

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

**Diagnosi energetica di una
Social Housing**



Relatori:

prof. Vincenzo Corrado

prof. Ilaria Ballarini

ing. Alice Lorenzati

Candidato:

Yannick Pellissier
.....

Marzo 2019

A Elena...

RINGRAZIAMENTI

Dopo diversi mesi posso finalmente ritenere concluso il mio elaborato di tesi magistrale. È stato un percorso interessante, che mi ha portato ad approfondire nuovi temi.

Vorrei cominciare con un ringraziamento sentito per il professore Vincenzo Corrado e la professoressa Ilaria Ballarini che mi hanno concesso la possibilità di occuparmi di un tema, la riqualificazione energetica, di notevole interesse nell'attuale panorama energetico Europeo e Italiano.

Ringrazio calorosamente l'ingegnere Alice Lorenzati che mi ha aiutato sia nella parte di modellazione del caso studio, oggetto di diagnosi energetica, sia nella redazione dell'elaborato di tesi magistrale. Grazie per la disponibilità che hai sempre dimostrato nei miei confronti e per i consigli e l'aiuto fornitomi.

Ringrazio l'Agenzia Territoriale per la Casa del Piemonte Centrale (ATC) per avermi aiutato nel reperire i dati necessari al fine di costruire un modello maggiormente rappresentativo della realtà.

Grazie Elena per avermi accompagnato in questo viaggio. Sei sempre stata presente, sia nei momenti di spensieratezza che nei momenti di difficoltà. Grazie per l'amore che mi dimostri ogni giorno e per avere scelto di condividere la tua vita con me.

Grazie ai miei famigliari per avermi supportato in questi anni di studio e per avermi permesso di raggiungere questo traguardo oggi.

Un ringraziamento caloroso ai miei amici e compagni di corso con cui ho trascorso le lezioni. Luca, Gigi, Mat, Lucio, Edo, Fabio, Giuste, Lorenzo e Vito; è stato bello condividere questo viaggio con voi. Spero che l'amicizia nata in questi anni si consolidi nel futuro.

Un grazie ai miei coinquilini Federico, Omar e Fabio per i bei momenti trascorsi insieme.

Un ringraziamento infine agli amici ed amiche su cui posso contare in ogni momento. Grazie Marta e Elisa perché dopo tanti anni siamo ancora legati da una bella amicizia. Grazie Federica, perché pur essendo ormai sempre lontana, rimani sempre un punto di riferimento. Grazie Moni e Adri per l'affetto che dimostraste sempre nei miei confronti. Grazie Manu per la bella amicizia che ci lega e per le passioni condivise.

Infine, ringrazio tutti per avermi aiutato nel raggiungere questo traguardo che rappresenta per me un nuovo punto di inizio.

INDICE

ELENCO DELLE FIGURE	iii
ELENCO DELLE TABELLE.....	v
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUZIONE	1
1.1. Finalità dell'attività.....	1
1.2. Struttura del lavoro svolto	2
2. QUADRO DI RIFERIMENTO LEGISLATIVO	5
2.1. Quadro europeo.....	5
2.2. Quadro italiano.....	8
3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING	11
3.1. Parco edilizio in Italia.....	11
3.2. Social Housing in Italia e a Torino.....	14
4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA.....	19
4.1. Metodologia di diagnosi energetica	19
4.2. Determinazione fabbisogno energetico.....	25
4.3. Processo di Ottimizzazione e Determinazione Costo Globale	26
4.4. Soluzioni Cost-Optimal e nZEB.....	29
5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO	33
5.1. Localizzazione del caso studio	33
5.2. Fabbricato	34
5.3. Utenza	40
5.4. Sistemi di produzione.....	44
5.5. Consumi energetici	46
6. COSTRUZIONE DEL MODELLO	51
6.1. Zonizzazione dell'edificio	51
6.2. Determinazione apporti interni.....	52
6.3. Profili di utilizzo sistemi oscuranti e schermature solari	54
6.4. Ventilazione naturale.....	56
6.4.1. Ventilazione programmata.....	56
6.4.2. Ventilazione calcolata.....	58

INDICE

6.5.	<i>Centrale termica</i>	60
7.	<i>VALUTAZIONI ENERGETICHE PRE-RETROFIT</i>	63
7.1.	<i>Valutazione energetica d’esercizio e Valutazione energetica adattata all’utenza reale</i>	63
7.2.	<i>Calibrazione e Valutazione energetica calibrata adattata all’utenza reale con dati climatici reali</i>	66
7.3.	<i>Valutazione energetica calibrata adattata all’utenza reale con dati climatici standard</i>	70
7.4.	<i>Appartamento di riferimento: Valutazione energetica con utenza e dati climatici standard e classificazione energetica</i>	72
7.5.	<i>Edificio: Valutazione energetica con utenza reale e dati climatici standard e classificazione energetica</i>	74
8.	<i>PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE</i>	77
8.1.	<i>Definizione degli interventi</i>	77
8.2.	<i>Definizione della procedura di ottimizzazione</i>	80
8.3.	<i>Definizione dei costi</i>	82
9.	<i>OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA</i> ..	87
9.1.	<i>Soluzioni analizzate</i>	87
9.1.1.	<i>Caso a – Caldaia allo stato attuale</i>	87
9.1.2.	<i>Caso b – Caldaia a condensazione</i>	89
9.1.3.	<i>Caso c – Pompa di calore</i>	91
9.2.	<i>Soluzione cost-optimal</i>	93
9.3.	<i>Soluzione nZEB</i>	96
10.	<i>ANALISI DI SENSIBILITÀ</i>	101
11.	<i>CRITICITÀ RISULTANTI DALL’UTILIZZO DI DESIGNBUILDER</i>	105
12.	<i>CONCLUSIONI</i>	109
13.	<i>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</i>	111
	<i>Allegato A</i>	119
	<i>Allegato B</i>	129
	<i>Allegato C</i>	133
	<i>Allegato D</i>	141

ELENCO DELLE FIGURE

<i>Figura 2.1: Quadro energetico legislativo al 2018 (Fonte: [64])</i>	9
<i>Figura 3.1: Edifici residenziale in funzione della zona climatica (Fonte: [67])</i>	12
<i>Figura 3.2: a) Edifici residenziali in funzione dell'epoca di costruzione; b) Classificazione edifici in funzione dell'epoca di costruzione e della zona climatica (Fonte: [67])</i>	12
<i>Figura 3.3: Trasmittanza termica involucro edificio per periodo di costruzione (Fonte: [96])</i>	13
<i>Figura 3.4: Alloggi di edilizia residenziale sociale a Torino: a) Proprietà degli alloggi; b) Classificazione in funzione della dimensione; c) Classificazione in funzione del periodo di costruzione (Fonte: [69])</i>	18
<i>Figura 3.5: Nuclei familiari richiedenti assegnazione alloggi Torino: a) Classificazione in funzione dell'indice di gravità del disagio abitativo VI bando generale; b) Classificazione in funzione della nazionalità nel 2017; c) Classificazione in funzione della tipologia di assegnazione nel 2017 (Fonte: [69])</i>	18
<i>Figura 4.1: Processo diagnosi energetica (Fonte: Appendice A [37])</i>	20
<i>Figura 4.2: Procedura di diagnosi energetica adottata [62]</i>	22
<i>Figura 4.3: Suddivisione soluzioni in fronti successivi (Fonte: [73])</i>	27
<i>Figura 4.4: Crowding-distance (Fonte: [74])</i>	27
<i>Figura 4.5: Costo globale in funzione della prestazione energetica (Fonte: [76], [77])</i>	29
<i>Figura 5.1: Localizzazione caso studio (Fonte: [101])</i>	33
<i>Figura 5.2: Vista in 3d del complesso condominiale (Fonte: [101])</i>	34
<i>Figura 5.3: Facciate dell'edificio, a) Nord, b) Est, c) Sud, d) Ovest</i>	35
<i>Figura 5.4: Particolari involucro trasparente</i>	38
<i>Figura 5.5: a) Classificazione in base al sesso; b) Classificazione in base all'età</i>	41
<i>Figura 5.6: Caldaia ARISTON T2 23 MI; a) Vista esteriore; b) Vista complessiva; c) Schema idraulico; (Fonte:[102])</i>	45
<i>Figura 5.7: Estratto libretto di impianto</i>	45
<i>Figura 5.8: Localizzazione stazione metereologica di Torino Alenia rispetto al caso studio (Fonte: [101])</i>	48
<i>Figura 5.9: Andamento della radiazione solare media giornaliera sul piano orizzontale, Torino. I dati relativi alla seconda parte del 2018 non erano disponibili nel momento in cui è stata condotta la diagnosi energetica (Fonte: [104])</i>	49
<i>Figura 5.10: Andamento temperatura esterna giornaliera, Torino. I dati relativi alla seconda parte del 2018 non erano disponibili nel momento in cui è stata condotta la diagnosi energetica (Fonte: [104])</i> ...	49
<i>Figura 6.1: Modello tridimensionale Blocco A</i>	51
<i>Figura 6.2: Zonizzazione edificio</i>	52
<i>Figura 6.3: Prospetto 14 della norma UNI/TS 11300-1 [39]</i>	53
<i>Figura 6.4: Profilo orario su base settimanale apporti interni Zona 1</i>	54
<i>Figura 6.5: Profilo orario di utilizzo delle chiusure oscuranti</i>	55
<i>Figura 6.6: Profilo orario di utilizzo delle schermature solari</i>	55
<i>Figura 6.7: Profilo orario su base settimanale ricambi d'aria Zona 1</i>	58
<i>Figura 6.8: Profilo orario di apertura chiusure trasparenti zona notte</i>	59

ELENCO DELLE FIGURE

<i>Figura 6.9: Profilo orario di apertura chiusure trasparenti zona giorno</i>	<i>59</i>
<i>Figura 6.10: Impianto per la produzione di ACS e riscaldamento (Fonte: [106])</i>	<i>60</i>
<i>Figura 7.1: Consumi su base mensile in funzione dei gradi giorno utenza tipo.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 7.2: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 7.3: Bilancio energetico utenza tipo.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 7.4: Energia consumata in funzione dei gradi giorno</i>	<i>67</i>
<i>Figura 7.5: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating (post-calibrazione).....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 7.6: Prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici reali</i>	<i>70</i>
<i>Figura 7.7: Andamento temperatura esterna giornaliera, Torino. (Fonte: [100]).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 7.8: Andamento della radiazione solaremedia giornaliera sul piano orizzontale (Fonte: [100])</i>	<i>71</i>
<i>Figura 7.9: Prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard</i>	<i>72</i>
<i>Figura 7.10: Prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica standard</i>	<i>73</i>
<i>Figura 7.11: Prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 8.1: Misure di efficienza energetica considerate</i>	<i>77</i>
<i>Figura 8.2: Suddivisione modelli per ottimizzazione</i>	<i>81</i>
<i>Figura 9.1: Caso A: Ottimizzazione.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 9.2: Caso B: Ottimizzazione.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 9.3: Caso C: Ottimizzazione.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 9.4: Differenziale costo in funzione della prestazione energetica.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 9.5: Prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica cost-optimal adattata all'utenza reale con dati climatici standard</i>	<i>94</i>
<i>Figura 9.6: Prestazione energetica intero edificio: Valutazione energetica nZEB adattata all'utenza reale con dati climatici standard.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 10.1: EP_{gl,tot} ottenuti dall'analisi di sensibilità per singola tipologia di intervento.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 10.2: Costi Globali ottenuti per singola tipologia di intervento</i>	<i>102</i>

ELENCO DELLE TABELLE

<i>Tabella 2.1: Obiettivi imposti dalla strategia europea (Fonte: [92], [93])</i>	5
<i>Tabella 3.1: Criterio di classificazione (Fonte: [67])</i>	11
<i>Tabella 3.2: Tipologia d'impianto di riscaldamento in funzione della zona climatica e per la regione Piemonte (Fonte: [67])</i>	13
<i>Tabella 3.3: Tipologia d'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria in funzione della zona climatica e per la regione Piemonte (Fonte: [67])</i>	14
<i>Tabella 3.4: Tipologia di combustibile in funzione della zona climatica e per la regione Piemonte (Fonte: [67])</i>	14
<i>Tabella 4.1: Scala di classificazione energetica degli edifici sulla base degli indici di prestazione energetica globali (Fonte: [13])</i>	23
<i>Tabella 4.2: Definizioni ristrutturazioni importanti e riqualificazioni (Fonte: [4])</i>	23
<i>Tabella 4.3: Fattori di conversione in energia primaria (Fonte: [4])</i>	26
<i>Tabella 4.4: Definizione costi</i>	28
<i>Tabella 4.5: Requisiti da rispettare in accordo a DM 26/05/2015 [4] in fase di progettazione di edifici di nuova costruzione e riqualificazione importante di edifici già esistenti.</i>	31
<i>Tabella 4.6: Integrazione fonti rinnovabili in edifici nZEB come previsto da Allegato 3 al d.l. 28 del 3 marzo 2011 [5]</i>	31
<i>Tabella 5.1: Caratteristiche geometriche del fabbricato</i>	35
<i>Tabella 5.2: Stratigrafie pareti</i>	36
<i>Tabella 5.3: Caratteristiche termofisiche pareti</i>	37
<i>Tabella 5.4: Caratteristiche termofisiche componenti opachi orizzontali</i>	37
<i>Tabella 5.5: Caratteristiche componenti trasparenti</i>	39
<i>Tabella 5.6: Caratteristiche dei pilastri perimetrali</i>	40
<i>Tabella 5.7: Ponti termici</i>	40
<i>Tabella 5.8: Numero di occupanti in funzione della fascia oraria utenza tipo</i>	42
<i>Tabella 5.9: Apertura delle finestre utenza tipo</i>	43
<i>Tabella 5.10: Gestione delle tapparelle utenza tipo</i>	43
<i>Tabella 5.11: Gestione delle schermature solari utenza tipo</i>	44
<i>Tabella 5.12: Determinazione consumo per ACS e cottura cibi</i>	46
<i>Tabella 5.13: Consumi gas stagione di riscaldamento 2017-2018 utenza tipo</i>	47
<i>Tabella 5.14: Valori medi mensili di temperatura aria esterna e irraggiamento solare globale sul piano orizzontale, Torino (Fonte: [104])</i>	48
<i>Tabella 5.15: Gradi Giorno reali relativi alla stagione di riscaldamento 2017-2018</i>	50
<i>Tabella 6.1: Superfici nette zone termiche</i>	52
<i>Tabella 6.2: Apporti interni per fasce orarie</i>	54
<i>Tabella 6.3: Confronto metodi per ottenimento ricambi d'ora nei periodi di occupazione</i>	56
<i>Tabella 6.4: Ricambi d'ora per fasce orarie</i>	57
<i>Tabella 6.5: Percentuale di vetro apribile</i>	59

ELENCO DELLE TABELLE

<i>Tabella 7.1: Consumi su base mensile in funzione dei gradi giorno utenza tipo</i>	63
<i>Tabella 7.2: Consumi energetici modelli ventilazione programmata e calcolata utenza tipo</i>	64
<i>Tabella 7.3: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating con ventilazione calcolata</i>	65
<i>Tabella 7.4: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating (post-calibrazione)</i>	68
<i>Tabella 7.5: Indici statistici (Fonte: [81],[82],[83])</i>	69
<i>Tabella 7.6: Valori soglia indici statistici (Fonte: [81], [82])</i>	69
<i>Tabella 7.7: Valori indici statistici post calibrazione utenza tipo</i>	70
<i>Tabella 7.8: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici reali</i>	70
<i>Tabella 7.9: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard</i>	72
<i>Tabella 7.10: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione standard</i>	73
<i>Tabella 7.11: Classificazione energetica appartamento di riferimento pre-retrofit</i>	74
<i>Tabella 7.12: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard</i>	75
<i>Tabella 7.13: Confronto tra valori limite edificio di riferimento e edificio allo stato attuale</i>	75
<i>Tabella 8.1: Trasmittanza termica massima strutture opache verticali (Fonte: Tabella 1, Appendice B, Allegato 1 DM 26/05/2015 [4])</i>	78
<i>Tabella 8.2: Livelli di prestazione energetica per ogni misura di efficienza energetica</i>	79
<i>Tabella 8.3: Parametri di prestazione energetica</i>	80
<i>Tabella 8.4: Inserimento misure di efficienza energetica su DesignBuilder [106]</i>	82
<i>Tabella 8.5: Costi considerati nel processo di ottimizzazione</i>	83
<i>Tabella 8.6: Costi misure di efficienza energetica</i>	84
<i>Tabella 8.7: Vita utile componenti</i>	84
<i>Tabella 8.8: Voci di costo manutenzione e sostituzione</i>	85
<i>Tabella 9.1: Livelli di prestazione energetica soluzione cost-optimal</i>	93
<i>Tabella 9.2: Indici di prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica cost-optimal adattata all'utenza reale con dati climatici standard</i>	95
<i>Tabella 9.3: Classificazione energetica appartamento di riferimento soluzione cost-optimal</i>	95
<i>Tabella 9.4: Confronto tra valori limite edificio di riferimento e edificio post retrofit (soluzione cost-optimal)</i>	96
<i>Tabella 9.5: Livelli di prestazione energetica soluzione nZEB</i>	97
<i>Tabella 9.6: Indici di prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica nZEB adattata all'utenza reale con dati climatici standard</i>	98
<i>Tabella 9.7: Classificazione energetica appartamento di riferimento soluzione nZEB</i>	99
<i>Tabella 9.8: Confronto tra valori limite edificio di riferimento e edificio post retrofit (soluzione nZEB)</i>	99

ABSTRACT

Il seguente lavoro di tesi ha previsto lo svolgimento di una diagnosi energetica approfondita di un edificio di edilizia residenziale pubblica (*social housing*), sito nella provincia di Torino (Pianezza), attraverso una simulazione dinamica dettagliata. In particolare, partendo dall'edificio allo stato attuale è stata svolta una valutazione energetica d'esercizio tramite l'impiego dei dati di consumi energetici reali disponibili, relativi all'ultima stagione di riscaldamento. Successivamente, tramite l'ausilio del software *DesignBuilder*, si è provveduto a costruire un modello tridimensionale dell'edificio per effettuare una valutazione energetica adattata all'utenza con dati climatici reali (*tailored rating*). In seguito al confronto degli indici di prestazione energetica ottenuti con le due precedenti valutazioni, si è proceduto con la calibrazione del modello (*calibrated tailored rating*). Questa fase ha previsto l'aggiustamento dei dati inseriti nel modello *customizzato*, al fine di ottenere consumi energetici confrontabili con quelli reali. Per svincolare le prestazioni energetiche dell'edificio (risultanti dalle simulazioni) dalle condizioni metereologiche delle stagioni di riscaldamento analizzate, sono state quindi ripetute le simulazioni, utilizzando dati metereologici standard (*design rating*). È stata successivamente valutata la classe energetica a livello di singolo appartamento, ipotizzando un'utenza standard, e quindi non quella reale (*standard rating*). La seconda fase della ricerca è stata incentrata sull'individuazione di misure di efficienza energetica, effettuata sulla base di un'analisi costi/benefici, che ha permesso di determinare una graduatoria delle soluzioni analizzate. L'obiettivo è stato l'individuazione di una soluzione *cost-optimal*, per la quale si riducevano sia i consumi che i costi. Si è osservato, però, che tale soluzione non consentiva il completo rispetto dei vincoli imposti per una ristrutturazione importante di primo livello da D.M. 26/05/2015. È stata quindi individuata una seconda soluzione, soluzione nZEB, per la quale si è ottenuto una forte riduzione dei consumi, un aumento dei costi e l'ottemperamento dei vincoli imposti dal decreto sopracitato. Infine, per entrambe le soluzioni è stata effettuata una valutazione energetica standard per determinare la classificazione energetica del singolo appartamento selezionato, che sarebbe ottenibile con le misure di efficienza energetica scelte.

Parole chiave: Diagnosi energetica, Audit energetico, Classificazione energetica, Decreto Requisiti Minimi, Ottimizzazione, Analisi costi benefici, Riqualificazione energetica, Social housing.

ABSTRACT

The following thesis work proposed to develop an in-depth energy audit of a public residential building (social housing) located in the province of Turin (Pianezza), through a detailed dynamic simulation. In particular, starting from the building at its current state, an operational energy rating was realized using real energy consumption's data referred to the previous heating season. Afterwards, using DesignBuilder, a three-dimensional model of the building was built to obtain a tailored energy rating with real climatic data. The calibrated tailored energy rating was made after comparing the energy performance indicators obtained with the two previous energy ratings. To obtain energy consumptions from the simulations comparable to the real one, this phase required the adjustment of the data inserted in the customized model. The simulations were repeated, using standard climatic data (design energy rating), in order to free the energy consumption of the building from the particular weather condition of the considered heating season. Assuming a standard use of the building, the energy rating for a single apartment of the analysed building was then evaluated. The second phase of the thesis work was focused on defining the energy efficiency measures, using a cost-optimal analysis which allowed to obtain a ranking list of the analysed solutions. The objective was the individuation of a cost-optimal solution, so that both energy consumption and costs could have been reduced. However, it was observed that the cost-optimal solution did not allowed the total respect of the restrictions imposed by the Italian laws for an energy refurbishment of first level. So, a second solution was obtained, called nZEB solution; this second one allowed to obtain an energy consumption reduction, a cost rise and the respect of the limits imposed by Italian laws for an energy refurbishment of first level. Finally, for both these cases, and considering a single apartment of the building analysed, the energy class, which may be obtained using the energy efficiency measures previously chosen, was evaluated.

Keywords: Energy audit, Energy classification, Optimization, Cost-optimal analysis, Energy refurbishment, Social Housing.

1. INTRODUZIONE

Il lavoro di seguito presentato si colloca all'interno di un progetto di ricerca svolto presso il Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino [61] frutto dell'Accordo di Programma stipulato fra il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) e l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), riguardante il "Piano Annuale di Realizzazione 2017". L'area di intervento è "Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici", il tema di ricerca "D.2 Edifici a energia quasi zero (nZEB)", progetto D.2.1 "Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici (scuole, ospedali, uffici della PA centrale e locale) mirata a conseguire il raggiungimento della definizione di edifici a energia quasi zero (nZEB)", obiettivo a.1 "Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: $2100 < GG \leq 3000$)". Il tema sviluppato riguarda la riqualificazione energetica di edifici di edilizia residenziale pubblica. In particolare, il seguente lavoro di tesi si concentra su una diagnosi energetica dettagliata di un edificio di *social housing*, svolta con l'ausilio del software di simulazione dinamica *DesignBuilder* [106].

1.1. FINALITÀ DELL'ATTIVITÀ

La riduzione dei consumi energetici è il fulcro delle attuali politiche energetiche europee. La consapevolezza delle problematiche dovute ai cambiamenti climatici obbliga gli stati ad attuare politiche volte alla riduzione delle emissioni di anidride carbonica. Tra queste rientrano le politiche in merito alla riduzione e al contenimento dei consumi nell'edilizia. La direttiva 2002/91/CE [1] sul rendimento energetico nell'edilizia è in continuo aggiornamento cosicché si possa intervenire in maniera consistente ed efficace sul patrimonio edilizio esistente o in costruzione a livello Europeo. L'Italia già da diversi anni (prima con la legge n. 373 del 1976 [2] e poi con la legge n. 10 del 1991 [3]) ha dimostrato il suo impegno in ambito di contenimento dei consumi nell'edilizia. Attualmente quasi il 40% dell'energia finale in Italia, ovvero 46,9 Mtep, Milioni di tonnellate di petrolio equivalente, è utilizzata per fini civili e di questi il 70-75% è impiegato per il riscaldamento e la climatizzazione, secondo i dati riportati da Istat [91]. Questi consumi con opportune politiche possono essere ridotti.

Il D.M. 26/05/2015, noto anche come D.M. Requisiti Minimi [4], ha introdotto la metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici e definito i requisiti per gli edifici ad energia quasi zero da adempiere nel caso di ristrutturazioni o di edifici di nuova costruzione. L'obiettivo di un intervento di riqualificazione energetica è quello di ridurre i consumi parallelamente all'incremento dell'utilizzo di fonti rinnovabili e alla diminuzione delle fonti fossili impiegate. Per poter effettuare una riqualificazione energetica che risulti efficace è necessario conoscere in maniera approfondita il comportamento dell'utenza reale e il consumo energetico dovuto a sistemi ed impianti utilizzati. Conoscere lo stato di fatto in

1. INTRODUZIONE

dettaglio permette di individuare le misure di efficienza energetica più appropriate per ottenere un edificio nZEB.

Contrariamente ad un fabbricato in fase di progettazione, in un fabbricato sottoposto a riqualificazione non è possibile intervenire sull'ubicazione e sull'orientamento. Ci si concentra pertanto sull'involucro edilizio, isolando le pareti e i solai rivolti verso l'esterno e verso ambienti non riscaldati e sostituendo i serramenti. Si considera poi la possibilità di intervenire sui sistemi di ombreggiamento per diminuire gli apporti solari, e di sostituire i sistemi di climatizzazione presenti con sistemi caratterizzati da efficienze e rendimenti più elevati. Si inseriscono impianti per la produzione di energia da fonte rinnovabile per l'adempimento del D.Lgs. 28 del 3 marzo 2011 [5].

Nella presente ricerca, per ogni misura di efficienza energetica analizzata, sono stati considerati più livelli prestazionali. Attraverso un'analisi di costo ottimale si è determinato l'insieme di misure di efficienza energetica con il minor costo globale, considerando una vita utile dell'edificio pari a trenta anni. Le misure analizzate prevedono l'utilizzo di tecnologie avanzate, ma di uso comune negli edifici di nuova progettazione. Le soluzioni determinate in questo lavoro possono pertanto essere replicate su edifici con caratteristiche analoghe.

1.2. STRUTTURA DEL LAVORO SVOLTO

Nel corso degli ultimi anni sta crescendo l'interesse verso la riqualificazione energetica degli edifici esistenti. Le principali leggi e norme a livello Europeo ed Italiano che regolano il campo energetico nell'edilizia sono in continuo aggiornamento (Capitolo 2). La direttiva 2012/27/UE [6] richiede che, ogni anno, il 3% degli edifici pubblici dotati di un sistema di riscaldamento e/o raffrescamento siano oggetto di riqualificazione energetica. In quest'ottica, il lavoro di tesi si concentra sulla diagnosi energetica di un edificio di edilizia residenziale pubblica. L'edificio oggetto di *audit* energetico è un condominio costruito agli inizi degli anni novanta, sito nel comune di Pianezza (Torino). La definizione di *social housing*, i dati e le informazioni in merito all'attuale situazione a Torino e in Italia dell'edilizia residenziale pubblica sono illustrati nel Capitolo 3.

La diagnosi energetica è lo strumento che permette, partendo dallo stato attuale dell'edificio, di valutare le misure di efficienza energetica necessarie al fine di migliorarne l'indice di prestazione energetica. Il Capitolo 4 introduce, inizialmente, la metodologia di diagnosi energetica generale prevista dalla norma UNI CEI EN 16247, parti 1, 2, 3 ([35],[36],[37]), e successivamente la metodologia dettagliata introdotta da [62] ed utilizzata ai fini dello svolgimento della tesi. Vengono poi descritti la metodologia di calcolo della prestazione energetica, il processo di ottimizzazione e la procedura di calcolo del costo globale. L'obiettivo è quello di individuare una serie di interventi di riqualificazione, e di

1. INTRODUZIONE

fornirne una graduatoria in funzione del costo globale e dell'indice di prestazione energetica, tra cui individuare la soluzione *cost-optimal* e la soluzione nZEB.

Dopo la scelta del caso studio, è stato necessario ricavare i dati sull'involucro edilizio e sugli impianti per la produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria, attraverso sopralluoghi in situ e l'utilizzo di documentazione fornita dall'Agenzia Territoriale per la Casa (ATC). Con l'ausilio di questionari sottoposti ai condomini sono state identificate le seguenti informazioni: l'utenza tipo, i profili di occupazione, apertura dei componenti trasparenti, gestione delle schermature solari e gestione delle tapparelle, la temperatura di *set-point* dell'impianto di riscaldamento e i consumi energetici, dovuti a riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (Capitolo 5).

Successivamente, è stato necessario realizzare su *DesignBuilder* [106] il modello tridimensionale dell'edificio oggetto di diagnosi correttamente orientato. La suddivisione in zone termiche, l'introduzione dei profili di utilizzo dei sistemi oscuranti e delle schermature solari, la determinazione degli apporti per ventilazione vengono editati sulla base di quanto indicato nei questionari, al fine di simulare l'edificio nelle sue reali condizioni di utilizzo (Capitolo 6).

Una volta terminata la fase preliminare di raccolta dei dati e di costruzione del modello su *DesignBuilder* [106], si sono svolte le prime valutazioni energetiche nella fase di *pre-retrofit*. Non avendo a disposizione informazioni attendibili relative a tutte le unità immobiliari (profili di occupazione, di gestione dell'appartamento e consumi), è stato identificato un appartamento di riferimento occupato da una famiglia tipo. L'appartamento individuato è stato oggetto delle prime valutazioni, *operational* e *tailored energy rating*. Il successivo processo di calibrazione ha permesso l'ottenimento di un modello di partenza che simulasse i consumi reali dell'utenza (*calibrated tailored rating*). Il modello calibrato riferito al singolo appartamento di riferimento è stato poi esteso all'intero edificio (Capitolo 7).

Conclusa la fase di *pre-retrofit*, sono state illustrate le misure di efficienza energetica considerate nel processo di ottimizzazione (Capitolo 8). Per ogni misura vengono definiti i livelli di prestazione energetica e i relativi costi. Gli interventi ipotizzati hanno come obiettivo l'ottemperamento dei limiti imposti dal D.M. 26/05/2015 [4]. Viene poi illustrata la procedura di ottimizzazione impiegata, i cui risultati sono stati forniti in funzione del generatore di calore (caldaia allo stato attuale, caldaia a condensazione, pompa di calore). È stato inoltre possibile identificare la soluzione con il minimo costo globale, *cost-optimal*, e la soluzione nZEB, per le quali è stata svolta una valutazione energetica ed è stato verificato l'adempimento dei limiti imposti da D.M. 26/05/2015 [4] (Capitolo 9).

Alcune misure di efficienza energetica ipotizzate (solai, involucro opaco, solare termico e sistema di generazione) sono state analizzate separatamente (analisi di sensibilità), al fine di

1. INTRODUZIONE

verificare quale effetto, in termini di riduzione del costo globale e dei consumi energetici, fosse determinato da ognuna delle soluzioni considerate (Capitolo 10). Sono infine state illustrate le principali difficoltà dovute all'utilizzo del software *DesignBuilder* [106] prima di procedere con le conclusioni finali (Capitolo 11).

2. QUADRO DI RIFERIMENTO LEGISLATIVO

Il “Rapporto sui limiti dello sviluppo” [63], 1972, è il primo documento che si interroga sulla sostenibilità delle politiche economiche, energetiche e sociali presenti nel mondo industrializzato. Sono necessari più di trenta anni affinché si affermi la volontà a livello mondiale di limitare le emissioni di gas a effetto serra dovute all’uomo attraverso la ratifica del “Protocollo di Kyoto”. Questo fu un primo ed importante passo verso nuove politiche energetiche intraprese in particolar modo a livello europeo e a livello italiano.

2.1. QUADRO EUROPEO

L’Unione Europea ha sviluppato come prosecuzione delle politiche volte a contrastare i cambiamenti climatici introdotti dal “Protocollo di Kyoto”, il “Pacchetto Clima Energia 20 20” [92]. Al termine di quest’ultimo entrerà in vigore il “Quadro per il clima e l’energia 2030” [92] e successivamente “Un’economia a basse emissioni di carbonio 2050” [92]. L’iter tracciato dai programmi adottati dall’Unione Europea promuove una riduzione dell’impatto ambientale che risulti compatibile con la crescita economica dei singoli paesi membri. In Tabella 2.1 possiamo osservare gli obiettivi a livello comunitario che si intendono raggiungere. Il trend di riduzione delle emissioni a effetto serra risulta evidente dalla tabella e viene attuato anche attraverso il “Sistema per lo scambio delle quote di emissione” (ETS UE) [92] che prevede una soglia di emissioni per gli impianti ad elevato consumo di energia che si riduce con il passare degli anni. Il sistema dovrebbe permettere di ridurre del 21% nel 2020 e del 43% nel 2030 le emissioni rispetto al 2005. Nel 2016, vista l’importanza delle iniziative volte a contrastare i cambiamenti climatici, è stato introdotto un nuovo pacchetto “Clean Energy for All Europeans” [93] adottato il 13 novembre 2018 che ha permesso l’inserimento di obiettivi più stringenti al 2030.

Tabella 2.1: Obiettivi imposti dalla strategia europea (Fonte: [92], [93])

Obiettivo	Pacchetto Clima Energia 2020	Quadro per il clima e l’energia 2030	Clean Energy for All Europeans package 2030	Economia a basse emissioni di carbonio 2050	
				60% al 2040	80% al 2050
Riduzione delle emissioni a gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990	20%	40%	45%	60% al 2040	80% al 2050
Produzione da FER (Fonti Energetiche Rinnovabili)	20%	27%	32%	[-]	[-]
Miglioramento dell’efficienza energetica	20%	27%	32,5%	[-]	[-]

La direttiva “Fonti Energetiche Rinnovabili” (Direttiva 2009/28/CE) [7] è lo strumento con il quale si intende ottenere un miglioramento dell’efficienza energetica. La direttiva assegna ad ogni stato membro un obiettivo nazionale generale al 2020, sulla base della quota

2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

di energia prodotta da fonte rinnovabile nel 2005, che permetta di ottenere una produzione da fonti energetiche rinnovabili al 2020 pari al 20% del totale. L'obiettivo nazionale generale per l'Italia è fissato al 17% considerando una produzione da fonte rinnovabile pari al 5,2% del totale al 2005. Ogni stato comunitario ha provveduto ad adottare un "Piano di Azione Nazionale" (PAN) nel quale erano previste le misure da adottare e gli obiettivi da raggiungere al 2020 per la produzione da fonte rinnovabile nei seguenti settori: elettricità, raffrescamento e riscaldamento, trasporti.

Per quanto concerne il miglioramento dell'efficienza energetica nell'edilizia, è necessario concentrarsi su una progettazione di edifici a basso consumo e sul maggior utilizzo di fonti rinnovabili per sopperire ai fabbisogni energetici dell'utenza. La direttiva 2002/91/CE [1] sul rendimento energetico nell'edilizia, nota anche come "Energy Performance of Buildings Directive" (EPBD) aveva come obiettivi: l'introduzione di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico degli edifici, la definizione di requisiti minimi per edifici di nuova costruzione, l'introduzione della certificazione energetica degli edifici e la regolamentazione delle ispezioni di caldaie e sistemi di condizionamento dell'aria.

La direttiva sulla prestazione energetica dell'edilizia [8], nota anche come "EPBD Recast", è stata pubblicata dopo la risoluzione del 31 gennaio 2008, nella quale il Parlamento Europeo chiedeva di rafforzare quanto previsto dalla direttiva precedente [1] e si concentra sui consumi energetici dovuti al settore edilizio. Considerando, infatti, come riportato nell'aggiornata direttiva UE 2018/844 [9], che il *"50% del consumo dell'energia finale nell'Unione è usato per riscaldamento e raffrescamento, di cui l'80% negli edifici"*, l'aumento dell'efficienza energetica, la riduzione dei consumi e l'aumento della quota di rinnovabili utilizzata per soddisfare il fabbisogno energetico permetteranno di ridurre notevolmente le emissioni ad effetto serra e la dipendenza energetica degli stati membri dell'Unione Europea.

La direttiva "EPBD Recast" [8] fornisce la metodologia per il calcolo della prestazione energetica degli edifici (art. 3). Essa richiede che gli stati membri fissino dei requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici, da riesaminare ogni cinque anni, per la diminuzione dei consumi e che essi siano definiti sia per edifici nuovi (art. 6) che per edifici già esistenti (art. 7). Viene inoltre sancito che entro il 31 dicembre 2018 tutti i nuovi edifici pubblici e entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano ad energia quasi zero (art. 9). Per edificio a energia quasi zero (*nearly Zero Energy Building, nZEB*), come indicato da "EPBD Recast" [8], si intende un *"edificio ad altissima prestazione energetica"* in cui *"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"*. Infine, viene introdotta l'Attestazione di Prestazione Energetica (APE) (art. 11, 12, 13) rilasciata da esperti indipendenti (art. 17) che si occuperanno anche delle ispezioni degli impianti di riscaldamento e di condizionamento d'aria (art. 15, 16).

2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

La direttiva 2012/27/UE [6] si propone quale strumento per eliminare gli ostacoli presenti nel mercato dell'energia e fissa obiettivi minimi in ambito di efficienza energetica. Ad ogni stato membro viene richiesto di individuare un obiettivo di efficienza energetica che permetta di raggiungere un consumo di energia primaria per l'intera Unione Europea non superiore a 1474 Mtoe (Mega tonnellate di olio equivalente) al 2020 (art. 3). Ogni stato deve introdurre politiche a lungo termine volte ad incrementare le ristrutturazioni degli edifici (art. 4) e deve garantire che, a partire dal 1° gennaio 2014, almeno il 3% della superficie degli edifici pubblici sottoposti a riscaldamento e/o raffrescamento ogni anno venga riqualificata secondo i requisiti minimi imposti da [8] (art. 5). Gli stati membri devono permettere a chiunque di poter ottenere *audit* energetici economicamente sostenibili e accurati. Devono ampliarne la diffusione presso le piccole e medie imprese (PMI) attraverso specifici programmi e presso le famiglie. Devono infine garantire che le grandi imprese redigano la diagnosi energetica entro il 5 dicembre 2015 e che successivamente, una volta ogni quattro anni, essa sia correttamente aggiornata (art. 8).

L'interesse verso il settore edilizio è notevole in quanto è possibile individuare delle soluzioni tecnico-impiantistiche, in fase di progettazione per gli edifici di nuova costruzione o in fase di riqualificazione per gli edifici in fase di ristrutturazione, che permettano di diminuire i consumi, di ridurre le emissioni e di essere economicamente convenienti. La continua attenzione mostrata dall'Unione Europea nei confronti del contenimento dei consumi e del miglioramento energetico si riscontra nel continuo aggiornamento della direttiva sulla prestazione energetica degli edifici. Dopo le due precedenti, "EPBD" [1] ed "EPBD Recast" [8], è stata pubblicata nel maggio del 2018 la nuova direttiva UE 2018/844 [9] che modifica anche quanto previsto dalla direttiva 2012/27/UE [6]. Gli obiettivi della nuova direttiva sono:

- la pianificazione da parte degli stati membri di "*strategie di ristrutturazione a lungo termine*" che permettano di ottenere nel 2050 un "*parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica*" (art. 2 bis). Tali strategie dovranno inoltre prevedere finanziamenti a cui dovranno accedere anche le categorie più in difficoltà, come i "*consumatori in condizioni di povertà energetica*" e "*l'edilizia popolare*";
- la promozione degli investimenti nell'ambito dell'efficienza energetica;
- la costruzione di edifici nuovi (art. 6) e la ristrutturazione di quelli esistenti (art. 2 bis) considerando anche i requisiti da rispettare in materia di attività sismica e di incendi;
- la promozione di misure volte all'aumento e al consolidamento dell'elettromobilità richiedendo l'installazione di un punto di ricarica per veicoli elettrici in edifici di nuova costruzione o sottoposti a ristrutturazione importante con più di dieci posti auto e la predisposizione di condotte per la futura installazione di un punto di ricarica ogni cinque posti auto (art. 8);

2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

- la promozione di sistemi intelligenti che siano in grado di adattare l'uso dell'edificio all'utenza reale mediante la *“definizione di indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza”* (art. 8);
- l'innalzamento della soglia di potenza per l'ispezione degli impianti di riscaldamento (art. 14) e per gli impianti di condizionamento dell'aria (art. 15);
- l'installazione di sistemi di automazione e controllo per edifici non residenziali entro il 2025 che determinino un vantaggio economico ed energetico (art. 14, 15).

È pertanto evidente che l'obiettivo finale dell'Unione Europea sia quello di ridurre l'impatto causato dal settore edilizio. Il raggiungimento degli obiettivi previsti dal programma in materia di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra previste da *“Economia a basse emissioni di carbonio 2050”* [92] dipenderà anche dalla rapida implementazione delle direttive a livello di singolo stato. La riduzione dei consumi, il miglioramento della prestazione energetica di tutto il parco edilizio, il corretto uso da parte dell'utenza degli ambienti riscaldati, una maggior consapevolezza degli impatti ambientali legati al consumo energetico saranno di fondamentale importanza per un futuro *“sistema energetico sostenibile, competitivo e decarbonizzato entro il 2050”* come indicato dalla direttiva UE 2018/844 [9].

2.2. QUADRO ITALIANO

Attualmente, dal momento che non è ancora stata recepita la nuova direttiva europea 2018/844/EU [9], a livello italiano sono presenti il D.Lgs. 192/2005 [10] e le sue modifiche e integrazioni che recepiscono quanto previsto dalle direttive *“EPBD”* [1] e *“EPBD recast”* [8], e il D.Lgs. 28/2011 [5] che recepisce la direttiva 2009/28/CE [7]. Il quadro di riferimento normativo italiano è schematizzato in Figura 2.1.

