnergyPlus
Step temporali per ora	2
Controllo temperatura	1-Temperatura Aria
Opzioni ombre e riflessioni	
<input type="checkbox"/> Includi tutti gli edifici nel calcolo delle ombre	
<input checked="" type="checkbox"/> Include shading from excluded zones in simulation	
<input type="checkbox"/> Includi riflessioni e ombreggiamento per la luce riflessa dal terreno	
Distribuzione solare	2-Completo esterno
Shadow calculation method	1-Average over days in frequency
Intervallo calcolo ombre (giorni)	20
Sky diffuse modelling algorithm	1-Simple sky diffuse modelling

Figura 88 – Impostazioni di calcolo per le prestazioni energetiche

9.1. PRESTAZIONI ENERGETICHE

Lanciate le simulazioni sono stati ottenuti i risultati relativi alle prestazioni energetiche dei modelli. Per poter analizzare più chiaramente i dati ottenuti questi sono stati estrapolati direttamente su scala annuale, mettendoli poi a confronto per tutti i modelli.

9.1.1. Modello semplificato allo stato originario

43000.82
EnergyPlus

Temperature, Apporti di Calore e Consumo di Energia - Reggio Emilia, Edificio
1 Gen - 31 Dic, Annuale

Licenza OK

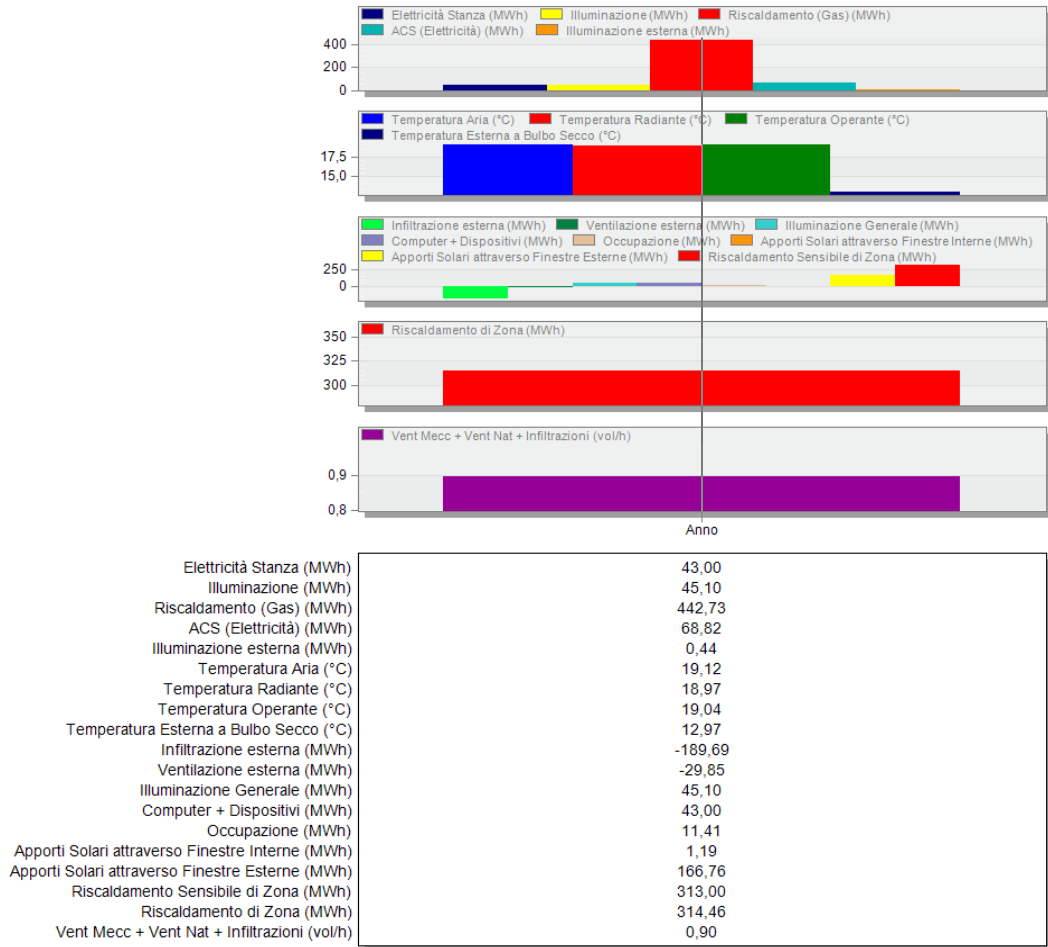


Figura 89 – Risultati di calcolo annuali, modello semplificato allo stato originario

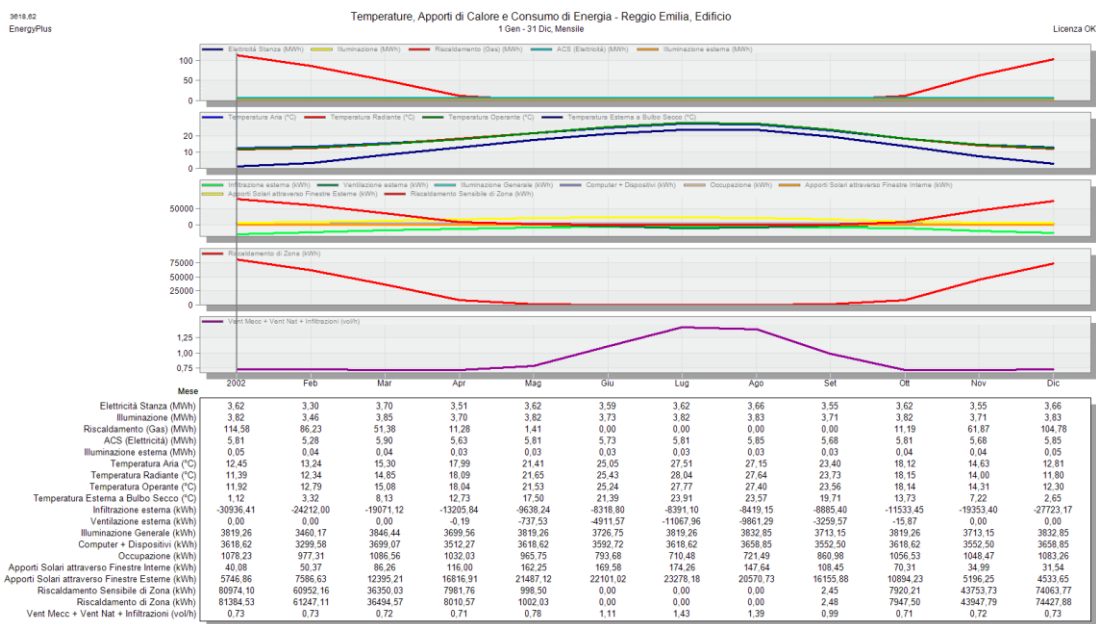


Figura 90 – Risultati di calcolo mensili, modello semplificato allo stato originario

Per completezza si inseriscono i risultati ottenuti anche a cadenza mensile. Oltre ai risultati qui tabulati il programma produce anche un riepilogo completo con le dispersioni e consumi per ogni singolo ambiente dell'edificio, indicandone anche i dati geometrici. Per non appesantire eccessivamente la trattazione si è deciso di aggiungere ai dati già presentati unicamente il valore dell' $EP_{gl} = 156,83 \text{ kWh/m}^2$.