2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

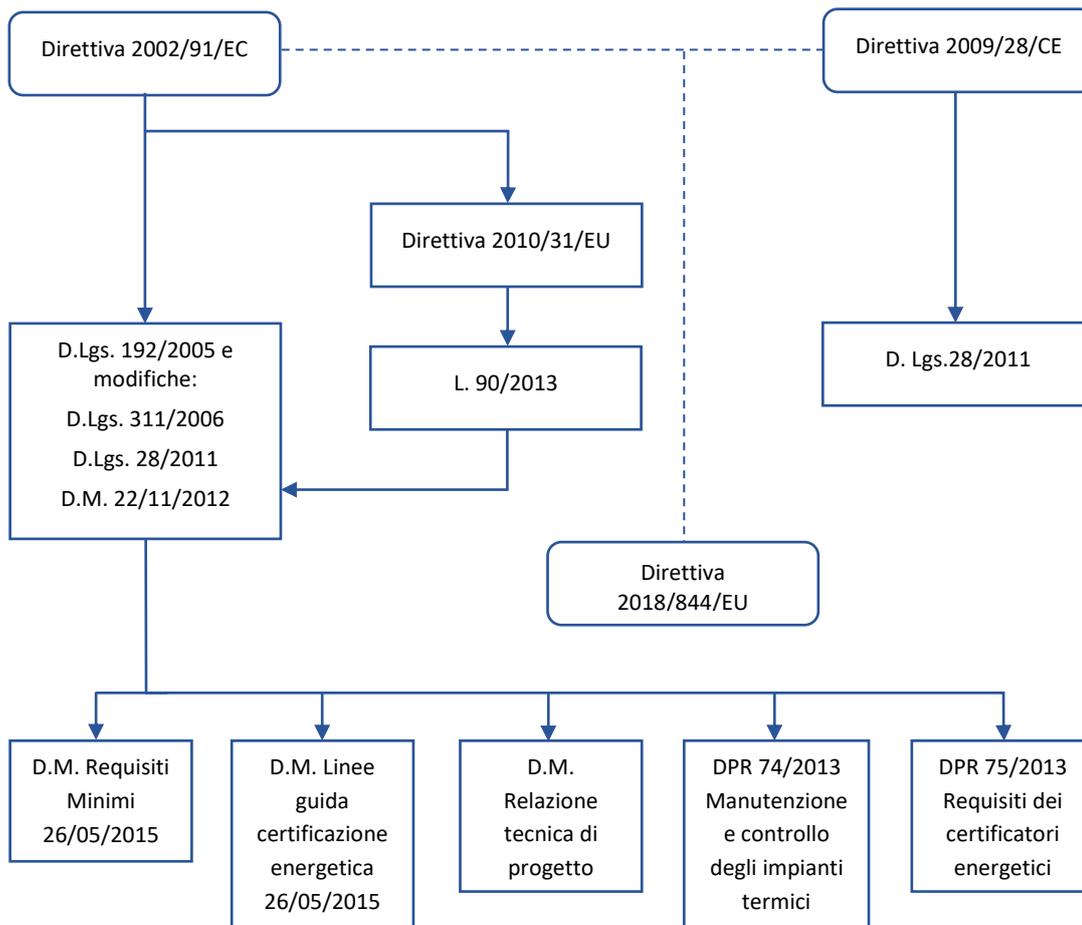


Figura 2.1: Quadro energetico legislativo al 2018 (Fonte: [64])

I principali obiettivi previsti dal D.Lgs. 192/2005 [10] e s.m.i. sono:

- miglioramento continuo della prestazione energetica;
- promozione dell'uso delle fonti rinnovabili per coprire i fabbisogni energetici dell'edificio;
- determinare i criteri per la predisposizione degli APE e per l'utilizzo di tali informazioni durante la compravendita degli immobili;
- attuare verifiche periodiche dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento in modo tale da ridurre i consumi e le emissioni di diossido di carbonio (CO₂);
- promuovere la competizione tra le industrie attraverso lo sviluppo tecnologico;
- raggiungere gli obiettivi di riduzione dei consumi energetici e di diminuzione delle emissioni;
- garantire che la legislazione venga applicata su tutto il territorio in maniera uniforme;
- promuovere un corretto utilizzo dell'energia da parte dell'utenza.

2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

La legge 90/2013 [11] recepisce quanto previsto dall' "EPBD Recast" [8] aggiornando il D.Lgs. 192/2005 [10]. In particolare, inserisce il concetto di "edificio a energia quasi zero", richiede di allegare in fase di vendita o di affitto l'attestato di prestazione energetica, richiede che gli edifici di nuova costruzione o sottoposti a ristrutturazione importante siano corredati di APE e conferma le detrazioni fiscali fino al termine del 2013.

Per il raggiungimento degli obiettivi del decreto legislativo sono stati emessi diversi decreti attuativi. I principali sono i tre decreti ministeriali:

- D.M. 26/05/2015 – Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici [4];
- D.M. 26/05/2015 – 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 degli edifici [12];
- D.M. 26/05/2015 – Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali sulla certificazione energetica degli edifici [13].

Il decreto ministeriale "Requisiti Minimi" [4] definisce "le modalità di applicazione della metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici" e definisce "le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici". Il Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) ha poi emesso due documenti contenenti "Chiarimenti in materia di efficienza energetica edilizia" al fine di fornire ulteriori informazioni e risolvere eventuali dubbi. Il secondo documento [65], pubblicato in agosto 2016, integra e amplia le informazioni fornite in [4].

Attualmente nella Regione Piemonte vi è una contemporanea presenza del D.M. 26/05/2015 [4] e del D.G.R. 46 – 11968 [14], modificato dal D.G.R. 29 – 3386 [15] per "evitare incertezze" nell'applicazione del decreto sui requisiti minimi a seguito del riscontro di diverse criticità. In fase di progettazione e/o ristrutturazione è richiesto l'adempimento dei requisiti imposti da entrambi i decreti.

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

Dopo aver introdotto il quadro di riferimento normativo si procede con un'analisi delle caratteristiche degli edifici ad uso residenziale e con la definizione di social housing.

3.1. PARCO EDILIZIO IN ITALIA

L'ultimo censimento dell'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) del 2011 [94] ha determinato come in Italia siano presenti quasi 12'200'000 edifici di natura residenziale. Le abitazioni, secondo una recente ricerca del CRESME [66], comportano annualmente per l'Italia un consumo energetico complessivo (energia elettrica ed energia termica) di circa 319'000 GWh a cui corrisponde un costo annuale di 45,2 miliardi di euro.

I risultati di un'accurata analisi delle caratteristiche dell'attuale patrimonio edilizio, basata principalmente su rielaborazioni del progetto di ricerca EPISCOPE [67], oltre che elaborazioni di banche dati ISTAT [91] ed europee [95], sono di seguito riportati. Per semplicità e congruenza con i dati riportati dal progetto EPISCOPE [67], i dati vengono riaggregati secondo quanto previsto dalla Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Criterio di classificazione (Fonte: [67])

ZONA CLIMATICA		REGIONI	Criterio di classificazione	
			[-]	Gradi Giorno
Mediterranea	<i>A, B, C, D</i>	Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Liguria, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana	Maggior parte dei comuni con numero di Gradi Giorno	fino a 2100
Media	<i>E</i>	Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Umbria, Veneto		da 2100 a 3000
Alpina	<i>F</i>	Trentino Alto Adige, Valle d'Aosta		più di 3000

Considerando la suddivisione sopra esposta la quota maggiore di edifici residenziali si trova nella zona climatica Mediterranea. Più del 45% degli edifici si trova nelle zone climatiche E ed F a cui corrispondono più di 2100 Gradi Giorno, come visibile in Figura 3.1. Dai dati presenti in Figura 3.2 si evince come più del 56% degli edifici di tipo residenziale siano stati edificati prima del 1976, anno in cui, a seguito della prima crisi petrolifera, fu introdotta la prima legge per il contenimento dei consumi in ambito edilizio (Legge n. 373/76 [2]). I fabbricati costruiti precedentemente all'entrata in vigore di norme volte alla riduzione dei consumi energetici [2] sono generalmente caratterizzati da isolamento assente e/o non uniforme e serramenti con valori di trasmittanza molto elevati. Necessitano quindi di interventi di efficienza energetica per il contenimento dei consumi.

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

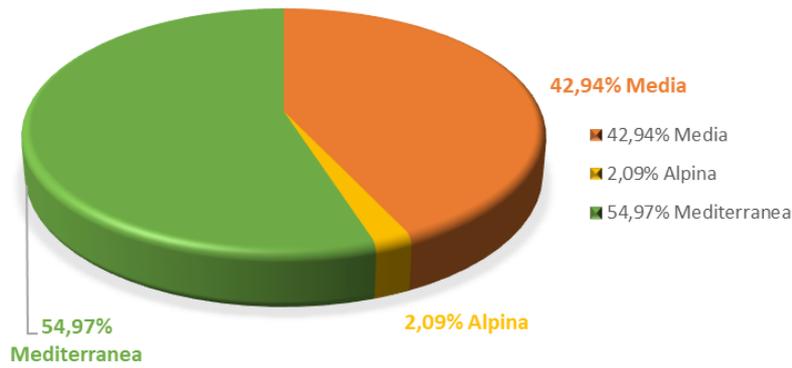
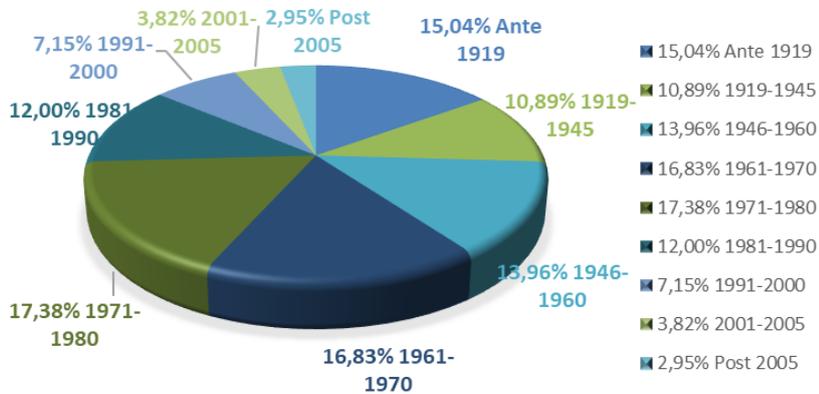


Figura 3.1: Edifici residenziale in funzione della zona climatica (Fonte: [67])



a)



b)

Figura 3.2: a) Edifici residenziali in funzione dell'epoca di costruzione; b) Classificazione edifici in funzione dell'epoca di costruzione e della zona climatica (Fonte: [67])

La trasmittanza termica negli edifici di nuova costruzione ha visto una graduale diminuzione durante gli anni. Per quanto concerne l'involucro edificio si è passati da valori di 2,8 W/m²K prima del 1945 a valori di 1,8 W/m²K dopo il 2010 (Figura 3.3).

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

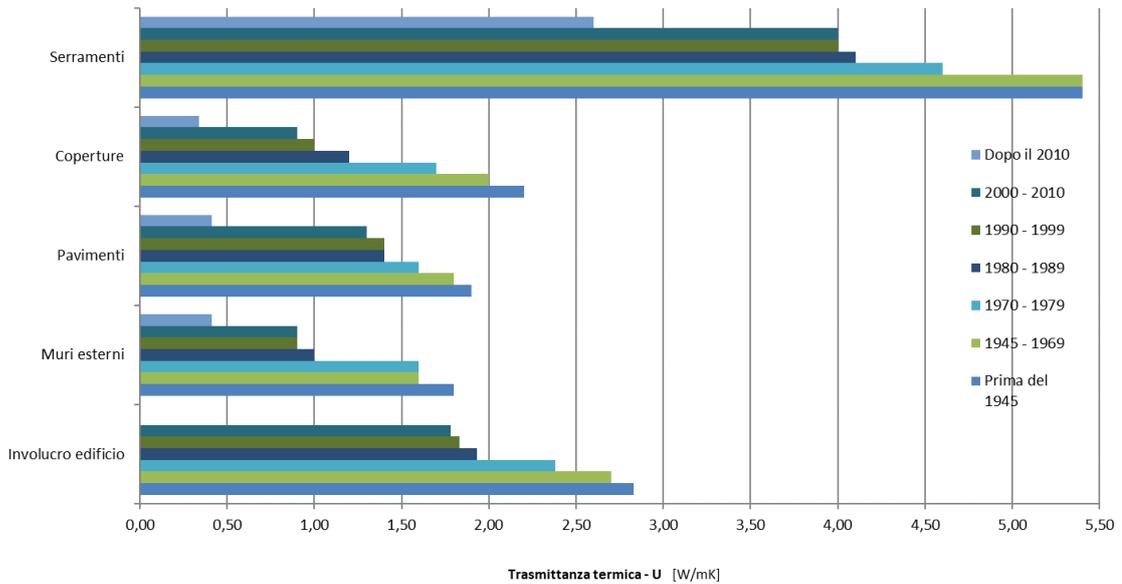


Figura 3.3: Trasmittanza termica involucro edificio per periodo di costruzione (Fonte: [96])

Anche concentrandosi sulla regione Piemonte è possibile verificare una progressiva riduzione della trasmittanza dell’involucro opaco e dei serramenti, in analogia con quanto verificato sul territorio nazionale, come evidenziato dalla ricerca EPISCOPE [67]. In Piemonte già al 1990 il 60% degli edifici in costruzione prevedeva trasmittanze termiche dei serramenti comprese nel range 2,2 – 3,8 W/m²K, contrariamente ai valori medi di 4 W/m²K a livello italiano nello stesso periodo.

Per quanto concerne la tipologia di impianto di riscaldamento, come si evince dalla Tabella 3.2, il più utilizzato sia a livello nazionale (60,5%) che a livello del Piemonte (49,0%) è l’impianto autonomo. La seconda tipologia di impianto maggiormente impiegato è quello centralizzato che è presente al 18,8% a livello nazionale e al 34,7% a livello del Piemonte.

Tabella 3.2: Tipologia d’impianto di riscaldamento in funzione della zona climatica e per la regione Piemonte (Fonte: [67])

ZONA CLIMATICA	Impianto centralizzato ad uso di più abitazioni	Impianto autonomo ad uso esclusivo dell’abitazione	Apparecchi singoli affissi che riscaldano l’intera abitazione, o la maggior parte di essa	Apparecchi singoli fissi che riscaldano alcune parti dell’abitazione
Mediterranea	14,7%	61,6%	10,3%	13,4%
Media	21,5%	60,7%	6,4%	11,4%
Alpina	35,3%	36,4%	8,9%	19,5%
Totale	18,8%	60,5%	8,3%	12,5%
Piemonte	34,7%	49,0%	6,2%	10,1%

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

In Tabella 3.3 si riportano le tipologie più utilizzate per la produzione di acqua calda sanitaria. Sia a livello nazionale (74,8%) che a livello piemontese (62,8%) la produzione di acqua calda sanitaria viene effettuata dal medesimo impianto di produzione dell'energia termica.

Tabella 3.3: Tipologia d'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria in funzione della zona climatica e per la regione Piemonte (Fonte: [67])

ZONA CLIMATICA	Impianto riscaldamento senza acqua calda	Impianto di riscaldamento ed acqua calda prodotta esclusivamente dallo stesso impianto	Impianto di riscaldamento ed acqua calda prodotta da un impianto diverso	Impianto di riscaldamento ed acqua calda prodotta da un impianto diverso		
				Prodotta da un impianto ad energia elettrica	Prodotta da un impianto ad energia solare	Prodotta da un altro tipo di impianto
Mediterranea	0,7%	71,1%	28,2%	54,3%	4,1%	41,6%
Media	0,6%	78,1%	21,4%	27,3%	7,0%	65,7%
Alpina	1,0%	77,8%	21,2%	30,4%	30,4%	39,3%
Totale	0,6%	74,8%	24,5%	41,7%	5,9%	52,4%
Piemonte	0,8%	62,8%	36,4%	34,8%	4,1%	61,1%

Sia a livello nazionale (68,7%) che a livello del Piemonte (70,5%) il combustibile più utilizzato risulta essere il gas naturale (Tabella 3.4). Seguono poi i combustibili solidi, gasolio e Gas di Petrolio Liquefatto (GPL).

Tabella 3.4: Tipologia di combustibile in funzione della zona climatica e per la regione Piemonte (Fonte: [67])

ZONA CLIMATICA	Metano, gas naturale	Gasolio	GPL	Combustibile solido (legna, carbone, ecc.)	Olio combustibile	Energia elettrica	Altro combustibile o energia
Mediterranea	64,1%	4,7%	6,5%	15,1%	0,1%	8,0%	1,6%
Media	73,9%	4,7%	3,0%	12,9%	0,1%	3,0%	2,4%
Alpina	43,0%	16,4%	3,9%	28,9%	1,2%	1,5%	5,1%
Totale	68,7%	4,9%	4,6%	14,3%	0,1%	5,2%	2,1%
Piemonte	70,5%	6,2%	3,2%	14,0%	0,2%	1,5%	4,4%

3.2. SOCIAL HOUSING IN ITALIA E A TORINO

Secondo "L'annuario statistico italiano 2018" [97] e il report "La povertà in Italia" [98] redatti dall'ISTAT, al 2017 l'8,4% dell'intera popolazione risulta in povertà assoluta e il 15,6% in povertà relativa. La soglia di povertà assoluta, come riportato dall'annuario [97], rappresenta la "spesa mensile minima necessaria per acquisire un paniere di beni e servizi che, nel contesto

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

italiano e per una famiglia con determinate caratteristiche, è considerato essenziale a uno stile di vita minimamente accettabile". La povertà relativa si basa su una soglia convenzionale di spesa detta linea di povertà calcolata per una famiglia di due componenti [98]. Una famiglia di due componenti con una spesa inferiore alla soglia è in condizioni di povertà relativa, per famiglie con un numero di componenti maggiore a due, si utilizza una opportuna scala di equivalenza per modificare la soglia di povertà.

La banca dati EUROSTAT [95] riporta, invece, come, al 2017, il 28,9% dell'intera popolazione sia a rischio di povertà o di esclusione sociale, e che il 10,1% della popolazione sia in condizione di deprivazione materiale. Per persone a rischio di povertà si intende coloro che si trovano al di sotto della soglia di rischio povertà, *"fissata al 60% dell'equivalente reddito disponibile medio nazionale (dopo l'erogazione di prestazioni sociali)"* [95]. Per persone che vivono in condizioni di deprivazione materiale si intendono coloro che a causa della situazione economica che li coinvolge hanno manifestato l'impossibilità di fare fronte ad almeno 4 delle seguenti 9 condizioni [95]:

- i) pagare le bollette per i servizi o l'affitto;
- ii) mantenere l'appartamento sufficientemente riscaldato;
- iii) provvedere a spese inaspettate;
- iv) mangiare carne, pesce o proteine equivalenti ogni giorno come secondo;
- v) effettuare una vacanza all'esterno delle mura domestiche;
- vi) acquistare una macchina;
- vii) acquistare una lavatrice;
- viii) acquistare una televisione a colori;
- ix) acquistare un telefono.

I dati sopramenzionati mostrano come politiche di inclusione sociale siano necessarie al fine di garantire uno standard di vita accettabile alle fasce di popolazione in difficoltà. Le politiche sociali per la casa, note anche come politiche di *social housing* rientrano tra queste.

La definizione maggiormente utilizzata per social housing è quella fornita dal CECHODAS (European Federation of Public, Cooperative & Social Housing) che fa riferimento a *"soluzioni abitative per quei nuclei familiari i cui bisogni non possono essere soddisfatti alle condizioni di mercato e per le quali esistono regole di assegnazione"* [99]. A livello italiano si distinguono tre tipologie di edilizia residenziale come riportato dal "Report Monografico" di Cassa Depositi e Prestiti [68]:

- 1) edilizia sovvenzionata - alloggi affittati a famiglie appartenenti alle classi più basse di reddito;

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

- 2) edilizia agevolata - affitto o vendita di alloggi alle famiglie rispondenti a determinati requisiti ed appartenenti alle classi di reddito medio-basse;
- 3) edilizia convenzionata - accordo tra enti privati e comuni al fine di realizzare alloggi a prezzi accessibili per le classi meno abbienti.

Il panorama italiano che ha portato alle tre tipologie di edilizia residenziale sopracitate ha avuto inizio con la Legge Luzzatti (Legge 31 maggio 1903 n. 254 [16]). Nel 1908, con il Regio Decreto 1908, n.89 [17] vennero introdotti gli "Istituti Autonomi per le Case Popolari" (IACP) con l'unico fine di effettuare operazioni in materia di case popolari. Nel dopoguerra venne introdotto il "Piano INA-Casa" [18], che venne poi modificato in "Gestione GESCAL" [19], con l'obiettivo di fornire case ai lavoratori attingendo direttamente dalle retribuzioni dei lavoratori e dai contributi delle imprese. Fino agli anni '70 il controllo delle politiche sociali era rimasto di natura statale. La Legge n. 865 del 22 ottobre 1971 [20] e il D.P.R. n. 1035 del 30 dicembre 1972 [21] portarono all'introduzione dell'"Edilizia Residenziale Pubblica" (ERP) in cui furono inseriti tutti gli alloggi costruiti o in costruzione sovvenzionati in parte o totalmente con soldi pubblici. La responsabilità per la gestione e programmazione dei piani ERP venne affidata alle regioni. La "Gestione GESCAL" fu soppressa e personale e beni furono riassegnati all'IACP. Con il D.P.R. 616/1977 [22] e la Legge 457/1978 [23] le rimanenti funzioni amministrative ancora in capo allo stato furono assegnate alle regioni e l'assegnazione degli alloggi fu affidata ai comuni. Con il comma 33 dell'articolo 145 della Legge 23 dicembre 2000, n. 338 (Finanziaria 2001) [24] e l'articolo 3 della Legge 8 febbraio 2001, n.21 [25] lo stato delineò gli interventi di natura finanziaria necessari al fine di aumentare gli alloggi in locazione permanente. I tre successivi Decreti Ministeriali del 27 dicembre 2001 ([26],[27],[28]) portarono all'introduzione di tre iniziative per omogeneizzare il ventaglio di opportunità che si era originato: il programma "20'000 abitazioni in affitto" [26] gestito dalle Regioni, il programma "Alloggi in affitto per gli anziani degli anni 2000" [27] e i "Contratti di quartiere II" [28]. Vennero introdotti anche la ripartizione dei costi in funzione della tipologia di locazione (temporanea, intermedia, permanente) e l'onere delle Regioni di definire il contributo pubblico con un tetto massimo del 50%. Il continuo incremento delle richieste all'ERP, +283% di richieste al 2008 rispetto al 1993 [68] portarono all'introduzione del "Piano Casa". L'articolo 11 del D.L. 25 giugno 2008, n.112 [29] e il successivo articolo 1 del d.p.C.m. 16 luglio 2009 [30] hanno introdotto e delineato il "Piano nazionale di edilizia abitativa". L'obiettivo è l'utilizzo di capitali privati e pubblici al fine di costruire nuove abitazioni o di ristrutturare quelle esistenti principalmente per nuclei familiari che si trovano nella "zona grigia" [68] ovvero in condizioni economiche tali da non poter accedere all'ERP, ma da essere ugualmente considerate di disagio economico-sociale. Nel 2014 il "Piano Casa" ha subito una revisione con il d.l. 47/2014 [31] al fine di rilanciare ed incrementare l'offerta di ERP e migliorare lo sviluppo del *social housing*.

Riducendo la scala d'analisi a livello della Regione Piemonte, nel 2006 è stato introdotto il "Programma casa: 10'000 alloggi entro il 2012" [32] con l'obiettivo di selezionare 10'000 alloggi di edilizia sociale da realizzare o ristrutturare entro il 2012.

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

Considerando la realtà di Torino, il comune ha istituito nel 2000 Lo.C.A.Re. (Locazioni Convenzionate Assistite Residenziali). L'Immobiliare Sociale Comunale si occupa di affittare appartamenti a prezzi convenzionati a famiglie in condizioni di emergenza abitativa, tutelando contro il rischio di morosità i proprietari, ed intervenendo con un incentivo economico una tantum. Fornisce consulenza a famiglie in condizioni di difficoltà economica e a proprietari che intendano affittare alloggi a canoni convenzionati. Dal 2004 ha avuto in gestione parte degli alloggi dell'Agenzia Territoriale per la Casa (ATC, ente pubblico per la gestione e costruzione di alloggi di edilizia popolare) per locazioni convenzionate di lunga durata.

Tra il 2004 e il 2017 Lo.C.A.Re. ha prodotto 391 contratti di locazione su 432 alloggi disponibili. Di questi, 318 unità immobiliari sono in gestione ATC e 113 unità immobiliari sono di proprietà pubblica [69]. Le principali cifre in merito agli alloggi di edilizia residenziale sociale a Torino e dei richiedenti sono riportate rispettivamente in Figura 3.4 e in Figura 3.5 e di seguito elencate [69]:

- 17'761 alloggi di edilizia sociale pari al 3,6% del totale delle unità abitative (come nel 2016);
- 73% degli alloggi ha una metratura compresa tra i 45 e i 95 m²;
- 68% degli alloggi costruito prima del 1/1/1991;
- 16'044 nuclei familiari hanno partecipato al VI bando generale per l'assegnazione degli alloggi (bando aperto in data 23/01/2012 e terminato in data 18/11/2016, il VII bando generale è stato aperto in data 19/02/2018);
- 42% dei nuclei familiari presenta un indice di gravità del disagio abitativo con punteggio uguale o superiore a 10;
- 2'369 nuclei familiari (13% del totale) presentano un indice di gravità del disagio abitativo uguale o superiore a 11 e quindi rientrano tra coloro che hanno diritto alla casa pubblica;
- nel 2017 assegnati 611 alloggi di edilizia sociale (dal 1996 in media vengono assegnati 551 alloggi all'anno);
- nel 2017 il 61% delle assegnazioni effettuate verso cittadini Italiani;
- nel 2017 le assegnazioni da bando generale sono state il 54%;
- 391 alloggi affittati tramite Lo.C.A.Re. con locazione media mensile al 2017 di 315 €.

3. ANALISI DELLA TIPOLOGIA AD USO RESIDENZIALE E SOCIAL HOUSING

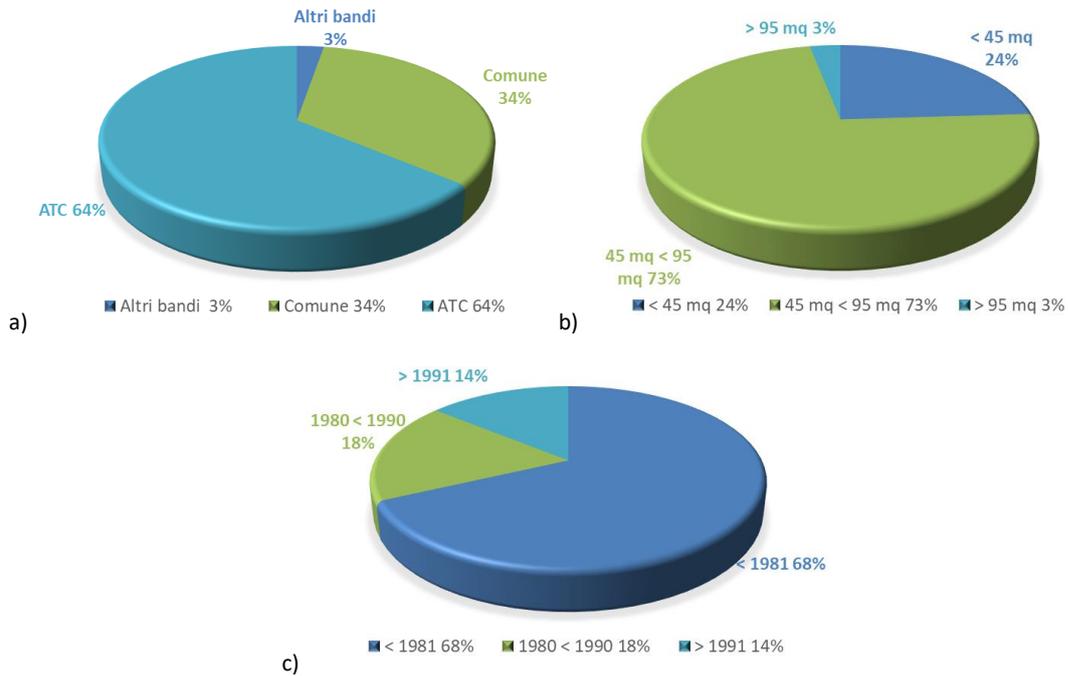


Figura 3.4: Alloggi di edilizia residenziale sociale a Torino: a) Proprietà degli alloggi; b) Classificazione in funzione della dimensione; c) Classificazione in funzione del periodo di costruzione (Fonte: [69])

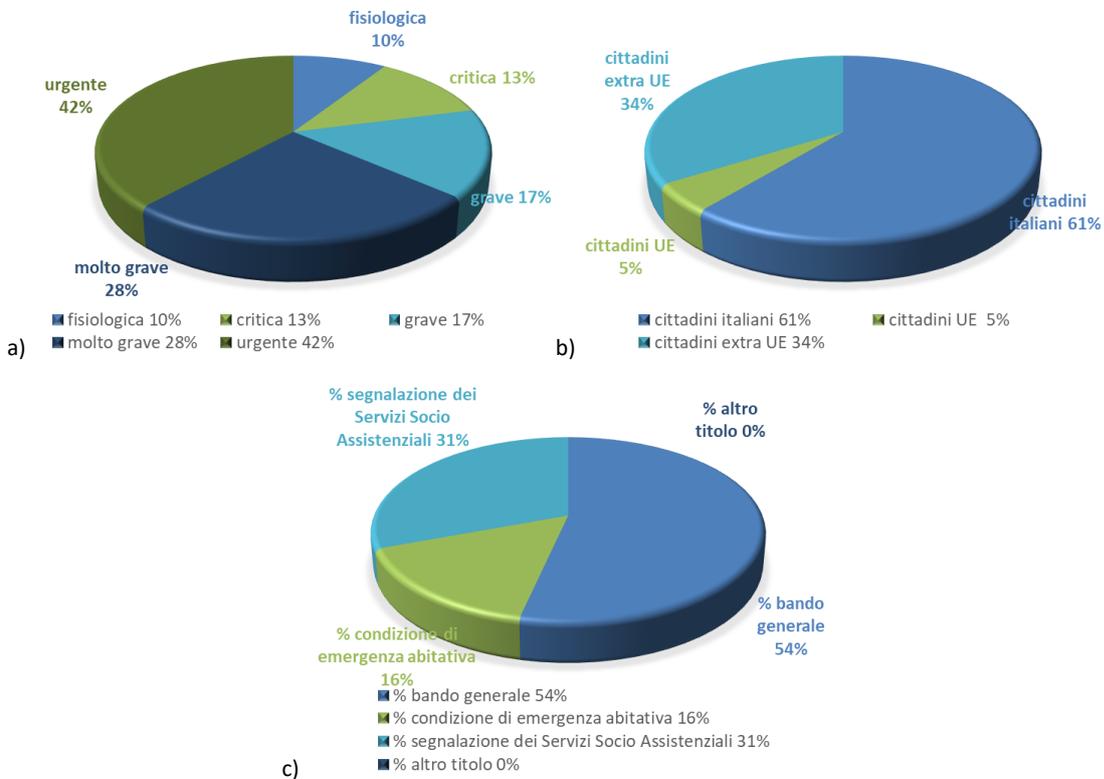


Figura 3.5: Nuclei familiari richiedenti assegnazione alloggi Torino: a) Classificazione in funzione dell'indice di gravità del disagio abitativo VI bando generale; b) Classificazione in funzione della nazionalità nel 2017; c) Classificazione in funzione della tipologia di assegnazione nel 2017 (Fonte: [69])

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Lo svolgimento di una diagnosi energetica si concentra sull'implementazione di quanto previsto dalla norma UNI CEI EN 16247 parti 1, 2, 3 ([35],[36],[37]). Nel dettaglio viene descritta la metodologia introdotta dalla norma di riferimento, la metodologia adottata in questo studio ed introdotta da [62]. Vengono poi descritti la metodologia di calcolo della prestazione energetica, il processo di ottimizzazione e la procedura di calcolo del costo globale che hanno permesso di ottenere la soluzione *cost-optimal* e la soluzione nZEB.

4.1. METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Metodologia generale di diagnosi energetica

Il lavoro svolto si concentra sullo sviluppo di una diagnosi energetica approfondita in accordo con quanto previsto dalla norma tecnica UNI CEI EN 16247 parti 1, 2, 3 ([35],[36],[37]). Lo schema presentato dalla norma è riportato in Figura 4.1.

Nella fase preliminare vengono stabiliti il grado di dettaglio, i tempi necessari allo svolgimento della diagnosi, i dati richiesti all'utenza e, qualora necessario, vengono installati strumenti di misura (punto 1). Durante l'incontro d'avvio viene nominato una persona come responsabile della diagnosi energetica che farà da interlocutore tra l'auditor, colui che redige la diagnosi, e l'utenza e si individuano delle date in cui svolgere i sopralluoghi (punto 2).

Terminata questa prima fase, si raccolgono le bollette delle forniture energetiche relative ai vettori energetici impiegati e si individuano i fattori di aggiustamento che permettono una più corretta analisi dei consumi (punto 3, 4). Qualora disponibili, vengono richiesti documenti di progetto, schede tecniche relative agli impianti installati e ai serramenti installati, studi e diagnosi energetiche già condotte in passato. A seguito dell'analisi di questi dati (punto 5) si può ritenere conclusa la prima valutazione, chiamata *operational rating* nella quale si mettono in relazione i consumi reali e l'uso reale dell'edificio e si calcola l'indice di prestazione effettiva. Si procede con la valutazione adattata all'utenza reale considerando le abitudini dell'utenza, *tailored rating*, (punti 7 e 8) per ottenere un indice di prestazione operativo.

Il confronto tra l'indice di prestazione effettiva e l'indice di prestazione operativo indica la bontà dell'analisi svolta. Nell'ipotesi in cui i due indici non siano confrontabili sarà necessario tornare ai punti (punti 3, 4) per calibrare il modello. Gli indici statistici per determinare l'adattabilità del modello all'edificio reale sono definiti in funzione del settore di intervento. A seguito della calibrazione si otterranno due indici confrontabili (punto 9) e

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

pertanto si otterrà un modello maggiormente aderente all'utilizzo dovuto all'utenza. Il processo di calibrazione viene ritenuto particolarmente utile laddove si intenda effettuare un intervento di riqualificazione energetica e si vogliano determinare i risparmi economici ottenibili.

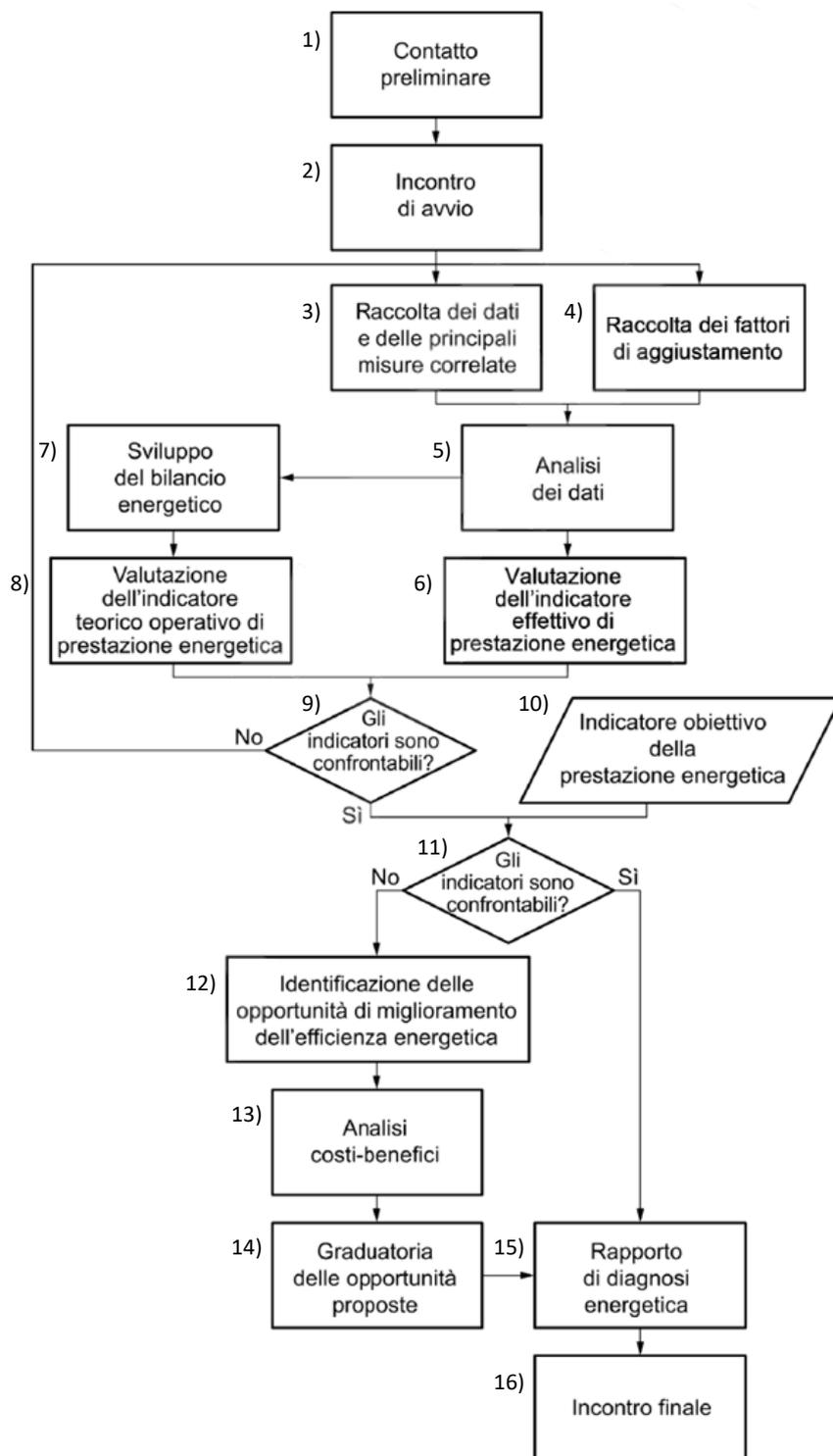


Figura 4.1: Processo diagnosi energetica (Fonte: Appendice A [37])

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Successivamente si individua l'indicatore obiettivo di prestazione energetica (punto 10), ovvero l'indicatore di prestazione energetica dell'edificio di riferimento. Per edificio di riferimento, come riportato da D.M. 26/05/2015 [4], si intende *“un edificio identico a quello oggetto della progettazione per geometria, orientamento, ubicazione, geografia, destinazione d'uso e tipologia d'impianto, avente però caratteristiche termiche ed energetiche predeterminate”*. Se l'indice di prestazione obiettivo e quello operativo (punto 11) non risultano confrontabili, si rende necessario lo studio di soluzioni tecnico-impiantistiche per un miglioramento della prestazione energetica dell'edificio (punto 12). Lo studio di soluzioni migliorative dovrà prevedere anche un'analisi costi-benefici (punto 13) così da poter determinare le soluzioni ottimali sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista economico (punto 14).

Nel momento in cui i due indici risulteranno confrontabili, l'analisi potrà ritenersi conclusa e si potrà procedere con la stesura del rapporto di diagnosi energetica (punto 15). Al suo interno verranno indicate le misurazioni condotte, verranno riassunte le analisi condotte indicando le ipotesi utilizzate e verranno presentate le soluzioni di miglioramento dell'efficienza energetica in funzione dell'analisi costi benefici effettuata.

L'incontro finale (punto 16) permette all'*auditor* energetico di consegnare il rapporto di diagnosi energetica e di spiegare i risultati ottenuti.

Metodologia diagnosi energetica adottata

Più in dettaglio, lo schema seguito per lo sviluppo della diagnosi energetica è quello presentato in Figura 4.2 sviluppato da [62].

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

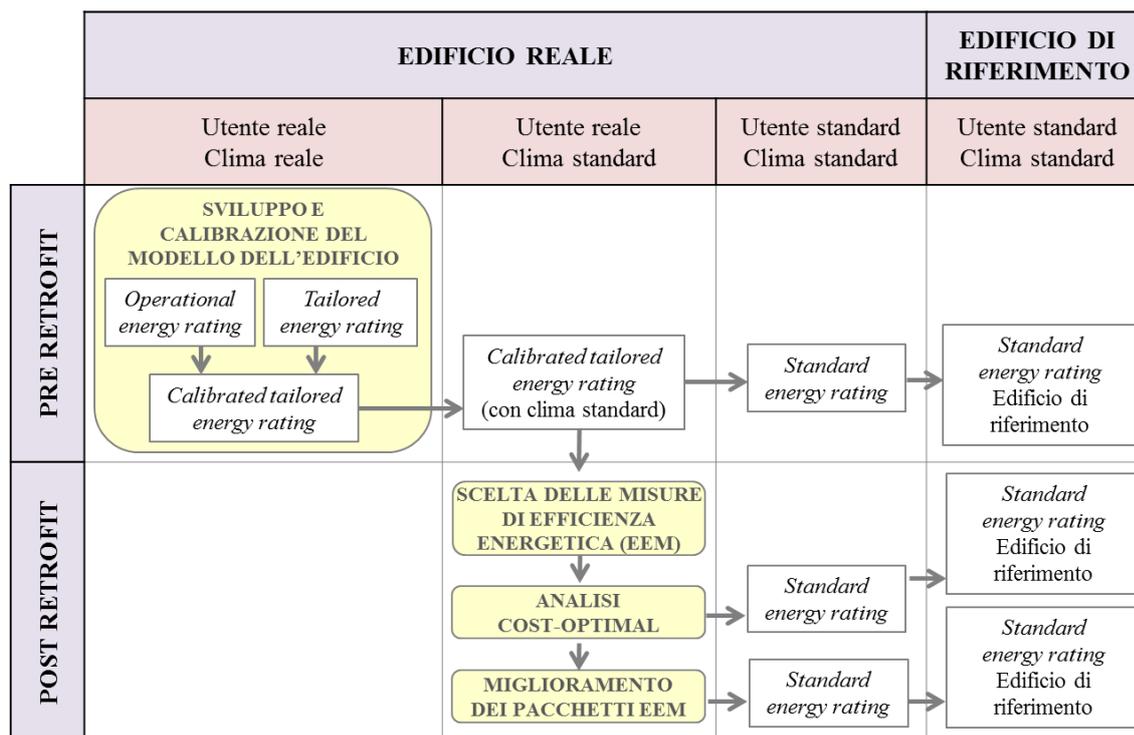


Figura 4.2: Procedura di diagnosi energetica adottata [62]

Come si evince dalla figura, il lavoro è stato suddiviso in due parti:

- fase di *pre-retrofit*;
- fase di *post-retrofit*.

La prima parte consiste nello svolgimento di una valutazione energetica d’esercizio, *operational energy rating*, utilizzando i dati di consumo reali disponibili relativi all’ultima stagione di riscaldamento. Successivamente, con l’ausilio del software *DesignBuilder* [106] si è provveduto a costruire un modello tridimensionale dell’edificio che risultasse *customizzato* per effettuare una valutazione energetica adattata all’utenza, *tailored energy rating*. Entrambe sono state eseguite in accordo alla norma UNI EN ISO 52003–1 [38]. Dal confronto degli indici di prestazione energetica ottenuti con le due precedenti valutazioni si è determinata la necessità o meno di procedere con la calibrazione del modello. Questa fase prevede l’aggiustamento dei dati inseriti nel modello *customizzato* al fine di ottenere consumi energetici confrontabili. Il processo di calibrazione e la verifica della sua accuratezza attraverso indici statistici sono stati effettuati secondo quanto previsto dal documento “Guideline 14 – ASHRAE” [70].

Al fine di studiare soluzioni di efficientamento energetico che non dipendano dalle condizioni metereologiche delle stagioni di riscaldamento analizzate, si utilizzano dati metereologici standard.

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Prima di studiare le misure di efficientamento energetico, si effettua il calcolo dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio considerando un utilizzo standard dell'edificio (*standard energy rating*) e il calcolo dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio di riferimento in accordo a quanto previsto dal D.M. 26/05/2015 [4]. Dal confronto tra i due indici ricavati si determina la classificazione energetica dell'immobile secondo la tabella 2 dell'allegato 1 del D.M. 26/05/2015 [13] presente in Tabella 4.1:

Tabella 4.1: Scala di classificazione energetica degli edifici sulla base degli indici di prestazione energetica globali (Fonte: [13])

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

Successivamente si passa alla fase di *post-retrofit*. La determinazione delle misure di efficienza energetica viene effettuata sulla base di un'analisi costi-benefici che permette di determinare una graduatoria delle soluzioni analizzate. Nel caso analizzato si ottiene una soluzione *cost-optimal* per la quale si ha una riduzione dei consumi accompagnata da una riduzione dei costi, ma non il completo rispetto dei vincoli imposti per una "*ristrutturazione importante di primo livello*" come definita da D.M. 26/05/2015 [4] (Tabella 4.2) e una o più soluzioni nZEB per le quali si ha una riduzione dei consumi, una riduzione dei costi rispetto allo stato di fatto e l'ottemperamento dei vincoli imposti dal sopracitato decreto ministeriale. Nel seguito (Capitolo 4.4) verrà spiegata con maggiore chiarezza espositiva la differenza esistente tra una soluzione *cost-optimal* e una soluzione nZEB.

Tabella 4.2: Definizioni ristrutturazioni importanti e riqualificazioni (Fonte: [4])

Tipologia	Definizione
Ristrutturazione importante di I livello	Le misure di efficienza energetica interessano più del 50% della superficie lorda dell'involucro edilizio e sostituzione dell'impianto di riscaldamento e/o climatizzazione [4].
Ristrutturazione importante di II livello	Le misure di efficienza energetica interessano più del 25% della superficie lorda dell'involucro edilizio ed eventuale sostituzione dell'impianto di riscaldamento e/o climatizzazione [4].
Riqualificazione energetica	Interventi di efficienza energetica che non rientrano nelle precedenti definizioni e che comunque comportano una diminuzione della prestazione energetica dell'edificio [4].

Infine, per entrambe le soluzioni è stata effettuata una *standard energy rating*, valutazione energetica con dati climatici e utilizzo dell'edificio standard, al fine di determinare

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

la classificazione energetica dell'immobile ottenibile con le misure di efficienza energetica selezionate.

Le valutazioni con utenza reale, esclusa la valutazione energetica d'esercizio iniziale effettuata sulla base delle bollette energetiche, sono state condotte con l'utilizzo del software *DesignBuilder 5.0* [106] che fa da interfaccia grafica al software di calcolo *EnergyPlus* [107]. Le valutazioni con utenza standard per la determinazione della classificazione energetica dell'edificio sono state effettuate attraverso l'utilizzo di fogli di calcolo Excel che implementano la norma UNI/TS 11300 parte 1, 2, 3, 4, 5, ([39],[40],[41],[42],[43]), metodo quasi stazionario. Il metodo quasi stazionario comincia con il calcolo dei termini del bilancio termico in condizioni stazionarie su base mensile. Le equazioni per il calcolo del fabbisogno ideale di energia termica utile per il riscaldamento ($Q_{H,nd}$) e per il raffrescamento ($Q_{C,nd}$) sono rispettivamente l'Equazione 4.1 e l'Equazione 4.2.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad 4.1$$

(elaborazione da equazione 1, UNI/TS 11300-1 [39])

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = Q_{int} + Q_{sol} - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad 4.2$$

(elaborazione da equazione 2, UNI/TS 11300-1 [39])

dove:

- $Q_{H,tr}$ = dispersioni per trasmissione [kWh];
- $Q_{H,ve}$ = dispersioni per ventilazione [kWh];
- Q_{int} = apporti interni [kWh];
- Q_{sol} = apporti solari [kWh];
- $\eta_{H,gn}$ = fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti [-];
- $\eta_{C,ls}$ = fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica [-].

La norma UNI/TS 11300-2 [40] permette di determinare il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, definendo la metodologia di calcolo dei rendimenti dei sistemi di: emissione, regolazione, distribuzione, accumulo, generazione. La norma UNI/TS 11300-3 [41] permette di determinare il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva. La norma UNI/TS 11300-4 [42] si utilizza per sistemi di generazione diversi da quelli definiti in UNI/TS 11300-2 [40] e per i sottosistemi che producono energia da fonte rinnovabile.

Per le valutazioni con clima standard si è fatto riferimento ai dati orari dell'anno tipo climatico sviluppato da Comitato Termotecnico Italiano (CTI) [100], per le valutazioni con clima reale si è fatta richiesta dei dati orari relativi agli anni solari 2017 e 2018 della stazione climatica Torino–Alenia all'Agenzia regionale per la protezione ambientale del Piemonte (ARPA) (Capitolo 5.5). Le valutazioni con utenza reale, infine, sono state condotte in regime

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

dinamico. Si è adottato la metodologia CTF (Funzione di trasferimento per la conduzione) con sei *time step* per ogni ora; valore consigliato dalla guida di *DesignBuilder* [106] per un modello con sistema di riscaldamento dettagliato, e che permette di calcolare un valore di energia primaria accurato senza incrementare i tempi per le simulazioni come indicato in [71].

4.2. DETERMINAZIONE FABBISOGNO ENERGETICO

La verifica dei requisiti minimi è stata condotta in accordo con la UNI/TS 11300-5 [43]. Si è tenuto conto dei fabbisogni (E_P) valutati in kWh per la climatizzazione invernale (H), la climatizzazione estiva (C), la produzione di acqua calda sanitaria (W), la ventilazione meccanica (V), l'illuminazione (L) e il trasporto di persone (T) (Equazione 4.3).

$$E_{P,g,tot} = E_{P,H,tot} + E_{P,C,tot} + E_{P,W,tot} + E_{P,V,tot} + E_{P,L,tot} + E_{P,T,tot} \quad 4.3$$

(elaborazione da equazione 7, UNI/TS 11300-5 [43])

Per ciascun contributo si tiene conto della quota rinnovabile e di quella non rinnovabile (Equazione 4.4):

$$E_{P,k,tot} = E_{P,k,ren} + E_{P,k,nren} \quad 4.4$$

(elaborazione da equazione 8, UNI/TS 11300-5 [43])

Il fabbisogno di energia primaria rinnovabile (Equazione 4.5) e non rinnovabile (Equazione 4.6) su base mensile è ottenuto come differenza tra energia consegnata (*delivered*) ed energia esportata (*exported*), moltiplicati per i rispettivi fattori di conversione.

$$E_{P,k,ren,m} = \sum_i (E_{del,k,i} \cdot f_{P,ren,del,i}) - \sum_i (E_{exp,k,i} \cdot f_{P,ren,exp,i}) \quad 4.5$$

(elaborazione da equazione 12, UNI/TS 11300-5 [43])

$$E_{P,k,nren,m} = \sum_i (E_{del,k,i} \cdot f_{P,nren,del,i}) - \sum_i (E_{exp,k,i} \cdot f_{P,nren,exp,i}) \quad 4.6$$

(elaborazione da equazione 13, UNI/TS 11300-5 [43])

Gli indici di prestazione energetica rinnovabile (EP_{ren}), non rinnovabile (EP_{nren}) e globale (EP_{gl}) sono espressi in kWh/m² in quanto sono normalizzati rispetto alla superficie netta riscaldata (Equazione 4.7).

$$EP = \frac{E_P}{A} \quad 4.7$$

L'edificio considerato appartiene alla categoria E.1 (1), "edifici adibiti a residenza o assimilabili", in particolare "abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo" da DPR

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

412/93 [33] perciò per il fabbisogno di energia primaria dell'edificio non si considerano le parti di illuminazione (L) e di trasporto di persone (T). Le altre quote vengono calcolate qualora esse siano effettivamente presenti all'interno dell'immobile considerato.

I fattori di conversione in energia primaria considerati nell'analisi, disponibili in Tabella 4.3, derivano dal D.M. 26/05/2015 [4].

Tabella 4.3: Fattori di conversione in energia primaria (Fonte: [4])

Vettore energetico	Fattore di conversione in energia primaria		
	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale
	$f_{p,nren}$	$f_{p,ren}$	$f_{p,tot}$
Gas naturale ¹	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide ²	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose ²	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete ³	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento ⁴	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento ⁴	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari ⁵	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico ⁵	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling ⁵	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore ⁵	0	1,00	1,00

¹ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
² Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
³ I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.
⁴ Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza.
⁵ Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

È stata infine valutata la quota rinnovabile del fabbisogno (Renewable Energy Ratio, RER) così come definito da ISO 52000-1 [44] (Equazione 4.8):

$$RER = \frac{EP_{ren}}{EP_{tot}} [-] \quad 4.8$$

4.3. PROCESSO DI OTTIMIZZAZIONE E DETERMINAZIONE COSTO GLOBALE

Nel processo decisionale che porta alla scelta delle misure di efficienza energetica da adottare è richiesto di effettuare un'analisi *cost-optimal*. L'analisi viene condotta al fine di individuare, tra le diverse soluzioni proposte, quelle che permettono una migliore contemporanea riduzione dei costi e dei consumi.

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Per effettuare tale analisi si è utilizzato il software *DesignBuilder* [106], nel quale è presente un algoritmo di ottimizzazione basato sul metodo NSGA-II (*Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II*), elaborato inizialmente da [72]. Un algoritmo genetico (GA) è utilizzato per la ricerca delle soluzioni ottimali in quanto, in caso di più variabili, è molto più efficiente rispetto ad un'analisi parametrica. NSGA – II, sulla base di quanto spiegato da [73] e di quanto riportato nella guida di *DesignBuilder* [106], dopo aver generato una popolazione di soluzioni casuali, *random*, le suddivide in successivi fronti di soluzioni (cromosomi) non dominate. Soluzioni del fronte 1 sono tutte quelle non dominate, ovvero che presentano contemporaneamente valori delle funzioni obiettivo (f_1, f_2) minori, soluzione del fronte 2 sono tutte quelle dominate esclusivamente dal fronte 1 e così via (Figura 4.3).

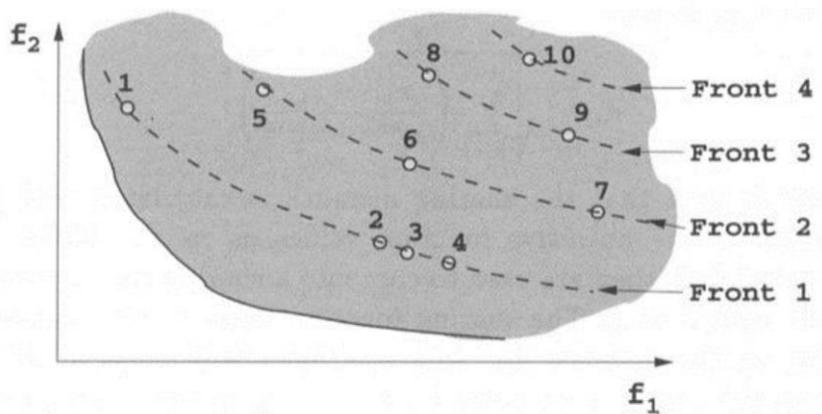


Figura 4.3: Suddivisione soluzioni in fronti successivi (Fonte: [73])

Effettuata questa suddivisione poi viene calcolata la *crowding-distance* per ogni soluzione, determinata in funzione della distanza euclidea tra una soluzione, la precedente e la successiva in un fronte. La *crowding-distance* cresce all'aumentare dell'isolamento di una soluzione rispetto alle altre (Figura 4.4).

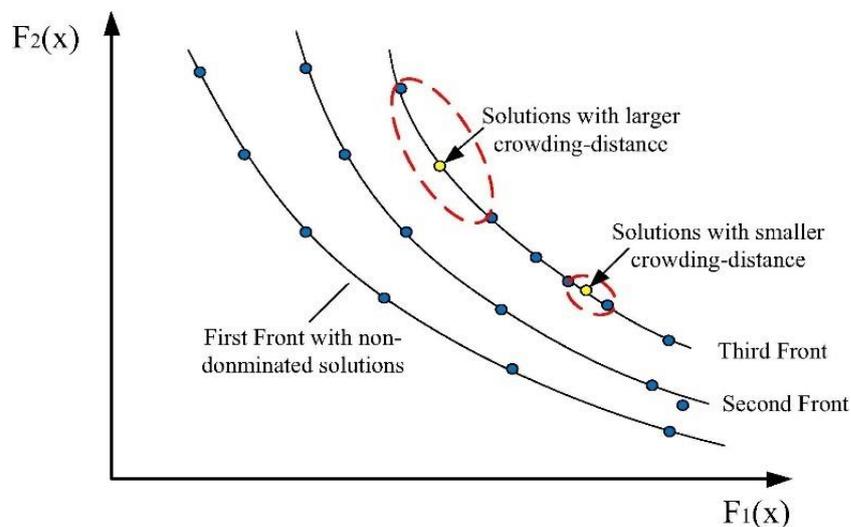


Figura 4.4: Crowding-distance (Fonte: [74])

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Il confronto tra due soluzioni richiede di verificare inizialmente quale soluzione abbia fronte più piccolo e, in caso di analogo fronte, di verificare quale soluzione presenti una *crowding-distance* maggiore. Le soluzioni migliori vengono prese dalla generazione appena terminata, generazione zero, ed inserite nella *mating pool* (piscina di accoppiamento). Dalla *mating pool* vengono, in seguito ad un processo di sostituzione generazionale, estratte le soluzioni migliori che andranno a costituire la nuova generazione, generazione uno. Da qui si procede analogamente fino all'esaurimento delle generazioni impostate. In *DesignBuilder* [106] è possibile settare fino a dieci variabili, contemporaneamente alla scelta di due grandezze obiettivo che nel caso analizzato sono:

- minimo costo globale;
- minima energia primaria non rinnovabile.

Per la determinazione del costo globale si è fatto riferimento alla norma UNI EN 15459-1 [45]. I costi considerati possono essere suddivisi come in Tabella 4.4.

Tabella 4.4: Definizione costi

Costi di manutenzione	<ul style="list-style-type: none"> • Costi per vettori energetici (gas e elettricità) • Costi di manutenzione legati alle diverse tecnologie considerate (solare fotovoltaico, solare termico, generatore di calore, serramenti)
Costi di installazione	<ul style="list-style-type: none"> • Costi dovuti all'installazione all'anno zero di una determinata tecnologia
Costi di sostituzione	<ul style="list-style-type: none"> • Costi dovuti alla sostituzione di tecnologie considerate a seguito del termine della loro vita utile indicata da UNI EN 14549-1 [45]

L'Equazione 4.9 è stata utilizzata al fine di valutare il costo globale:

$$C_G(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \text{ [€]} \quad 4.9$$

(elaborazione da equazione 5, UNI EN 14549-1 [45])

In cui il costo globale è dato dalla somma del costo di investimento iniziale (C_I) e dalla sommatoria, per ogni tecnologia considerata (j) e per ogni anno (i) della durata (τ) considerata, dei costi annuali di manutenzione ($C_{a,i}(j)$) moltiplicati per il fattore di sconto ($R_d(i)$) a cui si sottrae il valore residuo finale ($V_{f,\tau}(j)$) attualizzato all'anno iniziale.

Nello specifico, per la determinazione del costo globale si è fatto uso delle seguenti assunzioni:

- periodo di calcolo (τ) considerando un edificio residenziale posto pari a 30 anni come definito nell'allegato 1 al Regolamento Delegato UE n. 244/2012 [34];
- tasso di interesse reale del 4%;

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

- costi di energia e gas ricavati dal documento [75];
- costi di investimento e sostituzione ricavati dal documento [75];
- costi di manutenzione come percentuale in funzione della soluzione tecnologica analizzata e in accordo alla Tabella A.1 della norma UNI EN 15459-1 [45];
- durata della vita utile degli elementi in accordo alla Tabella A.1 della norma UNI EN 15459-1 [45];
- iva al 22%.

4.4. SOLUZIONI COST-OPTIMAL E NZEB

L'utilizzo del processo di ottimizzazione permette di valutare tutte le configurazioni di misure di efficienza energetica ipotizzate in termini di rapporto costi/benefici. L'ottimizzatore di *DesignBuilder* [106] permette di scegliere le misure di efficienza energetica da adottare e, con un processo iterativo, combina ad ogni iterazione diverse soluzioni in modo da poter valutare i risparmi energetici ed economici derivanti dall'utilizzo contemporaneo di più misure di efficienza energetica. Organizzando le soluzioni si otterrà un grafico analogo a quello riportato in Figura 4.5:

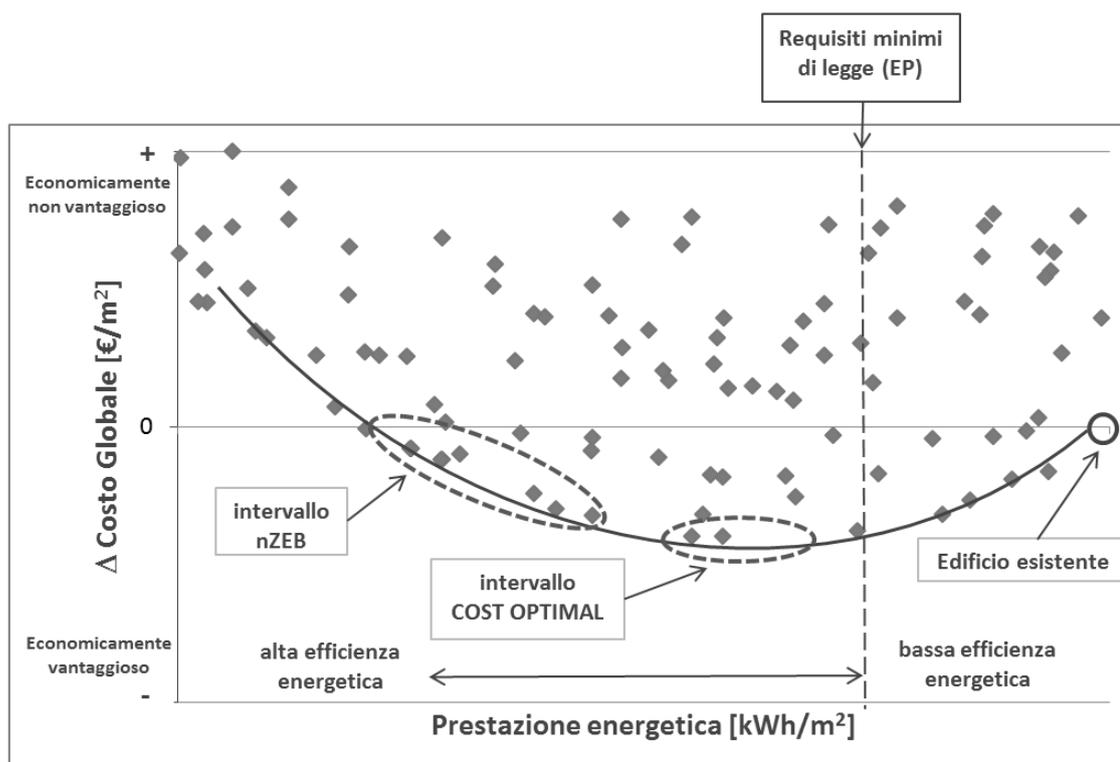


Figura 4.5: Costo globale in funzione della prestazione energetica (Fonte: [76], [77])

Come si evince dal grafico, il processo di ottimizzazione mette in risalto diversi punti importanti. In prima istanza, considerando l'asse verticale si possono individuare le soluzioni che risultano economicamente vantaggiose (*cost-effective*) o non vantaggiose (*cost-*

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

ineffective). Per determinare quali pacchetti di soluzioni risultino *cost-effective* e quali *cost-ineffective*, si confrontano il costo globale dello stato attuale e il costo globale del pacchetto adottato. Per stato attuale si intende l'edificio considerato ai fini della diagnosi energetica senza modifiche tecniche e impiantistiche. Nell'ipotesi in cui il costo dello stato attuale risulti inferiore rispetto al costo del pacchetto adottato si rientra nel caso di *cost-ineffective*, e viceversa.

Sul grafico è inoltre indicato il limite al 2015 imposto dai requisiti minimi di legge in termini di energia primaria non rinnovabile, che si trova tra le soluzioni ad alta efficienza energetica e quelle a bassa efficienza energetica. In generale, sia nel caso delle soluzioni *cost-optimal* che nel caso delle soluzioni nZEB, si ottengono intervalli di soluzioni, piuttosto che soluzioni singole.

Soluzione cost-optimal	Insieme/pacchetto di misure di efficienza energetica (<i>Energy efficiency measures</i> , EEM) che minimizza il costo globale totale.
Soluzione nZEB	Insieme/pacchetto di misure di efficienza energetica (<i>Energy efficiency measures</i> , EEM) che permette di ottenere un edificio ad energia quasi zero.

L'obiettivo di una riqualificazione energetica è quello di poter ottenere un esito finale che si collochi in uno degli intervalli di soluzioni sopracitati.

L'adempimento in totale dei limiti imposti dal D.M. 26/05/2015 [4] e l'integrazione delle fonti rinnovabili richiesto da d.l. 28 del 3 marzo 2011 [5] al fine di ottenere un edificio nZEB richiede di rispettare i requisiti in Tabella 4.5 e in Tabella 4.6:

4. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI DIAGNOSI ENERGETICA

Tabella 4.5: Requisiti da rispettare in accordo a DM 26/05/2015 [4] in fase di progettazione di edifici di nuova costruzione e riqualificazione importante di edifici già esistenti.

Parametro	Definizione	Condizione	U.M
INVOLUCRO DEL FABBRICATO			
H'_T	Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente.	$H'_T < H'_{T,limite}$ Il valore di riferimento $H'_{T,limite}$ è tabulato in funzione del rapporto di forma e della zona climatica	[W/m ² K]
$A_{sol,est}/A_{suputile}$	Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.	$A_{sol,est}/A_{suputile} < (A_{sol,est}/A_{suputile})_{limite}$ Il valore di riferimento è tabulato e varia in base alla categoria di edificio	[-]
EFFICIENZE MEDIE STAGIONALI DEGLI IMPIANTI			
η_H	Climatizzazione invernale	$\eta_H > \eta_{H,limite}^1$	[-]
η_W	Produzione dell'acqua calda sanitaria	$\eta_W > \eta_{W,limite}^1$	[-]
η_C	Climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità)	$\eta_C > \eta_{C,limite}^1$	[-]
INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA			
$EP_{H,nd}$	Indice di prestazione termica utile per riscaldamento	$EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite(2019/21)}^2$	[kWh/m ²]
$EP_{C,nd}$	Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento	$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite(2019/21)}^2$	[kWh/m ²]
$EP_{gl,tot}$	Indice di prestazione globale totale dell'edificio	$EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite(2019/21)}^2$ $EP_{gl,tot} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L^3 + EP_T^3$	[kWh/m ²]
<p>Note:</p> <p>¹ Efficienza relativa all'edificio di riferimento.</p> <p>² Indice calcolato sull'edificio di riferimento.</p> <p>³ N o si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3).</p>			

Tabella 4.6: Integrazione fonti rinnovabili in edifici nZEB come previsto da Allegato 3 al d.l. 28 del 3 marzo 2011 [5]

Percentuale minima di copertura del consumo energetico complessivo ^{2,3} .	Percentuale minima di copertura del consumo energetico per la produzione di ACS ² .	Potenza elettrica degli impianti alimentati da FER da installare sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze [kW] ² .
50% ¹	50% ¹	1/50 · Impronta dell'edificio
<p>Note:</p> <p>¹ Tali obblighi non si applicano qualora l'edificio sia allacciato ad una rete di teleriscaldamento che ne copra l'intero fabbisogno di calore per il riscaldamento degli ambienti e la fornitura di ACS.</p> <p>² Per gli edifici pubblici gli obblighi di cui ai precedenti commi sono incrementati del 10%.</p> <p>³ Tale percentuale tiene conto dei seguenti servizi: produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento.</p>		

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

I sopralluoghi in situ e gli incontri preliminari con ATC hanno permesso di definire il caso studio selezionato per la diagnosi energetica e di verificare la congruenza tra quanto riportato nel capitolato di progetto (di cui è visibile una parte in Allegato A.) e il costruito. Si riportano la localizzazione del caso studio, i dati sull'involucro edilizio, le abitudini dell'utenza, gli impianti per la produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria e le bollette energetiche associate relative agli anni 2017 e 2018.

5.1. LOCALIZZAZIONE DEL CASO STUDIO

Il caso studio analizzato si trova nel comune di Pianezza, provincia di Torino (Figura 5.1).



Figura 5.1: Localizzazione caso studio (Fonte: [101]).

Il complesso condominiale prevede due edifici, lotto A e lotto B, di 6 piani ciascuno, costruiti in parallelo, separati da un cortile centrale e con un'inclinazione di 13° verso est, rispetto alla direzione principale nord-sud. I due condomini si trovano in una zona prevalentemente di tipo residenziale caratterizzata dalla presenza di giardini pubblici e verde incolto.

Ai fini della diagnosi energetica si è considerato il solo lotto A presente in Figura 5.2. Il lotto B è stato unicamente modellato ai fini dell'ombreggiamento. Sono poi presenti nelle immediate circostanze del lotto A altri due edifici: uno a sud-est di tre piani e uno a nord-ovest di sei piani. Questi due edifici non sono stati considerati ai fini dell'ombreggiamento.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO



Figura 5.2: Vista in 3d del complesso condominiale (Fonte: [101])

5.2. FABBRICATO

L'immobile costruito agli inizi degli anni novanta, prevede una struttura portante in calcestruzzo armato e tamponamenti multistrato composta da uno strato di mattoni forati, intercapedine d'aria parzialmente isolata e un secondo strato di mattoni forati all'esterno rifiniti a faccia a vista (Figura 5.3).



5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO



Figura 5.3: Facciate dell'edificio, a) Nord, b) Est, c) Sud, d) Ovest

Il fabbricato presenta il primo piano ad uso cantine, cinque piani adibiti ad appartamenti e un sottotetto non abitabile. Come si vede dalla figura precedente parte del solaio interposto tra primo e secondo piano è esposto all'ambiente esterno. I dati relativi alle principali grandezze geometriche dell'edificio sono esposti in Tabella 5.1.

Tabella 5.1: Caratteristiche geometriche del fabbricato

Caratteristica	Simbolo	Unità di misura	Valore
Volume lordo riscaldato	V_l	m^3	5'967
Superficie netta di pavimento	A_f	m^2	2'166
Superficie dell'involucro disperdente	A_e	m^2	1'966
Superficie dell'involucro finestrato	A_w	m^2	247
Rapporto di forma	S/V	m^{-1}	0,33

Involucro Opaco

Dal momento che il capitolato di progetto, di cui uno stralcio è fornito come Allegato A., non conteneva le esatte stratigrafie dell'involucro opaco, si è deciso di seguire il procedimento di seguito illustrato. Si è effettuato un confronto tra quanto descritto dal capitolato di progetto e il costruito mediante sopralluoghi in situ e laddove vi fossero lacune ci si è avvalsi delle stratigrafie previste dall'"Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici" presente nella normativa UNI/TR 11552 [46]. Le principali caratteristiche termofisiche sono state ricavate utilizzando le caratteristiche dei materiali contenute nelle normative di riferimento UNI 10351 [47], UNI 10355 [48], UNI EN ISO 13786 [49], UNI EN ISO 10456 [50], UNI EN ISO 6946 [51]. Di seguito vengono riportate le stratigrafie dei componenti opachi verticali (Tabella 5.2) e le principali caratteristiche termofisiche (Tabella 5.3).

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Tabella 5.2: Stratigrafie pareti

Descrizione	Spessore	Densità	Fattore di resistenza al vapore	Calore specifico	Conducibilità termica	Resistenza termica
M1 - Parete Piano Tipo	s [mm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg K]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare esterno						0,04
Mattone forato 12 cm	120	800	7	1000	-	0,31
Polistirene espanso EPS	60	15	47	1400	0,045	-
Intercapedine d'aria	20	1,3	1	1000	-	0,18
Mattone forato 8 cm	80	800	7	1000	-	0,2
Intonaco Interno	20	1400	11	1000	0,7	-
Strato liminare interno						0,13
M2 - Parete Piano Terra	s [mm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg K]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare esterno						0,04
Intonaco esterno	10	1800	24	1000	0,9	-
Calcestruzzo	200	1400	69	1000	0,51	-
Intonaco Interno	10	1400	11	1000	0,7	-
Strato liminare interno						0,13
M3 - Parete su vano scale	s [mm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg K]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno						0,13
Intonaco Interno	10	1400	11	1000	0,7	-
Mattone forato 8 cm	80	800	7	1000	-	0,2
Polistirene espanso EPS	40	15	47	1400	0,045	-
Mattone forato 8 cm	80	800	7	1000	-	0,2
Intonaco Interno	10	1400	11	1000	0,7	-
Strato liminare interno						0,1
M4 - Parete Interna Appartamento	s [mm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg K]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare interno						0,13
Intonaco Interno	10	1400	11	1000	0,7	-
Mattone forato 8 cm	80	800	7	1000	-	0,2
Intonaco Interno	10	1400	11	1000	0,7	-
Strato liminare interno						0,13
M5 - Cassonetto avvolgibili	s [mm]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	c [J/kg K]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Strato liminare esterno						0,04
Mattone forato 12 cm	120	800	7	1000	-	0,31
Intercapedine d'aria	175	1,3	1	1000	-	0,18
Pannelli di spaccato di legno	5	400	32	2100	0,12	-
Strato liminare interno						0,13

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Tabella 5.3: Caratteristiche termofisiche pareti

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica areica esterna	Capacità termica areica interna	Trasmittanza termica periodica
		s	U_c	κ_e	κ_i	Y_{ie}
		[m]	[W/m ² K]	[kJ/m ² K]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]
M1	Parete Piano Tipo	0,30	0,450	65,0	57,6	0,211
M2	Parete Piano Terra	0,22	1,702	96,6	64,6	0,778
M3	Parete su vano scala	0,22	0,634	52,9	52,9	0,344
M4	Parete Interna Appartamento	0,10	2,047	39,0	39,0	1,812
M5	Cassonetto Avvolgibili	0,50	1,425	58,7	24,9	1,171

Come si evince dalle precedenti tabelle, le pareti esterne degli appartamenti sono costituite da muratura a cassa vuota in laterizio con intercapedine d'aria parzialmente isolato, sei centimetri di isolante, mentre le pareti del piano terra prevedono blocchi di calcestruzzo intonacati su entrambi i lati. Infine, le pareti che dividono gli appartamenti sono costituite da un doppio strato di mattoni forati con isolante posto in mezzera ed intonacate su entrambi i lati e le pareti interne ai singoli appartamenti sono costituite da un singolo mattone intonacato su ambo i lati.

Per quanto concerne i componenti opachi orizzontali e la struttura a falde terminale, si tratta di strutture in laterocemento. La copertura terminale prevede in aggiunta un manto sintetico impermeabilizzante e le tegole. I due solai disperdenti, ovvero il primo verso il piano terra adibito a cantine e quello verso il sottotetto sono isolati. In Tabella 5.4 vengono unicamente riportate le principali caratteristiche termofisiche determinate per tutti i componenti opachi orizzontali.

Tabella 5.4: Caratteristiche termofisiche componenti opachi orizzontali

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica	Capacità termica areica esterna	Capacità termica areica interna	Trasmittanza termica periodica
		s	U_c	κ_e	κ_i	Y_{ie}
		[m]	[W/m ² K]	[kJ/m ² K]	[kJ/m ² K]	[W/m ² K]
S1	Solaio Piano Tipo verso esterno	0,33	1,449	26,3	51,5	0,091
S2	Solaio Interpiano	0,33	1,468	57,5	65,4	0,259
S3	Solaio Piano Tipo verso Piano Terra	0,33	0,709	21,3	59,3	0,095
S4	Solaio Sottotetto	0,33	0,796	24,6	53,5	0,102
S5	Solaio Piano Terra Cantine	0,40	1,808	161,9	69,9	0,392
S6	Solaio Piano Terra Vano Scale	0,42	1,764	160,9	66,3	0,334
S7	Copertura tetto a falde	0,45	1,925	-	-	-

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Involucro trasparente

Per l'involucro trasparente, invece, la caratterizzazione è stata fatta sulla base dei sopralluoghi svolti in mancanza di ulteriori informazioni attendibili. Come si può notare in Figura 5.4, i serramenti degli appartamenti sono costituiti da doppio vetro con intercapedine riempita d'aria e telaio in legno. Il vano scale, invece, prevede un singolo strato di vetro sostenuto da sottili montanti metallici.



Figura 5.4: Particolari involucro trasparente

Le caratteristiche dei componenti trasparenti sono state ottenute basandosi sui dati forniti dall'appendice B all'UNI/TS 11300-1 [39] e sulla procedura di calcolo illustrata da UNI EN ISO 10077-1 [52]. Per i componenti finestrati delle zone riscaldate si è considerato un serramento con vetro doppio che prevedesse un'intercapedine d'aria di otto millimetri posta tra due vetri di quattro millimetri l'uno e un telaio in legno duro. Per ogni componente trasparente si è successivamente determinato il fattore di forma del telaio riproducendo la forma del serramento attraverso l'utilizzo del software *Autocad* [108] e utilizzando il valore di trasmittanza termica lineica per telaio in legno e vetro doppio riportato nell'appendice G della norma UNI EN ISO 10077-1 [52] si è determinata la trasmittanza termica dell'intero serramento. Il coefficiente di trasmissione totale per incidenza normale è stato ricavato dal prospetto B.5 della norma UNI/TS 11300-1 [39]. È stata considerata la presenza di tapparelle avvolgibili e la presenza di schermature solari. Il profilo di utilizzo di tali apparecchiature verrà esposto più avanti (Capitolo 6.3).

I serramenti della zona riscaldata sono stati divisi in funzione delle loro caratteristiche geometriche:

1. portafinestra 85x235 cm con apertura a doppia anta totale;
2. portafinestra 85x235 cm con apertura a doppia anta parziale;
3. finestra 85x135 cm con apertura a doppia anta;
4. finestra 50x135 cm con apertura a singola anta;
5. portafinestra 120x235 cm con apertura a doppia anta totale;
6. portafinestra 120x235 cm con apertura a doppia anta parziale.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Sulla base della precedente suddivisione e considerando anche la vetrata del vano scale vengono riportati nella Tabella 5.5 le principali caratteristiche dei componenti trasparenti considerati:

Tabella 5.5: Caratteristiche componenti trasparenti

Codice	Descrizione	Dimensioni	Schermatura solare	Area	Fattore telaio	Trasmittanza termica (finestra)	Trasmittanza termica (finestra + chiusura oscurante)	Coefficiente di trasmissione solare totale per incidenza normale (vetro)	Coefficiente di trasmissione solare totale (vetro + schermatura)
		lxh		A	(1-F _f)	U _w	U _{w+shut}	g _{gl,n}	g _{gl+sh}
		[cm]		[m ²]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]	[-]
PFdat_1	Porta-finestra con apertura a doppia anta totale	85x235	Sì	2,00	0,75	3,190	2,418	0,75	0,56
PFdap_2	Porta-finestra con apertura a doppia anta parziale	85x235	No	2,00	0,78	3,191	2,419	0,75	-
Fda_3	Finestra con apertura a doppia anta	85x135	No	1,15	0,73	3,188	2,418	0,75	-
Fsa_4	Finestra con apertura a singola anta	50x135	No	0,68	0,74	3,160	2,401	0,75	-
PFdat_5	Porta-finestra con apertura a doppia anta totale	120x235	Sì	2,82	0,76	3,121	2,378	0,75	0,56
PFdap_6	Porta-finestra con apertura a doppia anta parziale	120x235	No	2,82	0,82	3,177	2,411	0,75	-
FV_7	Vetrata vano scala	250x270	No	6,75	0,85	3,057	2,342	0,85	-

Ponti termici

Per poter efficacemente tenere conto dei ponti termici, si è deciso di editare le stratigrafie dei pilastri separatamente laddove ciò era possibile e di stimare gli ulteriori ponti termici con l'ausilio di un abaco dei ponti termici [78]. Le caratteristiche dei pilastri sono state editate seguendo quanto già precedentemente illustrato per l'involucro opaco. In particolare, sono previsti pilastri in calcestruzzo armato rivestiti da intonaco su ambo i lati per il piano terra e per i pilastri confinanti su vano scala, mentre per i restanti piani è previsto sul lato esterno l'aggiunta di uno strato di mattoni forato. Le principali caratteristiche sono contenute in Tabella 5.6.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Tabella 5.6: Caratteristiche dei pilastri perimetrali

Codice	Descrizione	Spessore	Trasmittanza termica
		s	U_c
		[m]	[W/m ² K]
P1	Pilastro Piano Tipo su Parete Esterna	0,30	1,987
P2	Pilastro Piano Terra	0,22	3,332
P3	Pilastro Piano Tipo su Vano Scale	0,20	2,634

Gli ulteriori ponti termici utilizzati nel caso studio sono invece stati ottenuti dall'abaco sopraccitato utilizzando i valori di trasmittanza degli elementi considerati e vengono riportati nella Tabella 5.7.

Tabella 5.7: Ponti termici

Codice	Descrizione	Trasmittanza termica lineica
		ψ
		[W/mK]
P.t.1	Parete – Parete Piano Tipo	-0,168
P.t.2	Telaio finestra	0,206
P.t.3	Parete Piano Tipo – Solaio Interpiano	0,904
P.t.4	Parete Piano Tipo - Solaio su esterno	0,267

5.3. UTENZA

L'utenza reale contribuisce in maniera sensibile a determinare il fabbisogno energetico di un edificio, pertanto si rende necessario conoscere le abitudini legate agli occupanti per ricavare le seguenti caratteristiche per le zone riscaldate:

- fattore di occupazione;
- temperatura di *set-point*;
- profilo di apertura dei componenti trasparenti;
- profilo di utilizzo delle schermature solari;
- profilo di utilizzo degli avvolgibili.

Le sopraccitate informazioni sono utili al fine di realizzare un modello che si avvicini maggiormente alla realtà. Per ricavare queste informazioni è stato somministrato un questionario agli occupanti. Il questionario, che viene riportato come Allegato B., prevedeva sette categorie da completare:

1. informazioni generali sull'appartamento e sul nucleo familiare;
2. giorni e orari lavorativi;
3. apertura delle finestre;
4. gestione delle tapparelle;
5. gestione delle schermature solari;

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

6. riscaldamento;
7. raffrescamento (solo per gli appartamenti con condizionatore estivo).

Le sottocategorie 2, 3, 4 e 5 prevedono una divisione in fasce orarie:

- prima mattina (ore 6 – 8);
- mattina (ore 8 – 12);
- orario pranzo (ore 12 – 14);
- pomeriggio (ore 14 – 18);
- sera (ore 18 – 22);
- notte (ore 22 – 6).

Nel seguito vengono illustrate le informazioni ottenute con l'ausilio dei questionari grazie alla collaborazione dell'utenza.

1. Informazioni generali sull'appartamento e sul nucleo familiare

Come si evince dalla Figura 5.5, gli occupanti sono per il 60% donne e per il 40% uomini. Per quanto riguarda la classificazione in base all'età, invece, il 60% degli occupanti è costituito da adulti con un'età compresa tra i 35 e i 64 anni di età, il 20% è costituito da giovani con età compresa tra 15 e 34 anni e il restante 20% è diviso equamente tra bambini (età inferiore ai 14 anni) e anziani (età superiore ai 65 anni).

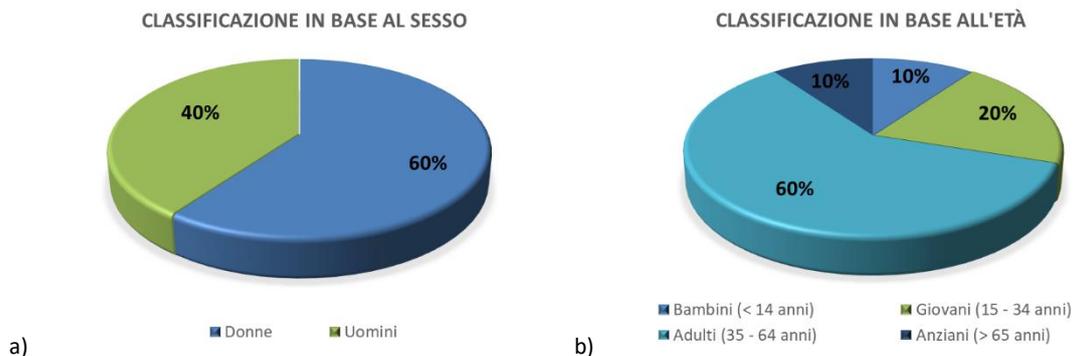


Figura 5.5: a) Classificazione in base al sesso; b) Classificazione in base all'età

Non è stato possibile ricavare le informazioni per tutti gli appartamenti, perciò si è deciso di ricavare un profilo occupazionale tipo basato sui dati raccolti.