9.1.2. Modello semplificato allo stato riqualificato

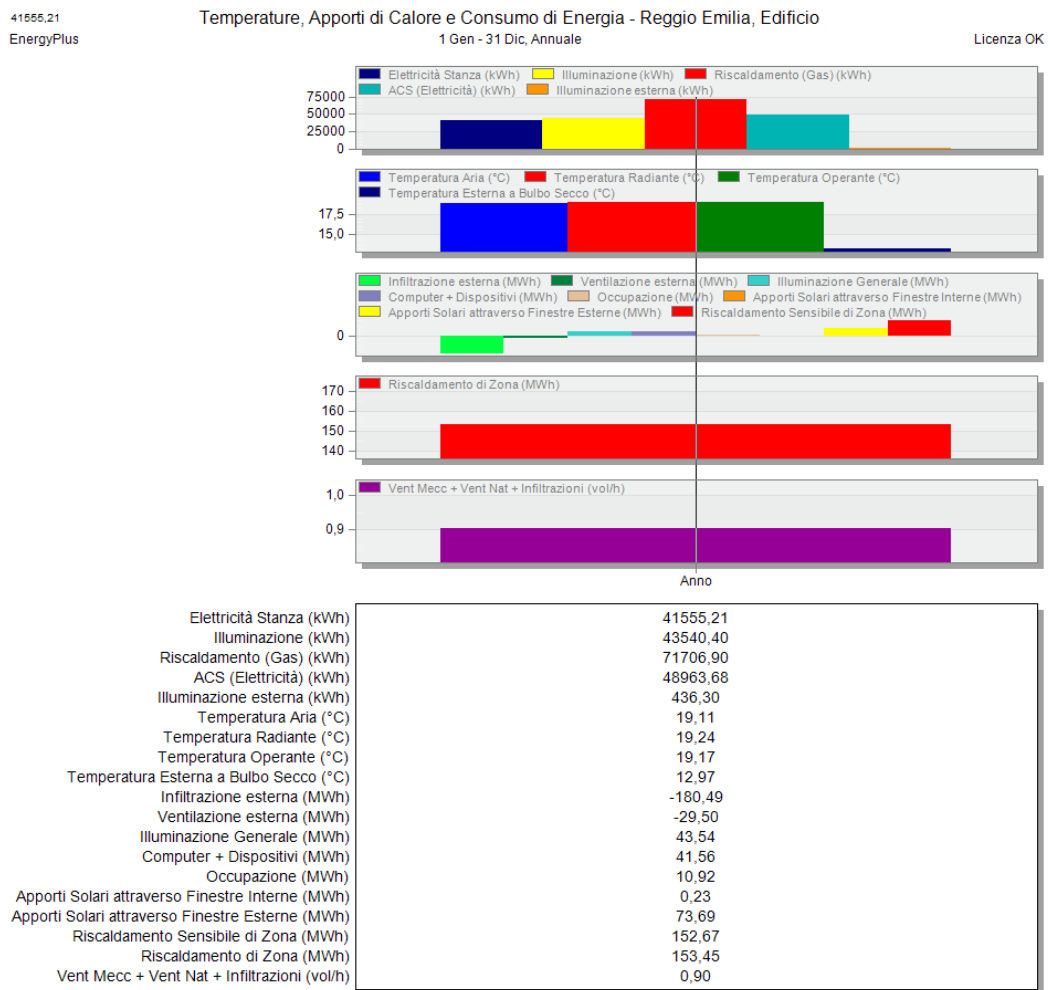


Figura 91 – Risultati di calcolo annuali, modello semplificato allo stato riqualificato

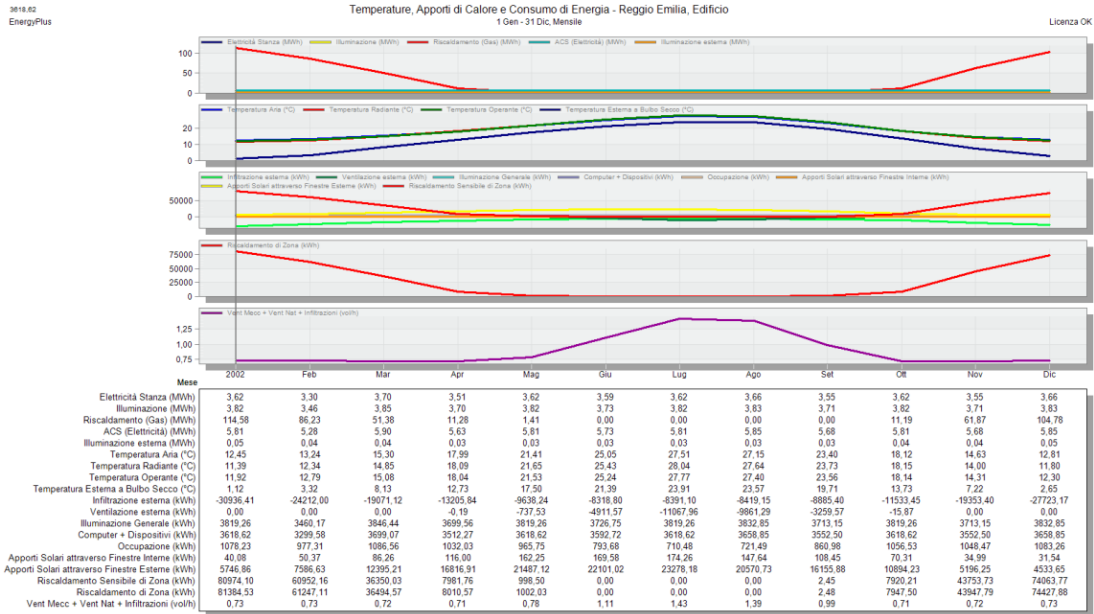


Figura 92 – Risultati di calcolo mensili, modello semplificato allo stato riquilificato

Si indica inoltre il valore dell'EP_{gl} = 103,38 kWh/m².

9.2. CONFRONTO FRA LE PRESTAZIONI ENERGETICHE

I confronti sono stati svolti fra 6 modelli in totale:

- caso studio dettagliato allo stato di fatto originario
- caso studio dettagliato allo stato riquilificato
- edificio “modello” (edificio-tipo) allo stato di fatto originario analizzato da TABULA corrispondente alla classe d'epoca e di dimensione edilizia del nostro caso studio
- edificio “modello” (edificio-tipo) allo stato di riquilificazione avanzata analizzato da TABULA corrispondente alla classe d'epoca e di dimensione edilizia del nostro caso studio
- caso studio semplificato secondo le tecnologie costruttive corrispettive indicate da TABULA allo stato di fatto originario

- caso studio semplificato secondo le tecnologie costruttive corrispettive indicate da TABULA allo stato di riqualificazione avanzata.

Per poter meglio confrontare i dati fra i modelli dettagliati e i modelli semplificati del caso studio, i valori ottenuti da EnergyPlus sono stati riassunti in una tabella, indicandone direttamente gli apporti totali annuali.

		STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+
Elettricità stanza	MWh	43,50	41,55	43,21	43,00
Illuminazione	MWh	45,50	43,54	45,11	45,10
Riscaldamento (Gas)	MWh	121,42	71,71	313,91	442,73
ACS (Elettricità)	MWh	52,72	48,96	52,48	68,82
Illuminazione esterna	MWh	0,44	0,44	0,44	0,44
Temperatura aria	°C	19,92	19,11	18,87	19,12
Temperatura radiante	°C	20,24	19,24	18,76	18,97
Temperatura operante	°C	20,08	19,17	18,82	19,04
Temperatura esterna a bulbo secco	°C	12,97	12,97	12,97	12,97
Infiltrazione esterna	MWh	234,46	180,49	190,06	189,69
Ventilazione esterna	MWh	49,94	29,50	30,81	29,85
Illuminazione generale	MWh	45,50	43,54	45,11	45,10
Computer e dispositivi	MWh	43,50	41,56	43,21	43,00
Occupazione	MWh	11,01	10,92	11,48	11,41
Apporti solari attraverso finestre interne	MWh	2,23	0,23	1,40	1,19
Apporti solari attraverso finestre esterne	MWh	164,71	73,69	182,44	166,76
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	116,87	152,67	302,59	313,00
Riscaldamento di zona	MWh	117,50	153,65	304,07	314,46
Ventilazione meccanica + naturale + infiltrazioni	vol/h	0,95	0,90	0,90	0,90
Indice di prestazione totale E _{pgl,tot}	kWh/m ²	88,80	103,38	152,72	156,83

Figura 93 – Risultati di calcolo annuali, dettagliati e semplificati a confronto

Tali dati sono stati inoltre rielaborati secondo i parametri precedentemente individuati nel confronto fra TerMus ed EnergyPlus per permetterne una migliore comprensione e per poter analizzare e comprendere le differenze anche rispetto ai modelli offerti da TABULA relativi all'edificio tipo.

	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA - stato di fatto originario	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA - riqualificazione avanzata	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+	
							Dati geometrici
Superficie netta calpestabile riscaldata	Su,H	m ²	2901,00	/	2890,00	2899,00	2781,00
Volume lordo	V,H	m ³	14472,00	7197,00	14472,00	15444,00	14472,00
Superficie lorda disperdente	Sdisp	m ²	7232,00	/	7232,00	6716,00	7232,00
Superficie lorda di pavimento		m ²	4853,00	2249,00	4685,00	5085,00	4479,00
Numero di piani abitati			4	5	4	4	4
Numero di appartamenti			49	30	49	49	49
Rapporto di forma		1/m	0,50	0,46	0,50	0,43	0,50
DISPERSIONI E APPORTI ENERGETICI							
Energia dispersa per ventilazione		kWh	30810,00	/	29850,00	49940,00	29500,00
Energia termica da apporti solari tramite le superfici trasparenti		kWh	182440,00	/	166760,00	164710,00	73690,00
Energia termica da apporti interni		kWh	99800,00	/	99510,00	100010,00	96020,00
FABBISOGNI DI ENERGIA NETTA							
Riscaldamento	QH,nd	kWh	304070,00	454977,00	314460,00	116870,00	78357,15
Acqua calda sanitaria	QW	kWh	52480,00	50833,85	68820,00	52720,00	50833,85
CLIMATIZZAZIONE INVERNALE: fabbisogni di energia primaria e rendimenti							
Energia primaria totale		kWh	313910,00	772337,50	442730,00	121420,00	77233,75
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria e rendimenti							
Energia primaria totale		kWh	/	146603,70	/	/	41846,65
FABBISOGNO GLOBALE: fabbisogni di energia primaria e rendimenti							
Energia primaria totale		kWh	/	918379,50	/	/	119080,40
FABBISOGNO GLOBALE: INDICI DI PRESTAZIONE							
Indice di prestazione totale	EPgl,tot	kWh/m ²	152,72	327,00	156,83	88,80	42,40
							103,38

Figura 94 – Risultati di calcolo annuali a confronto

9.2.1. Dati geometrici

In questo caso si può notare come i 4 modelli relativi al caso studio abbiamo dati geometrici con variazioni quasi nulle. La sola differenza è possibile constatarla allo stato riqualificato semplificato, ed è dovuta al fatto che mentre la riqualificazione dettagliata prevede la chiusura in logge di tutti i balconi, questa semplificazione non lo prevede e infatti dove il volume lordo aumenta nello stato riqualificato dettagliato, rimane invariato nello stato riqualificato semplificato

Una forte differenza è invece immediatamente osservabile fra i modelli del caso di studio e il modello-tipo offerto da TABULA: l'edificio rappresentativo offerto dalla matrice si discosta fortemente come dimensioni da quello caso di studio, offrendo un volume che è circa la metà (7197 m^3 invece che 14472 m^3) e 19 appartamenti in meno (30 invece che 49).

9.2.2. Dispersioni e apporti energetici

Questi valori sono confrontabili sono fra i 4 modelli realizzati per il caso studio, in quanto non si hanno dati relativi al modello-tipo di TABULA.

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+
Energia dispersa per ventilazione	kWh	30810,00	29850,00	49940,00	29500,00
Energia termica da apporti solari tramite le superfici trasparenti	kWh	182440,00	166760,00	164710,00	73690,00
Energia termica da apporti interni	kWh	99800,00	99510,00	100010,00	96020,00

Figura 95 – Risultati di calcolo degli apporti annuali a confronto

In merito ai carichi per ventilazione e infiltrazione è possibile osservare che mentre allo stato di fatto originario si hanno apporti molto simili fra il modello dettagliato e quello semplificato, allo stato riqualificato si ha una variazione del 59% in merito alla ventilazione e del 77% in merito alle infiltrazioni, sempre a favore del modello dettagliato; tali differenze sono imputabili alla differenza di volume presente fra il modello dettagliato e quello semplificato e a una differenza nella qualità degli

infissi impostati, indicando una irregolarità nella semplificazione svolta.

In merito agli apporti solari tramite superfici trasparenti si notano invece differenze non solo fra i modelli riqualificati, ma anche fra quelli allo stato di fatto. È infatti presente una differenza del 10% fra il modello dettagliato e quello semplificato allo stato di fatto, e una differenza di addirittura il 45% fra il modello dettagliato e quello semplificato allo stato riqualificato. I soli valori ad essere cambiati fra i vari modelli relativamente al calcolo di questo apporto sono il fattore telaio, che passa da un telaio in alluminio a un telaio in PVC fra lo stato di fatto e lo stato riqualificato, e il coefficiente di shading, che varia a seconda del tipo di vetro inserito.

$$\dot{Q}'_{s,max} = I_{s,max} \cdot c_s \cdot S_v \cdot f_h \cdot f_v \quad [W]$$

$I_{s,max}$ è l'irradianza solare massima trasmessa da un vetro semplice di riferimento [W/m^2] (valori riportati in tabella in funzione di latitudine, esposizione, mese considerato);

c_s è il coefficiente di shading [-];

S_v è la superficie della finestra [m^2];

f_h è il fattore telaio [-] (vale 1 per legno e 1,17 per telai in metallo);

f_v è la frazione di finestra che risulta soleggiata [-].