Sulla base delle informazioni ottenute dai questionari, si è deciso di individuare una famiglia standard che rappresentasse l'utenza tipo. Una famiglia di tre persone (due adulti più una figlia giovane), tra le famiglie che avevano compiutamente risposto al questionario, è stata

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

selezionata come utenza tipo e di questa sono state ricavate tutte le informazioni utili alla costruzione del modello reale ed è stata oggetto delle prime simulazioni energetiche condotte.

2. Giorni e orari lavorativi

Per questa sottocategoria è stato richiesto di indicare per ogni componente del nucleo familiare in quali fasce orarie fosse presente in casa distinguendo i giorni settimanali da quelli del weekend. Si può riscontrare una diminuzione sostanziale dell'occupazione nel pomeriggio del weekend. I risultati del questionario somministrato relativi all'utenza tipo sono presenti in Tabella 5.8.

Tabella 5.8: Numero di occupanti in funzione della fascia oraria utenza tipo

	Settimana	Weekend
Prima mattina (ore 6 - 8)	3	3
Mattina (ore 8 - 12)	0	0
Orario pranzo (ore 12 - 14)	2	3
Pomeriggio (ore 14 - 18)	3	0
Sera (ore 18 - 22)	3	3
Notte (ore 22 - 6)	3	3

3. Apertura delle finestre

Per quanto concerne l'apertura delle finestre, è stato chiesto di indicare per quanto tempo venissero lasciate aperte suddividendo in inverno, primavera-autunno e estate, e per ciascuna stagione di indicare il periodo prevalente di apertura e di individuare il tempo complessivo di apertura. Per determinare quest'ultima informazione sono stati identificati quattro intervalli temporali:

- meno di 30 minuti;
- da 30 minuti a 1 ora;
- da 1 ora a 4 ore;
- più di 4 ore.

I risultati del questionario somministrato relativi all'utenza tipo sono presentati in Tabella 5.9.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Tabella 5.9: Apertura delle finestre utenza tipo

			Tempi di apertura	Periodo prevalente
			[h/gg]	
Stagione	Inverno	(gen., feb., mar., nov., dic.)	< 1	Prima mattina
	Primavera autunno	(apr., mag., set., ott.)	1 – 4	Prima mattina Sera
	Estate	(giu., lug., ago.)	> 4	Prima mattina Sera Notte

4. Gestione delle tapparelle

Per la gestione delle tapparelle, è stato chiesto di indicare per quanto tempo venissero chiuse per almeno metà dell'altezza dei serramenti suddividendo in inverno, primavera–autunno e estate, e per ciascuna stagione di indicare il periodo prevalente di chiusura e di individuare il tempo complessivo di chiusura delle chiusure oscuranti. I risultati del questionario somministrato relativi all'utenza tipo, che mostrano come oltre al classico utilizzo invernale nelle ore serali e notturne sia presente anche un utilizzo estivo per ridurre gli apporti solari durante il pomeriggio, sono presentati in Tabella 5.10.

Tabella 5.10: Gestione delle tapparelle utenza tipo

			Tempi di apertura	Periodo prevalente
			[h/gg]	
Stagione	Inverno	(gen., feb., mar., nov., dic.)	> 4	Sera Notte
	Primavera autunno	(apr., mag., set., ott.)	> 4	Sera Notte
	Estate	(giu., lug., ago.)	> 4	Pomeriggio Sera Notte

Si considera il tempo in cui le tapparelle avvolgibili vengono tenute abbassate almeno la metà dell'altezza della finestra.

5. Gestione delle schermature solari

Le schermature solari sono costituite da tende a rullo sui balconi. È stato chiesto di indicare per quanto tempo venissero utilizzate suddividendo in inverno, primavera–autunno e estate, e per ciascuna stagione di indicare il periodo prevalente di utilizzo e di individuare il tempo complessivo di chiusura delle schermature solari. I risultati del questionario somministrato relativi all'utenza tipo, che mostrano come vengano utilizzate durante tutto l'anno, sono presentati in Tabella 5.11.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Tabella 5.11: Gestione delle schermature solari utenza tipo

			Tempi di apertura	Periodo prevalente
			[h/gg]	
Stagione	Inverno	(gen., feb., mar., nov., dic.)	< 1	No
	Primavera autunno	(apr., mag., set., ott.)	< 4	Pomeriggio
	Estate	(giu., lug., ago.)	> 4	No

6. Riscaldamento

È stato richiesto di indicare il tipo di regolazione e la temperatura di *set-point*. Nell'edificio considerato sono esclusivamente presenti termostati ambiente e la temperatura di *set-point* selezionata per la famiglia considerata utenza tipo è di 21°C.

7. Raffrescamento

Dal momento che un numero molto limitato di appartamenti prevedeva l'utilizzo di raffrescamento, mentre la maggior parte degli utenti, compreso l'utenza tipo individuata, si affidava alla ventilazione naturale attraverso l'apertura delle finestre, si è deciso di non utilizzare i dati derivanti da questa sottocategoria.

5.4. SISTEMI DI PRODUZIONE

Ciascuno dei trenta appartamenti che costituiscono il lotto A presenta una caldaia per la produzione combinata di acqua tecnica per il riscaldamento e acqua calda sanitaria. La sostituzione degli impianti autonomi è avvenuta nel periodo compreso tra il 2007 e il 2008 e ha portato all'installazione di caldaie murali istantanee a camera aperta, tipo B11bs, con tiraggio naturale e bruciatore atmosferico e alimentate a gas metano. L'Allegato C. contiene la scheda tecnica della caldaia ARISTON T2 23 MI [102], caldaia dell'utenza tipo visibile in Figura 5.6.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

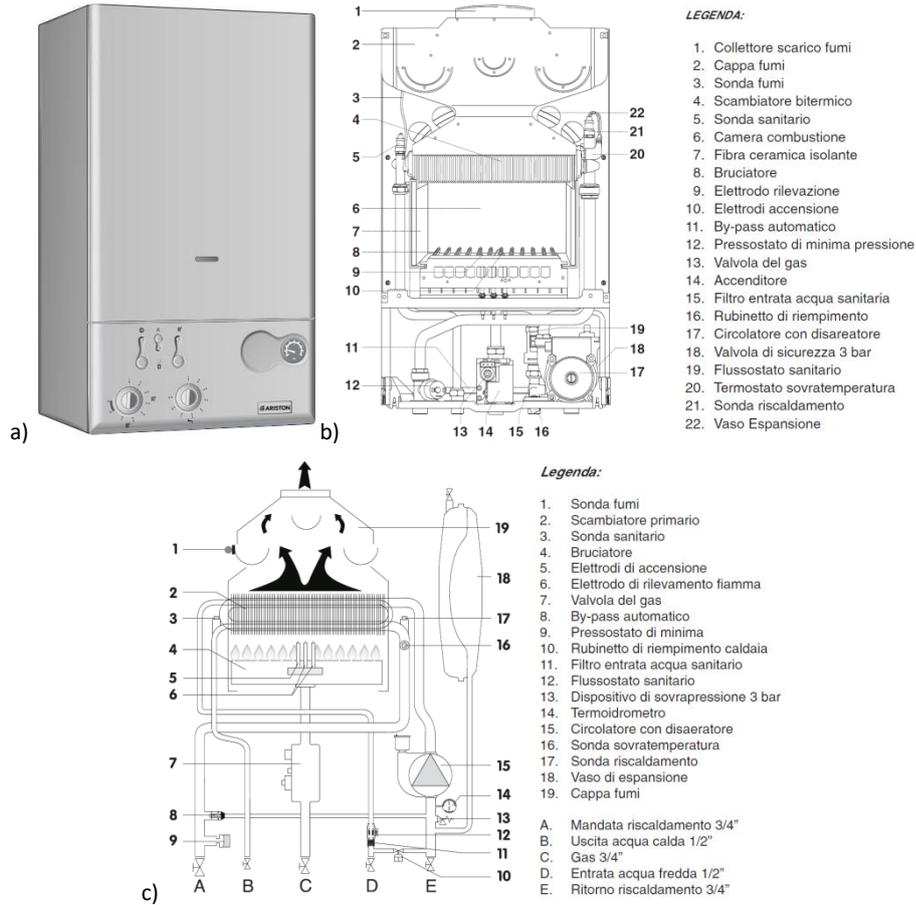


Figura 5.6: Caldaia ARISTON T2 23 MI; a) Vista esteriore; b) Vista compressiva; c) Schema idraulico; (Fonte:[102])

Il libretto di impianto, di cui un estratto è presente in Figura 5.7 e sul quale vengono annotati i risultati delle verifiche periodiche, riporta alla prima accensione un rendimento di combustione di 94,8%. Sulla scheda tecnica viene invece riportato un rendimento a potenza termica nominale di 91,4% e di 89,3% al 30% della potenza nominale.

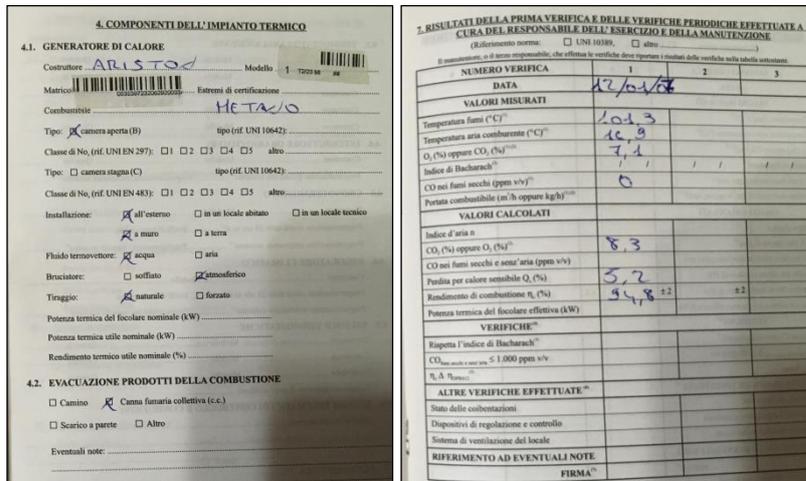


Figura 5.7: Estratto libretto di impianto

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Gli appartamenti prevedono radiatori ad acqua presenti in ogni ambiente, escluso nei disimpegni, su pareti interne e quindi non posizionati sottofinestra. La regolazione viene effettuata attraverso termostato ambiente. Non sono presenti valvole termostatiche e sistemi di contabilizzazione del calore come indicato da UNI EN ISO 10200 [53] conformemente al fatto che si tratta di impianti autonomi.

5.5. CONSUMI ENERGETICI

Le bollette delle forniture energetiche considerate sono relative alla stagione di riscaldamento 2017-2018. Il gas metano viene utilizzato per la cottura cibi, la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento, di conseguenza è stato necessario determinare i contributi dovuti ai primi due impieghi in modo tale da sottrarli al consumo globale presente in bolletta. La determinazione di questi consumi è stata effettuata confrontando due metodi in modo tale da sopperire alla parziale mancanza di dati presentati in Tabella 5.12:

Tabella 5.12: Determinazione consumo per ACS e cottura cibi

	Metodo 1	Metodo 2
Descrizione	Verifica dei consumi da bolletta per i mesi estivi durante i quali il gas viene utilizzato per la produzione di ACS e per la cottura cibi	Indagine tra i fornitori di energia per ottenere un valore medio di consumo di gas per famiglie composte da 3 persone [103]
Consumi	ACS e cottura cibi: 18 - 20 Sm ³ /mese ≈ 180 kWh	ACS: 16 Sm ³ ≈ 154 kWh Cottura cibi: 8 Sm ³ ≈ 67 kWh

I consumi dei due metodi sopraelencati sono analoghi e superiori al prelievo medio per utenza C2 (uso cottura cibi e/o produzione di acqua calda sanitaria) pari a 196 Sm³ su base annuale indicato da ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente) [79]. Si è deciso di utilizzare il secondo metodo in maniera tale da considerare un caso che risultasse contemporaneamente più generale in quanto riferito a valori medi, e più dettagliato in quanto riferito a famiglia tipo di tre persone.

I valori in Tabella 5.13 sono relativi ai consumi di gas metano per la stagione di riscaldamento 2017-2018 relativi all'utenza tipo e ricavati dall'analisi delle bollette. Il periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento, essendo Pianezza in zona climatica E, è fissato dal 15 ottobre al 15 aprile per un numero massimo di ore di accensione pari a 14 ore al giorno come indicato dall'Articolo 9 del DPR 412/93 [33].

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

Tabella 5.13: Consumi gas stagione di riscaldamento 2017-2018 utenza tipo

Periodo di riferimento	Consumo totale rilevato	Consumo ACS + Cottura	Consumo riscaldamento
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
19/10/2017 - 15/12/2017	2775,2	468	2307,2
16/12/2017 - 09/02/2018	3379,2	448	2931,2
10/02/2018 - 19/04/2018	3580,8*	448	3132,8
(*) Consumi stimati			

Trattandosi di una valutazione *customizzata* su base oraria, i consumi energetici sono stati messi in relazione con i dati climatici orari (Gradi Giorno) relativi alla stagione di riscaldamento 2017-2018. Si è fatto quindi riferimento ai dati climatici reali degli anni solari 2017-2018 misurati presso la stazione meteorologica di Torino-Alenia, la più vicina al luogo di analisi e la più simile in termini di altitudine (Figura 5.8). I dati della rete di monitoraggio di Torino per la stazione selezionata sono stati forniti da ARPA Piemonte. Al fine di ottenere il file climatico per *EnergyPlus* [107] sono stati ricavati i seguenti dati:

- temperatura aria esterna [°C];
- UR – umidità relativa [%];
- pressione atmosferica [Pa];
- irradianza solare sul piano orizzontale [W/m²];
- irradianza solare diretta normale [W/m²] (*);
- irradianza solare diffusa sul piano orizzontale [W/m²] (*);
- velocità del vento [m/s];
- direzione del vento [gradi].

L'irradianza solare diretta normale e l'irradianza solare diffusa sul piano orizzontale (*), non essendo disponibili per la stazione di Torino-Alenia, sono state ricavate secondo quanto previsto dall'Appendice A alla norma UNI 10349-1 [54].

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO



Figura 5.8: Localizzazione stazione meteorologica di Torino Alenia rispetto al caso studio (Fonte: [101])

In Tabella 5.14 vengono riportati i valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna e i valori di irraggiamento solare globale sul piano orizzontale relativi alla stazione di Torino-Alenia ed ottenuti dalla banca dati meteorologica di ARPA Piemonte [104].

Tabella 5.14: Valori medi mensili di temperatura aria esterna e irraggiamento solare globale sul piano orizzontale, Torino (Fonte: [104])

		Anno	Mese											
			gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Temperatura aria esterna	[°C]	2017	2,1	6,1	12,1	14,3	18,5	23,8	24,6	24,8	18,2	15,3	8,0	2,1
		2018	5,8	3,1	7,2	15,5	17,6	22,7	-	-	-	-	-	-
Irraggiamento solare giornaliero	[MJ/m ²]	2017	6,5	7,4	13,9	19,4	22,3	23,9	24,3	20,7	15,9	11,3	6,8	5,6
		2018	5,9	7,4	11,1	16,7	17,8	23,4	-	-	-	-	-	-

In Figura 5.9 e Figura 5.10 sono riportati i valori dell'irraggiamento solare globale medio giornaliero sul piano orizzontale e della temperatura esterna giornaliera relativi ai due anni solari analizzati (2017 e 2018).

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO

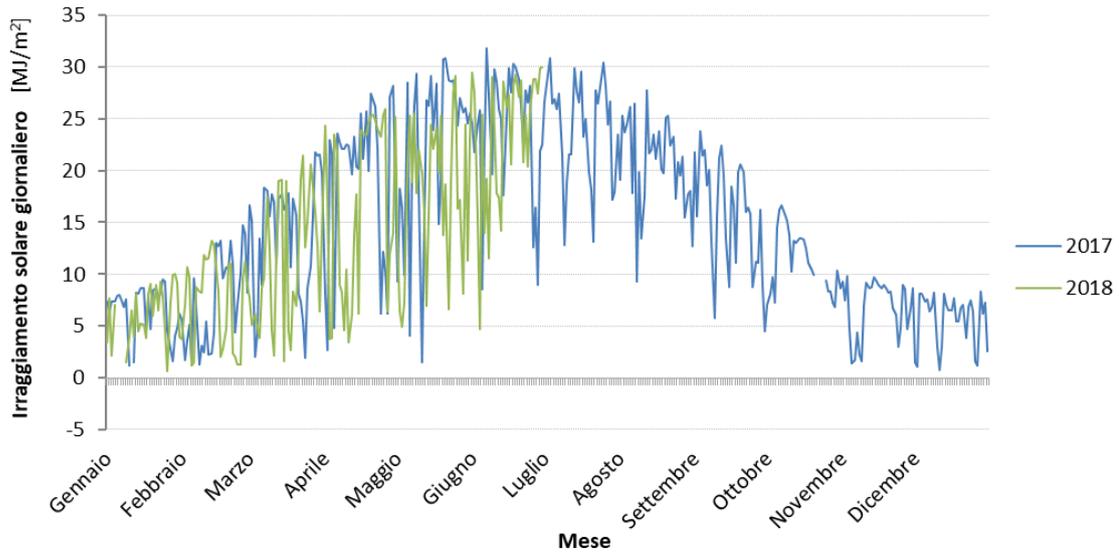


Figura 5.9: Andamento della radiazione solare media giornaliera sul piano orizzontale, Torino. I dati relativi alla seconda parte del 2018 non erano disponibili nel momento in cui è stata condotta la diagnosi energetica (Fonte: [104])

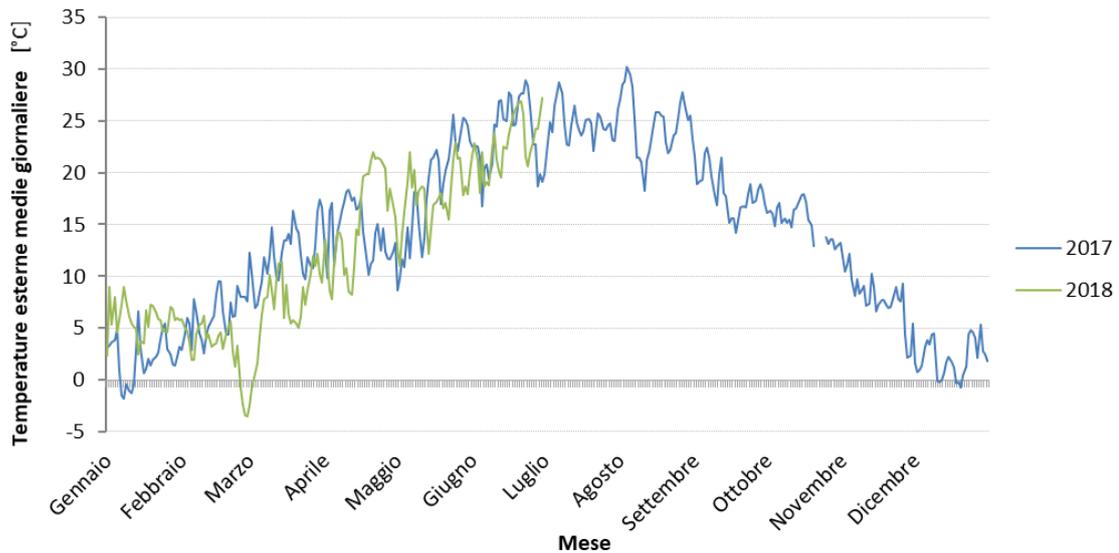


Figura 5.10: Andamento temperatura esterna giornaliera, Torino. I dati relativi alla seconda parte del 2018 non erano disponibili nel momento in cui è stata condotta la diagnosi energetica (Fonte: [104]).

I Gradi Giorno reali, riportati in

Tabella 5.15 e relativi al periodo di riscaldamento, sono stati ricavati secondo quanto previsto dal paragrafo 4.4 dell'UNI EN ISO 15927-6 [55] e paragrafo 4.3 UNI 10349-3 [56]. Per Gradi Giorno si intende la somma aritmetica estesa su tutta la stagione di riscaldamento delle sole differenze positive tra la temperatura interna, assunta pari a 20°C, e la media giornaliera della temperatura esterna.

5. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO ALLO STATO DI FATTO*Tabella 5.15: Gradi-Giorno reali relativi alla stagione di riscaldamento 2017-2018*

Periodo di riferimento	Gradi-Giorno
	[°C d]
19/10/2017 - 15/12/2017	717
16/12/2017 - 09/02/2018	865
10/02/2018 - 19/04/2018	866

Consumi e Gradi-Giorno sono stati successivamente ridefiniti su base mensile (Capitolo 7.1).

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

Il processo di realizzazione del modello *customizzato* ha richiesto di ricostruire digitalmente su *Autocad* [108] le planimetrie del fabbricato visibili nell'Allegato D. Il file generato è stato successivamente importato su *DesignBuilder* [106] con la corretta orientazione per la costruzione del modello tridimensionale visibile in Figura 6.1. Si procede successivamente con la suddivisione in zone termiche, la determinazione degli apporti interni per ogni zona, la determinazione dei profili di utilizzo dei sistemi oscuranti e delle schermature solari e si conclude determinando i ricambi d'ora per la ventilazione naturale.

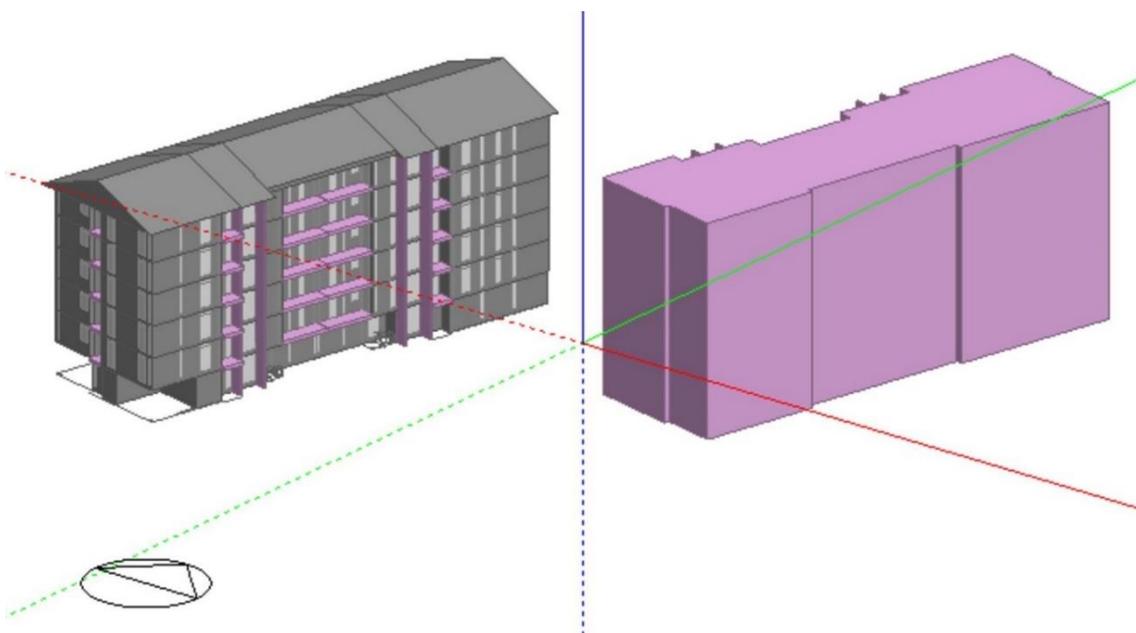


Figura 6.1: Modello tridimensionale Blocco A

6.1. ZONIZZAZIONE DELL'EDIFICIO

La norma UNI/TS 11300-1 [39] al paragrafo 7.2 riporta le regole da osservare per una corretta suddivisione dell'edificio in zone termiche. Il punto C, in particolare, sottolinea come la suddivisione in zone termiche differenti sia necessaria qualora due o più ambienti prevedano diversi impianti di riscaldamento. Nell'edificio in oggetto, ciascun appartamento, come già descritto nel paragrafo precedente (Capitolo 5.4), è riscaldato da una caldaia di tipo autonomo. Di conseguenza, ogni appartamento è una zona termica. I cinque piani riscaldati presentano la medesima planimetria e la suddivisione in zone è visibile in Figura 6.2.

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

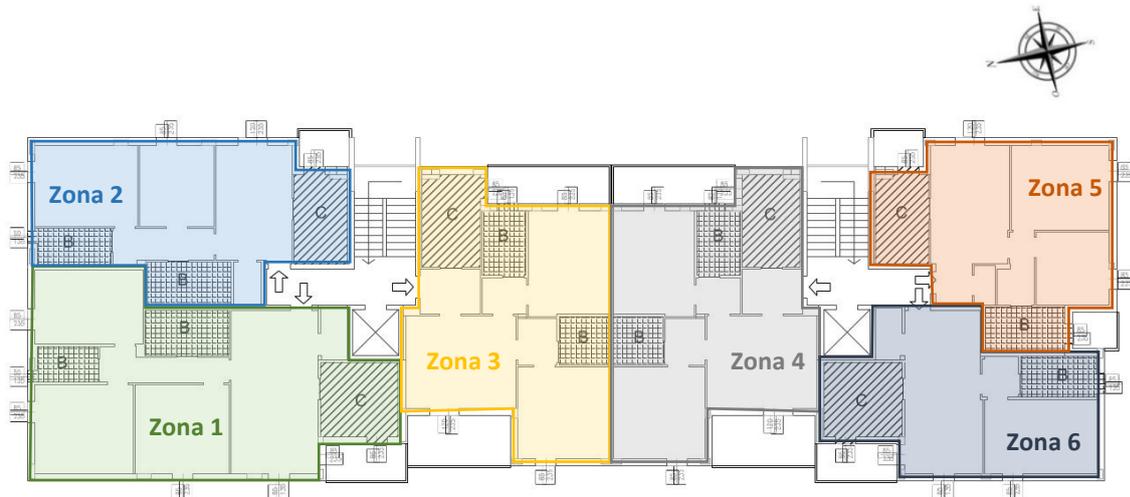


Figura 6.2: Zonizzazione edificio

Di seguito vengono riportate le superfici nette delle zone termiche (Tabella 6.1).

Tabella 6.1: Superfici nette zone termiche

	A_{netta}
	[m ²]
Zona 1*	96,6
Zona 2	67,0
Zona 3	75,6
Zona 4	75,3
Zona 5	62,0
Zona 6	56,6
(*) Appartamento di riferimento	

6.2. DETERMINAZIONE APPORTI INTERNI

Concordemente a quanto già effettuato da altri autori [80], per la determinazione degli apporti interni si è utilizzato il procedimento che verrà di seguito illustrato.

Il prospetto 14 della norma UNI/TS 11300-1 [39], visibile in Figura 6.3, riporta gli apporti dovuti ad occupanti ed apparecchiature per gli edifici residenziali suddivisi a seconda che si tratti di soggiorno e cucina o di altri ambienti climatizzati in funzione delle fasce orarie.

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

Giorni	Ore	Soggiorno e cucina $(\Phi_{\text{int,Oc}} + \Phi_{\text{int,A}}) / A_f$ [W/m ²]	Altre aree climatizzate (per esempio stanza da letto) $(\Phi_{\text{int,Oc}} + \Phi_{\text{int,A}}) / A_f$ [W/m ²]
Lunedì – Venerdì	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	8,0	1,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	20,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	6,0
	Media	9,0	2,67
Sabato – Domenica	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	8,0	2,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	20,0	4,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	6,0
	Media	9,0	3,83
Media		9,0	3,0

$(\Phi_{\text{int,Oc}} + \Phi_{\text{int,A}})$ è il flusso termico dalle persone e dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Figura 6.3: Prospetto 14 della norma UNI/TS 11300-1 [39]

Sulla base dei valori contenuti nella precedente figura si sono calcolati gli apporti interni medi a livello dell'intera Zona 1, zona riferita all'utenza tipo, e si è ottenuto un valore medio pari a 5,15 W/m². Questo valore è stato confrontato con il risultato ottenibile dall'equazione 48 della norma UNI/TS 11300-1 [39], qui Equazione 6.1, che permette di ottenere gli apporti interni sensibili per edifici residenziali in funzione della superficie netta (A_f). Se la superficie netta è maggiore di 120 m² gli apporti interni sensibili sono pari a 450 W.

$$\Phi_{\text{INT}} = 7,987 \cdot A_f - 0,0353 \cdot A_f^2 \quad [\text{W/m}^2] \quad 6.1$$

Sulla base della superficie netta della Zona 1, riportata precedentemente in Tabella 6.1, si è ottenuto un valore pari a 4,58 W/m². Si è successivamente introdotto un fattore correttivo in modo tale da ottenere un valore medio, derivato dalla procedura precedente che risultasse del tutto analogo a quello derivante dall'equazione 48 per poter definire un profilo orario degli apporti che fosse contemporaneamente generico, in quanto derivante da normativa, ma dettagliato, in quanto determinato in funzione della dimensione della zona termica considerata. Si è pertanto ottenuto per la zona termica 1 un valore degli apporti interni suddiviso in fasce orarie come previsto dal prospetto 14 rappresentato in Tabella 6.2 che determina un profilo orario su base settimanale visibile in Figura 6.4.

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

Tabella 6.2: Apporti interni per fasce orarie

Giorni	Ore	Soggiorno + Cucina	Altre aree climatizzate
		[W/m ²]	[W/m ²]
Lunedì-Venerdì	7:00-17:00	7,12	0,89
	17:00-23:00	17,8	0,89
	23:00-7:00	1,78	5,34
	Media	8,01	2,37
Sabato-Domenica	7:00-17:00	7,12	1,78
	17:00-23:00	17,8	3,56
	23:00-7:00	1,78	5,34
	Media	8,01	3,41
Media Settimanale		8,01	2,67
Media Settimanale Totale		4,59	
Valore da equazione 48 - UNI/TS 11300-1 [39]		4,58	

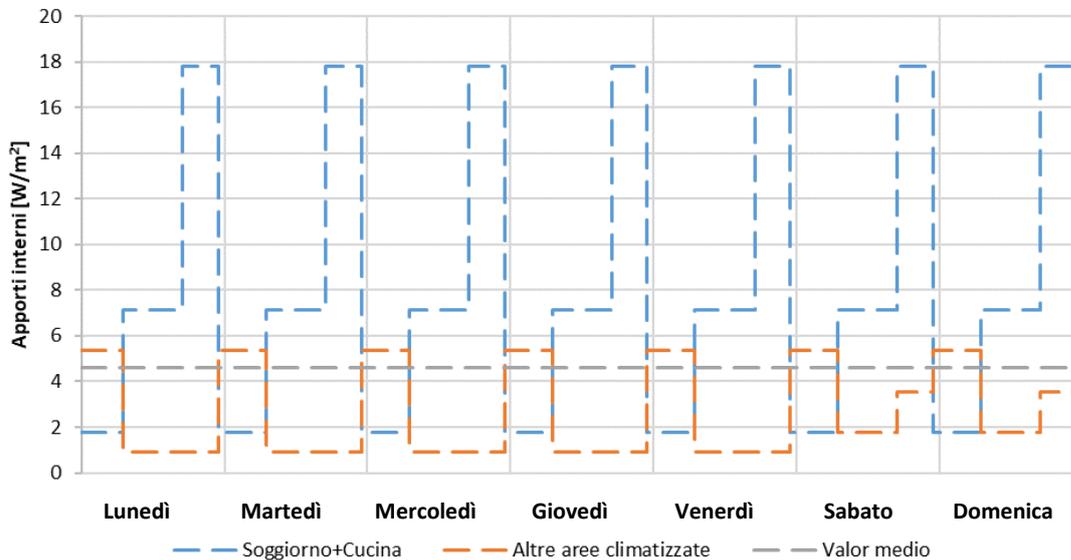


Figura 6.4: Profilo orario su base settimanale apporti interni Zona 1

Concordemente con quanto previsto dall'appendice B alla norma UNI EN ISO 52016-1 [57], il 40% degli apporti interni sono stati considerati di tipo convettivo e la rimanente parte di tipo radiativo.

6.3. PROFILI DI UTILIZZO SISTEMI OSCURANTI E SCHERMATURE SOLARI

Per quanto concerne i profili di utilizzo dei sistemi oscuranti e delle schermature solari, si è fatto riferimento a quanto riportato dall'utente nei questionari per poter realizzare un profilo orario che risultasse aderente al comportamento reale. Per una più corretta analisi dei dati il comportamento dell'utente è stato suddiviso in funzione delle stagioni: inverno, primavera-autunno, estate. Nei due grafici seguenti sono riportati i profili di utilizzo dei

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

sistemi oscuranti su base oraria (Figura 6.5) e il profilo di utilizzo delle schermature solari (Figura 6.6):

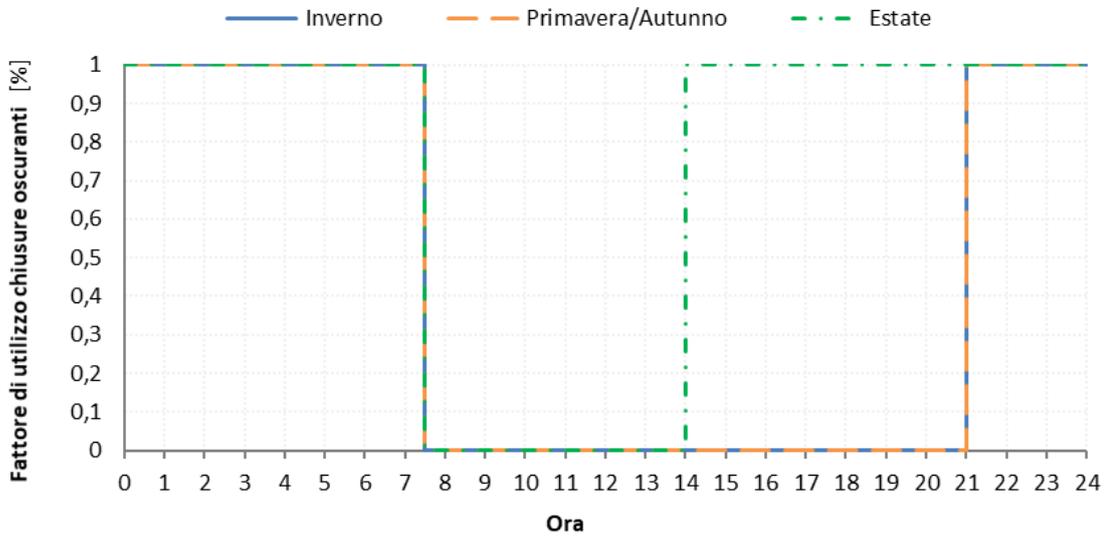


Figura 6.5: Profilo orario di utilizzo delle chiusure oscuranti

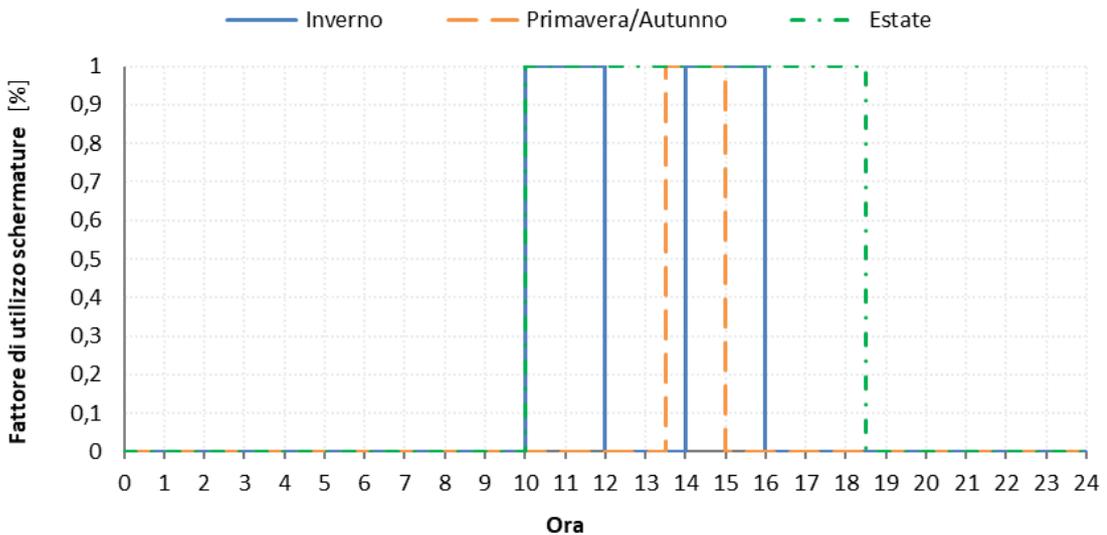


Figura 6.6: Profilo orario di utilizzo delle schermature solari

Vista l'impossibilità di abilitare contemporaneamente la presenza di schermature solari e di chiusure oscuranti dovuta a *DesignBuilder* [106] e considerando che la prima parte di analisi verteva prevalentemente sulla calibrazione del modello in funzione del consumo dovuto al riscaldamento, si è deciso di considerare presenti le schermature oscuranti per via dell'aumentata resistenza termica fornita ai componenti finestrati. In aggiunta, come già spiegato precedentemente (Capitolo 5.3), le chiusure oscuranti, laddove non presenti le schermature solari (Tabella 5.5), vengono impiegate anche durante l'estate, a partire dal primo pomeriggio, per diminuire gli apporti solari.

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

6.4. VENTILAZIONE NATURALE

La ventilazione naturale all'interno del software *DesignBuilder* [106] può essere realizzata attraverso l'impiego di due differenti metodologie che prendono il nome di:

- ventilazione calcolata;
- ventilazione programmata.

La scelta può essere effettuata selezionando l'opportuna voce all'interno delle opzioni di modello. Nel seguito vengono illustrate le due tipologie sulla base di quanto spiegato nella guida online di *DesignBuilder* [106] e la loro effettiva implementazione all'interno del modello.

6.4.1. VENTILAZIONE PROGRAMMATA

La ventilazione naturale programmata si basa sulla determinazione di un valore di ricambi d'aria medio e sulla determinazione di un profilo orario ad esso collegato. Il valore di ricambi d'ora per ogni zona termica, nei periodi occupati, è stato calcolato utilizzando i valori nella tabella B.5 della norma UNI EN ISO 15251 [58] e considerando una categoria due di qualità dell'edificio. I tre metodi diversi considerati sono:

1. calcolo dei ricambi d'ora in funzione della superficie utile dell'intero appartamento;
2. calcolo dei ricambi d'ora in funzione dell'indice di affollamento;
3. calcolo dei ricambi d'ora in funzione della superficie utile complessiva di stanza da letto e soggiorno.

I risultati sono visibili in Tabella 6.3 e, come indicato dalla normativa, si è scelto il valore maggiore tra quelli ottenuti e quindi facente riferimento al metodo tre.

Tabella 6.3: Confronto metodi per ottenimento ricambi d'ora nei periodi di occupazione

Zona Termica	Superficie netta totale	Superficie Stanza da letto + Soggiorno	Numero abitanti (*)	Metodo 1	Metodo 2	Metodo 3
	[m ²]	[m ²]	[pers]	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]
Zona 1	96,6	67,6	3	0,56	0,29	0,93
Zona 2	67,0	40,2	3	0,56	0,42	0,80
Zona 3	75,6	46,4	3	0,56	0,37	0,82
Zona 4	75,3	38,4	3	0,56	0,37	0,68
Zona 5	62,0	42,3	3	0,56	0,45	0,91
Zona 6	56,6	36,1	3	0,56	0,49	0,85

(*) Si è considerato un valore standard di riferimento di 3 abitanti per ciascun appartamento

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

Per gli istanti non occupati, invece, si considera un tasso di ventilazione pari a 0,1 l/s m², come indicato da appendice B.4 alla norma UNI EN ISO 15251 [58], che determina un ricambio orario pari a 0,13 [h⁻¹].