Alcuni valori di C_s

Vetro singolo:	1
Vetro singolo con veneziana chiara a 45°	0,56
Vetro singolo con veneziana scura a 45°	0,75
Vetro doppio	0,90
Vetro doppio con veneziana chiara a 45	0,54
Vetro doppio con veneziana scura a 45	0,67
Vetrodoppio riflettente	0,46
vetro triplo	0,83

Nei modelli realizzati sono stati inseriti serramenti aventi $U= 5,89$ nel modello dettagliato allo stato di fatto, $U= 5,7$ nel modello semplificato allo stato di fatto, $U= 1,1$ nel modello dettagliato riqualificato e $U= 1,7$ nel modello semplificato riqualificato.

Questo spiega la differenza fra gli apporti osservati nello stato di fatto fra il modello dettagliato e quello semplificato; infatti al modello avente una U peggiore corrispondono anche maggiori apporti termici e la differenza riscontrata è proporzionale allo scostamento fra le U .

Per quanto riguarda la differenza riscontrata invece fra il modello dettagliato e semplificato allo stato riqualificato per trovare una spiegazione ai dati ottenuti risulta necessario approfondire l'analisi.

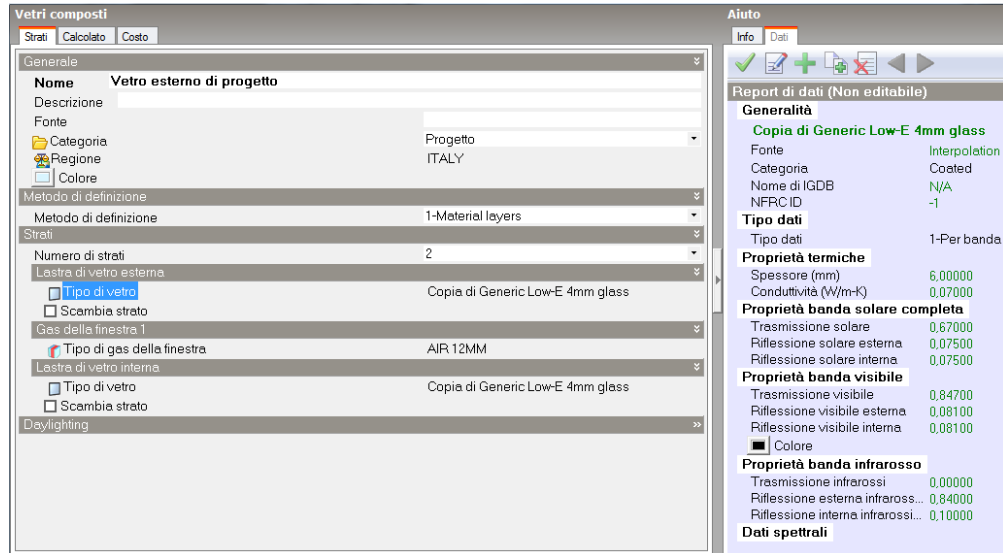


Figura 96 – Stratigrafia vetro applicato nel modello dettagliato riqualificato

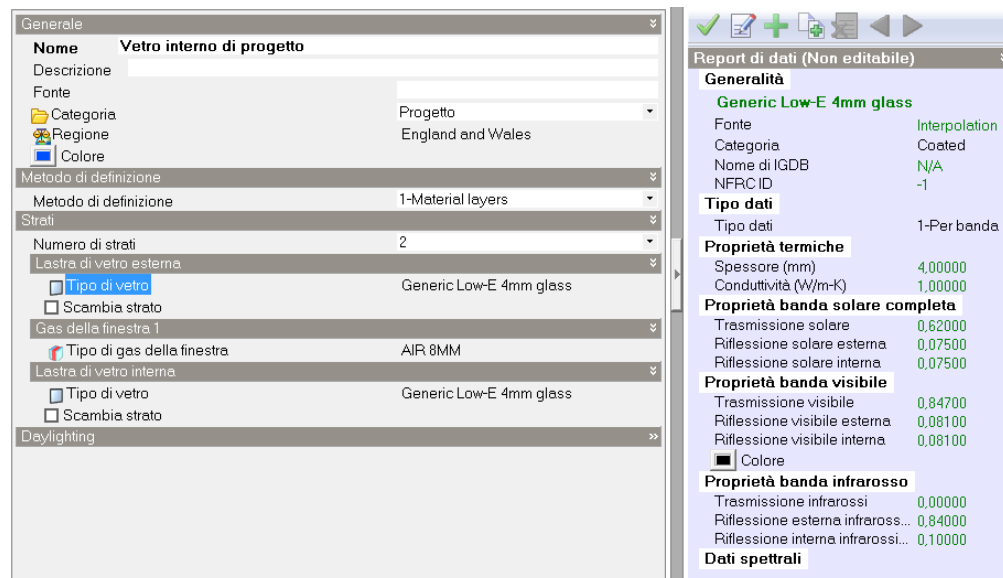


Figura 97 – Stratigrafia vetro applicato nel modello semplificato riqualificato

Osservando le proprietà dei vetri dei vetri applicati è possibile notare come seppur la conduttività finale del vetro applicato al modello semplificato abbia un valore maggiore di quello applicato al modello dettagliato, il fattore di trasmissione solare risulti invece inferiore (0,62 rispetto 0,67); quindi nonostante la U della vetrata applicata sia

inferiore nel modello dettagliato (così come indicato da progetto) che non nel modello semplificato (così come indicato da TABULA), il valore di trasmissione solare ha portato a ottenere risultati fortemente differenti, schermando molto di più il modello semplificato.

I carichi da apporti interni risultano invece sostanzialmente invariati, come atteso, in ognuna delle proprie componenti (illuminazione generale, computer e dispositivi, occupazione)

9.2.3. Climatizzazione invernale e produzione di ACS

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA - stato di fatto originario	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA - riqualificazione avanzata	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+
FABBISOGNI DI ENERGIA NETTA							
Riscaldamento QH,nd	kWh	304070,00	454977,00	314460,00	116870,00	78357,15	153450,00
Acqua calda sanitaria QW	kWh	52480,00	50833,85	68820,00	52720,00	50833,85	48963,00
CLIMATIZZAZIONE INVERNALE: fabbisogni di energia primaria e rendimenti							
Energia primaria totale	kWh	313910,00	772337,50	442730,00	121420,00	77233,75	71707,00
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria e rendimenti							
Energia primaria totale	kWh	/	146603,70	/	/	41846,65	/

Figura 98 – Risultati di calcolo di riscaldamento e ACS annuali a confronto

Per quanto riguarda i generatori di calore inseriti nell'edificio allo stato di fatto originario dettagliato, non si ha modo di sapere quali caldaie fossero presenti prima di quelle attualmente rilevate o quando e quali siano state sostituite. Si è quindi scelto di tenere quelle attualmente rilevate e indicate allo stato riqualificato come se fossero sempre state presenti fin dallo stato di fatto.

Nonostante la piena possibilità di confronto fra tutti i dati ottenuti che l'uso di un software unico concede, non è nemmeno in questo caso possibile confrontare le dispersioni termiche dell'edificio (o anche solo di uno stesso appartamento dei 4 modelli di edificio) in quanto tali valori sono offerti dal programma solo parete per parete. È possibile ottenere i dati relativi a ognuno dei valori inseriti in tabella per ogni ambiente singolo, ma ciò non fornirebbe maggiori informazioni di quante non ne siano già mostrate a livello dell'edificio intero.

Ciò detto, il primo fondamentale confronto che si va ad analizzare è fra i modelli del caso studio e l'edificio-tipo offerto da TABULA. Mentre i valori riguardanti la produzione (energia netta) di ACS per questo edificio rimangono paragonabili e sulla stessa linea di quelli dell'edificio caso di studio (sia a livello dettagliato che semplificato), quelli riguardanti il riscaldamento risultano invece estremamente differenti. Fra l'edificio-tipo e l'edificio oggetto di studio, allo stato di fatto, è possibile riscontrare un discostamento del 67% dal modello dettagliato e del 69% dal modello semplificato con valore in eccesso dal lato dell'edificio tipo; allo stato riqualificato si parla invece del 67% dal modello dettagliato e del 51% dal modello semplificato, ma questa volta con valore in difetto dal lato dell'edificio tipo.

		STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+
Riscaldamento (Gas)	MWh	121,42	71,71	313,91	442,73
ACS (Elettricità)	MWh	52,72	48,96	52,48	68,82
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	116,87	152,67	302,59	313,00
Riscaldamento di zona	MWh	117,50	153,65	304,07	314,46

Figura 99 – Risultati di calcolo di riscaldamento e ACS annuali a confronto, edificio caso di studio

Si porrà ora un maggior focus sul confronto dei dati ricavati dai soli 4 modelli relativi al caso di studio.

In merito al riscaldamento sensibile di zona, che corrisponde alla quantità di calore che l'ambiente ha necessità venga generato per poter mantenere il setpoint di temperatura indicato (senza quindi considerare alcun tipo di rendimento) si può innanzitutto notare che sia allo stato di fatto che allo stato riqualificato il modello semplificato indica apporti maggiori che non quelli del modello dettagliato, ma mentre allo stato di fatto si parla di un 3% (10MWh) allo stato riqualificato si tratta del 23% (36MWh). Analizzando però la situazione al completo si può osservare che tale scostamento fra il modello dettagliato e semplificato allo stato riqualificato va a corrispondere con lo scostamento

precedentemente rilevato nei valori degli apporti energetici solari e per ventilazione: si può quindi dedurre che il minor apporto di energia richiesto per il riscaldamento sensibile in zona nel modello dettagliato sia dovuto ai maggiori apporti che tale modello ha ottenuto rispetto al semplificato.

Andando ad analizzare la voce riscaldamento (gas) si considerano invece anche i rendimenti di generazione e distribuzione internamente all'edificio. Si nota infatti un drastico stacco rispetto i valori precedentemente rilevati; dove nei modelli dettagliati sia allo stato di fatto che allo stato riqualificato la differenza è minima (del 3-4%) essendo il rendimento di generazione con valori fra 93,4% e il 107,7%, nei modelli semplificati si ha invece uno scostamento molto maggiore (una riduzione al 59% allo stato riqualificato e una maggiorazione al 141% allo stato di fatto). Tali forti scostamenti sono dovuti alla differenza di rendimento di generazione associata a tali modelli rispetto quelli dettagliati; si ha infatti un rendimento del 214% allo stato riqualificato e del 71% allo stato di fatto, entrambi valori che si scostano fortemente dai rendimenti reali presenti nei modelli dettagliati. Si deve considerare però che non si conoscono i rendimenti delle caldaie originariamente installate e quello relativo al modello semplificato si avvicina probabilmente più alla realtà che non quello inserito nel modello dettagliato; dall'altro canto, mentre la semplificazione della riqualificazione avanzata con TABULA prevede l'aggiornamento alle più ultime innovazioni e quindi suppone il passaggio da una caldaia tradizionale a una pompa di calore con rendimenti nettamente maggiori, la riqualificazione effettivamente svolta sull'edificio non ha toccato i sistemi di generazione già presenti e non si è quindi portata allo stesso livello in materia.

9.2.4. Indice di prestazione

	STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA - stato di fatto originario	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA - riqualificazione avanzata	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+
FABBISOGNO GLOBALE: INDICI DI PRESTAZIONE						
Indice di prestazione totale EP _{gl,tot}	kWh/m ² 152,72	327,00	156,83	88,80	42,40	103,38

Figura 100 – Risultati di calcolo, EP globale a confronto

Anche in questo caso, il primo confronto diretto che si desidera svolgere è quello fra i modelli dell'edificio caso di studio e l'edificio tipo di TABULA. È immediato vedere come sia allo stato di fatto che allo stato riqualificato il valore degli EP_{gl,tot} si discosta notevolmente:

- Allo stato di fatto originario il valore dell'EP_{gl,tot} dell'edificio tipo è il 214% del corrispondente modello dettagliato del caso studio
- Allo stato riqualificato il valore dell'EP_{gl,tot} dell'edificio tipo è il 48% del corrispondente modello dettagliato del caso studio

Dato il forte discostamento fra i valori, che allo stato riqualificato ne sono la metà e allo stato di fatto ne sono il doppio, non si ritiene appropriato associare l'edificio caso di studio all'edificio tipo offerto dal modello di TABULA, e tantomeno valida la semplificazione che lo vedrebbe equivalente ad esso.

Andando ora invece a svolgere un confronto fra i modelli dettagliati e quelli semplificati secondo le tipologie costruttive offerte dal progetto TABULA è possibile osservare che allo stato di fatto originario i risultati ottenuti sono sostanzialmente identici, con una minima differenza del 2,5%. Questo mi porta a dedurre che le differenze fra il modello dettagliato e quello semplificato siano a questo stato minime e una simile semplificazione sia più che lecita per un utente inesperto o in caso di mancanza di dati sulle tipologie costruttive dell'edificio preso in esame.

Relativamente invece allo stato riqualificato dell'edificio, le differenze fra il modello dettagliato e quello semplificato si fanno maggiori, con valori aventi un buon 15% di differenza. Tale dato è dovuto alle differenze negli apporti che sono stati precedentemente analizzati, quali la ventilazione e le infiltrazioni esterne maggiori rilevate nel modello dettagliato e i molto inferiori apporti solari attraverso le finestre rilevati nel modello semplificato (la differenza nel riscaldamento ne è una mera conseguenza). Alla luce di tali differenze si ritiene poco cauto indicare come lecita la semplificazione offerta dal progetto TABULA per uno stato già riqualificato dell'edificio e si raccomanda di far svolgere simili analisi a un tecnico abilitato.