Successivamente, come già effettuato in altri casi studio [80], si è proceduto a determinare un profilo orario dei ricambi d'ora utilizzando la suddivisione oraria già impiegata per gli apporti interni. È stato determinato un profilo orario tale per cui il valor medio su base mensile risultasse confrontabile con quello ottenibile con l'equazione 36 della norma UNI/TS 11300-1 [39], qui Equazione 6.2, utilizzato per effettuare valutazioni energetiche standard.

$$q_{ve,k,mn} = q_{ve,0,k} \cdot f_{ve,t,k} \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad 6.2$$

Nell'Equazione 6.2 il termine $f_{ve,t,k}$, fattore di correzione, è estratto dal prospetto E.2 in funzione della destinazione d'uso e $q_{ve,0,k}$, la portata minima di progetto di aria esterna, è ottenibile con l'equazione 34 della norma UNI/TS 11300-1 [39], qui Equazione 6.3, in cui il tasso di ricambi d'ora (n) è pari a 0,5 h⁻¹.

$$q_{ve,0} = n \cdot V/3600 \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad 6.3$$

In Tabella 6.4 si riportano i ricambi d'ora per la Zona termica 1 e in Figura 6.7 il profilo orario corrispondente su base settimanale:

Tabella 6.4: Ricambi d'ora per fasce orarie

Giorni	Ore	Soggiorno + Cucina	Altre aree climatizzate
		[h ⁻¹]	[h ⁻¹]
Lunedì-Venerdì	7:00-17:00	0,13	0,13
	17:00-23:00	0,93	0,13
	23:00-7:00	0,13	0,93
	Media	0,33	0,39
Sabato-Domenica	7:00-17:00	0,13	0,13
	17:00-23:00	0,93	0,13
	23:00-7:00	0,13	0,93
	Media	0,33	0,39
Media Settimanale		0,33	0,39
Media Settimanale Totale		0,37	
Valore da equazione 36 - UNI/TS 11300-1 [39]		0,3	

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

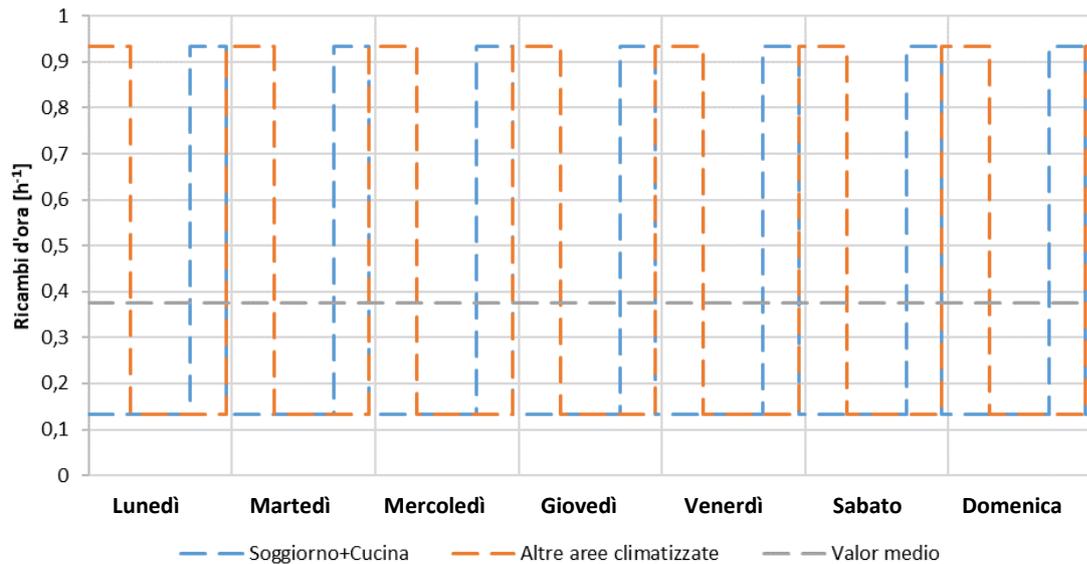


Figura 6.7: Profilo orario su base settimanale ricambi d'aria Zona 1

6.4.2. VENTILAZIONE CALCOLATA

La ventilazione naturale calcolata, invece richiede di inserire il profilo di utilizzo delle chiusure trasparenti, la percentuale di vetro apribile e la tipologia di controllo adottato per l'apertura delle finestre. Per quanto concerne il profilo di utilizzo delle chiusure trasparenti si è deciso di suddividere gli ambienti in:

- zona giorno: camere da letto, bagni;
- zona notte: cucina, soggiorno, disimpegno.

La suddivisione ha permesso di realizzare due *template*; uno per la zona notte (Figura 6.8) ed uno per la zona giorno (Figura 6.9). Per la zona giorno si è supposto che le finestre rimangano chiuse nel periodo invernale.

6. COSTRUZIONE DEL MODELLO

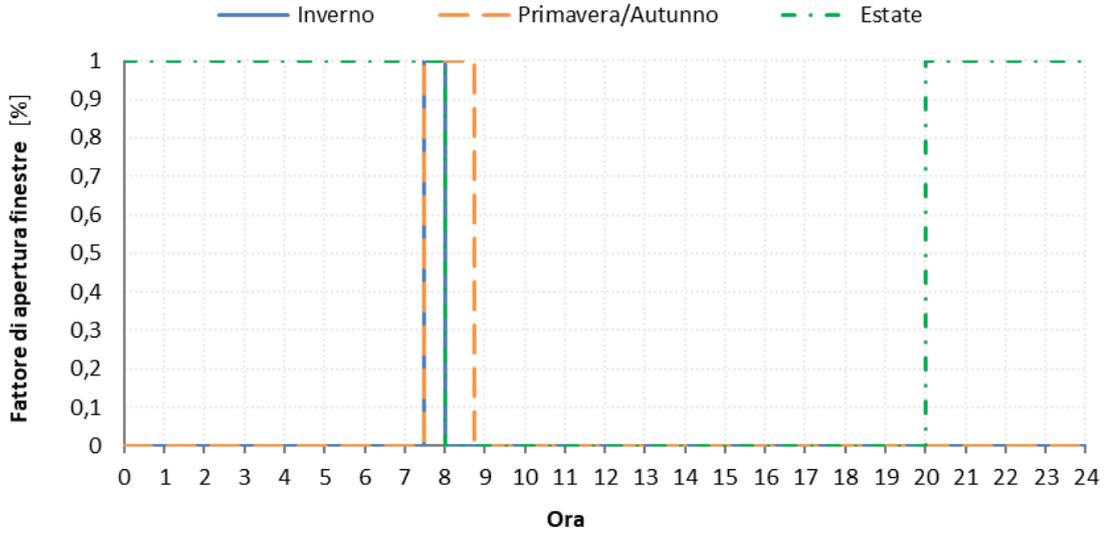


Figura 6.8: Profilo orario di apertura chiusure trasparenti zona notte

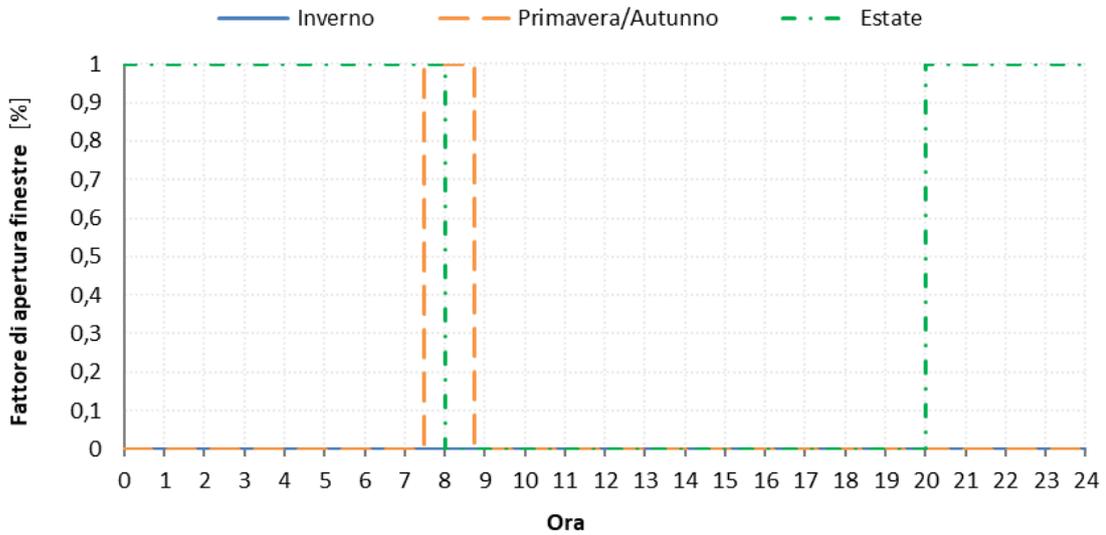


Figura 6.9: Profilo orario di apertura chiusure trasparenti zona giorno

Per quanto concerne la percentuale di vetro apribile, essa è stata determinata per ogni serramento in accordo a quanto previsto da UNI EN 16798-7 [59] ed è visibile in Tabella 6.5.

Tabella 6.5: Percentuale di vetro apribile

	Percentuale di vetro apribile
	[%]
PFdbt_1	84%
PFdbp_2	47%
Fdb_3	82%
Fsb_4	74%
PFdbt_5	88%
PFdbp_6	49%

$$\eta_{PCS} = \eta_{PCI} \cdot \frac{PCI}{PCS} [-] \quad 6.4$$

Il potere calorifico superiore PCS ed il potere calorifico inferiore PCI per il metano sono stati ottenuti dall'Appendice A alla norma UNI 7129-1 [60].

Sul lato sorgente è stato inserito un *set-point manager* per regolare la temperatura di mandata del circuito primario in funzione della temperatura esterna. È stato selezionato del tipo a compensazione climatica, prevedendo una temperatura di mandata di 80°C con temperatura esterna di -8°C e una temperatura di 60°C con una temperatura esterna di 15°C.

Il lato richiesta prevede il collegamento con la zona termica nella quale sono previsti radiatori. Il rendimento di emissione e distribuzione, già preimpostato e non editabile, è pari a 0,9. La temperatura di *setpoint* e *setback* sono rispettivamente pari a 21°C e 18°C e sono regolate da un apposito *template*. L'impianto è stato predisposto al fine di mantenere la temperatura di *setpoint* nel periodo compreso tra le ore 7 e le ore 22 e di entrare in funzione nel restante periodo solo qualora la temperatura nelle zone riscaldate fosse diminuita al di sotto del valore di *setback*.

Il circuito ACS prevede dal lato sorgente il collegamento con il primario del circuito di acqua calda mentre a secondario il collegamento con l'utenza. Il consumo di acqua calda è stato ottenuto secondo quanto previsto dal paragrafo 7.1.2 della norma UNI/TS 11300-2 [40].

Infine, per quanto concerne le pompe di distribuzione di riscaldamento e distribuzione, è stato selezionato il metodo *autosize* in assenza di informazioni più dettagliate.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE PRE-RETROFIT

Dopo aver introdotto i dati e le informazioni riguardanti il caso studio, si svolgono le valutazioni energetiche nella fase di *pre-retrofit* come descritto precedentemente (Capitolo 4.1). Come già spiegato in precedenza (Capitolo 5.3), non è stato possibile ricavare informazioni dettagliate riguardo tutte le zone termiche costituenti l'edificio. Si è pertanto deciso di effettuare le prime valutazioni energetiche in funzione delle informazioni fornite dall'utenza tipo individuata, relative all'appartamento di riferimento occupato da tale famiglia. Il modello riferito al singolo appartamento di riferimento è stato quindi calibrato ed esteso all'intero edificio.

7.1. VALUTAZIONE ENERGETICA D'ESERCIZIO E VALUTAZIONE ENERGETICA ADATTATA ALL'UTENZA REALE

La valutazione energetica d'esercizio, *operational energy rating*, è stata effettuata considerando i consumi della stagione di riscaldamento 2017 e 2018 per l'utenza tipo. Partendo dai consumi di gas metano rilevati in bolletta, presentati in Tabella 5.13, si è deciso di suddividere i consumi su base mensile in funzione dei gradi giorno reali, ricavati secondo quanto previsto dal paragrafo 4.4 dell'UNI EN ISO 15927-6 [55] e dal paragrafo 4.3 della norma UNI 10349-3 [56]. I consumi suddivisi per mese sono riportati in Tabella 7.1.

Tabella 7.1: Consumi su base mensile in funzione dei gradi giorno utenza tipo

Periodo di riferimento	Gradi Giorno reali	Consumo riscaldamento
	[GG]	[kWh]
19/10/2017 - 31/10/2017	84,0	270
01/11/2017 - 30/11/2017	361,0	1161
01/12/2017 - 31/12/2017	555,8	1837
01/01/2018 - 31/01/2018	439,8	1490
01/02/2018 - 28/02/2018	472,3	1676
01/03/2018 - 31/03/2018	397,3	1437
01/04/2018 - 19/04/2018	137,8	498

In Figura 7.1 i consumi dovuti all'impianto di riscaldamento sono stati messi in relazione ai gradi giorno. Il coefficiente di determinazione (R^2) indicato in figura indica l'accuratezza della correlazione tra gradi giorno e consumi. Più il coefficiente si avvicina a uno, più la correlazione è accurata.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

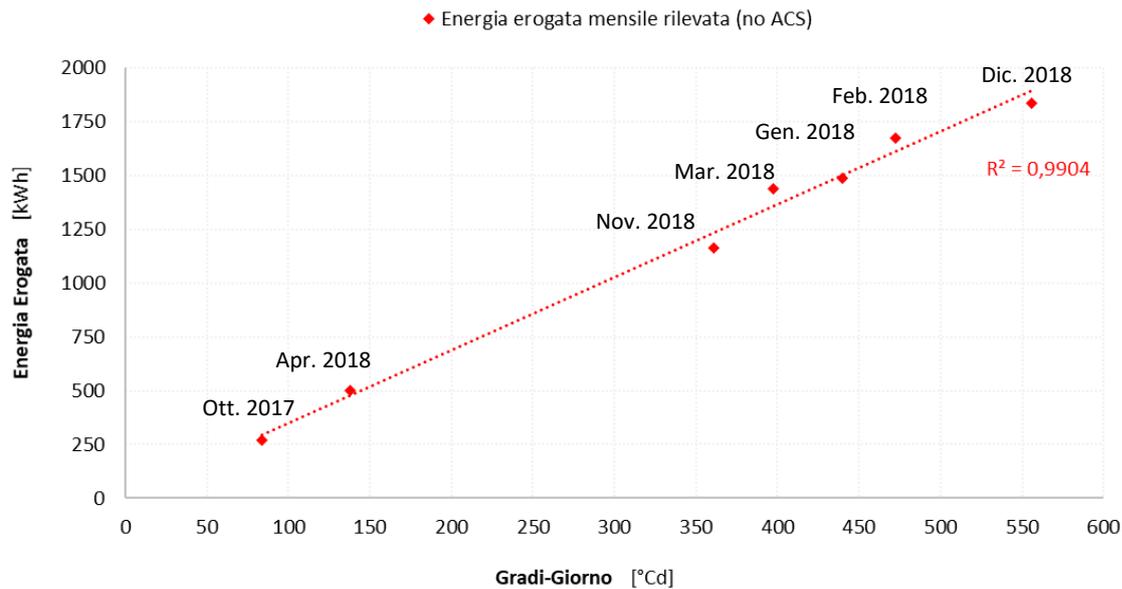


Figura 7.1: Consumi su base mensile in funzione dei gradi giorno utenza tipo

La valutazione energetica adattata all'utenza, *tailored energy rating*, è stata effettuata attraverso l'impiego del software *DesignBuilder* [106]. Come spiegato in precedenza, Capitolo 6.4, è possibile calcolare gli apporti dovuti alla ventilazione naturale attraverso due metodi diversi. Prima di procedere alla calibrazione si è pertanto deciso di utilizzare entrambe le metodologie per verificare che i consumi fossero confrontabili. Le simulazioni condotte con il software di simulazione dinamica *DesignBuilder* [106] su base mensile hanno permesso di calcolare i consumi dovuti alla componente riscaldamento sia con ventilazione calcolata che con ventilazione programmata visibili in Tabella 7.2:

Tabella 7.2: Consumi energetici modelli ventilazione programmata e calcolata utenza tipo

Periodo di riferimento	Gradi-Giorno	Energia erogata (no ACS) ventilazione programmata	Energia erogata (no ACS) ventilazione calcolata
	[°C d]	[kWh]	[kWh]
19/10/2017 - 31/10/2017	84,0	142	111
01/11/2017 - 30/11/2017	361,0	1097	1036
01/12/2017 - 31/12/2017	555,8	1997	1867
01/01/2018 - 31/01/2018	439,8	1501	1440
01/02/2018 - 28/02/2018	472,3	1617	1544
01/03/2018 - 31/03/2018	397,3	1152	1046
01/04/2018 - 19/04/2018	137,8	277	240

Confrontando i consumi della *tailored energy rating* con i consumi della *operational energy rating* si ottiene il grafico in Figura 7.2. Analizzando il grafico ottenuto si possono fare le seguenti considerazioni, utili durante la fase di calibrazione:

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

- nei mesi di inizio e fine della stagione di riscaldamento (Ottobre 2017, Marzo 2018 e Aprile 2018) i consumi simulati con entrambe le soluzioni, ventilazione calcolata e ventilazione programmata, sono sottostimati;
- nel mese più freddo, Dicembre 2018, il consumo simulato con entrambi i modelli è superiore a quello reale.

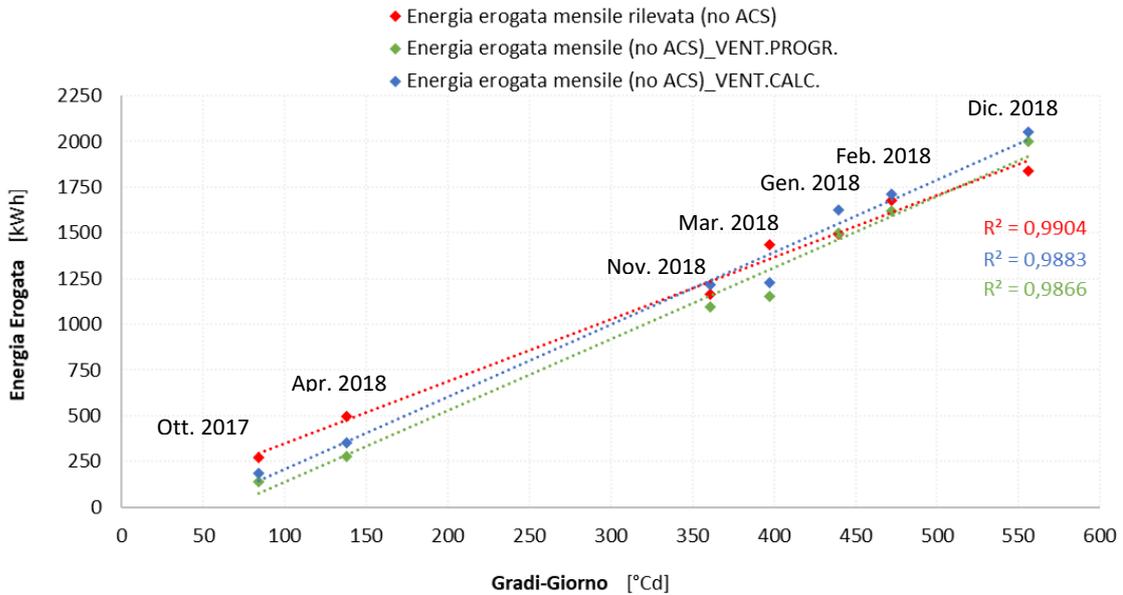


Figura 7.2: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating

Siccome i risultati ottenuti con le due modalità di ventilazione non differiscono in maniera significativa, per la successiva fase di calibrazione si è deciso di utilizzare il modello con ventilazione calcolata riferito all’utenza tipo, in quanto permette un più efficace controllo dei parametri dovuti alla ventilazione. Confrontando i consumi reali con quelli ottenuti per il modello con ventilazione calcolata si ottengono gli scarti percentuali presenti in Tabella 7.3. Si evidenzia nuovamente come, ad inizio e al termine della stagione di riscaldamento, siano presenti delle notevoli differenze tra i consumi rilevati e quelli stimati. La causa è riconducibile ai dati inseriti nel modello, ed in particolar modo alla gestione dell’apertura delle finestre. Nel Capitolo 7.2 si interverrà sui dati inseriti per calibrare il modello.

Tabella 7.3: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating con ventilazione calcolata

Periodo di riferimento	Gradi-Giorno	Operational rating	Tailored rating ventilazione calcolata	Scarto percentuale (tailored rispetto operational)
	[°C d]	[kWh]	[kWh]	[%]
19/10/2017 - 31/10/2017	84,0	270	142	-47,6%
01/11/2017 - 30/11/2017	361,0	1161	1097	-5,5%
01/12/2017 - 31/12/2017	555,8	1837	1997	8,7%
01/01/2018 - 31/01/2018	439,8	1490	1501	0,7%
01/02/2018 - 28/02/2018	472,3	1676	1617	-3,5%
01/03/2018 - 31/03/2018	397,3	1437	1152	-19,9%
01/04/2018 - 19/04/2018	137,8	498	277	-44,4%

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

In Figura 7.3 si riporta il bilancio energetico per il modello con ventilazione calcolata suddiviso nelle quote di trasmissione, ventilazione, apporti interni, apporti solari, che determinano il fabbisogno d'energia della Zona Termica 1.

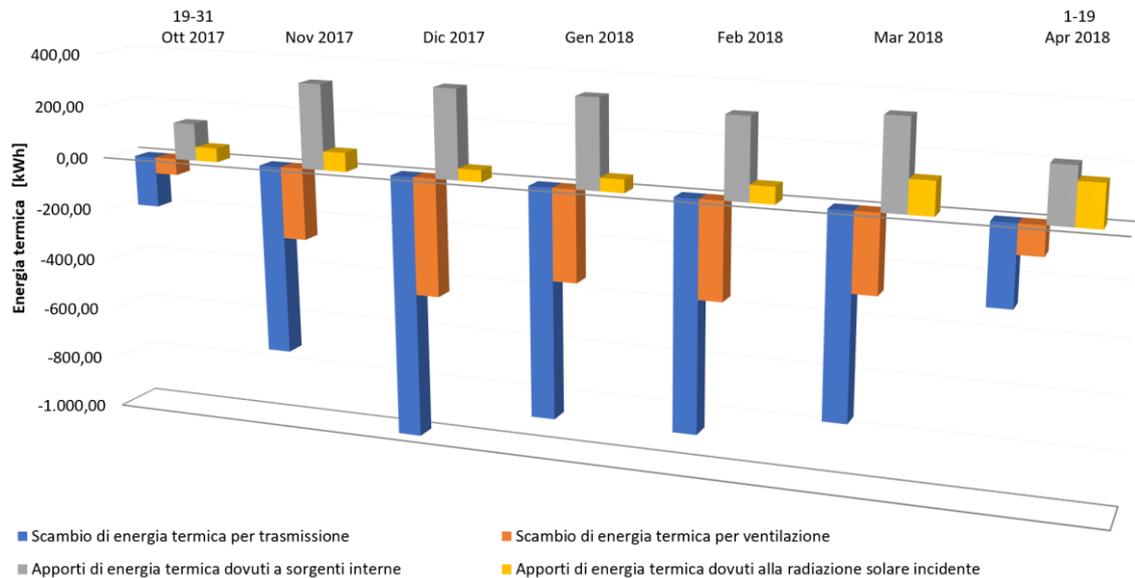


Figura 7.3: Bilancio energetico utenza tipo

7.2. CALIBRAZIONE E VALUTAZIONE ENERGETICA CALIBRATA ADATTATA ALL'UTENZA REALE CON DATI CLIMATICI REALI

Nella sezione precedente si è messo in evidenza come i consumi reali dell'utenza tipo siano diversi da quelli stimati con le simulazioni. Trattandosi di un edificio esistente, vi sono incertezze nei parametri di input che risultano in un modello che non rappresenta in totale le reali condizioni. Al fine di migliorare la corrispondenza tra i consumi reali e i consumi simulati si effettua un processo di calibrazione. Come indicato da [81] si possono distinguere due tipologie di calibrazione:

- manuale: processo iterativo basato sull'esperienza dell'utente e sul confronto dei risultati;
- automatizzata: processo iterativo basato su tecniche matematiche e statistiche.

Si è optato per una calibrazione di tipo manuale. Per poter meglio comprendere come i consumi siano influenzati dalle informazioni inserite si fa riferimento ad un semplice schema riportato in Figura 7.4. Un incremento di temperatura interna e/o una diminuzione degli apporti interni causano una traslazione della retta di regressione dei consumi verso l'alto e viceversa. Le dispersioni per trasmissione e ventilazione sono invece responsabili della pendenza della linea di regressione.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

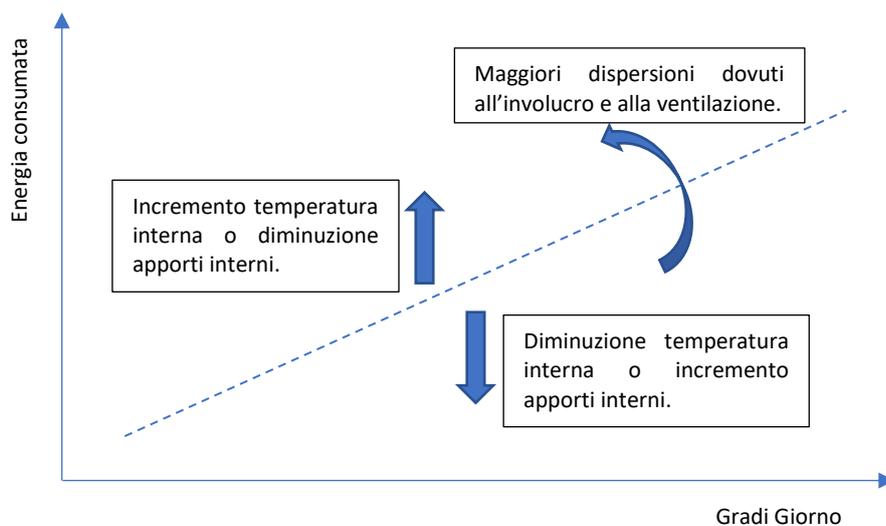


Figura 7.4: Energia consumata in funzione dei gradi giorno

Considerando quanto presente in Figura 7.4 si è deciso di intervenire sui parametri di seguito elencati, e successivamente spiegati in dettaglio:

- apertura finestre;
- rendimento caldaia;
- temperatura *set-back*;
- apporti interni.

Per prima cosa, considerando la notevole differenza dei consumi presente nei mesi di inizio e fine della stagione di riscaldamento si è ritenuto opportuno intervenire sul periodo di apertura delle finestre. Le simulazioni iniziali erano state condotte suddividendo l'appartamento dell'utenza tipo in zona notte e zona giorno e considerando l'apertura delle finestre unicamente come descritto precedentemente in Figura 6.8 e Figura 6.9. Ritenendo plausibile un incremento del periodo di apertura delle finestre in funzione della temperatura esterna si è deciso di prevedere, per la stagione intermedia, ovvero dal 19 ottobre fino al 31 ottobre e dal 16 marzo al 19 di aprile, un periodo di apertura di un'ora e quindici minuti invece di trenta minuti, rimanendo comunque in accordo con quanto dichiarato dall'utenza nei questionari. (Tabella 5.9).

Come secondo punto, si è ritenuto opportuno modificare il rendimento della caldaia impostato (Capitolo 6.5) tenendo conto del reale potere calorifico superiore dichiarato dal fornitore di gas, pari a 39,160 MJ/Sm³. Considerando il PCS fornito dal fornitore e l'Equazione 6.4 fornita in precedenza, è stato possibile ricavare un rendimento per la caldaia a metano pari a 0,807, opportunamente introdotto nel modello.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Come terzo punto si è modificata la temperatura di *set-back* non richiesta nei questionari e pertanto ipotizzata in fase di costruzione del modello (Capitolo 6.5). La temperatura di *set-back* è stata impostata a 18,5°C rispetto ai 18°C previsti inizialmente.

Infine, si è ritenuto opportuno intervenire sugli apporti interni. Considerando che essi costituiscono il termine di più difficile valutazione si è considerata una riduzione del 3% rispetto a quanto precedentemente considerato (Capitolo 6.2).

Considerando le modifiche sopra imposte si ottengono i consumi visibili in Figura 7.5.

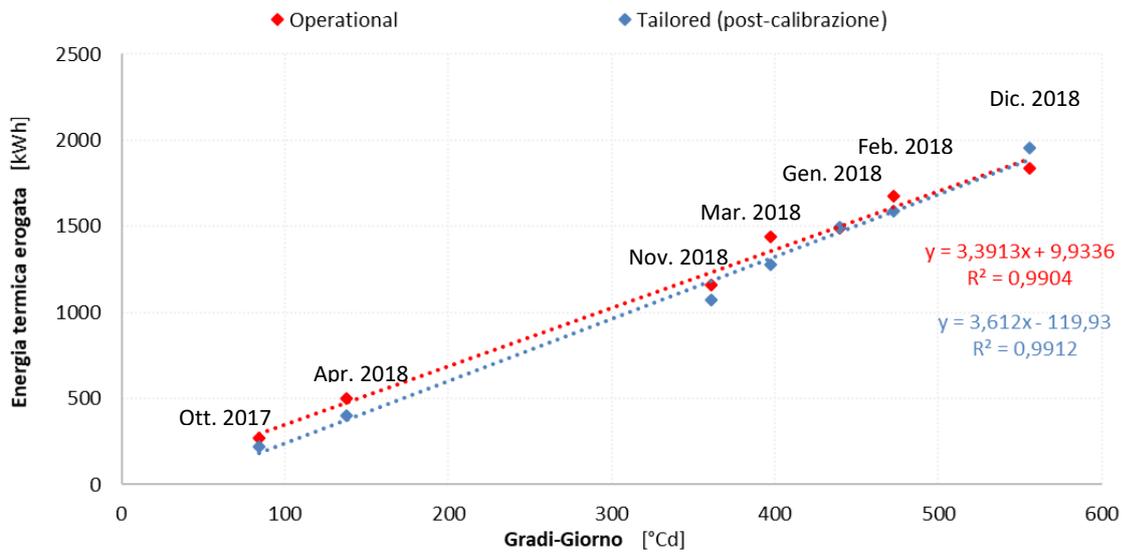


Figura 7.5: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating (post-calibrazione)

La diminuzione degli scarti percentuali ottenuti è visibile in Tabella 7.4. Con le modifiche introdotte si è ottenuto una riduzione in particolare degli scarti percentuali nei mesi di inizio e fine della stagione di riscaldamento rispetto a quanto riportato in Tabella 7.3.

Tabella 7.4: Confronto tra operational energy rating e tailored energy rating (post-calibrazione)

Periodo di riferimento	Operational rating	Calibrated tailored rating ventilazione calcolata	Scarto percentuale (tailored rispetto operational)
	[kWh]	[kWh]	[%]
19/10/2017 - 31/10/2017	270	218	-19,3%
01/11/2017 - 30/11/2017	1161	1070	-7,9%
01/12/2017 - 31/12/2017	1837	1954	6,4%
01/01/2018 - 31/01/2018	1490	1496	0,4%
01/02/2018 - 28/02/2018	1676	1591	-5,1%
01/03/2018 - 31/03/2018	1437	1275,	-11,3%
01/04/2018 - 19/04/2018	498	398	-20,1%

La calibrazione di tipo manuale richiede la verifica della capacità del modello di simulare i consumi reali, sulla base di indici statistici indicati (come effettuato in [81],[82]). Gli indici utilizzati, proposti da [83], sono riportati nella seguente Tabella 7.5.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Tabella 7.5: Indici statistici (Fonte: [81],[82],[83])

Variazione percentuale media	Mean Bias Error (MBE)	$MBE (\%) = \frac{\sum_{\text{period}}(S - M)_{\text{interval}}}{\sum_{\text{period}} M_{\text{interval}}} \cdot 100$	7.1
Errore quadratico medio	Root Mean Square Error (RMSE)	$RMSE_{\text{period}} (\%) = \sqrt{\frac{\sum(S - M)_{\text{interval}}^2}{n_{\text{interval}}}}$	7.2
Coefficiente di variazione dell'errore quadratico medio	Coefficient of Variation of Root Mean Square Error (CV(RMSE))	$Cv (RMSE_{\text{period}})(\%) = \frac{RMSE_{\text{period}}}{A_{\text{period}}} \cdot 100$	7.3
<p>In cui:</p> <p>M = consumo misurato per ogni intervallo (orario, mensile) nel periodo temporale considerato [kWh]</p> <p>S = consumo stimato per ogni intervallo (orario, mensile) nel periodo temporale considerato [kWh]</p> <p>$A_{\text{period}} = \frac{\sum_{\text{period}} M_{\text{interval}}}{N_{\text{interval}}} =$ media aritmetica nel periodo considerato dei valori di consumo misurati [kWh]</p> <p>n_{interval} = numeri intervalli nel periodo considerato [-]</p>			

L' MBE (Equazione 7.1) è la somma aritmetica degli scostamenti, sia positivi che negativi, tra consumi misurati e consumi stimati per ogni intervallo. In questo termine, scarti positivi e negativi si controbilanciano. Per poter ovviare a questo problema si introduce il termine $RMSE_{\text{period}}$ (Equazione 7.2) in cui si sommano i contributi dovuti agli scarti quadratici. Il termine $Cv (RMSE_{\text{period}})$ (Equazione 7.3), infine, è una misura normalizzata della variazione tra i consumi misurati e quelli simulati, indice della bontà di adattamento del modello.

Per poter considerare il modello calibrato bisogna rientrare in determinati valori soglia, determinati in funzione dell'intervallo di tempo considerato. Trattandosi di una calibrazione mensile, si è optato per considerare il modello calibrato dopo aver rispettato i limiti più stringenti tra quelli presenti in letteratura e visibili in Tabella 7.6 (ovvero i limiti proposti da [70] e [84]).

Tabella 7.6: Valori soglia indici statistici (Fonte: [81], [82])

Indici statistici	Calibrazione mensile			Calibrazione oraria		
	ASHRAE [70]	FEMP [84]	IPMVP [85]	ASHRAE [70]	FEMP [84]	IPMVP [85]
MBE [%]	±5	±5	±20	±10	±10	±5
$Cv(RMSE)$ [%]	15	15	-	30	30	20

Il confronto su base mensile tra i consumi simulati e i consumi misurati presenti in Tabella 7.4 ha permesso di ricavare per il *calibrated tailored energy rating* gli indici riportati in Tabella 7.7, i quali rispettano i limiti sopraindicati.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Tabella 7.7: Valori indici statistici post calibrazione utenza tipo

Indici statistici	Modello di simulazione
MBE [%]	-4,4%
Cv(RMSE) [%]	8,3%

Ottenuto il modello calibrato, è stata valutata la prestazione energetica relativa all'utenza tipo. La prestazione energetica è stata calcolata sia in termini di fabbisogno netto di energia termica che in termini di fabbisogno di energia primaria, ed è riportata in Figura 7.6 e in Tabella 7.8.

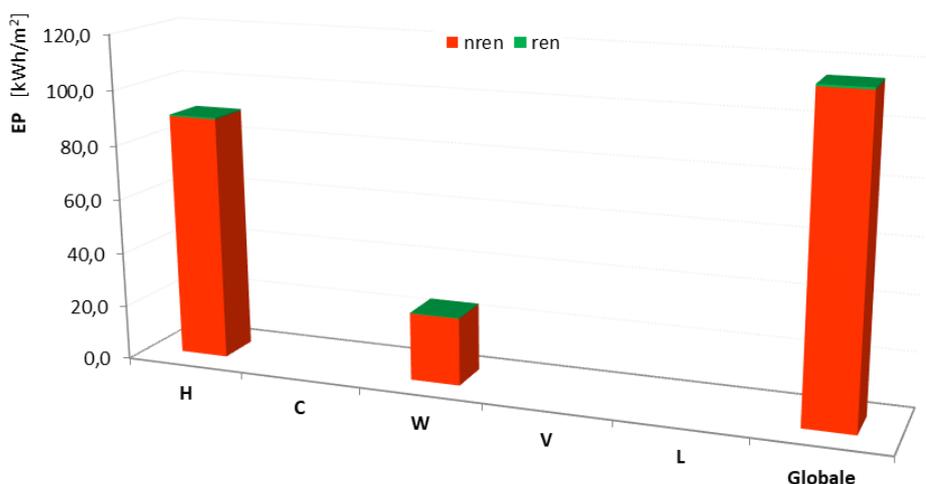


Figura 7.6: Prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici reali

Tabella 7.8: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici reali

Prestazione energetica	Fabbisogno di energia primaria				Fabbisogno netto di energia termica	
	Simbolo	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	Simbolo	[kWh/m²]
		[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]		
Riscaldamento	EP_H	89,3	0,5	89,8	$EP_{H,nd}$	46,5
Acqua calda sanitaria	EP_W	24,7	0,2	24,9	$EP_{W,nd}$	16,7
Totale	EP_{gl}	114,1	0,7	114,8		

7.3. VALUTAZIONE ENERGETICA CALIBRATA ADATTATA ALL'UTENZA REALE CON DATI CLIMATICI STANDARD

Per poter studiare soluzioni di riqualificazione che non dipendano da condizioni climatiche particolari e quindi da una determinata stagione di riscaldamento, si introduce all'interno del software un file climatico orario standard sviluppato dal Comitato Termotecnico

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Italiano [100]. Un file climatico standard “consiste in 12 mesi caratteristici scelti da un database di dati meteorologici di almeno 10 anni” come riportato dal “Report Ricerca di Sistema Elettrico” [86]. Per ogni mese si seleziona quello che presenta i dati (temperatura, velocità del vento, radiazione solare) più standard verificatosi nel periodo temporale considerato.

La valutazione energetica adattata all’utenza reale calibrata con dati climatici standard prevede i dati e le informazioni reali validate con il processo di calibrazione, abbinato ad un file climatico standard orario, che, come indicato da UNI 10349–3 [56] per Torino prevede 2648 Gradi Giorno. In Figura 7.7 e in Figura 7.8, come già effettuato per i file climatici reali (Capitolo 5.5), si riportano i grafici con gli andamenti della temperatura esterna media giornaliera e la radiazione solare media giornaliera sul piano orizzontale, relativi ai dati climatici standard.

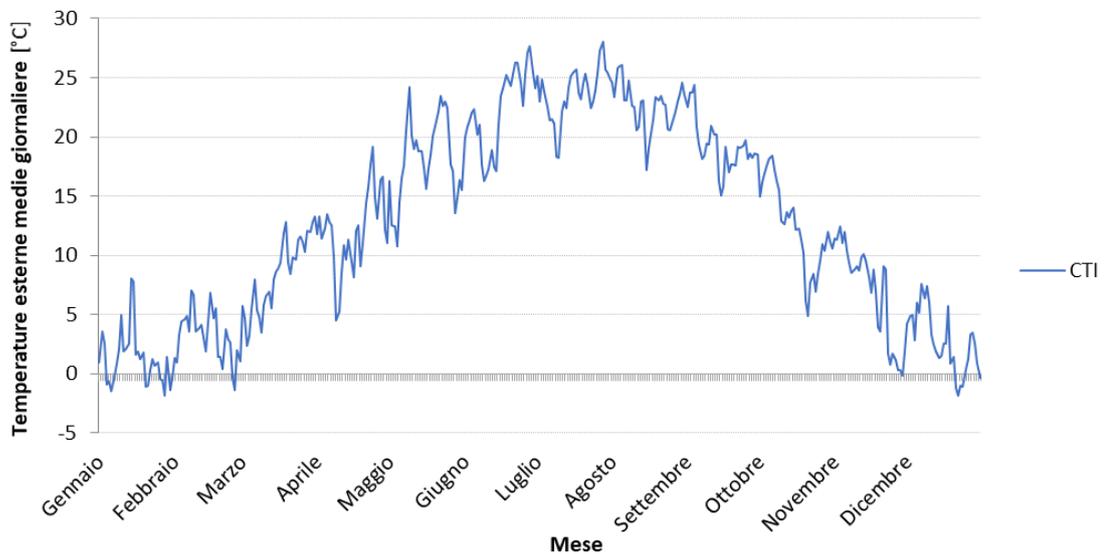


Figura 7.7: Andamento temperatura esterna giornaliera, Torino. (Fonte: [100]).

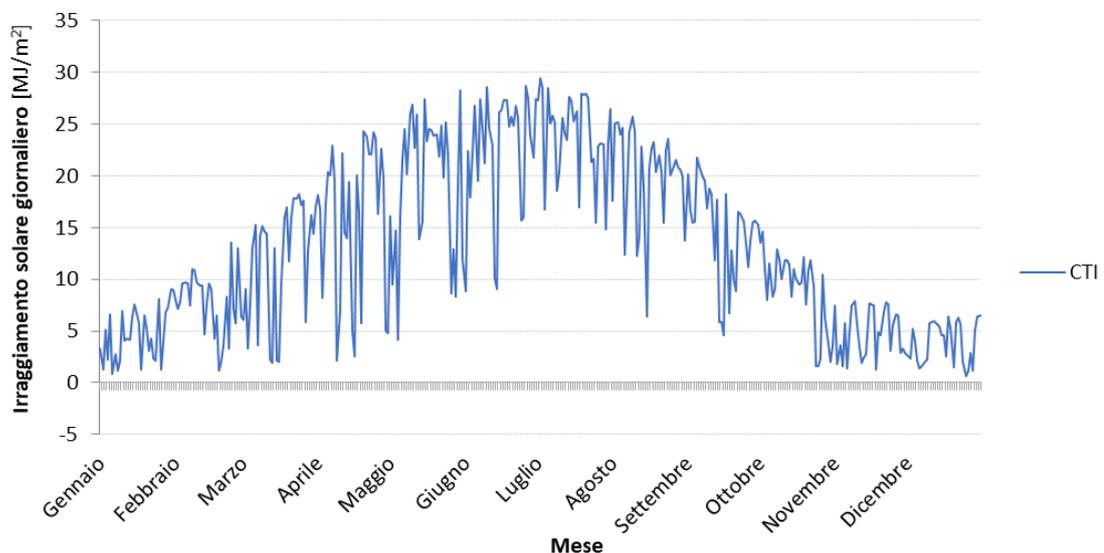


Figura 7.8: Andamento della radiazione solare media giornaliera sul piano orizzontale (Fonte: [100])

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Gli indici di prestazione energetica per l'appartamento di riferimento derivanti dal modello calibrato e con l'utilizzo del file climatico orario standard sono riportati in Figura 7.9 e Tabella 7.9.