10.CONCLUSIONI

10.1. CREAZIONE E ANALISI DEI MODELLI ENERGETICI IN REGIME SEMI-STAZIONARIO E DINAMICO

Il lavoro svolto ha permesso di comprendere a fondo le differenze insite nella creazione di un modello energetico con un programma che lavora in regime semi-stazionario quale TerMus rispetto a un programma che lavora in regime dinamico quale EnergyPlus.

Dal punto di vista del disegno del modello, TerMus risulta molto più immediato e intuitivo permettendo al progettista di lavorare secondo le stesse logiche e con le stesse tipologie di elementi usati in altri programmi di modellazione 3D. È inoltre un programma ideato e pensato per offrire in output direttamente gli elaborati grafici e la relazione tecnica necessarie alla redazione di un progetto esecutivo, svolgendo automaticamente al lancio del calcolo le verifiche di legge necessarie sull'edificio modellato. Risulta però estremamente scomodo apportare successive modifiche al modello realizzato e creando modelli particolarmente pesanti è facile si instaurino bug nel modello che vanno ogni volta corretti al momento del lancio del calcolo.

EnergyPlus e la sua interfaccia DesignBuilder risultano invece molto meno intuitivi nel disegno del modello, offrendo uno stile di modellazione per blocchi che risulta poco indicato per creare edifici di grosse dimensioni e, soprattutto, non offre la possibilità di raggruppare più ambienti in sottolivelli. Si fa inoltre sentire la mancanza di una libreria di elementi BIM da poter progettare e inserire dove opportuno, rendendo più macchinoso l'inserimento di elementi come finestre e portefinestre che necessitano ogni volta di essere modellate singolarmente. È però molto più semplice modificare il modello in un secondo momento, apportando modifiche alle stratigrafie impostate rapidamente e senza errori di sistema.

10.1.1. Dati preimpostati

Relativamente al calcolo della simulazione energetica, per un progettista italiano (o europeo) si invita a prestare molta attenzione all'uso dei template offerti da EnergyPlus sulle attività e impostazioni interne degli ambienti in quanto sono settati con valori differenti da quelli della normativa europea seguiti da TerMus. Si è osservata una differenza nei dati preimpostati in particolare:

- dati climatici medi mensili presi dai file IGDG, temperature esterne aventi valori inferiori con un distacco fino a 1,41°C (3% di differenza annuale)
- setpoint della temperatura interna, impostato a 18°C in tutti gli ambienti
- aria di rinnovo impostata a 10 L/s-persona e separata dalle infiltrazioni, impostate a 0,7 vol/h, mentre TerMus le considera in un valore unico a 0,56 vol/h

Essendo inoltre un software americano, EnergyPlus non segue i parametri europei e dà in output risultati difficilmente confrontabili con quelli di TerMus; in particolare, non esiste qui il concetto di “energia primaria” e si esprime principalmente in termini di carico sensibile.

10.1.2. Metodo di calcolo

Per quanto riguarda i metodi di calcolo le differenze riscontrabili fra i due programmi sono numerose e su vari livelli.

La più evidente è insita nei metodi stessi: dove TerMus usa un calcolo di tipo semi-stazionario e quindi calcola i dati a livello di valore medio mensile, EnergyPlus usa un calcolo di tipo dinamico e calcola quindi i valori a intervalli regolabili, che in questo caso risultano essere giornalieri con 2 tagli di controllo dei valori per ora. Tale differenza si esprime specialmente nel calcolo degli apporti solari dalle superfici trasparenti, permettendo la rilevazione dei picchi nelle giornate e negli orari più caldi che ne innalzano notevolmente il valore.

Sempre parte integrante della differenza insita fra il calcolo semi-stazionario e dinamico è la possibilità di considerare in quest'ultimo l'inerzia termica degli elementi massivi dell'edificio, fattore che ne mitiga le oscillazioni di temperatura.

Una seconda ed estremamente rilevante differenza sta nel calcolo di superfici e volumi: dove TerMus li calcola al netto degli spessori di pareti e solai, EnergyPlus considera tali elementi come semplici linee mediane di separazione e ignora tali spessori. Ne risultano quindi aree e volumi maggiorati in tale programma addirittura del 25% e questo influisce sui calcoli degli apporti e dispersioni, specialmente quelli per ventilazione e infiltrazione che sono direttamente proporzionali al volume interno.

Si è inoltre osservata una forte differenza nel metodo di calcolo dell'energia termica da apporti solari tramite superfici trasparenti, che risulta essere maggiore del 280% in EnergyPlus che non in TerMus. Tale differenza, oltre che come precedentemente accennato essere conseguenza dei differenti valori di irradianza presenti nei dati climatici dei programmi e della capacità di lettura del modello dinamico dei picchi estivi, è causata anche dal più preciso sistema di calcolo relativo presente in EnergyPlus. Dove TerMus infatti legge solo l'irradianza che arriva sul vetro dall'esterno, EnergyPlus ne vede anche il valore che torna indietro riflesso dalle pareti interne della stanza.

10.2. COMPARAZIONE FRA MODELLO DETTAGLIATO E MODELLO SEMPLIFICATO

Essendo interesse del progetto TripleA-reno realizzare una interfaccia per l'utente comune che permetta, inserendo pochi dati basilari quali anno di costruzione e dimensioni, di ottenere una simulazione accettabile delle dispersioni energetiche di un edificio, parte del lavoro concluso in questo elaborato è stato svolgere una analisi su quanto fosse lecito l'uso delle

semplificazioni relative alle tipologie costruttive offerte dal progetto TABULA a tale fine.

10.2.1. Confronto dei modelli allo stato di fatto originario

Nel confronto fra i risultati di calcolo del modello dettagliato e del modello semplificato è possibile osservare come le differenze siano minime

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+	DIFFERENZA % DETT/SEMP
Infiltrazione esterna	MWh	190,06	189,69	100,2%
Ventilazione esterna	MWh	30,81	29,85	103,2%
Apporti solari attraverso finestre esterne	MWh	182,44	166,76	109,4%
Apporti interni	MWh	99,80	99,51	100,3%
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	302,59	313,00	96,7%
ACS (Elettricità)	MWh	52,48	68,82	76,3%
Indice di prestazione totale $EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	152,72	156,83	97,4%

Figura 101 – Risultati di calcolo, confronto allo stato di fatto originario

Il discostamento maggiore si presenta nei consumi relativi alla produzione di ACS, ma tale differenza è dovuta unicamente al rendimento di generazione che nel modello dettagliato è un valore puramente ipotetico, non conoscendo i dati della caldaia originariamente installata. Si può osservare un distacco dell' $EP_{gl,tot}$ fra il modello dettagliato e il modello semplificato di appena il 2,6%.

Nonostante le semplificazioni delle tipologie costruttive offerte dal progetto TABULA siano notevoli, indicando un unico modello costruttivo per tutto il territorio italiano per ogni classe temporale e di dimensione, si osserva che dal punto di vista delle analisi energetiche tale differenza non sia rilevante, almeno non in questo caso studio del 1936; si ritiene pertanto che la semplificazione applicata sia lecita e se ne raccomanda l'utilizzo nel caso mancassero più approfondite conoscenze relative alle tipologie costruttive presenti in un eventuale futuro edificio caso di studio analizzato.

10.2.2. Confronto dei modelli allo stato riqualificato

In questo caso, invece, dal confronto fra i risultati di calcolo del modello dettagliato e del modello semplificato risultano differenze più rilevanti.

		STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+	DIFFERENZA % DETT/SEMP
Infiltrazione esterna	MWh	234,46	180,49	129,9%
Ventilazione esterna	MWh	49,94	29,50	169,3%
Apporti solari attraverso finestre esterne	MWh	164,71	73,69	223,5%
Apporti interni	MWh	100,01	96,02	104,2%
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	116,87	152,67	76,6%
ACS (Elettricità)	MWh	52,72	48,96	107,7%
Indice di prestazione totale $E_{p,gl,tot}$	kWh/m2	88,80	103,38	85,9%

Figura 102 – Risultati di calcolo, confronto allo stato riqualificato

Nel modello dettagliato la riqualificazione ha previsto la chiusura dei balconi in logge, cosa non prevista nel modello semplificato. Tale modifica alla geometria dell'edificio ha portato a un incremento del volume degli ambienti e a un conseguenziale innalzamento dei valori di ventilazione e infiltrazione rispetto al modello semplificato.

Altro forte scostamento riguarda gli apporti solari attraverso le finestre: nel modello semplificato è previsto l'uso di una tipologia di serramento che si scosta da quella usata nel progetto reale dettagliato. Si rileva infatti, oltre a un differente valore U di trasmittanza termica ($U_{dett}=1,1 - U_{semp}=1,7$), anche un differente valore di trasmissione solare ($g_{dett}=0,67 - g_{semp}=0,62$) che ha portato a questo forte discostamento fra i valori ottenuti. La differenza infine riscontrata in merito al riscaldamento sensibile di zona è il risultato di quanto osservato e il tentativo del programma di appianare le differenze osservate in merito agli apporti e dispersioni.

La differenza finale riscontrata nell' $EP_{gl,tot}$ è del 14,1%. Non si ritiene opportuno, di conseguenza, di raccomandare l'uso di questo genere di semplificazione per l'analisi di un edificio riqualificato in quanto il

discostamento dai dati reali è difficilmente controllabile e può variare significativamente.

10.2.3. Confronto dei modelli con l'edificio-tipo di TABULA

Si mettono qui a confronto i modelli dettagliati, sia allo stato di fatto originario che allo stato riqualificato, direttamente con l'edificio tipo indicato da TABULA come rappresentativo della classe d'epoca e dimensione edilizia in ambo gli stati, al fine di analizzarne la validità come alternativa di semplificazione diretta.

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA stato di fatto originario	DIFFERENZA % DETT/SEMP
Volume lordo	m ²	14472	7197	201,1%
Superficie lorda di pavimento	m ²	4853	2249	215,8%
Numero di piani abitati		4	5	80,0%
Numero di appartamenti		49	30	163,3%
Riscaldamento	kWh	304070	454977	66,8%
ACS	kWh	52480	50834	103,2%
Indice di prestazione totale E _{pgl,tot}	kWh/m ²	152,72	327,00	46,7%

Figura 103 – Confronto fra edificio tipo e modello dettagliato allo stato di fatto

		STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	EDIFICIO TIPO SECONDO TABULA riqualificazione avanzata	DIFFERENZA % DETT/SEMP
Volume lordo	m ²	15444	7197	214,6%
Superficie lorda di pavimento	m ²	5085	2249	226,1%
Numero di piani abitati		4	5	80,0%
Numero di appartamenti		49	30	163,3%
Riscaldamento	kWh	116870	78357	149,2%
ACS	kWh	52720	50834	103,7%
Indice di prestazione totale E _{pgl,tot}	kWh/m ²	88,80	42,40	209,4%

Figura 104 – Confronto fra edificio tipo e modello dettagliato allo stato
riqualificato

Si nota immediatamente come in entrambi i casi i modelli dettagliati discostino fortemente dall'edificio tipo offerto da TABULA data l'estrema differenza già nei dati geometrici. Gli E_{pgl,tot} sono in un caso la metà e nell'altro il doppio del valore ottenuto nel modello caso di

studio. La sostituzione dell'edificio direttamente con l'edificio tipo offerto risulta quindi chiaramente una semplificazione non accettabile.

10.3. VALUTAZIONE E ANALISI DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA SVOLTA

Scopo ultimo dell'elaborato è l'analisi del livello di successo ottenuto con l'intervento di riqualificazione energetica analizzato; si va quindi a svolgere una analisi comparativa in merito alla percentuale di miglioramento delle prestazioni ottenuta con ognuno dei metodi di calcolo impiegati.

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON TERMUS	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON TERMUS	DIFFERENZA % RIQUAL/ORIG
Ventilazione esterna	MWh	52,42	57,12	109,0%
Apporti solari attraverso finestre esterne	MWh	64,05	60,17	93,9%
Apporti interni	MWh	87,11	100,60	115,5%
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	327,17	122,37	37,4%
ACS (Elettricità)	MWh	50,83	50,85	100,0%
Indice di prestazione totale $E_{pgl,tot}$	kWh/m ²	214,09	113,61	53,1%

Figura 105 – Confronto fra modello dettagliato allo stato di fatto e modello dettagliato riqualificato con TerMus

		STATO DI FATTO ORIGINARIO DETTAGLIATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO DETTAGLIATO CON DB/E+	DIFFERENZA % RIQUAL/ORIG
Infiltrazione esterna	MWh	190,06	234,46	123,4%
Ventilazione esterna	MWh	30,81	49,94	162,1%
Apporti solari attraverso finestre esterne	MWh	182,44	164,71	90,3%
Apporti interni	MWh	99,80	100,01	100,2%
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	302,59	116,87	38,6%
ACS (Elettricità)	MWh	52,48	52,72	100,5%
Indice di prestazione totale $E_{pgl,tot}$	kWh/m ²	152,72	88,80	58,1%

Figura 106 – Confronto fra modello dettagliato allo stato di fatto e modello dettagliato riqualificato con EnergyPlus

		STATO DI FATTO ORIGINARIO SEMPLIFICATO CON DB/E+	STATO RIQUALIFICATO SEMPLIFICATO CON DB/E+	DIFFERENZA % RIQUAL/ORIG
Infiltrazione esterna	MWh	189,69	180,49	95,1%
Ventilazione esterna	MWh	29,85	29,50	98,8%
Apporti solari attraverso finestre esterne	MWh	166,76	73,69	44,2%
Apporti interni	MWh	99,51	96,02	96,5%
Riscaldamento sensibile di zona	MWh	313,00	152,67	48,8%
ACS (Elettricità)	MWh	68,82	48,96	71,1%
Indice di prestazione totale $EP_{gl,tot}$	kWh/m ²	156,83	103,38	65,9%

Figura 107 – Confronto fra modello semplificato allo stato di fatto e riqualificato

Secondo quanto indicato dai progettisti ACER nella relazione di intervento, a seguito degli interventi di riqualificazione previsti si aspettano un risparmio energetico medio del 31%. Secondo le analisi qui svolte sia con TerMus che con EnergyPlus è invece prevedibile un risparmio energetico nel riscaldamento al 38% e un abbassamento dell'indice di prestazione energetica $EP_{gl,tot}$ al 53% secondo TerMus, al 58% secondo EnergyPlus (sempre rispetto i valori inizialmente ottenuti), permettendo all'edificio di passare dalla classe energetica F alla C. Anche il comfort termico estivo risulta migliorato, con una diminuzione degli apporti solari attraverso le finestre grazie a una maggior schermatura dei serramenti. È inoltre osservabile come sia svolgendo le analisi con un software semi-stazionario quale TerMus che con uno dinamico quale EnergyPlus, il confronto fra lo stato di fatto originario e lo stato riqualificato indichi un miglioramento nelle prestazioni dell'edificio dovuto alla riqualificazione estremamente simile, con uno scarto di appena il 5% nell' $EP_{gl,tot}$.