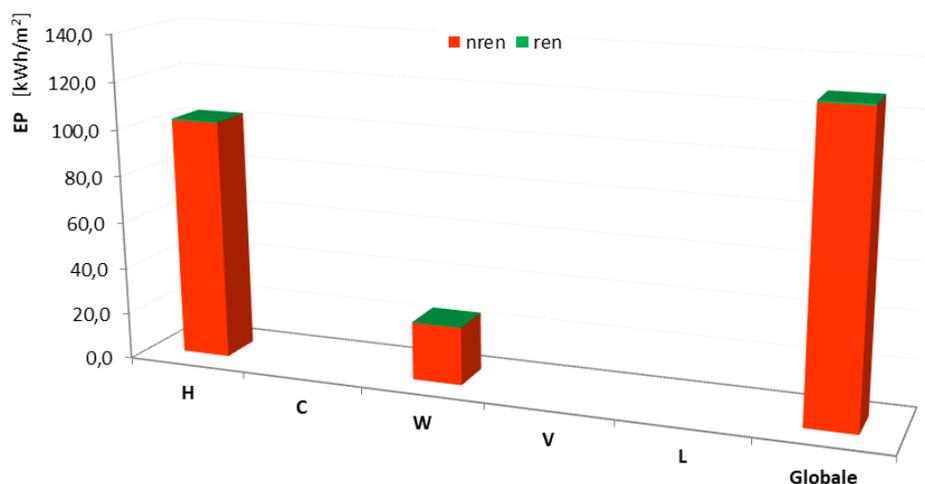


Figura 7.9: Prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard

Tabella 7.9: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard

Prestazione energetica	Fabbisogno di energia primaria				Fabbisogno netto di energia termica	
	Simbolo	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	Simbolo	[kWh/m²]
		[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]		
Riscaldamento	EP_H	102,4	0,5	102,9	$EP_{H,nd}$	53,2
Acqua calda sanitaria	EP_W	24,7	0,2	24,9	$EP_{W,nd}$	16,7
Totale	EP_{gl}	127,1	0,7	127,8		

APPARTAMENTO DI RIFERIMENTO: VALUTAZIONE ENERGETICA CON UTENZA E DATI CLIMATICI STANDARD E CLASSIFICAZIONE ENERGETICA

Per poter effettuare la classificazione energetica dell'appartamento di riferimento è necessario fare riferimento, come indicato dal D.M. 26/05/2015 [4], ad un utilizzo standard dell'edificio, utilizzando i dati sull'utenza forniti dalla UNI/TS 11300-1 [39] e i dati climatici standard presenti nella norma UNI 10349-1 [54]. I dati che riguardano l'involucro opaco, l'involucro trasparente, la centrale termica e i dati geometrici sono stati inseriti all'interno di appositi fogli di calcolo Excel che implementano la norma UNI/TS 11300-1, 2, 3, 4, 5 ([39],[40],[41],[42],[43]). Gli indici di prestazione energetica per l'appartamento di riferimento relativi ad un'utenza standard sono presenti in Figura 7.10 e Tabella 7.10.

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

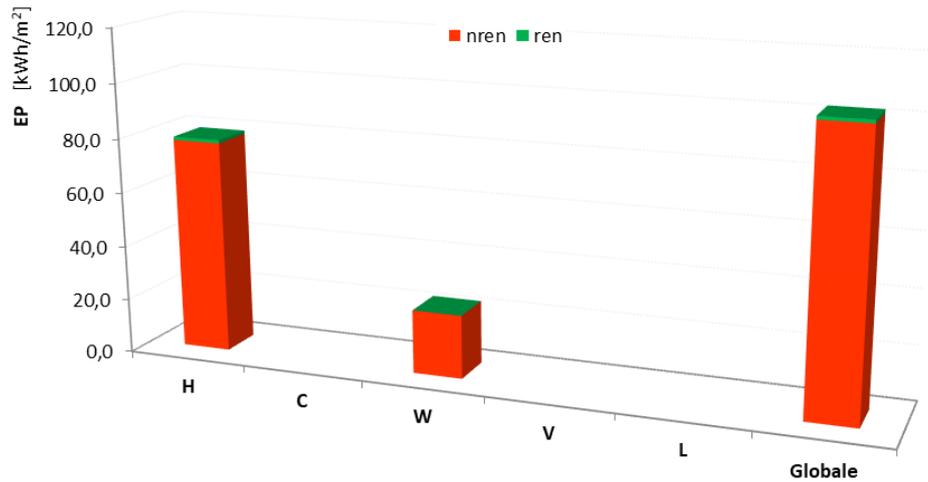


Figura 7.10: Prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica standard

Tabella 7.10: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione standard

Prestazione energetica	Fabbisogno di energia primaria				Fabbisogno netto di energia termica	
	Simbolo	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	Simbolo	[kWh/m²]
		[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]		
Riscaldamento	EP_H	78,0	1,2	79,2	$EP_{H,nd}$	50,0
Acqua calda sanitaria	EP_W	23,3	0,0	23,3	$EP_{W,nd}$	16,7
Totale	EP_{gl}	101,3	1,2	102,5		

Per la classificazione energetica si fa riferimento al calcolo dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento ($EP_{gl,nren,rif,standard\ 2019/2021}$) come indicato da D.M. 26/05/2015 – Linee guida classificazione energetica [12]. Questo indice separa la classe A1 dalla classe B. Le altre classi vengono determinate in funzione di fattori moltiplicativi già mostrati in precedenza (Tabella 4.1). Per il calcolo dell'indice di prestazione energetica dell'edificio di riferimento si segue quanto previsto dal capitolo 3 dell'Allegato 1 al D.M. Requisiti Minimi [4]. Per edificio di riferimento si intende "un edificio identico in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati" [4]. Perciò, nella determinazione dell'indice di prestazione energetica si tiene conto di tecnologie standard e di parametri relativi al fabbricato (trasmittanza termica, fattore di trasmissione solare) previsti al 1° gennaio 2021 per gli edifici residenziali. L'eventuale presenza di fonti rinnovabili non viene presa in considerazione nella determinazione dell'indice di prestazione energetica non rinnovabile dell'edificio di riferimento, al fine di valorizzare l'edificio reale. Per l'appartamento dell'utenza tipo si era ottenuto un $EP_{gl,nren}$ pari a circa 101 kWh/m², considerando parametri dell'edificio standard e tecnologie standard si è ricavato un $EP_{gl,nren,rif,standard\ 2019/2021}$ di 66,2 kWh/m². L'appartamento analizzato risulta pertanto in classe D (Tabella 7.11).

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Tabella 7.11: Classificazione energetica appartamento di riferimento pre-retrofit

			Classe A4	≤	26,5	kWh/m ²
kWh/m ²	26,5	<	Classe A3	≤	39,7	kWh/m ²
kWh/m ²	39,7	<	Classe A2	≤	53,0	kWh/m ²
kWh/m ²	53,0	<	Classe A1	≤	66,2	kWh/m ²
kWh/m ²	66,2	<	Classe B	≤	79,5	kWh/m ²
kWh/m ²	79,5	<	Classe C	≤	99,3	kWh/m ²
kWh/m ²	99,3	<	Classe D	≤	132,4	kWh/m ²
kWh/m ²	132,4	<	Classe E	≤	172,2	kWh/m ²
kWh/m ²	172,2	<	Classe F	≤	231,7	kWh/m ²
kWh/m ²	231,7	<	Classe G			

7.4. EDIFICIO: VALUTAZIONE ENERGETICA CON UTENZA REALE E DATI CLIMATICI STANDARD E CLASSIFICAZIONE ENERGETICA

Le valutazioni energetiche fin qui condotte si sono concentrate sull'appartamento di riferimento, in quanto abitato dall'utenza tipo. Tuttavia, per poter considerare l'adozione di misure di efficienza energetica, è necessario riferirsi all'intero edificio. In assenza di informazioni più dettagliate in merito a profili di occupazione, gestione delle schermature solari, gestione delle tapparelle, apertura finestre; si è deciso di adottare il modello calibrato come base per tutti gli appartamenti. I dati relativi all'utenza tipo sono pertanto stati utilizzati per ciascuno dei trenta appartamenti, al fine di costruire un modello dettagliato per l'intero edificio. Gli indici di prestazione energetica derivanti dal modello completo, a livello di intero edificio con clima standard sono riportati in Figura 7.11 e Tabella 7.12:

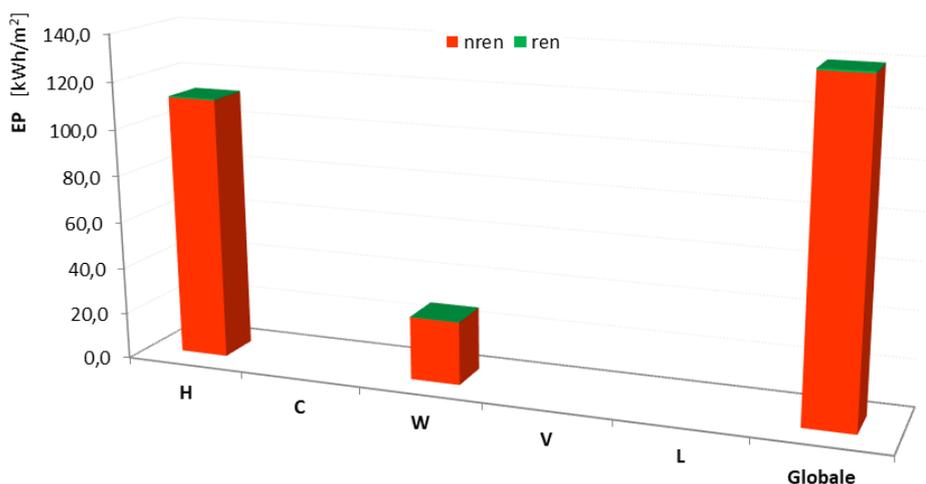


Figura 7.11: Prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard

7. VALUTAZIONI ENERGETICHE STATO DI FATTO

Tabella 7.12: Indici di prestazione energetica appartamento di riferimento: valutazione energetica calibrata adattata all'utenza reale con dati climatici standard

Prestazione energetica	Fabbisogno di energia primaria				Fabbisogno netto di energia termica	
	Simbolo	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	Simbolo	[kWh/m ²]
		[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]		
Riscaldamento	EP_H	111,9	0,5	112,4	$EP_{H,nd}$	57,6
Acqua calda sanitaria	EP_W	26,9	0,2	27,1	$EP_{W,nd}$	18,1
Totale	EP_{gl}	138,8	0,7	139,5		

Considerando le buone proprietà termiche dell'involucro edilizio del condominio analizzato si è deciso di verificare se l'edificio rispettasse già allo stato attuale i limiti imposti dal Decreto Requisiti Minimi [4], e descritti in precedenza in Tabella 4.5 e in Tabella 4.6. L'edificio è stato modellato assumendo un'utenza standard, e successivamente è stato confrontato con l'edificio di riferimento. In Tabella 7.13 sono riportati i valori limite per le grandezze da verificare, calcolate considerando l'edificio di riferimento al 2015 e al 2021 secondo il D.M. 26/05/2015 [4]

Tabella 7.13: Confronto tra valori limite edificio di riferimento e edificio allo stato attuale

Indici	Edificio reale (stato di fatto)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2021
H'_T [W/m ² K]	1,10	0,75	
$A_{sol.est}/A_{sup.utile}$ [-]	0,04	0,04	
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	82,2	25,7	19,6
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m ² a]	100,3	74,0	65,0
η_H [-]	0,66	0,61	0,59
η_W [-]	0,72	0,57	0,57
RER_W [%]	0%	50%	
RER_{H+C+W} [%]	1%	50%	

Come si evince dalla tabella, alcuni requisiti sono già rispettati allo stato attuale. In particolare, le caldaie autonome, essendo state sostituite nel periodo compreso tra il 2007 e il 2008, presentano un rendimento elevato e permettono di ottenere allo stato attuale un rendimento medio stagionale di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria superiore al valor limite calcolato con l'edificio di riferimento sia al 2015 che al 2021. L'involucro edilizio non risulta sufficientemente isolato, soprattutto a causa dei ponti termici, e pertanto il coefficiente globale di scambio termico non risulta soddisfatto. Allo stato di fatto, infine, non sono presenti fonti rinnovabili quindi i limiti non sono ovviamente rispettati.

8. PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE

Dopo aver condotto le valutazioni energetiche allo stato di fatto ed aver constatato come l'edificio allo stato attuale non rispetti i limiti previsti dal Decreto Requisiti Minimi, vengono di seguito illustrate le misure di efficienza energetica considerate nel processo di ottimizzazione.

8.1. DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI

Considerando di voler effettuare una "ristrutturazione importante di I livello" [4], dopo una fase di consultazione sono stati scelti una serie di misure di efficienza energetica (*energy efficiency measure*, EEM). Si è deciso di considerare l'isolamento dell'involucro opaco, EEM1, EEM2, EEM3, la sostituzione degli infissi sia per gli appartamenti che per il vano scala EEM4, l'installazione di sistemi fissi per l'ombreggiamento sulle vetrate del vano scala EEM5, la sostituzione del generatore di calore EEM6 e l'utilizzo di fonti rinnovabili (collettori solari e pannelli fotovoltaici) EEM7, EEM8. In Figura 8.1 vengono presentate le misure di efficienza energetica e i parametri che le contraddistinguono ai fini della determinazione della prestazione energetica.

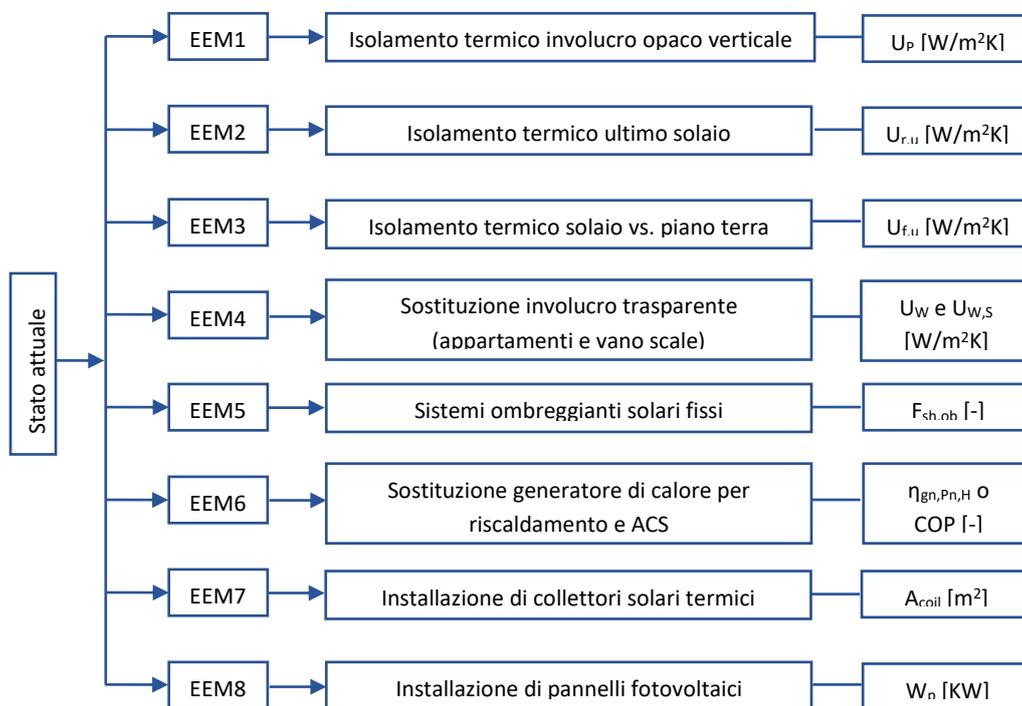


Figura 8.1: Misure di efficienza energetica considerate

Per ogni misura si sono adottati diversi livelli di prestazione, cosicché l'algoritmo di ottimizzazione potesse avere un numero maggiore di configurazioni tra cui cercare l'ottimo. L'edificio allo stato attuale è parzialmente isolato, prevede serramenti doppi e caldaie di

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

recente sostituzione. Si è pertanto deciso di selezionare, per tutte le misure di efficienza energetica, quale livello prestazionale 1 la soluzione tecnico-impiantistica allo stato attuale. Questa scelta permette di poter verificare la convenienza energetico-economica anche delle soluzioni tecniche già presenti attualmente. I livelli 2 e 3 per le prime tre misure, invece, sono stati definiti considerando l'adempimento del D.M. Requisiti Minimi [4] al 2015 e al 2021 rispettivamente. Considerando, per esempio, l'involucro opaco verticale della zona riscaldata, e i valori di trasmittanza limite al 2015 e al 2021 imposto dal Decreto [4] (riportati in Tabella 8.1), saranno necessari rispettivamente 4 e 6 cm di isolante per rispettare i limiti imposti, considerando la stratigrafia dello stato attuale.

Tabella 8.1: Trasmittanza termica massima strutture opache verticali (Fonte: Tabella 1, Appendice B, Allegato 1 DM 26/05/2015 [4])

Zona climatica	U [W/m ² K]	
	2015	2021
A e B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

Per quanto concerne i serramenti, invece, si è considerata una doppia condizione; la sostituzione dei serramenti all'interno delle zone riscaldate e la loro sostituzione all'interno del vano scala (in entrambi i casi i nuovi serramenti consentono il rispetto dei limiti imposti). Ai fini della sostituzione dei serramenti nel vano scala, trattandosi di un ambiente non riscaldato, si è fatto riferimento al valore limite di trasmittanza pari a 2,8 W/m²K previsto dall'Allegato 1 al D.G.R. 46 del 4 agosto 2009 [14]. Per la produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria si è considerata l'ipotesi di mantenere le caldaie esistenti (livello 1), di sostituirle con caldaie a condensazione (livello 2) e di sostituirle con pompe di calore aria-acqua (livello 3). Non è stata presa in considerazione l'ipotesi di inserimento di un impianto centralizzato per il riscaldamento in quanto i costi derivanti dagli adeguamenti impiantistici sarebbero risultati economicamente svantaggiosi rispetto alle soluzioni sopra esposte.

L'utilizzo di fonti rinnovabili è stato pensato in modo tale da risultare funzionale all'immobile analizzato. Nell'ipotesi di inserimento di collettori solari, essi verranno impiegati per la sola produzione di acqua calda sanitaria. L'impianto per l'ACS risulterà centralizzato ed indipendente da quello per la produzione del riscaldamento. È stato predisposto un impianto centralizzato composto da collettori solari, caldaia, caldaia a condensazione o pompa di calore di integrazione, e accumulo per la fornitura di ACS. La produzione di riscaldamento sarà ottenuta grazie al generatore presente in ogni singolo appartamento. Il dimensionamento dell'impianto di ACS è basato sui risultati dell'analisi *cost-optimal* riportata in [75]. L'utilizzo dei pannelli fotovoltaici è stato ritenuto opportuno solo nell'ipotesi di inserimento di pompe di calore per compensare il consumo elettrico da esse determinato. Il dimensionamento è stato

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

fatto in accordo a quanto previsto dal D.Lgs 28/2011 [5] e alla UNI/TS 11300-4 [42], considerando pannelli in silicio mono-cristallino. Conoscendo la superficie netta in pianta del fabbricato (S), si calcola la potenza di picco richiesta (W_{PV}) applicando l'Equazione 8.1. Successivamente, per la tipologia di pannelli selezionata, tramite il prospetto 10 della norma UNI/TS 11300-4 [42] si ottiene il fattore di potenza di picco (K_{PV}) pari a 0,15 kW/m². Attraverso l'Equazione 8.2 si può quindi determinare la superficie di pannelli da installare (A_{PV}).

$$W_{PV} = \left(\frac{1}{50}\right) \cdot S \text{ [KW]} \quad 8.1$$

$$A_{PV} = \frac{W_{PV}}{K_{PV}} \text{ [m}^2\text{]} \quad 8.2$$

In Tabella 8.2 si riportano le diverse tecnologie considerate con i rispettivi livelli.

Tabella 8.2: Livelli di prestazione energetica per ogni misura di efficienza energetica

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Livelli di prestazione energetica EEO		
		1	2	3
1	Isolamento involucro opaco verticale	Stato di fatto	0,04 m EPS (requisiti minimi 2015)	0,06 m EPS (requisiti minimi 2021)
2	Isolamento ultimo solaio	Stato di fatto	0,09 m lana di vetro (requisiti minimi 2015)	0,10 m lana di vetro (requisiti minimi 2021)
3	Isolamento solaio vs piano terra	Stato di fatto	0,07 m EPS (requisiti minimi 2015)	0,08 m EPS (vs, non climatizzati) 0,09 m EPS (vs, esterno) (requisiti minimi 2021)
4	Isolamento involucro trasparente	Stato di fatto	Doppio vetro low-e 4-12-4 argon legno (requisiti minimi 2015)	Triplo vetro low-e 4-12-4-12-4 aria legno (requisiti minimi 2021)
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Stato di fatto	Doppio vetro low-e 4-12-4 aria legno (D.G.R. 46 del 4 agosto 2009 [14])	
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Stato di fatto	0,40 m frangisole	0,70 m frangisole
6	Generatore per riscaldamento e ACS	Stato di fatto	Caldaie a condensazione autonome	Pompa di calore aria-acqua + sostituzione terminali di emissione
7	Collettori solari termici	Stato di fatto	Collettori solari a tubi sottovuoto per ACS + accumulo + caldaia di integrazione (<i>cost-optimal</i> [75])	Collettori solari a tubi sottovuoto per ACS + accumulo + caldaia di integrazione (<i>cost-optimal</i> [75] + 20%)
8	Pannelli fotovoltaici	Pannelli in silicio mono-cristallino (D,Lgs 28/2011 [5] e UNI/TS 11300-4 [42] - 20%)	Pannelli in silicio mono-cristallino (D,Lgs 28/2011 [5] e UNI/TS 11300-4 [42])	Pannelli in silicio mono-cristallino (D,Lgs 28/2011 [5] e UNI/TS 11300-4 [42] + 20%)

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

In Tabella 8.3 si riportano i parametri di prestazione energetica individuati per ogni livello considerato.

Tabella 8.3: Parametri di prestazione energetica

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Livelli di prestazione energetica EEO		
			1	2	3
1	Isolamento involucro opaco verticale	U_p [W/m ² K]	Stato di fatto	0,29	0,25
2	Isolamento ultimo solaio	$U_{r,u}$ [W/m ² K]	Stato di fatto	0,26	0,24
3	Isolamento solaio vs piano terra	$U_{f,u}$ [W/m ² K]	Stato di fatto	0,29	0,26
4	Isolamento involucro trasparente	U_w [W/m ² K]	Stato di fatto	1,8	1,4
	Isolamento involucro trasparente vano scala	$U_{w,s}$ [W/m ² K]	Stato di fatto	2,8	-
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	$F_{sh,ob}$ [-]	Stato di fatto	0,96	0,89
6	Generatore per riscaldamento e ACS	$\eta_{gn,H}/COP$	Stato di fatto	1	4,1
7	Collettori solari termici	A_{coil} [m ²]	Stato di fatto	30	36
8	Pannelli fotovoltaici	W_p [kW]	10	12	14

8.2. DEFINIZIONE DELLA PROCEDURA DI OTTIMIZZAZIONE

Dopo aver definito le soluzioni tecniche adottate, è necessario descrivere in che modo queste soluzioni sono state inserite nel software. Accedendo alle impostazioni dell'analisi di ottimizzazione, possono essere inseriti gli obiettivi (minimo costo globale, minima energia primaria non rinnovabile) e le variabili di progetto. Le variabili di progetto sono le misure di efficienza energetica selezionate dal software. Per ogni misura di efficienza energetica è stato necessario creare una nuova variabile di progetto. Partendo dal modello base calibrato sono stati costruiti tre modelli, uno per ogni tipologia di generatore di calore. La necessità di realizzare tre modelli è legata all'impossibilità, trattandosi di caldaie autonome, di realizzare un corretto accoppiamento impiantistico, nel processo di ottimizzazione, tra le caldaie/pompe di calore autonome e le zone da esse servite. Ogni modello è stato a sua volta diviso in tre sotto-modelli contraddistinti dal grado di collettori solari assegnato:

- grado zero: assenza collettori solari;
- grado uno: collettori solari *cost-optimal*;
- grado due: collettori solari *cost-optimal* + 20%.

La suddivisione per ogni tipologia di generatore in funzione del grado di collettori solari presente si è resa necessaria al fine di differenziare i costi di installazione e manutenzione. Il processo fin qui descritto è rappresentato in Figura 8.2.

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

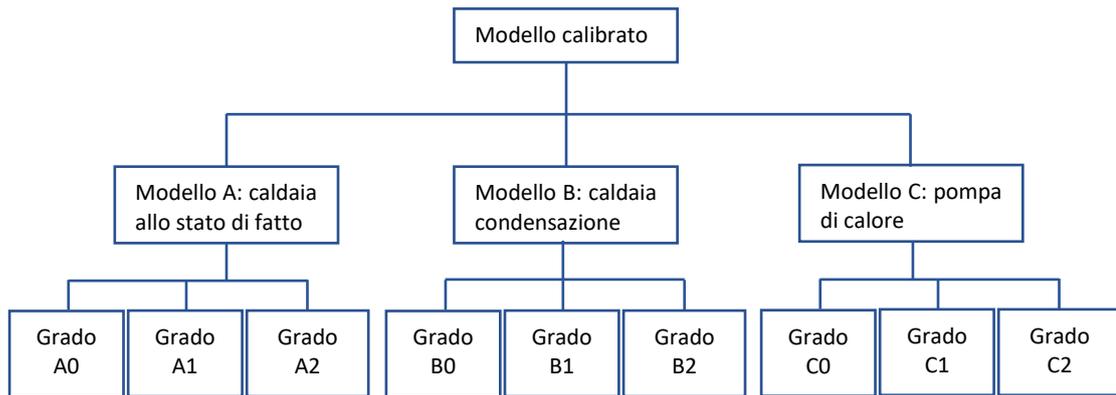


Figura 8.2: Suddivisione modelli per ottimizzazione

Per ciascun modello poi sono stati modificati i ponti termici. Non essendo possibile modificare i ponti termici in fase di ottimizzazione in funzione del livello e della misura di efficienza energetica adottata, sono stati utilizzati dei valori standard definiti dal CTI [75]. I modelli C0, C1 e C2, contraddistinti dalla pompa di calore, sono integrati con i 3 livelli di pannelli fotovoltaici. Per ogni livello è stata modellata la superficie di pannello mono-cristallino corrispondente. È stata attivata la sezione “Generazione” all’interno del programma e sono stati inseriti tre *template* “Load centre”, uno per ogni livello di fotovoltaico. Successivamente, all’interno della sezione “Costruzione”, per ciascuna delle prime tre misure di efficienza inerenti l’involucro opaco, sono stati realizzati i livelli prestazionali 2 e 3 come copie del *template* dello stato attuale, livello prestazionale 1, a cui si è aggiunto lo strato di isolante corrispondente. Per la misura 4 sono stati realizzati dei *template* appositi nella sezione “Aperture” con i dati dei nuovi serramenti. Per la misura 5, infine, all’interno della sezione “Aperture” è stato realizzato il sistema di schermatura costituito da aggetti orizzontali di diversa profondità in funzione del livello prestazionale. Un riassunto delle misure realizzate e del metodo di inserimento sul software è riportato in Tabella 8.4.

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

Tabella 8.4: Inserimento misure di efficienza energetica su DesignBuilder [106]

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Livelli di prestazione energetica EEO		
		1	2	3
1	Isolamento involucro opaco verticale	Stato di fatto	Per ogni livello di prestazione energetica sull'involucro opaco è stato modellato il relativo pacchetto (partendo dal pacchetto esistente allo stato di fatto e aggiungendo lo strato isolante).	
2	Isolamento ultimo solaio			
3	Isolamento solaio vs piano terra			
4	Isolamento involucro trasparente	Stato di fatto	Per ogni livello di prestazione energetica sull'involucro trasparente è stato modellato il <i>template</i> delle aperture (comprensivo di infisso e vetro).	
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Stato di fatto	Per la misura adottata è stato modellato il <i>template</i> delle aperture (comprensivo di infisso e vetro).	
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Stato di fatto	Per ogni misura è stato creato un pacchetto con il sistema ombreggiante fisso, con diversa profondità.	
6	Generatore per riscaldamento e ACS	Stato di fatto	Si sono realizzati diversi modelli (uno per ogni sistema di generazione e rispettivo livello di collettori solari), ai quali si sono associati i diversi livelli di collettori solari.	
7	Collettori solari termici	Stato di fatto		
8	Pannelli fotovoltaici	È stato necessario attivare la sezione "Generazione" nelle finestre di dialogo del software, creando tre livelli di "Load centre" associando a ciascuno la superficie di pannelli di ciascun livello della misura. (*Inserito unicamente nei modelli con pompa di calore aria/acqua)		

8.3. DEFINIZIONE DEI COSTI

La determinazione dei costi è stata effettuata come indicato in precedenza (Capitolo 4.3) facendo riferimento ai seguenti documenti:

- "Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (Direttiva 2010/31/UE Art. 5)"; [75]
- "Prezziario Regione Piemonte, 2018" [105].

In Tabella 8.5 vengono riportati, per ogni tecnologia, le voci di costo che sono state considerate nel processo di ottimizzazione svolto, oltre che il documento a cui si è fatto riferimento.

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

Tabella 8.5: Costi considerati nel processo di ottimizzazione

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Livelli di prestazione energetica EEO		
		1	2	3
1	Isolamento involucro opaco verticale	Stato di fatto	Costo della tecnologia in funzione dello spessore di isolante, costo installazione compreso montaggio e smontaggio ponteggio, costo ripristino tinteggiatura. (<i>cost-optimal</i> [75])	
2	Isolamento ultimo solaio	Stato di fatto	Costo della tecnologia in funzione dello spessore di isolante, costo installazione. (<i>cost-optimal</i> [75])	
3	Isolamento solaio vs piano terra	Stato di fatto	Costo della tecnologia in funzione dello spessore di isolante, costo installazione, costo ripristino tinteggiatura. (<i>cost-optimal</i> [75])	
4	Isolamento involucro trasparente	Stato di fatto Costo di manutenzione. (<i>cost-optimal</i> [75])	Costo della tecnologia, della rimozione dell'esistente, dell'installazione e della manutenzione. (<i>cost-optimal</i> [75])	
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Stato di fatto	Costo della tecnologia, della rimozione dell'esistente e dell'installazione. (<i>cost-optimal</i> [75])	
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Stato di fatto	Costi di installazione dei ponteggi e del materiale. (<i>cost-optimal</i> [75]e Prezziario Regione Piemonte [105])	
6	Generatore per riscaldamento e ACS	Stato di fatto Costo di anni) impianto e terminali e manutenzione. (<i>cost-optimal</i> [75])	I costi sono stati definiti considerando la rimozione del generatore esistente, il nuovo generatore, l'installazione, la manutenzione e la sostituzione (dopo 20 anni), nonché manutenzione e sostituzione terminali di emissione. (<i>cost-optimal</i> [75])	
7	Collettori solari termici	Stato di fatto	Costi di installazione, manutenzione e sostituzione (dopo 20 anni). (<i>cost-optimal</i> [75])	
8	Pannelli fotovoltaici	I costi sono stati inseriti a livello di edificio, considerando installazione, manutenzione e sostituzione (dopo 20 anni). (<i>cost-optimal</i> [75])		

La determinazione di alcuni costi è stata influenzata da alcune limitazioni presenti nel software. Nel seguito, (Capitolo 11), verranno illustrate le principali criticità riscontrate nell'utilizzo di *DesignBuilder* [106].

Con l'ausilio di un foglio di calcolo Excel si sono calcolati i costi di installazione per ogni tecnologia, riportati in Tabella 8.6. I costi di installazione sono riportati in €/m² o in € a seconda della tecnologia considerata.

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

Tabella 8.6: Costi misure di efficienza energetica

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Livelli di prestazione energetica EEO		
			1	2	3
1	Isolamento involucro opaco verticale	$C/A_{f,n}$	Stato di fatto	93,06	98,04
2	Isolamento ultimo solaio	$C/A_{f,n}$	Stato di fatto	9,31	9,96
3	Isolamento solaio vs piano terra	$C/A_{f,n}$	Stato di fatto	24,14	27,06
4	Isolamento involucro trasparente	$C/A_{f,n}$	Stato di fatto	534	615
	Isolamento involucro trasparente vano scala	$C/A_{f,n}$	Stato di fatto	337	-
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	$C/A_{f,n}$	Stato di fatto	15,09	18,29
6	Generatore per riscaldamento e ACS	C	Stato di fatto	70'500	195'000
7	Collettori solari termici	C	Stato di fatto	24'120	28'944
8	Pannelli fotovoltaici	C	12'500	15'000	17'500

I costi sostenuti per la sostituzione e manutenzione delle tecnologie adottate sono stati inseriti nella sezione del software "Aspetti economici". Per ogni modello analizzato (Figura 8.2), si è realizzato un *template* personalizzato, sia per i costi di manutenzione che per quanto riguarda i costi di sostituzione. I costi dovuti alla manutenzione sono stati calcolati come percentuale in funzione della soluzione tecnologica analizzata, in accordo alla Tabella A.1 della norma UNI EN 15459-1 [45]. La vita utile dei componenti da sostituire è stata ottenuta dalla UNI EN 15459-1 [45] ed è riportata in Tabella 8.7.

Tabella 8.7: Vita utile componenti

Componente	Vita utile
	Anni [aa]
Caldaia	20
Caldaia a condensazione	25
Pompa di calore	20
Serramenti	30
Collettori solari	20
Pannelli fotovoltaici	20
Fan-coils	15

La scelta di realizzare i nove modelli di partenza è stata fatta per tenere maggiormente in considerazione i costi di manutenzione e sostituzione legati alle singole tecnologie. Infatti, attualmente nel processo di ottimizzazione del software *DesignBuilder* [106] non è possibile impostare costi di sostituzione variabili in funzione delle misure di efficienza energetica adottate, ma è unicamente possibile editare un *template* dei costi di vita in cui sono previsti costi ricorrenti (manutenzione) e costi non ricorrenti (sostituzione) fissi, nella voce "Costo Ciclo di Vita", sezione "Aspetti economici". La scelta di suddividere in nove modelli è quindi stata effettuata al fine di poter inserire voci di costo che risultassero più rispondenti alla realtà. In

8. ANALISI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE

Tabella 8.8 sono riportate le voci di costo di cui si è tenuto conto per la manutenzione e sostituzione.

Tabella 8.8: Voci di costo manutenzione e sostituzione

Modello	Caratteristica modello	Costi sostituzione	Costi manutenzione
		Voci di costo	Voci di costo
A0, B0, C0¹	Assenza collettori solari	Sostituzione generatore di calore Sostituzione terminali Recupero ²	Manutenzione generatore di calore Manutenzione terminali Manutenzione serramenti ³
A1, B1, C1¹	Collettori solari <i>cost-optimal</i>	Sostituzione generatore di calore Sostituzione terminali Sostituzione collettori solari Recupero ²	Manutenzione generatore di calore Manutenzione terminali Manutenzione collettori solari Manutenzione serramenti ³
A2, B2, C2¹	Collettori solari <i>cost-optimal + 20 %</i>	Sostituzione generatore di calore Sostituzione terminali Sostituzione collettori solari Recupero ²	Manutenzione generatore di calore Manutenzione terminali Manutenzione collettori solari Manutenzione serramenti ³
Note: ¹ Per i modelli C0, C1, C2 sono stati considerati anche i costi di manutenzione e sostituzione dei pannelli fotovoltaici ² Recupero: valore residuo finale al termine dei 30 anni per le soluzioni tecnico impiantistiche adottate da sottrarre agli altri termini ³ Si è considerata la sola manutenzione dei serramenti			

Come si evince da quanto fin qui descritto, nel processo di ottimizzazione sono state incluse tecnologie ampiamente utilizzate e che quindi risultano economicamente e tecnologicamente realizzabili in un intervento di riqualificazione. La scelta di individuare soluzioni tecnicamente e economicamente realizzabili è stata effettuata, al fine di poter meglio comprendere quali siano le migliori scelte tecnico-impiantistiche da attuare, nel caso di edifici parzialmente isolati con sistema di riscaldamento autonomo.

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Vengono ora analizzati i risultati dei modelli introdotti nel precedente capitolo. Dopo l'analisi delle soluzioni ottenute con caldaia allo stato attuale, con caldaia a condensazione e con pompa di calore, si individueranno una soluzione *cost-optimal* e una soluzione nZEB, per le quali verrà svolta una valutazione energetica, verificandone l'adempimento dei limiti imposti dal D.M. 26/05/2015 [4].

9.1. SOLUZIONI ANALIZZATE

I risultati delle nove ottimizzazioni effettuate sono stati scaricati dal software *DesignBuilder* [106] in un file in formato (.csv) compatibile con Excel, e successivamente accorpati in funzione del generatore di calore. Nel seguito vengono pertanto riportate le soluzioni in funzione del generatore di calore. Nei grafici (vedi Figura 9.1, Figura 9.2 e Figura 9.3) ogni punto rappresenta un modello di edificio con diverse misure di efficienza energetica adottate di cui sono stati calcolati energia primaria netta non rinnovabile e costo globale.

9.1.1. CASO A – CALDAIA ALLO STATO ATTUALE

In Figura 9.1 è mostrato l'esito del processo di ottimizzazione con caldaie allo stato attuale. I dati sono suddivisi per colore in funzione del grado di collettori solari presente (A0: blu, A1: arancione, A2: grigio). I punti in colore rosso sono le soluzioni del fronte di Pareto mentre il punto in blu rappresenta lo stato di fatto. Per facilitare la comprensione del grafico sono state individuate anche due macro-regioni che corrispondono alle soluzioni *cost-effective* (verde) e le soluzioni *cost-ineffective* (rosso). Il limite che divide queste due zone è rappresentato dal costo globale dello stato di fatto.

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

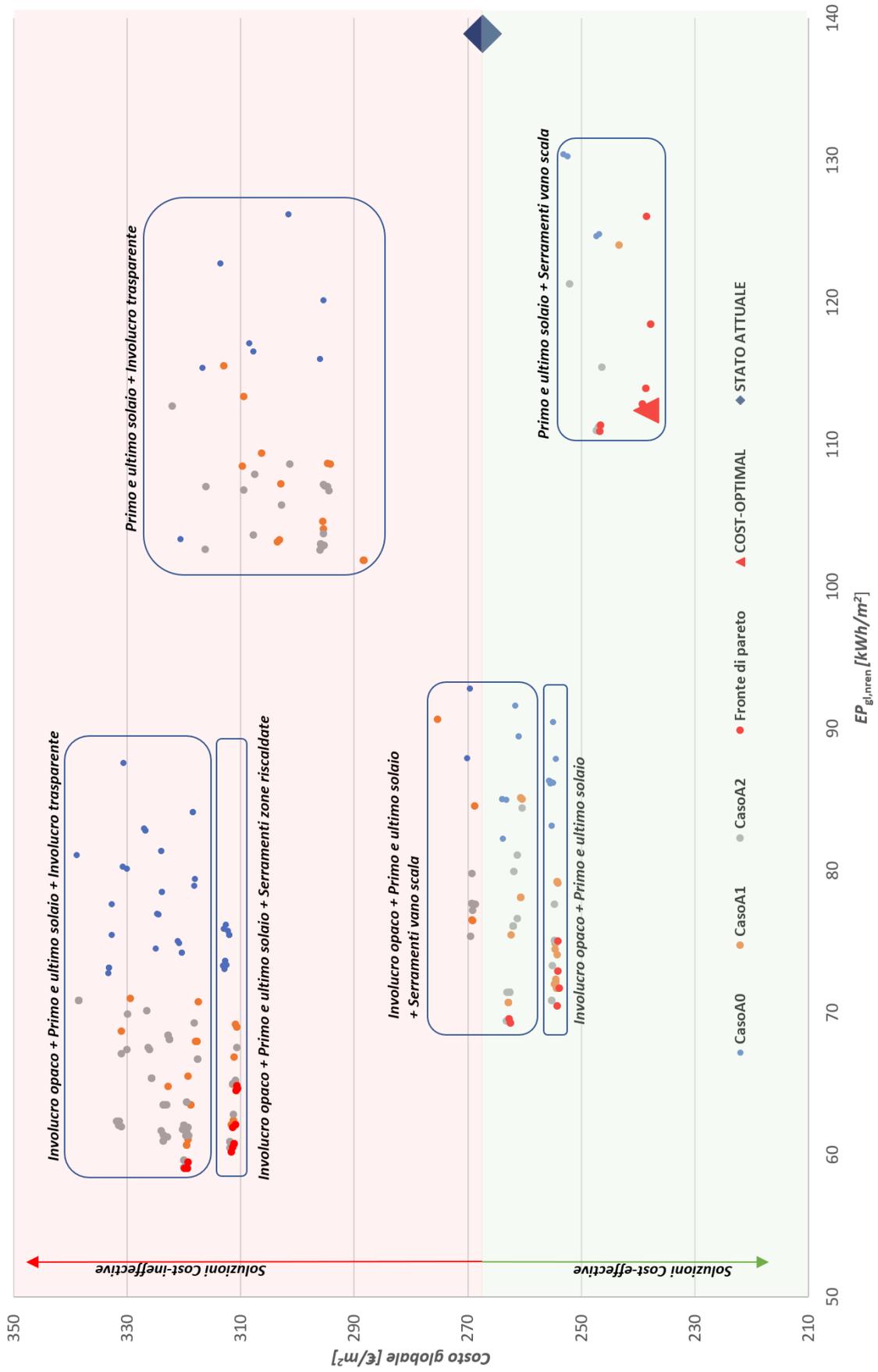


Figura 9.1: Caso A: Ottimizzazione

Nel grafico ottenuto è stato possibile identificare sei aree, ognuna contraddistinta dalla presenza di determinate misure di efficienza energetica:

1. primo e ultimo solaio + serramenti vano scala (EEM2, EEM3, EEM4-vano scala);
2. involucro opaco + primo e ultimo solaio (EEM1, EEM2, EEM3);
3. involucro opaco + primo e ultimo solaio + serramenti vano scala (EEM1, EEM2, EEM3, EEM4-vano scala);
4. involucro opaco + primo e ultimo solaio + serramenti zone riscaldate (EEM1, EEM2, EEM3, EEM4-appartamenti);
5. involucro opaco + primo e ultimo solaio + involucro trasparente (EEM1, EEM2, EEM3, EEM4-appartamenti, EEM4-vano scala);
6. primo e ultimo solaio + involucro trasparente (EEM1, EEM2, EEM4).

Le sei aree evidenziate possono portare alle seguenti osservazioni:

- l'isolamento dell'involucro opaco permette una notevole riduzione dei consumi e un elevato aumento dei costi (si tenga tuttavia presente che sono stati utilizzati dei ponti termici standard [75] che potrebbero non rappresentare fedelmente la realtà);
- l'isolamento del primo e dell'ultimo solaio, contraddistinti da un costo minore rispetto alla misura energetica precedente, permette una riduzione sia dei consumi che dei costi;
- la sostituzione dei serramenti della zona riscaldata, a fronte di una diminuzione dei consumi comporta un incremento notevole dei costi.

La soluzione *cost-optimal* (triangolo rosso in Figura 9.1) è stata individuata all'interno della regione *cost-effective*, considerando l'insieme di misure di efficienza energetica che comportasse il minor costo globale. Nel grafico è il triangolo in colore rosso. Tale soluzione prevede inoltre il minor costo tra tutte le soluzioni, comprese quelle individuate nei paragrafi successivi con caldaie a condensazione e pompe di calore. Questo deriva dall'elevato rendimento e dal basso costo di sostituzione delle caldaie allo stato di fatto.

9.1.2. CASO B – CALDAIA A CONDENSAZIONE

In Figura 9.2 è mostrato l'esito del processo di ottimizzazione con caldaie a condensazione. Anche in questo caso, i risultati sono suddivisi per colore in funzione del grado di collettori solari presente (B0: blu, B1: arancione, B2: grigio).

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

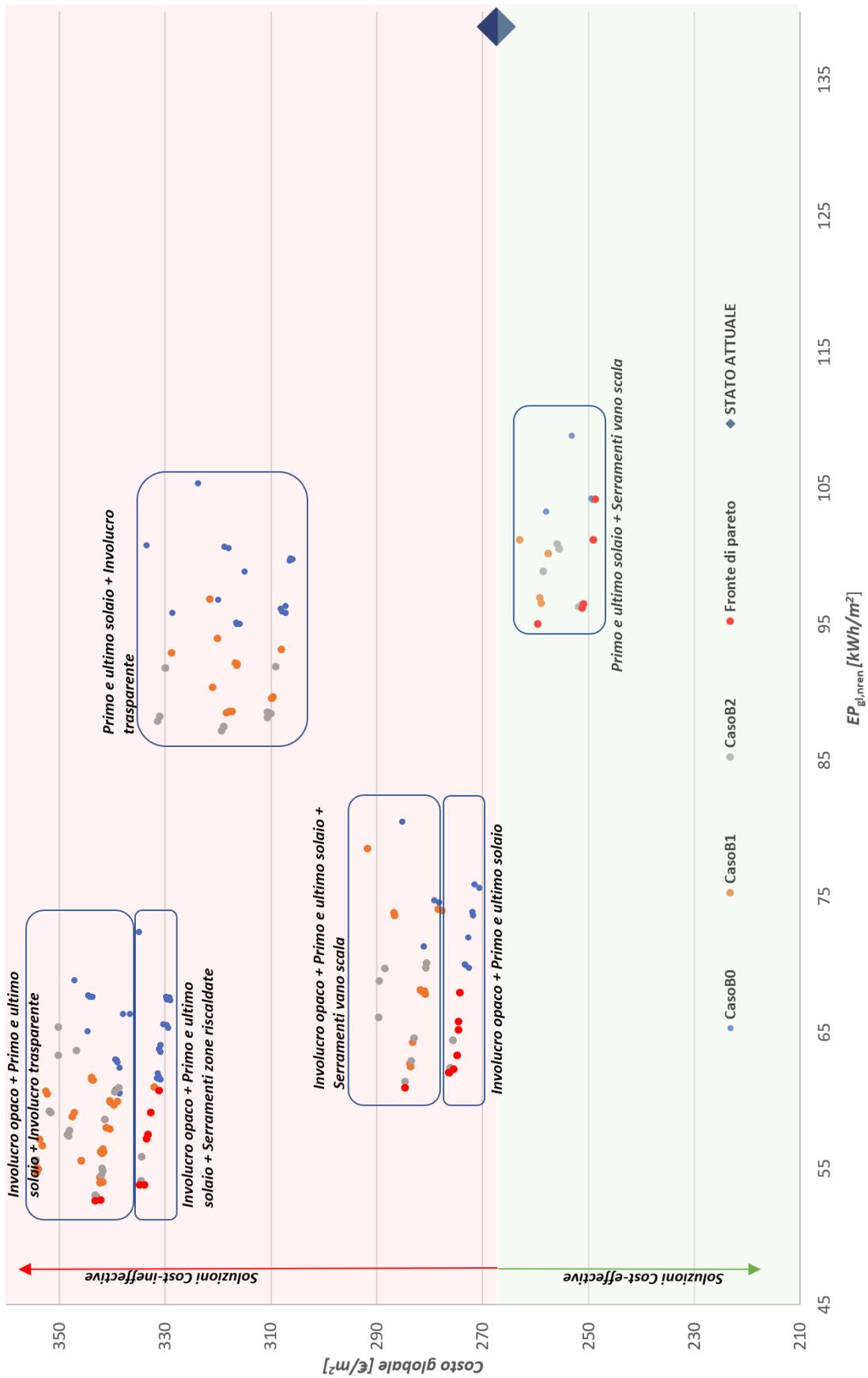


Figura 9.2: Caso B: Ottimizzazione

I punti in colore rosso sono le soluzioni del fronte di Pareto mentre il punto in blu indica lo stato di fatto. Anche in questo caso, per facilitare la comprensione del grafico, sono state individuate due macro-regioni che corrispondono alle soluzioni *cost-effective* (verde) e le soluzioni *cost-ineffective* (rosso). Il limite che divide queste due zone è rappresentato dal costo globale dello stato di fatto.

Come per il grafico precedente, è stato possibile identificare sei aree, ognuna delle quali contraddistinta dalla presenza di determinate misure di efficienza energetica. Le considerazioni effettuate nel capitolo precedente (Capitolo 9.1.1) per le sei aree identificate sono valide anche in caso di caldaie a condensazione.

Si può evidenziare, inoltre, come l'installazione di caldaie a condensazione comporti sia una riduzione della prestazione energetica dell'edificio, che un incremento dei costi, il quale riduce sensibilmente le soluzioni poste nella regione *cost-effective*, rispetto al grafico in Figura 9.1.

Si evidenzia inoltre come all'aumentare del livello di solare termico corrisponda un ridotto incremento dei costi.

9.1.3. CASO C – POMPA DI CALORE

In Figura 9.3 è mostrato l'esito del processo di ottimizzazione con pompe di calore aria-acqua. I dati sono suddivisi sia per colore, in funzione del grado di collettori solari presente (C0: blu, C1: arancione, C2: grigio), che per indicatore, in funzione del livello di pannelli fotovoltaici presente.

I punti in colore rosso indicano le soluzioni del fronte di Pareto mentre il triangolo blu è la soluzione nZEB individuata. In questo caso, per migliorare la leggibilità del grafico, non è stato possibile indicare la posizione dello stato di fatto. È quindi presente la sola macro-regione che corrisponde alle soluzioni *cost-ineffective*, dal momento che l'installazione delle pompe di calore risulta economicamente svantaggiosa per ogni soluzione elaborata. Ciò è causato dal fatto che lo stato di fatto è già parzialmente isolato, dotato di serramenti doppi e generatori di calore sostituiti di recente, caratteristiche che permettono all'edificio allo stato di fatto di avere una buona prestazione energetica iniziale.

Come per i grafici precedenti, anche in questo caso si sono identificate le sei aree, contraddistinte dalla presenza di diverse misure di efficienza energetica. Le sei aree identificate possono portare alle considerazioni già effettuate nel Capitolo 9.1.1.

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

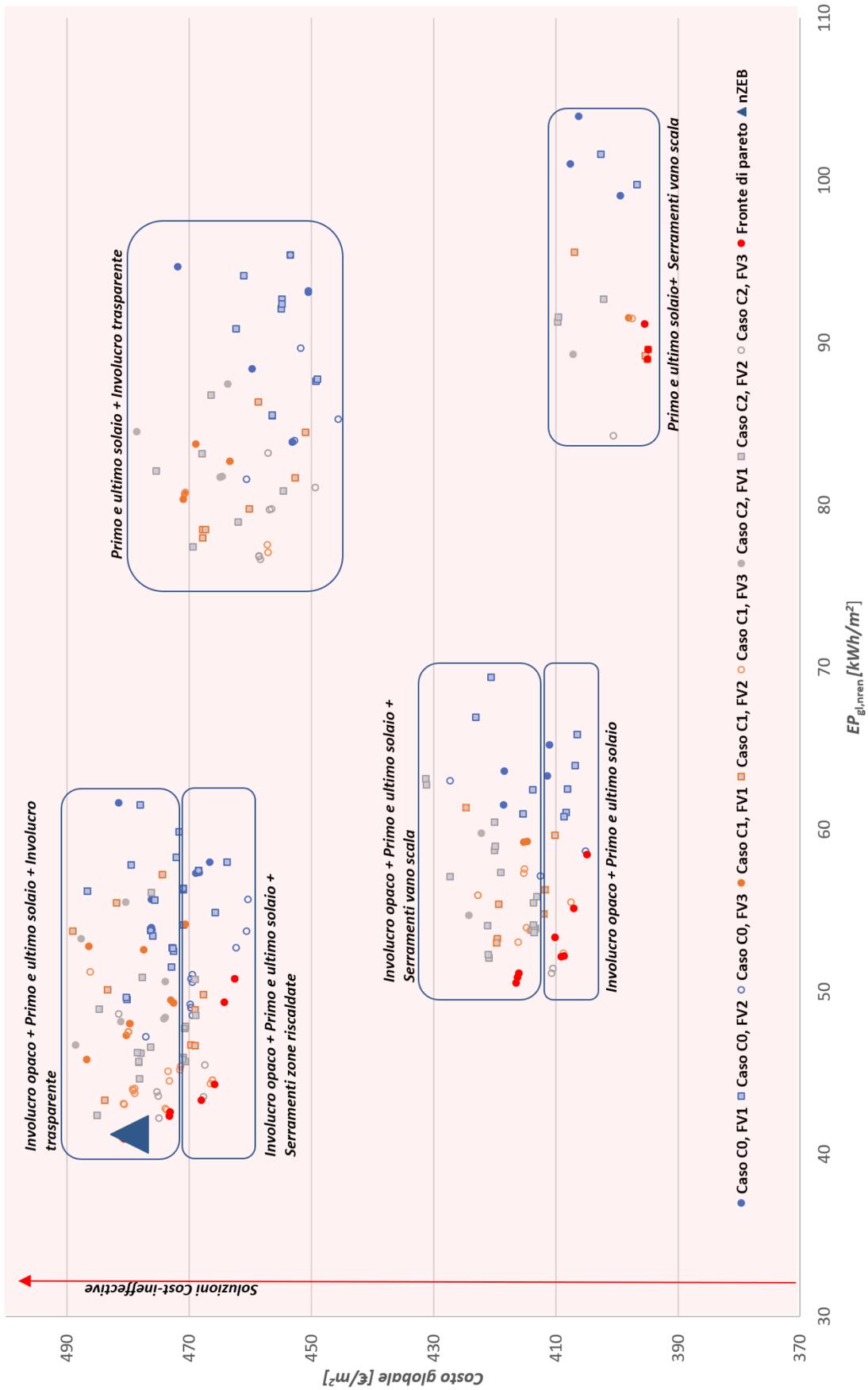


Figura 9.3: Caso C: Ottimizzazione

Si può evidenziare, infine, come l'installazione di pompe di calore comporti una riduzione della prestazione energetica dell'edificio, a discapito di un incremento dei costi, economicamente non sostenibile.

9.2. SOLUZIONE COST-OPTIMAL

L'edificio allo stato attuale è parzialmente isolato, dotato di generatori di calore di recente sostituzione e serramenti con doppio vetro, perciò la maggior parte degli interventi ipotizzati comportano costi troppo elevati in confronto al risparmio energetico ottenibile. I costi diventano molto elevati nell'ipotesi di installazione di pompe di calore con sistema di emissione costituito da ventilconvettori.

La soluzione *cost-optimal* individuata comporta, in fase di riqualificazione l'utilizzo delle seguenti misure di efficienza energetica:

- isolamento solaio verso sottotetto – EEM2.EEO2;
- isolamento solaio verso piano terra – EEM3.EEO3;
- solare termico per produzione ACS – EEM7.EEO3.

In Tabella 9.1 sono riportati i livelli di prestazione energetica (EEO) per ogni misura di efficienza energetica (EEM) presenti nella soluzione *cost-optimal*.

Tabella 9.1: Livelli di prestazione energetica soluzione *cost-optimal*

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Simbolo	Livelli di prestazione energetica EEO – Soluzione <i>cost-optimal</i>	
				Valore	n° EEO
1	Isolamento involucro opaco verticale	Trasmittanza termica	U_p [W/m ² K]	SdF ¹	1
2	Isolamento ultimo solaio	Trasmittanza termica	$U_{r,u}$ [W/m ² K]	0,26	2
3	Isolamento solaio vs piano terra	Trasmittanza termica	$U_{f,u}$ [W/m ² K]	0,26	3
4	Isolamento involucro trasparente	Trasmittanza termica	U_w [W/m ² K]	SdF ¹	1
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Trasmittanza termica	$U_{w,s}$ [W/m ² K]	SdF ¹	-
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Fattore di ombreggiamento	$F_{sh,ob}$ [-]	SdF ¹	1
7	Collettori solari termici	Superficie dei collettori solari	A_{coil} [m ²]	36	3

¹SdF = Stato di Fatto

Tale soluzione prevede sia una riduzione della prestazione energetica sia una riduzione del costo globale. In Figura 9.4 è mostrato il differenziale di costo globale in relazione alla diminuzione della prestazione energetica.

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

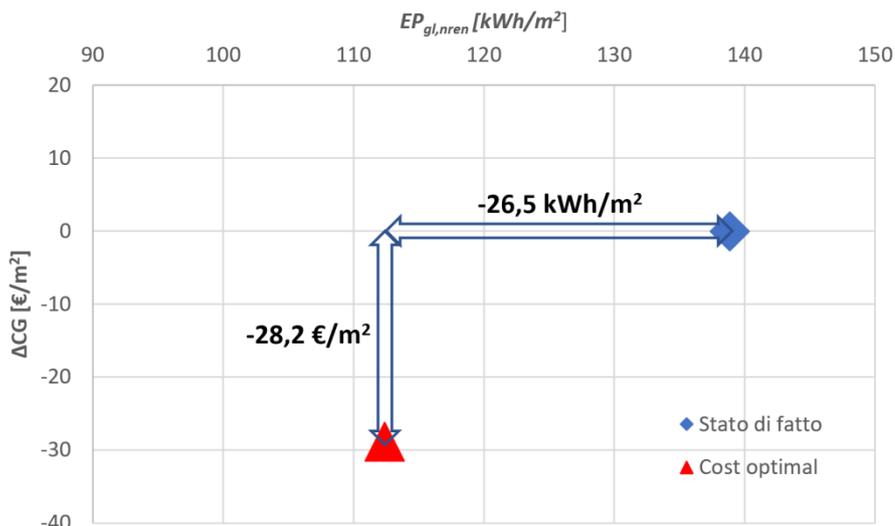


Figura 9.4: Differenziale costo in funzione della prestazione energetica

Si ha pertanto una riduzione del 20% dei consumi ed una riduzione del costo globale di circa 28 €/m².

La prestazione energetica dell'edificio oggetto di riqualificazione considerando le misure sopra esposte, è presente in Figura 9.5 e Tabella 9.2.

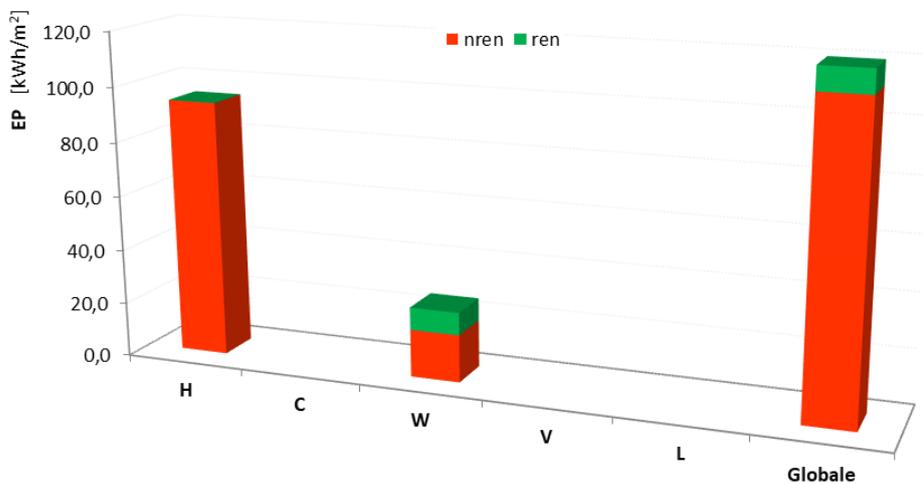


Figura 9.5: Prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica cost-optimal adattata all'utenza reale con dati climatici standard

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Tabella 9.2: Indici di prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica cost-optimal adattata all'utenza reale con dati climatici standard

Prestazione energetica	Fabbisogno di energia primaria				Fabbisogno netto di energia termica	
	Simbolo	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	Simbolo	[kWh/m ²]
		[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]		
Riscaldamento	EP_H	94,0	0,1	94,1	$EP_{H,nd}$	50,1
Acqua calda sanitaria	EP_W	17,4	8,3	25,7	$EP_{W,nd}$	18,1
Totale	EP_{gl}	111,4	8,4	119,8		

Analogamente a quanto effettuato in precedenza, si è valutata la classificazione energetica dell'appartamento di riferimento, ottenibile a seguito della riqualificazione.

Per la classificazione energetica si fa riferimento al calcolo dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento ($EP_{gl,nren,rif,standard\ 2019/2021}$) come indicato da D.M. 26/05/2015 – Linee guida classificazione energetica [12]. Per l'appartamento tipo, con le misure di efficienza energetica adottate, si ha per la soluzione *cost-optimal* un $EP_{gl,nren}$ di circa 83,7 kWh/m². Considerando l'edificio di riferimento si è ricavato un $EP_{gl,nren,rif,standard\ 2019/2021}$ di 68,4 kWh/m². L'appartamento analizzato risulta pertanto in classe C (Tabella 9.3):

Tabella 9.3: Classificazione energetica appartamento di riferimento soluzione cost-optimal

			Classe A4	≤	27,4	kWh/m ²
kWh/m ²	27,4	<	Classe A3	≤	41,1	kWh/m ²
kWh/m ²	41,1	<	Classe A2	≤	54,8	kWh/m ²
kWh/m ²	54,8	<	Classe A1	≤	68,4	kWh/m ²
kWh/m ²	68,4	<	Classe B	≤	82,1	kWh/m ²
kWh/m ²	82,1	<	Classe C	≤	102,7	kWh/m ²
kWh/m ²	102,7	<	Classe D	≤	136,9	kWh/m ²
kWh/m ²	136,9	<	Classe E	≤	177,9	kWh/m ²
kWh/m ²	177,9	<	Classe F	≤	239,5	kWh/m ²
kWh/m ²	239,5	<	Classe G			

Considerando gli interventi effettuati sull'involucro edilizio del condominio analizzato, si è verificato se l'edificio rispettasse i limiti imposti dal Decreto Requisiti Minimi [4], descritti in precedenza in Tabella 4.5 e in Tabella 4.6. L'edificio è stato modellato assumendo un'utenza standard, ed è stato successivamente confrontato con l'edificio di riferimento. In Tabella 9.4 sono riportati i valori limite per le grandezze da verificare, calcolate considerando l'edificio di riferimento al 2015 e al 2021, secondo il D.M. 26/05/2015 [4] e i valori ottenuti con l'edificio considerando le soluzioni *cost-optimal*.

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Tabella 9.4: Confronto tra valori limite edificio di riferimento e edificio post retrofit (soluzione cost-optimal)

Indici	Edificio reale (<i>cost-optimal</i>)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2021
H'_T [W/m ² K]	0,84	0,75	
$A_{sol.est}/A_{sup.utile}$ [-]	0,04	0,04	
$EP_{H.nd}$ [kWh/m ² a]	65,0	25,1	19,5
$EP_{gl.tot}$ [kWh/m ² a]	83,0	86,1	77,4
η_H [-]	0,61	0,61	0,59
η_W [-]	0,79	0,40	0,40
RER_W [%]	54%	50%	
RER_{H+C+W} [%]	12%	50%	

Come si evince dalla tabella, la soluzione *cost-optimal* permette il rispetto parziale dei requisiti. In particolare, le caldaie autonome, essendo state sostituite nel periodo compreso tra il 2007 e il 2008, presentano un rendimento elevato e permettono di ottenere allo stato attuale un rendimento medio stagionale di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria superiore al valor limite calcolato con l'edificio di riferimento sia al 2015 che al 2021. L'involucro edilizio non risulta sufficientemente isolato, soprattutto a causa dei ponti termici, e pertanto il coefficiente globale di scambio termico non risulta soddisfatto, anche nell'ipotesi di intervento con aggiunta di isolante sia nel primo che nell'ultimo solaio. La presenza dei collettori solari permette infine di rispettare la percentuale minima di copertura del consumo energetico per la produzione di ACS (RER_W), ma non il rispetto della percentuale minima di copertura del consumo energetico complessivo (RER_{H+C+W}).

9.3. SOLUZIONE NZEB

Generalmente, una volta definita la soluzione *cost-optimal*, l'individuazione della soluzione nZEB consisterebbe nel migliorare il livello di prestazione energetica delle misure di efficienza energetica utilizzate. Tuttavia, come già più volte spiegato, la buona prestazione energetica iniziale dell'edificio, dovuta all'involucro edilizio parzialmente isolato, alla presenza di serramenti doppi e alla presenza di generatori di recente sostituzione, hanno determinato quale soluzione *cost-optimal* quella con caldaia allo stato di fatto. L'utilizzo di tale generatore presenta limitate vie praticabili in termini di miglioramento ulteriore della prestazione energetica. Verrebbe per esempio esclusa la possibilità di utilizzare pannelli fotovoltaici, in quanto l'energia da essi prodotta non verrebbe utilizzata in termini di copertura del consumo energetico complessivo.

Come già verificato da altri autori [87], l'utilizzo di pompe di calore invertibili accoppiate a ventilconvettori per la produzione di riscaldamento d'inverno e di raffrescamento d'estate, permette di rispettare i limiti in merito all'integrazione delle fonti rinnovabili imposte dal D.Lgs. 28/2011 [5]. Si è pertanto scelto, come generatore di calore, l'utilizzo di pompe di calore. È stato poi previsto il livello di prestazione massimo sia per i collettori solari che per i pannelli fotovoltaici. Per tutte le altre misure si è scelto di adottare il livello prestazionale più

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

elevato, al fine di elaborare una soluzione nZEB, ovvero una soluzione che determini indici di prestazione energetica inferiori a quelli limite determinati per l'edificio di riferimento al 2019/2021. [4]. Per l'involucro opaco verticale, tuttavia, si è scelto di non adottare il livello prestazionale più elevato, in accordo con [75], in cui si è determinato che le soluzioni ottimali dal punto di vista dei costi sono contraddistinte dall'utilizzo di pompe di calore invertibili con produzione da fotovoltaico abbinate ad un livello di isolamento termico minore del livello massimo. In Tabella 9.5 vengono riportati i livelli di prestazione energetica scelti per ogni misura di efficienza energetica.

Tabella 9.5: Livelli di prestazione energetica soluzione nZEB

n° EEM	Misura di Efficienza Energetica EEM	Parametro	Simbolo	Livelli di prestazione energetica EEO – Soluzione nZEB	
				Valore	n° EEO
1	Isolamento involucro opaco verticale	Trasmittanza termica	U_p [W/m ² K]	0,29	2
2	Isolamento ultimo solaio	Trasmittanza termica	$U_{r,u}$ [W/m ² K]	0,24	3
3	Isolamento solaio vs piano terra	Trasmittanza termica	$U_{f,u}$ [W/m ² K]	0,26	3
4	Isolamento involucro trasparente	Trasmittanza termica	U_w [W/m ² K]	1,4	3
	Isolamento involucro trasparente vano scala	Trasmittanza termica	$U_{w,s}$ [W/m ² K]	2,8	-
5	Sistemi ombreggianti solari fissi	Fattore di ombreggiamento	$F_{sh,ob}$ [-]	0,89	3
6	Generatore per riscaldamento	COP pompa di calore	COP [-]	4,1	2
7	Collettori solari termici	Superficie dei collettori solari	A_{coil} [m ²]	6	3
8	Pannelli fotovoltaici	Potenza di picco	W_p [KW]	14	3

La soluzione nZEB permette una riduzione del 54% dei consumi rispetto alla soluzione *cost-optimal*, ma determina un aumento del costo di circa 275 €/m² (costo soluzione nZEB pari a 480 €/m²).

La prestazione energetica dell'edificio oggetto di riqualificazione nZEB è presente in Figura 9.6 e Tabella 9.6.

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

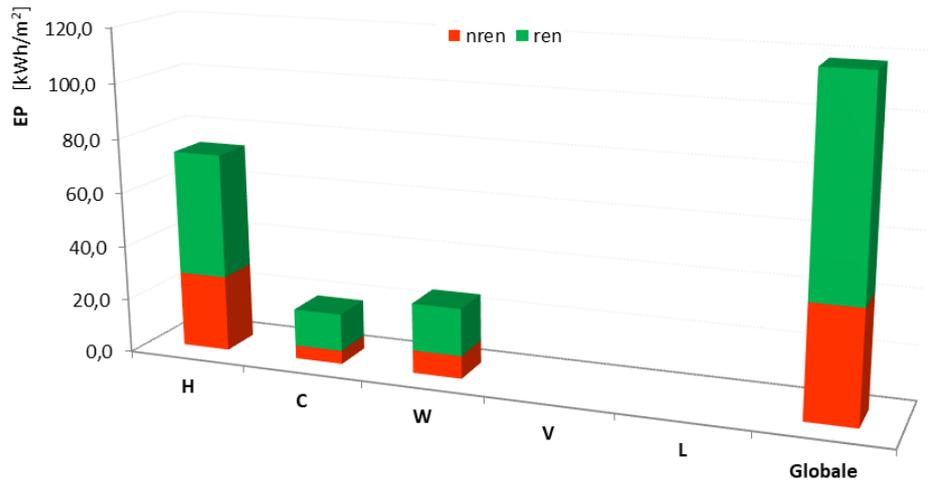


Figura 9.6: Prestazione energetica intero edificio: Valutazione energetica nZEB adattata all’utenza reale con dati climatici standard

Tabella 9.6: Indici di prestazione energetica intero edificio: valutazione energetica nZEB adattata all’utenza reale con dati climatici standard

Prestazione energetica	Fabbisogno di energia primaria				Fabbisogno netto di energia termica	
	Simbolo	Non rinnovabile	Rinnovabile	Totale	Simbolo	[kWh/m²]
		[kWh/m²]	[kWh/m²]	[kWh/m²]		
Riscaldamento	EP_H	27,9	45,7	73,6	$EP_{H,nd}$	32,7
Raffrescamento	EP_C	4,9	13,7	18,6	$EP_{C,nd}$	14,3
Acqua calda sanitaria	EP_W	8,4	17,4	25,8	$EP_{W,nd}$	16,7
Totale	EP_{gl}	41,2	76,9	118,1		

Analogamente a quanto effettuato per la soluzione *cost-optimal*, si è valutata la nuova classificazione energetica dell’appartamento di riferimento, ottenibile a seguito della riqualificazione. Considerando le misure di efficienza energetica adottate per la soluzione nZEB, si ottiene un $EP_{gl,nren}$ pari a 45,3 kWh/m² per l’appartamento dell’utenza tipo. Considerando i parametri relativi al fabbricato, i parametri relativi agli impianti tecnici definiti da [4] per l’edificio di riferimento, si ottiene un $EP_{gl,nren,rif,standard\ 2019/2021}$ di 61,4 kWh/m². L’appartamento analizzato risulta pertanto in classe A2 (Tabella 9.7).

9. OTTIMIZZAZIONE TECNICO ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Tabella 9.7: Classificazione energetica appartamento di riferimento soluzione nZEB

			Classe A4	≤	24,6	kWh/m ²
kWh/m ²	24,6	<	Classe A3	≤	36,8	kWh/m ²
kWh/m ²	36,8	<	Classe A2	≤	49,1	kWh/m ²
kWh/m ²	49,1	<	Classe A1	≤	61,4	kWh/m ²
kWh/m ²	61,4	<	Classe B	≤	73,7	kWh/m ²
kWh/m ²	73,7	<	Classe C	≤	92,1	kWh/m ²
kWh/m ²	92,1	<	Classe D	≤	122,8	kWh/m ²
kWh/m ²	122,8	<	Classe E	≤	159,6	kWh/m ²
kWh/m ²	159,6	<	Classe F	≤	214,9	kWh/m ²
kWh/m ²	214,9	<	Classe G			

Rispetto alla soluzione *cost-optimal*, per la quale si è evidenziato in Tabella 9.4 un rispetto parziale dei limiti imposti da [4], la soluzione nZEB ha permesso il rispetto della quasi totalità dei limiti descritti in precedenza in Tabella 4.5 e in Tabella 4.6. In Tabella 9.8 sono riportati i valori limite per le grandezze da verificare, calcolate considerando l'edificio di riferimento al 2015 e al 2021 secondo il DM 26/05/2015 [4], e i valori ottenuti con l'edificio in configurazione nZEB.

Tabella 9.8: Confronto tra valori limite edificio di riferimento e edificio post retrofit (soluzione nZEB)

Indici	Edificio reale (nZEB)	Valori limite - edificio di riferimento al 2015	Valori limite - edificio di riferimento al 2021
H'_T [W/m ² K]	0,37	0,75	
$A_{sol.est}/A_{sup.utile}$ [-]	0,03	0,04	
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	21,0	25,7	19,6
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ² a]	22,0	22,1	22,7
$EP_{gl,tot}$ [kWh/m ² a]	62,0	131,0	124,7
η_H [-]	0,50	0,50	0,48
η_C [-]	0,88	0,80	0,79
η_W [-]	0,69	0,35	0,33
RER_W [%]	51%	50%	
RER_{H+C+W} [%]	74%	50%	

L'unico limite non rispettato è l'indice di prestazione energetica per il fabbisogno netto di riscaldamento dell'edificio al 2021. Come già evidenziato in [87], il contemporaneo rispetto dei limiti imposti per l' $EP_{H,nd}$ e per l' $EP_{C,nd}$ risulta difficile per edifici molto isolati termicamente.

10. ANALISI DI SENSIBILITÀ

Dopo aver riportato i risultati ottenuti con il processo di ottimizzazione si effettua ora un'analisi di sensibilità attraverso cui si è valutata l'influenza delle singole misure di efficienza energetica sul fabbisogno di energia primaria globale dell'edificio e sul costo globale. Ai fini dell'analisi sono state considerate i seguenti interventi:

- riqualificazione ultimo solaio e solaio verso piano terra (livelli di prestazione EEO2 e EEO3);
- riqualificazione ultimo solaio, solaio verso piano terra e involucro opaco verticale (livelli di prestazione EEO2 e EEO3);
- collettori solari (livelli di prestazione EEO2 e EEO3);
- sostituzione generatore di calore con caldaia a condensazione.

In Figura 10.1 sono riportati gli indici di prestazione energetica globale rinnovabile e non rinnovabile per ogni soluzione e viene indicata la riduzione percentuale dell'indice di prestazione non rinnovabile globale rispetto allo stato di fatto.

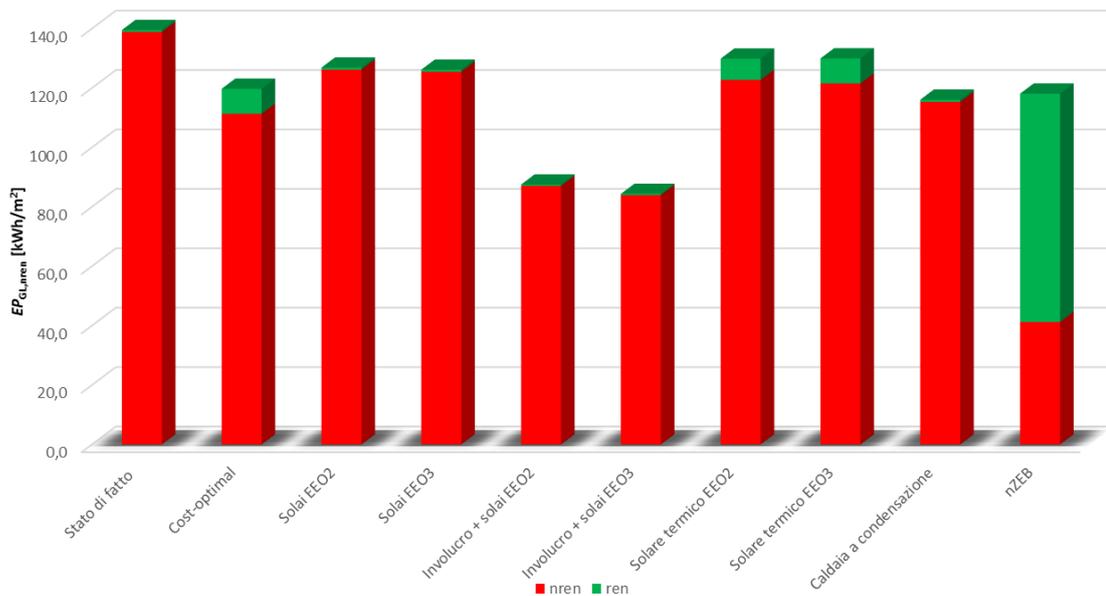


Figura 10.1: $EP_{g,tot}$ ottenuti dall'analisi di sensibilità per singola tipologia di intervento.

Intervenendo unicamente sul solaio verso piano terra e sull'ultimo solaio si ottiene una riduzione del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile pari a circa il 10% rispetto allo stato attuale (9% livello EEO2 e 10% livello EEO3). Considerando invece di intervenire congiuntamente sui solai e sull'involucro edilizio si ottiene una riduzione pari a circa il 40% dell' $EP_{g,nren}$ (37% livello EEO2 e 40% livello EEO3). Intervenendo sul solare termico si ottiene una riduzione del 12% dell' $EP_{g,nren}$ per entrambi i livelli prestazionali considerati.

10. ANALISI DI SENSIBILITÀ

Considerando infine la sostituzione degli attuali generatori di calore (caldaia a metano) con caldaie a condensazione, si ottiene una riduzione del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile pari a circa il 17% rispetto allo stato di fatto. In Figura 10.1 non è stata riportata la riduzione percentuale relativa alla soluzione nZEB poiché, in tale caso, è previsto anche il raffrescamento e di conseguenza non può essere direttamente confrontato con le altre soluzioni analizzate. L' $EP_{gl,nren}$ prevedrà anche una parte dovuta al raffrescamento estivo come precedentemente riportato in Figura 9.6 e in Tabella 9.6. Considerando solo la quota dovuta a riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (EP_{H+W}), risulta una riduzione del 74% del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile rispetto allo stato di fatto.

Contemporaneamente al calcolo dei consumi legati alle diverse soluzioni analizzate, sono stati valutati anche i costi globali, mostrati in Figura 10.2.

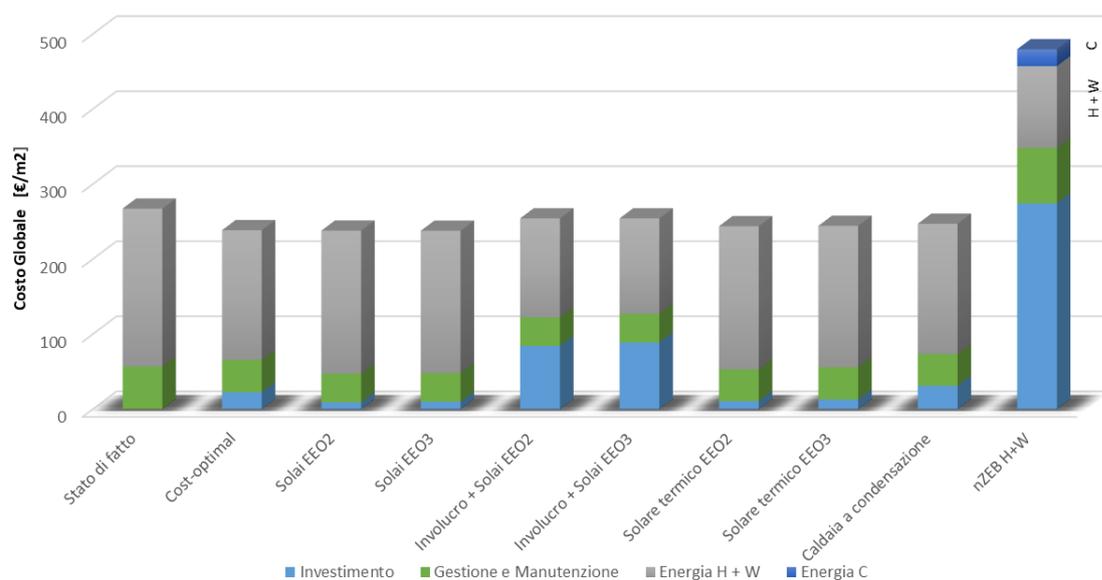


Figura 10.2: Costi Globali ottenuti per singola tipologia di intervento

Esclusa la soluzione nZEB, per tutte le altre soluzioni analizzate si ha una riduzione del costo globale. Il ridotto costo d'investimento come descritto in precedenza (Tabella 8.6) per intervenire sui solai disperdenti permette una riduzione del 11% del costo globale rispetto allo stato di fatto. Nell'ipotesi in cui si intervenga sia sui solai disperdenti che sull'involucro edilizio, si ottiene la migliore soluzione dal punto di vista delle prestazioni energetiche ($-40\% EP_{gl,nren}$ rispetto allo stato di fatto) a cui però corrisponde un elevato costo di intervento dovuto alla necessità di isolare le pareti verticali (Tabella 8.6). L'elevato costo di investimento e la diminuzione della voce di costo energia, ridottasi per la contrazione dei consumi, comportano un risparmio del 5% del costo globale rispetto allo stato di fatto. Il solare termico permette una riduzione del costo globale del 9% con entrambi i livelli prestazionali (EEO2 e EEO3). La sostituzione del generatore, a cui corrisponde una diminuzione dei consumi rispetto allo stato

10. ANALISI DI SENSIBILITÀ

attuale, comporta una riduzione del 8% del costo globale. Considerando, infine, la soluzione nZEB, si ha complessivamente un incremento di costo già descritto in precedenza (Capitolo 9.3). Il costo dell'energia per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria si riduce quasi del 40% rispetto al costo dello stato attuale. Tuttavia, l'incremento dei costi di installazione e manutenzione vanifica tale risparmio.

11. CRITICITÀ RISULTANTI DALL'UTILIZZO DI DESIGNBUILDER

Considerando l'utilizzo effettuato di *DesignBuilder* [106] ai fini della diagnosi energetica esposta in questa tesi, le principali difficoltà riscontrate possono essere suddivise in due categorie:

- criticità legate alle modalità di input in *DesignBuilder* [106];
- criticità nel processo di ottimizzazione.

Criticità legate alle modalità di input in *DesignBuilder*

L'aver considerato un edificio con impianti autonomi non consente di poter accorpate le zone termiche su *DesignBuilder* [106]. In fase di simulazione viene pertanto richiesto di calcolare il contributo dovuto a tutte le zone termiche presenti. L'utilizzo di tutte queste informazioni provoca un incremento dei tempi di esecuzione delle simulazioni.

La selezione dei dati risulta generalmente efficace ed utile per l'utente in quanto segue un processo di eredità dalla classe superiore, "*DesignBuilder's data inheritance hierarchy*" [106], che prevede che l'utente selezioni i dati a livello di "Sito" e che essi vengano in cascata assegnati a livello di "Edificio", "Blocco", "Zona", "Superficie" ed eventuale "Apertura". Questa metodologia permette di ridurre al minimo i dati da inserire da parte dell'utente. I dati vengono inseriti a livello di "Edificio" e poi si interviene nelle diverse sottocategorie solo laddove necessario. Questo procedimento può tuttavia comportare, in taluni casi, degli errori in fase di inserimento. Nel caso trattato in questa tesi, la selezione a livello di programma dei fattori di conversione dell'energia primaria non veniva correttamente adottata a livello di "Sito".

Criticità nel processo di ottimizzazione

L'approccio utilizzato per il processo di ottimizzazione nei lavori precedenti è di tipo comparativo-iterativo. Partendo da un pacchetto di misure di efficienza energetica di riferimento, si calcola il costo globale e questo viene considerato come un ottimo parziale. Successivamente per ottenere un nuovo ottimo parziale si modifica un livello di una misura di efficienza energetica per volta e se ne calcola il nuovo costo globale. Se il costo ottenuto è inferiore a quello di partenza si è ottenuto un nuovo ottimo parziale altrimenti si mantiene quello precedente. Questo iter prosegue fino a quando non è più possibile identificare un nuovo ottimo parziale. Nel momento in cui ciò accade si è identificata la soluzione *cost-optimal*. Il procedimento descritto è stato illustrato ed utilizzato in diversi lavori, si vedano ad esempio le pubblicazioni [88],[89] e [90].

11. CRITICITÀ RISULTANTI DALL'UTILIZZO DI DESIGNBUILDER

L'utilizzo di un software per la procedura di ottimizzazione rappresenta un approccio recente nel mondo della riqualificazione energetica. Alcune limitazioni di cui si è dovuto adeguatamente tenere conto in fase di ottimizzazione vengono di seguito brevemente illustrate.