Analizzando il confronto fra i modelli semplificati si ottengono risultati che variano rispetto quelli precedentemente esposti ottenuti nei modelli dettagliati, indicando un risparmio energetico nel riscaldamento al 49% e una diminuzione degli apporti solari attraverso le finestre al solo 44%, rispetto gli apporti inizialmente riscontrati. Indica infine un miglioramento minore nell'indice di prestazione globale, al solo 66% rispetto lo stato originale (quindi del 34%, dove i modelli dettagliati lo davano fra il 42% e

il 47%). Tali differenze nel confronto fra i modelli semplificati rispecchiano gli scostamenti individuati nel modello riqualificato semplificato rispetto quello dettagliato e ancora una volta si raccomanda di svolgere analisi più dettagliate nel caso di analisi di modelli riqualificati. È possibile, dai dati ottenuti, definire quindi la riqualificazione svolta un successo e si lascia ad analisi successive, da svolgersi alla conclusione dei lavori attualmente in atto, il controllo e monitoraggio dei reali risultati ottenuti.

10.4. RACCOMANDAZIONI

Alla conclusione di questo studio, dopo aver analizzato in ogni suo aspetto il lavoro svolto dal progetto TABULA, si ritiene che i risultati da esso ottenuti siano estremamente utili per supportare le tipologie costruttive di edifici facenti parte del nostro vasto patrimonio edilizio al solo fine di analizzarne le dispersioni energetiche. In molti casi è infatti possibile per un progettista imbattersi in costruzioni delle quali non si hanno dati relativamente ai solai e pacchetti murari e per edifici non odierni questo progetto può offrire validi suggerimenti sui pacchetti da applicare, senza intaccare l'edificio per poter svolgere semplici analisi. Le semplificazioni offerte si ritiene risultino però valide solo su edifici non recenti, precedenti al concetto di isolamento termico nelle costruzioni, in quanto le variabili riscontrate da tale momento in avanti risultano troppe e di difficile supposizione, non più altrettanto generalizzabili, e leggere discrepanze nella supposizione del tipo o dello spessore di un isolante possono addurre a maggiori distacchi fra lo stato supposto e quello reale.

Si raccomanda infine una più approfondita analisi futura su tale punto per indagare esattamente fino a quale classe di epoca di costruzione le semplificazioni qui offerte siano da ritenersi valide.

BIBLIOGRAFIA

- ARTICOLO: Agenzia europea dell'ambiente, "Segnali EEA 2020 – verso un'Europa a inquinamento zero"
- PAGINA WEB: EUR-Lex Access to European Union Law
<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>
- DIRETTIVA 93/76/CEE del 13/09/1993
- DIRETTIVA 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002
- DIRETTIVA 2006/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006
- DIRETTIVA 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009
- DIRETTIVA 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010
- DIRETTIVA 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012
- DIRETTIVA (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018
- REGOLAMENTO (UE) 2018/1999 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018
- DIRETTIVA (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018
- DIRETTIVA (UE) 2018/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018
- RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/786 della commissione, dell'8 maggio 2019
- RACCOMANDAZIONE (UE) 2019/1019 della commissione, del 7 giugno 2019
- PAGINA WEB: gazzetta ufficiale della repubblica italiana
<https://www.gazzettaufficiale.it/>

- PAGINA WEB: note tematiche sull'Unione europea – efficienza energetica
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/69/efficienza-energetica>
- LEGGE 30 marzo 1976, n. 373
- LEGGE 9 gennaio 1991, n. 10
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412
- DECRETO 2 aprile 1998
- DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192
- DECRETO LEGISLATIVO 29 dicembre 2006, n. 311
- DECRETO LEGISLATIVO 30 maggio 2008, n. 115
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 2 aprile 2009, n. 59
- DECRETO 26 giugno 2009
- DECRETO LEGISLATIVO 3 marzo 2011, n. 28
- DECRETO 22 novembre 2012
- DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 16 aprile 2013, n. 75
- DECRETO-LEGGE 4 giugno 2013, n. 63
- DECRETO LEGISLATIVO 4 luglio 2014, n. 102
- DECRETI 26 giugno 2015
- DECRETO LEGISLATIVO 18 luglio 2016, n. 141
- DECRETO 16 settembre 2016
- PAGINA WEB PDF: MISE, allegato 1, PANZEB
https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/all_decreto_interministeriale_19_giugno_2017_panzeb.pdf
- DECRETO LEGISLATIVO 10 giugno 2020, n. 48
- PAGINA WEB: normativa regionale dell'Emilia Romagna in tema di certificazione energetica degli edifici <https://energia.regione.emilia->

romagna.it/leggi-atti-bandi-1/norme-e-atti-amministrativi/certificazione-energetica/certificazione-energetica-degli-edifici

- PAGINA WEB: Commissione europea – efficienza energetica nell’edilizia https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_it
- PAGINA WEB: ENEA, dipartimento per l’unità efficienza energetica <https://www.energiaenergetica.enea.it/servizi-per/pubblica-amministrazione/riqualificazione-energetica-degli-edifici-della-pubblica-amministrazione/edilizia-pubblica-e-scolastica/gli-edifici-a-consumo-energetico-quasi-zero.html>
- PAGINA WEB: prestazione energetica degli edifici <https://www.certificato-energetico.it/articoli/prestazione-energetica.html>
- PAGINA WEB: la trasmittanza termica https://www.la-certificazione-energetica.net/trasmittanza_termica/trasmittanza_termica_U.html
- LIBRO: Yunus A. Çengel “Termodinamica e trasmissione del calore” cap. 13 e 14
- PAGINA WEB: simulazioni in regime statico e dinamico <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>
- PAGINA WEB: ACCA – TerMus software di certificazione energetica <https://www.acca.it/software-certificazione-energetica>
- PAGINA WEB: DesignBuilder italia <https://www.designbuilderitalia.it/>
- PAGINA WEB: progetto TABULA del Politecnico di Torino <https://areweb.polito.it/ricerca/episcopo/tabula/>
- PAGINA WEB PDF: Building Typology Brochure per l’Italia https://www.episcopo.eu/downloads/public/docs/brochure/IT_TABULA_TypologyBrochure_POLITO.pdf
- SLIDES: prof. Semprini, corso di “Impianti”, Università di Bologna