Su *DesignBuilder* [106] in fase di ottimizzazione è presente una schermata dedicata che permette di identificare le variabili di progetto, ovvero i livelli prestazionali delle misure di efficienza energetica, che vengono selezionate dal software. Nell'ipotesi in cui l'impianto per la produzione di ACS e riscaldamento sia unico per tutto l'edificio è possibile identificare l'impianto di riscaldamento come variabile di progetto e prevederne più livelli prestazionali, ovvero più tipologie di impianto (ad esempio: caldaia standard, caldaia a condensazione, pompa di calore). In fase di ottimizzazione il software elimina l'impianto originale e assegna all'intero edificio la nuova tipologia di impianto. Tuttavia, il modello di partenza utilizzato nel caso della diagnosi energetica in oggetto prevedeva impianti autonomi con produzione combinata di ACS e riscaldamento. *DesignBuilder* [106], in fase di ottimizzazione, non è in grado di sostituire l'impianto di generazione e riassociare autonomamente e correttamente il nuovo impianto a tutte le zone termiche (specialmente per quanto concerne la produzione di acqua calda sanitaria) nell'ipotesi di impianti autonomi. Questa impossibilità ha portato alla divisione del modello di partenza in tre sotto-modelli (uno per tipologia impiantistica) e ad effettuare l'ottimizzazione per ognuno di questi come illustrato in precedenza (Figura 8.2).

In fase di ottimizzazione non è possibile modificare i ponti termici a seconda del livello di isolamento dell'involucro opaco considerato. Di conseguenza, i ponti termici vanno modificati prima che abbia inizio la procedura di ottimizzazione. La scelta di ponti termici standard effettuata non è quindi veritiera nel caso in cui non siano, per esempio, stati effettuati interventi di coibentazione dell'involucro esterno. Per ovviare a questo problema, si sono ipotizzate due alternative: la suddivisione in ulteriori sotto-modelli per la fase di ottimizzazione e l'utilizzo di ponti termici standard solo laddove risultasse corretto, o la correzione in fase di post-elaborazione dei punti che presentassero tale problema ripetendo la simulazione in presenza di ponti termici originali. Considerando il numero elevato di simulazioni condotte, entrambi gli approcci richiedono diverso tempo per essere effettuati.

Per quanto concerne la definizione dei costi degli interventi, è necessario effettuare alcune semplificazioni e prestare particolare attenzione ai dati pre-esistenti. *DesignBuilder* [106] contiene al suo interno dei valori di costo di *default* per materiali e tecnologie impiantistiche. Risulta di primaria importanza sostituire correttamente tutti i costi associati all'edificio in modo tale da non alterare il processo di ottimizzazione. I costi di manutenzione e sostituzione nella realtà variano in funzione del livello prestazionale della misura di efficienza energetica. Tuttavia, in *DesignBuilder* [106] essi vanno assegnati in un'apposita schermata presente nella sezione "Costo Ciclo di vita", in "Aspetti economici", e non sono modificabili in funzione del livello prestazionale. Essi vengono assegnati in "Costi ricorrenti" (manutenzione) e

11. CRITICITÀ RISULTANTI DALL'UTILIZZO DI DESIGNBUILDER

“Costi non ricorrenti” (sostituzione). Ciò comporta l’utilizzo di costi medi. Per suddividere in maniera migliore i costi nel corso di questa diagnosi energetica si è scelto di realizzare tre gruppi di tre sotto-modelli (uno per ogni livello prestazionale dei collettori solari) al fine di poter meglio contraddistinguere i costi (Figura 8.2).

Per i serramenti, considerando il periodo di vita utile pari a trenta anni, nell’ipotesi in cui essi non vengano sostituiti subito, essi vengono sostituiti al termine della loro vita utile. Nell’utilizzare *DesignBuilder* [106], però, i costi di sostituzione non possono essere inseriti nel caso in cui la misura di efficienza energetica preveda la sostituzione solo in determinati casi, come può avvenire per i serramenti. Perciò i costi di sostituzione dei serramenti non sono stati considerati nell’ipotesi di mantenimento dei serramenti allo stato attuale.

Nonostante le criticità sopra elencate l’utilizzo di un software di simulazione dinamica (come *DesignBuilder* [106]) consente di simulare il comportamento e i consumi di un edificio in maniera molto più accurata rispetto al metodo quasi stazionario proposto dalla serie UNI/TS 11300 ([39],[40],[41],[42],[43]). Le criticità osservate sono principalmente legate alla procedura di ottimizzazione nell’ipotesi in cui si debba trattare un edificio molto articolato e con impianti tecnici autonomi. In fase di modellazione, invece, è necessario verificare la correttezza dei dati inseriti (la loro corretta implementazione nel software) al fine di non compromettere i risultati delle simulazioni.

12. CONCLUSIONI

La tesi ha trattato la diagnosi energetica di un edificio di edilizia residenziale sito nel comune di Pianezza, Torino. L'obiettivo era lo studio di interventi di riqualificazione che permettessero un miglioramento della prestazione energetica dell'edificio analizzato. Per le soluzioni analizzate si è verificato sia l'ottemperanza al D.M. 26/05/2015 [4], sia la fattibilità economica attraverso valutazioni di tipo economico ed energetico.

Lo strumento utilizzato è stato il software *DesignBuilder* 5.0 [106] che ha permesso di costruire un modello dell'edificio analizzato per simularne i consumi. La procedura di calibrazione dettagliata ha in seguito permesso di verificare che il modello aderisse alle reali condizioni di utilizzo da parte dell'utenza, attraverso l'uso di dati climatici reali e il confronto dei consumi simulati con quelli reali.

Ottenuto un modello che simulasse il consumo reale dell'utenza, si sono studiate diverse misure di efficienza energetica attraverso l'impiego di un'analisi *cost-optimal*, parallela alla simulazione dinamica dettagliata. Quest'analisi ha permesso l'ottenimento di una graduatoria delle soluzioni in funzione dell'energia primaria non rinnovabile e del costo globale, calcolato su un periodo di trenta anni. Le tecnologie analizzate nel processo di ottimizzazione sono ampiamente utilizzate e risultano economicamente e tecnologicamente realizzabili in un reale intervento di riqualificazione. Tra le soluzioni rientrano tre tipologie di generatori di calore (caldaia tradizionale, caldaia a condensazione, pompa di calore), diversi livelli di isolamento dell'involucro opaco disperdente verticale e orizzontale, la sostituzione dei serramenti, l'installazione di schermature solari e di impianti a fonti rinnovabili (solare termico e pannelli fotovoltaici).

Dalla graduatoria delle analisi si è ricavata la soluzione *cost-optimal* (costo inferiore tra tutte le soluzioni), la quale prevede l'utilizzo delle caldaie a combustione presenti allo stato di fatto, l'installazione di collettori solari (EEM7.EEO3) e le misure di efficienza energetica relative all'isolamento del primo solaio verso l'esterno (EEM3.EEO3) e all'ultimo solaio (EEM2.EEO2). Questa soluzione permette una riduzione del costo globale di 30 €/m² con un risparmio energetico del 23% rispetto allo stato attuale, ma non permette tuttavia di rispettare il target nZEB. Come soluzione nZEB è stata identificata una soluzione che prevedesse l'utilizzo di una pompa di calore aria-acqua, in modo tale da utilizzare maggiormente le fonti rinnovabili, e livelli di prestazione energetica elevati sia per l'involucro opaco che per l'involucro trasparente. L'adozione di queste misure permette una riduzione dell'energia primaria non rinnovabile dovuta a riscaldamento e acqua calda sanitaria del 74% e del 67% rispetto allo stato attuale e alla soluzione *cost-optimal* rispettivamente. A questa riduzione, tuttavia, corrisponde un incremento del costo globale del 90% rispetto al costo dello stato attuale, escludendo i costi energetici dovuti al raffrescamento.

12. CONCLUSIONI

In parallelo alla verifica dei requisiti minimi, è stata valutata la classificazione energetica dell'appartamento dell'utenza tipo. Partendo da una classe energetica D allo stato attuale, si ottengono una classe energetica C e A2 per le soluzioni *cost-optimal* e nZEB rispettivamente.

Dai risultati delle simulazioni condotte si possono trarre alcune osservazioni conclusive:

- la buona prestazione energetica iniziale dell'edificio, dovuta all'involucro edilizio parzialmente isolato, alla presenza di serramenti doppi e alla presenza di generatori di recente sostituzione, limitano il numero di interventi che risultano economicamente convenienti. Il maggior numero di soluzioni nella regione *cost-effective* sono contraddistinti dall'utilizzo di generatori allo stato attuale;
- la non continuità dell'isolante è fonte di ponti termici che causano dispersioni termiche e formazione di muffe;
- si conferma il comportamento osservato in [87] nel quale si è riscontrato che, per edifici altamente performanti, risulta difficile il contemporaneo rispetto dei valori limiti imposti per $EP_{H,nd}$ che $EP_{C,nd}$.

Come conclusione del lavoro di tesi, è stata effettuata un'analisi di sensibilità per valutare l'influenza di determinate misure di efficienza energetica sul fabbisogno di energia primaria globale dell'edificio, e sul costo globale. Tra i diversi interventi analizzati (isolamento involucro opaco orizzontale, isolamento intero involucro opaco, integrazione con solare termico, utilizzo di caldaia a condensazione), l'isolamento dell'involucro opaco verticale e orizzontale permette una riduzione pari a circa il 40% del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile contemporaneamente ad una diminuzione del 5% del costo globale rispetto allo stato attuale. Tale intervento, infatti, permette una riduzione dei costi energetici rispetto allo stato attuale, che però è parzialmente compensata dall'incremento del costo di installazione. L'integrazione con il solare termico permette una riduzione pari a circa il 10% sia del fabbisogno che del costo globale.

Le simulazioni condotte ai fini di questa diagnosi energetica hanno dimostrato come sia economicamente fattibile un intervento di riqualificazione energetica su edifici parzialmente isolati, al fine di contenerne i consumi energetici.

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Legislazione

- [1] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 4 gennaio 2003. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0091&from=EN>.
- [2] Repubblica Italiana, Legge 30 aprile 1976, n. 373 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 148 del 7 giugno 1976.
- [3] Repubblica Italiana, Legge 9 gennaio 1991, n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", pubblicata nella Gazzetta Ufficiale 16 gennaio 1991 – Supplemento Ordinario n. 13.
- [4] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39.
- [5] Repubblica Italiana, Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28 "Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 71 del 28 marzo 2011 – Supplemento Ordinario n. 81.
- [6] Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 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, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 14 novembre 2012. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=IT>.
- [7] Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 5 giugno 2009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=IT>.
- [8] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione), pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 18 giugno 2010. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>.
- [9] Direttiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 19 giugno 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>.
- [10] Repubblica Italiana, Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia", pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005 – Supplemento Ordinario n. 158.

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [11] Repubblica Italiana, Legge 3 agosto 2013, n. 90 “Conversioni in legge, con modificazione, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 181 del 03 agosto 2013.
- [12] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “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”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39.
- [13] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015, Supplemento Ordinario n. 39.
- [14] Regione Piemonte, Decreto della Giunta Regionale del 4 agosto 2009, n. 46 – 11968 “Aggiornamento del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell’aria – Stralcio di piano per il riscaldamento ambientale e il condizionamento e disposizioni attuative in materia di rendimento energetico nell’edilizia ai sensi dell’articolo 21, comma 1, lettere a) b) e q) della legge regionale 28 maggio 2007, n. 13 “Disposizioni in materia di rendimento energetico nell’edilizia””, pubblicato sul Bollettino Ufficiale n. 31, Supplemento Ordinario n. 31.
- [15] Regione Piemonte, Decreto della Giunta Regionale del 30 maggio 2016, n. 29 – 3386 “Attuazione della legge regionale 7 aprile 2000 n. 43. Disposizioni per la tutela dell’ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Armonizzazione del Piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell’aria con gli aggiornamenti del quadro normativo comunitario e nazionale”, pubblicato sul Bollettino Ufficiale n. 23 del 09 giugno 2016.
- [16] Legge 31 maggio 1903, n. 254 “Sulle Case Popolari”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 159 del 08 luglio 1903.
- [17] Regio Decreto 27 febbraio 1908, n.89 che approva il testo unico di legge sulle case popolari o economiche, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 80 del 04 aprile 1908.
- [18] Repubblica Italiana, Legge 28 febbraio 1943, n. 43 “Provvedimenti per incrementare l’occupazione operaia, agevolando la costruzione di case per lavoratori”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 54 del 07 marzo 1949.
- [19] Repubblica Italiana, Legge 14 febbraio 1963, n. 60 “Liquidazione del patrimonio edilizio della Gestione I.N.A. – Casa e istituzioni di un programma decennale di costruzione di alloggi per lavoratori”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 44 del 16 febbraio 1963.
- [20] Repubblica Italiana, Legge 22 ottobre 1971, n. 865 “Programmi e coordinamento dell’edilizia residenziale pubblica; norme sulla espropriazione per pubblica utilità; modifiche ed integrazioni alle leggi 17 agosto 1942, n. 1150, 18 aprile 1962, n. 167 e 29 settembre 1964, n. 847; ed autorizzazione di spesa per interventi straordinari nel settore dell’edilizia residenziale, agevolata e convenzionata”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 276 del 30 ottobre 1971.
- [21] Repubblica Italiana, Decreto del Presidente della Repubblica 30 dicembre 1972, n. 1035 “Norme per l’assegnazione e la revoca nonché per la determinazione e la revisione dei canoni di locazione degli alloggi di edilizia residenziale pubblica”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 58 del 03 marzo 1973.

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [22] Repubblica Italiana, Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1977, n. 616 “Attuazione della delega di cui all’art. 1 della legge 22 luglio 1975, n. 382”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 234 del 29 agosto 1977.
- [23] Repubblica Italiana, Legge 5 agosto 1978, n. 457 “Norme per l’edilizia residenziale”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 231 del 19 agosto 1978.
- [24] Repubblica Italiana, Legge 23 dicembre 2000, n. 388 “Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2001)”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 302 del 29 dicembre 2000, Supplemento Ordinario n. 219.
- [25] Repubblica Italiana, Legge 8 febbraio 2001, n. 21 “Misure per ridurre il disagio abitativo ed interventi per aumentare l’offerta di alloggi in locazione”, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 45 del 23 febbraio 2001.
- [26] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale del 27 dicembre 2001, n. 2523 “20’000 abitazioni in affitto”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 12 luglio 2002, Supplemento Ordinario n. 142.
- [27] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale del 27 dicembre 2001, n. 2521 “Alloggi in affitto per gli anziani degli anni 2000”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 12 luglio 2002, Supplemento Ordinario n. 142.
- [28] Repubblica Italiana, Decreto Ministeriale del 27 dicembre 2001, n. 2522 “Programmi innovativi in ambito urbano”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 162 del 12 luglio 2002, Supplemento Ordinario n. 142.
- [29] Repubblica Italiana, Testo del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112 (pubblicato nel supplemento ordinario n. 152/L alla Gazzetta Ufficiale n. 147 del 25 giugno 2008), coordinato con la legge di conversione 6 agosto 2008, n. 133, (in questo stesso supplemento ordinario), recante: “Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, Supplemento Ordinario n. 196.
- [30] Repubblica Italiana, Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 16 luglio 2009 “Piano nazionale di edilizia abitativa”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n.191 del 19 agosto 2009.
- [31] Repubblica Italiana, Decreto-Legge 28 marzo 2014, n. 47 “Misure urgenti per l’emergenza abitativa, per il mercato delle costruzioni e per Expo 2015, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 73 del 28 marzo 2014.
- [32] Regione Piemonte, Deliberazione del Consiglio Regionale 20 dicembre 2006, n. 93 – 43238 “Edilizia residenziale pubblica. Approvazione del ‘Programma casa: 10’000 alloggi entro il 2012’, ai sensi dell’articolo 89 della legge regionale 26 aprile 2000, n. 44, di attuazione del d.lgs. 112/1998”, pubblicato sul Bollettino Ufficiale n. 2, Supplemento Ordinario n. 2.
- [33] Repubblica Italiana, Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 “Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell’art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 242 del 14 ottobre 1993, Supplemento Ordinario n. 96.
- [34] Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell’edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

edifici e degli elementi edilizi (Testo rilevante ai fini SEE), pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 81 del 21/03/2012.

Norme tecniche

- [35] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-1, Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali, 2012.
- [36] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-2, Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici, 2014.
- [37] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI CEI EN 16247-3, Diagnosi energetiche - Parte 3: Processi, 2014.
- [38] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 52003-1, Prestazione energetica degli edifici - Indicatori, requisiti, valutazioni e certificati - Parte 1: Aspetti generali e applicazione alla prestazione energetica complessiva, 2018.
- [39] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-1, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, 2014.
- [40] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-2, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali, 2014.
- [41] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-3, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva, 2010.
- [42] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-4, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, 2016.
- [43] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TS 11300-5, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili, 2016.
- [44] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 52000-1, Prestazione energetica degli edifici - Valutazione globale EPB - Parte 1: Struttura generale e procedure, 2018.
- [45] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 15459-1, Prestazione energetica degli edifici - Procedura di valutazione economica dei sistemi energetici degli edifici, 2018
- [46] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI/TR 11552, Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici, 2014.
- [47] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10351, Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto, 2015.
- [48] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10355, Murature e solai, Valori della resistenza termica e metodo di calcolo, 1994.
- [49] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo, 2018.

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [50] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 10456, Materiali e prodotti per l'edilizia, Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto, 2008.
- [51] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo, 2018.
- [52] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 10077-1, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti – Calcolo della trasmittanza termica – Parte 1: Generalità, 2018.
- [53] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10200, Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria - Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria, 2018.
- [54] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10349-1, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata, 2016.
- [55] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 15927-6, Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Parte 6: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno), 2008.
- [56] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 10349-3, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici, 2016.
- [57] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN ISO 52016-1, Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo, 2018.
- [58] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 15251, Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica, 2008.
- [59] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI EN 16798-7, Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 7: Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici compresa l'infiltrazione (Moduli M5-5), 2018.
- [60] Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI 7129-1, Impianti a gas per uso domestico e similare alimentati da rete di distribuzione - Progettazione, installazione e messa in servizio - Parte 1: Impianto interno, 2015.

Pubblicazioni scientifiche

- [61] V. Corrado, I. Ballarini, A. Lorenzati, G. De Luca, "Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB. Studio di un edificio di edilizia residenziale pubblica di riferimento nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000)", collaborazione tra Politecnico di Torino ed ENEA, 2018.
- [62] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, L. Tulipano, "A new procedure of energy audit and cost analysis for the transformation of a school into a nearly zero-energy building", Energy Procedia, 140, 325-338, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.146>.

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [63] Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, William W. Behrens III, "I limiti dello sviluppo, 1972.
- [64] V. Corrado, "Il nuovo Decreto Ministeriale sul calcolo della prestazione energetica e sui requisiti minimi", Rockwool Italia S.p.A., ISBN:978-88-908722-3-5.
- [65] Ministero dello Sviluppo Economico, MiSE, Direzione generale per il mercato elettrico, le rinnovabili e l'efficienza energetica, il nucleare, "Chiarimenti in materia di efficienza energetica in edilizia", agosto 2016.
- [66] CRESME, RIUSO03. "Ristrutturazione edilizia, riqualificazione energetica, rigenerazione urbana", Estratto della ricerca CRESME, 2014.
- [67] V. Corrado, I. Ballarini, "L'avanzamento della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio residenziale regionale (Regione Piemonte, IT)", Progetto EPISCOPE, 2016. [http://episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/pilot_actions/IT EPISCOPE RegionalCaseStudy_POLITO.pdf](http://episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/pilot_actions/IT_EPISCOPE_RegionalCaseStudy_POLITO.pdf)
- [68] Cassa Depositi e Prestiti, "Social Housing. Il mercato immobiliare in Italia: focus sull'edilizia sociale", Report monografico, 2014.
- [69] Città di Torino, Direzione servizi sociali, Area edilizia residenziale pubblica, "Osservatorio condizione abitativa", XIV Rapporto, 2017.
- [70] American Society for Heating Refrigerating Air-conditioning Engineers (ASHRAE), Guideline 14 - Measurement of Energy, Demand, and Water Savings, 2014
- [71] F. Ascione, N. Bianco, R. Francesca De Masi, T. Perone, S. Ruggiero, P. Strangio, G. Peter Vanoli, "Light and heavy energy refurbishments of Mediterranean offices. Part I: energy audit of an institutional building on the Naples coast", Procedia Engineering, 180, 1506 – 1517, 2017.
- [72] K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, T. Meyarivan, "Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II". Lecture Notes in Computer Science, 2000, 849-858.
- [73] F. Moretti, S. Panzieri, "Metodologia di ottimizzazione multi-obiettivo della climatizzazione termica di edifici. Validazione su sistema di simulazione", Report RdS/2013/122, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Roma, 2013.
- [74] Yuan Hu, Zhaohong Bie, Tao Ding, Yanling Lin, "An NSGA-II based multi-objective optimization for combined gas and electricity network expansion planning", Applied Energy, Volume 167, 280 – 293, April 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.148>
- [75] Ministero dello Sviluppo Economico, "Applicazione della metodologia di calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (Direttiva 2010/31/UE Art. 5)", 2018 (in pubblicazione).
- [76] L. Radulov, N. Kaloyanov, H. Petran, "D2.1 Report On The Preliminary Assessment Of Public Building Stock", RePublic_ZEB, Novembre 2014.
- [77] AA.VV., Refurbishment of the public building stock towards NZEB, "Report D2.2: Method And Results In Defining National Reference Buildings For Each Building Category", RePublic_ZEB, Febbraio 2015.
- [78] Capozzoli A., Corrado V., Gorrino A., Soma P., "Atlante nazionale dei ponti termici", Edizione Edilclima, 2011.

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [79] ARERA, “Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull’attività svolta”, 31 marzo 2018, https://arera.it/it/relaz_ann/18/18.htm.
- [80] I. Ballarini, “Prestazione energetica di edifici in condizioni estive: l’effetto dell’isolamento termico”, 2011.
- [81] D. Coakley, Paul Raftery, Marcus Keane, “A review of methods to match building energy simulation models to measured data”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37, 123-141, 2014.
- [82] E. Fabrizio, V. Monetti, “Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models”, *Energies* 8, 2548-2574, 2015.
- [83] Bou-Saada Tarek E., Haberl Jeff S., “An improved procedure for developing calibrated hourly simulation models”, *Proceedings of the 5th international IBPSA conference*, Montreal, Canada, 1995.
- [84] Federal Energy Management Program, M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0; U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program: Washington, DC, USA, 2008.
- [85] IPMVP New Construction Subcommittee, International Performance Measurement & Verification Protocol: Concepts and Option for Determining Energy Savings in New Construction, Volume III; Efficiency Valuation Organization (EVO): Washington, DC, USA, 2003.
- [86] Comitato Termotecnico Italiano – Energia e Ambiente “Metodologia per l’elaborazione dei dati climatici necessari per la progettazione degli impianti per il riscaldamento degli edifici”, Report Ricerca Sistema Elettrico RSE/2009/206, Marzo 2009.
- [87] V. Corrado, I. Ballarini, G. De Luca, E. Primo, “Riqualificazione energetica degli edifici pubblici esistenti: direzione nZEB. Studio dell’edificio di riferimento uso uffici della PA nella zona climatica Nord Italia (zona E: 2.100 <GG ≤ 3.000)”, collaborazione tra Politecnico di Torino ed ENEA, 2017.
- [88] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, “Sviluppo della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE”, Report RdS/2013/144, Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Roma, 2013.
- [89] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, “The Application of the EU Comparative Methodology to Italian Reference Buildings for the Cost-Optimal Analysis”, *Energy Efficient, Smart and Healthy Buildings*, 2013, ISBN: 9788026040019.
- [90] V. Corrado, I. Ballarini, S. Paduos, “Assessment of cost-optimal energy performance requirements for the Italian residential building stock”, *Energy Procedia*, 443-452, 2014, ISSN: 1876-6102.

Sitografia

- [91] Banca dati ISTAT - <https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/dati-e-indicatori>
- [92] Strategie europee 2020, 2030, 2050 - https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_it
- [93] Clean Energy for All Europeans - <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it
- [94] Censimento ISTAT 2011 - <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx>

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [95] Eurostat statistics - <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [96] EU Buildings Database – <https://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database>
- [97] Annuario Statistico Italiano 2018 ISTAT - <https://www.istat.it/it/archivio/225274>
- [98] Report La povertà in Italia, anno 2017 - <https://www.istat.it/it/files//2018/06/La-povert%C3%A0-in-Italia-2017.pdf>
- [99] CECHODAS - <http://www.housingeurope.eu/>
- [100] Comitato Termotecnico Italiano (CTI) – Anni tipo climatici - <https://www.cti2000.it/index.php?controller=news&action=show&newsid=34848>.
- [101] Google Earth - <https://earth.google.com/web/@45.10552586,7.5500557,322.67858858a,4944.82289578d,35y,-0.00000002h,0.31658514t,0r>.
- [102] Scheda tecnica caldaia ARISTON T2 23 MI - <https://www.schede-tecniche.it/schede-tecniche-caldaie/ARISTON-manuale-tecnico-caldaia-murale-gas-T2-23-MI.pdf>
- [103] Fornitore Luce-Gas - <https://luce-gas.it/faq/consumo-gas-medio-famiglia>
- [104] ARPA Piemonte – Banca dati meteorologica - https://www.arpa.piemonte.gov.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html
- [105] Prezzario Regione Piemonte 2018 - http://www.regione.piemonte.it/oopp/prezzario/dwd/index_18.htm.

Software

- [106] DesignBuilder - <https://www.designbuilder.co.uk/>
- [107] EnergyPlus - <https://energyplus.net/>
- [108] Autocad - <https://www.autodesk.com/education/free-software/autocad>

ALLEGATO A.

Estratto di capitolato

Art. 9

OPERE STRUTTURALI

Il progetto prevede la costruzione di 2 edifici con struttura portante in cemento armato costituita da:

- fondazioni in c.a. su pali e travi centinee
- struttura verticale di pilastri in c.a.
- solai in laterocemento.

L'Impresa dovrà presentare per il visto della Direzione dei Lavori il progetto esecutivo delle opere in cemento armato o in ferro con il dimensionamento delle diverse strutture ed i relativi ordinativi. Tuttavia ciò non esonera l'Impresa dalla sua esclusiva responsabilità di progettazione e di esecuzione delle opere in cemento armato o in ferro, scaricando completamente la Direzione dei lavori e l'Ente Appaltante da qualsiasi responsabilità al riguardo.

L'Impresa si avvarrà di un proprio direttore responsabile dei lavori in cemento armato o ferro.

Non sarà consentita l'esecuzione dei getti di calcestruzzo e la posa delle strutture portanti, se prima i progetti inerenti non saranno stati visti dalla Direzione lavori e se non saranno state controllate sul posto le armature metalliche.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Detto carico dovrà essere determinato e documentato sulla base dei risultati dei sondaggi e delle prove penetrometriche allegati; altre prove possono essere richieste dalla Direzione dei Lavori e saranno a carico totale dell'Impresa.

Il progetto prevede una fondazione a travi continue su pali di idonee dimensioni. Tuttavia l'Impresa potrà proporre l'uso di altri sistemi di fondazione.

In tal caso l'Impresa dovrà giustificare con calcoli, alla Direzione Lavori, il tipo di fondazione prescelta.

Art. 9.2 - OPERE IN CEMENTO ARMATO OD IN FERRO

I sovraccarichi utili richiesti sono:

- per solaio di civile abitazione	250 kg/mq
- per solai di copertura praticabili	200 kg/mq
- per neve e vento sul tetto	150 kg/mq
- per solette balconi	400 kg/mq
- per rampe scale e pianerottoli	400 kg/mq

Detti sovraccarichi si intendono al netto del peso proprio della struttura, nonché dei pesi dei pavimenti, con relativi sottofondi e dei tramezzi interni.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 9.3 - SOLAI

I solai saranno generalmente formati da blocchi laterizi di altezza di cm. 18, con soprastante cappa in calcestruzzo dello spessore di cm. 4.

Per i locali servizi igienici dovrà essere garantita la posa delle tubazioni di scarico con le necessarie ed usuali pendenze, per cui i tratti di solai interessati, potranno essere realizzati con blocchi laterizi da cm. 16 e soprastante cappa da cm. 4.

È concesso l'uso di solai di tipo speciale, per i quali saranno riconosciuti validi unicamente i calcoli eseguiti dall'Ingegnere responsabile calcolatore delle strutture; l'impiego dei predetti solai dovrà essere autorizzato dalla Direzione ed in ogni caso dovrà essere garantita la perfetta complanarità degli elementi componenti.

Art. 9.4 - GIUNTI DI DILATAZIONE

L'edificio avrà giunto di dilatazione in corrispondenza del quale si eseguirà un raddoppio dei pilastri delle travi e dei muri.

Il cornicione avrà i giunti di dilatazione necessari secondo le disposizioni della Direzione Lavori.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 10

IMPERMEABILIZZAZIONI

Art. 10.1 - IMPERMEABILIZZAZIONI E PROTEZIONI

Nelle parti entrotterra, tutti i muri perimetrali, a partire dal piano di spiccato, dovranno essere protetti all'esterno con uno strato di bitume a freddo, ad alta penetrazione, dello spessore minimo di mm. 3, steso a cazzuola, previa imprimitura con primer idoneo.

Prima del reinterro le pareti impermeabilizzate dovranno essere protette con materiale ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori. L'impermeabilizzazione dovrà essere applicata anche se il terreno non fosse soggetto ad allagamenti o ad infiltrazioni di acqua e dovrà essere estesa fino alla quota di imposta delle murature perimetrali, con risvolto.

In presenza di falde acquee, dovrà essere cura dell'Impresa predisporre, sempre a suo carico, tutte le opere occorrenti per evitare infiltrazioni d'acqua, con gli accorgimenti da concordare preventivamente con la Direzione dei Lavori.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 11

ISOLAMENTO TERMICO DEL FABBRICATO

È posto a carico dell'Appaltatore l'onere relativo alla progettazione ed all'esecuzione degli impianti di riscaldamento, secondo le modalità di legge; sono pure compresi negli oneri contrattuali le forniture e le opere relative all'isolamento termico dell'edificio e degli impianti oggetto. del presente contratto.

Copia della Relazione prevista dalla Legge 373/76 dovrà essere predisposta e depositata presso il Comune a cura dell'Impresa appaltante prima dell'inizio lavori.

Le opere di isolamento termico di cui sopra, saranno soggette all'osservanza delle norme contenute, nella Legge n ° 373 7/6/1976, nel Regolamento d'esecuzione della predetta Legge (D.P.R. n. 1052 del 28/6/1977) e nel D.M. 10/3/1977, nella L. 10/91 e successivi eventuali Decreti applicativi. Il calcolo dei disperdimenti sarà effettuato utilizzando per i vari materiali isolanti impiegati i coefficienti di conducibilità termica di calcolo e non quelli di laboratorio o indicati dalle Ditte fornitrici. Quanto indicato nel presente Capitolato può essere variato solo se richiesto dal rispetto delle prescrizioni del Regolamento di cui sopra o dalle successive leggi vigenti al momento dell'appalto e senza riconoscimento di alcuna variazione di costo.

Si evidenzia che è tassativamente richiesto un isolamento del fabbricato che riduca del 10% il coefficiente di conducibilità termica (CD previsto dalla legge 373 da verificare con calcoli da Presentare in corso d'opera (attraverso due relazioni: quella a norma della legge 373 o legge 10/91 se ne modificherà i termini e quella di calcolo dei miglioramenti) e successivamente da verificare a collaudo.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 12

COPERTURA

Art. 12.1 - TETTO

La copertura sarà formata da un solaio in laterizio armato dello spessore di cm. 16+4. Il manto sarà costituito da tegole piane in cemento colorato secondo le prescrizioni di progetto, fermate da dentelli in cls. ricavati nel getto stesso del solaio o da listelli in abete.

I tegoloni di colmo dovranno essere sigillati con malta idraulica. Dovranno altresì essere previsti dispositivi paraneve da concordarsi con la Direzione dei Lavori.

Dovunque sia richiesto dalla forma del tetto, si applicheranno converse e faldali in rame 6/10 oppure elementi costituiti da manti sintetici impermeabili a base di elastomeri armati con tessuto in fibra poliestere, del peso di kg/mq.4,5.

L'Impresa dovrà inoltre provvedere all'installazione in ogni blocco scala di un lucernario a passo d'uomo con vetro retinato, opportunamente protetto contro le infiltrazioni dell'acqua piovana e dello stillicidio, per consentire l'accesso alle falde del tetto.

Sarà a cura dell'Impresa depositare circa un centinaio di tegole nel sottotetto, per futura manutenzione.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 13

MURATURE - TAVOLATI E CANNE

Art. 13.1 - TAVOLATI E STRUTTURE MURARIE

Le murature di tamponamento esterno saranno a cassa vuota e dovranno essere formati da muriccio esterno in mattoni multifori sabbiati da cm. 12 circa, lavorati a faccia vista rinzaffati sulla faccia interna e da un muriccio interno da cm. 8 circa in mattoni semipieni.

La cortina esterna, in ogni caso dovrà essere appoggiata per almeno cm. 8 sulla soletta di calcestruzzo anche davanti ai pilastri perimetrali.

Tra le due cortine di mattoni costituenti la cassavuota e collegate fra di loro con fili di ferro zincato bene ancorati ai mattoni sarà inserita una lastra di materiale isolante dello spessore minimo di cm. 6.

Le murature di tamponamento esterno al piano terreno dovranno essere realizzate con mattoni semipieni o blocchi in cls per uno spessore complessivo di cm. 20, intonacate sulla faccia esterna con rinzaffo di malta bastarda e finitura al civile, trattate con due mani di tinta lavabile per esterni.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 13.2 - TESTE DI CAMINO, - SFIATATOI - CANNE DI ESALAZIONE

Le canne di esalazione per le cucine e quelle per le caldaie a gas, le cui dimensioni saranno stabilite durante il corso dei lavori dalla Direzione dei Lavori, saranno in blocchi di conglomerato cementizio ad alta resistenza. Potranno essere ad immissione multipla tramite condotti secondari, dell'altezza di un piano, che permetta la confluenza dei gas prodotti nei collettori principali, oppure a canna di aspirazione singola purchè di tipo approvato dalla Direzione dei Lavori.

Tutte le canne di esalazione dovranno terminare con comignoli aspiratori eolo-dinamici, ad elementi rettangolari o ad anelli circolari, a scelta della Direzione Lavori, proporzionati alle canne impiegate.

I camini dovranno sporgere dalle falde del tetto secondo quanto indicato dalle vigenti leggi.

Le canne di ventilazione degli scarichi dei gabinetti saranno in PVC e avranno la dimensione degli scarichi stessi. Termineranno alla sommità tramite appositi pezzi speciali afferenti al manto di tegole adottato.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 14

INTONACI INTERNI, FINITURE DI FACCIATA

Art. 14.1 - INTONACI INTERNI

I servizi e le cucine saranno intonacati con rinzaffo di malta bastarda o di calce idraulica realizzato con particolare cura nell'esecuzione dei raccordi negli angoli e la profilatura degli spigoli eseguite con l'utilizzo di speciali profili in acciaio e successiva finitura al civile con grassello dolce, tipo genovese.

I restanti locali di abitazione e le pareti scala, sotto rampe, e soffitti, pianerottoli saranno intonacati con rinzaffo a base di gessi speciali e perlite a rapido essiccamento, con leganti, anche dato a spruzzo con apposite macchine premiscelatrici e successiva finizione e lisciatura con scagliola anch'essa a base di gessi speciali e perlite.

Le pareti dei gabinetti e delle cucine, che dovranno essere rivestite con materiale ceramico, verranno preparate con il solo rinzaffo di malta bastarda.

I locali comuni e i corridoi delle cantine saranno rinzaffati sulle pareti e sul soffitto.

Le cantine saranno rinzaffate solo sul soffitto.

ALLEGATO A. ESTRATTO DI CAPITOLATO

Art. 16

PAVIMENTI, SOTTOFONDI E RIVESTIMENTI, DAVANZALI INTERNI

Art. 16.1 - PAVIMENTI E SOTTOFONDI

Tutti i locali interni degli alloggi saranno pavimentati con piastrelle in monocottura 1200° calibrate, di dimensioni e colore a scelta della Direzione Lavori che dovrà preventivamente approvare i campioni.

In tutte le camere, negli ingressi e ripostigli sarà posato uno zoccolino della stessa serie delle piastrelle o in alternativa in legno o in marmo dell'altezza cm. 7 e spessore 1,2, colore a scelta della D.L.

I balconi e le logge saranno pavimentati in grès grigio 7 1/2x15 con finitura anti sdrucchiolo e con zoccolo in grès grigio.

Tutti i locali cantina relativi corridoi e posti auto saranno pavimentati con battuto di cemento dello spessore di cm. 8, con rete metallica, sovrastanti cm. 2 di pastina di cemento; dovrà essere gettato su sottofondo naturale dello spessore minimo, costipato, di cm. 30.

I pavimenti, con le dovute pendenze, dovranno avere pozzetti di scarico, in numero adeguato, con griglie in ghisa in ogni corridoio e dovranno essere collegati con la fognatura bianca sempre esterna o ad appositi pozzi perdenti, convenientemente dimensionati ad anch'essi esterni al fabbricato.

ALLEGATO B.

Questionario sull'utilizzo degli appartamenti

POLITECNICO
DI TORINODipartimento
Energia

Questionario sull'occupazione dell'abitazione per una diagnosi energetica

Edificio di social housing - ATC, Pianezza (TO)

Data di compilazione: __ / __ / ____

Informazioni generali sull'appartamento e sul nucleo familiare

A quale piano è localizzato l'appartamento?

 terra primo secondo terzo quarto quinto

Quante finestre sono presenti nell'appartamento?

 1 2 3 4 5 o più

Qual è l'orientamento principale della/e finestra/e dell'appartamento?

 nord sud est ovest

Quante persone abitano nell'appartamento?

 1 2 3 4 5 o più

Tipologia nucleo familiare:

	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5
Bambini (< 14 anni)	<input type="checkbox"/>				
Giovani (15 - 34 anni)	<input type="checkbox"/>				
Adulti (35 - 64 anni)	<input type="checkbox"/>				
Anziani (> 65 anni)	<input type="checkbox"/>				

Qual è il sesso degli abitanti di questo appartamento?

	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5
Maschio	<input type="checkbox"/>				
Femmina	<input type="checkbox"/>				

Giorni e orari lavorativi

Quante ore e quale fascia oraria generalmente gli abitanti trascorrono in appartamento?

Giorni feriali (da lunedì a venerdì)

	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5	Media
ore complessive in appartamento	---	---	---	---	---	---
prima mattina (ore 6-8)	<input type="checkbox"/>					
mattina (ore 8-12)	<input type="checkbox"/>					
orario pranzo (ore 12-14)	<input type="checkbox"/>					
pomeriggio (ore 14-18)	<input type="checkbox"/>					
sera (ore 18-22)	<input type="checkbox"/>					
notte (ore 22-6)	<input type="checkbox"/>					

ALLEGATO B. QUESTIONARIO SULL'UTILIZZO DEGLI APPARTAMENTI

	Giorni festivi (sabato e domenica)					Media
	Abitante 1	Abitante 2	Abitante 3	Abitante 4	Abitante 5	
ore complessive in appartamento	---	---	---	---	---	---
prima mattina (ore 6-8)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mattina (ore 8-12)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
orario pranzo (ore 12-14)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pomeriggio (ore 14-18)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sera (ore 18-22)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
notte (ore 22-6)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Apertura delle finestre

In media per quanto tempo le finestre vengono tenute aperte nell'arco della giornata?

Inverno

- meno di 30 minuti
- da 30 minuti a 1 ora
- da 1 ora a 4 ore
- più di 4 ore

Primavera/autunno

- meno di 30 minuti
- da 30 minuti a 1 ora
- da 1 ora a 4 ore
- più di 4 ore

Estate

- meno di 30 minuti
- da 30 minuti a 1 ora
- da 1 ora a 4 ore
- più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono tenute aperte le finestre?

Inverno

- prima mattina
- mattina
- orario pranzo
- pomeriggio
- sera
- notte
- non c'è un periodo prevalente

Primavera/autunno

- prima mattina
- mattina
- orario pranzo
- pomeriggio
- sera
- notte
- non c'è un periodo prevalente

Estate

- prima mattina
- mattina
- orario pranzo
- pomeriggio
- sera
- notte
- non c'è un periodo prevalente

Gestione delle tapparelle

In media per quanto tempo le tapparelle avvolgibili vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) nell'arco della giornata?

Inverno

- meno di 30 minuti
- da 30 minuti a 1 ora
- da 1 ora a 4 ore
- più di 4 ore

Primavera/autunno

- meno di 30 minuti
- da 30 minuti a 1 ora
- da 1 ora a 4 ore
- più di 4 ore

Estate

- meno di 30 minuti
- da 30 minuti a 1 ora
- da 1 ora a 4 ore
- più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono tenute abbassate (almeno la metà dell'altezza della finestra) le tapparelle avvolgibili?

Inverno

- prima mattina
- mattina
- orario pranzo
- pomeriggio
- sera
- notte
- non c'è un periodo prevalente

Primavera/autunno

- prima mattina
- mattina
- orario pranzo
- pomeriggio
- sera
- notte
- non c'è un periodo prevalente

Estate

- prima mattina
- mattina
- orario pranzo
- pomeriggio
- sera
- notte
- non c'è un periodo prevalente

ALLEGATO B. QUESTIONARIO SULL'UTILIZZO DEGLI APPARTAMENTI

Gestione delle schermature solari

In media per quanto tempo le schermature solari (es. veneziane, tende a rullo, ecc.), se presenti, vengono utilizzate nell'arco della giornata?

- | | | |
|---|---|---|
| <u>Inverno</u> | <u>Primavera/autunno</u> | <u>Estate</u> |
| <input type="checkbox"/> meno di 30 minuti | <input type="checkbox"/> meno di 30 minuti | <input type="checkbox"/> meno di 30 minuti |
| <input type="checkbox"/> da 30 minuti a 1 ora | <input type="checkbox"/> da 30 minuti a 1 ora | <input type="checkbox"/> da 30 minuti a 1 ora |
| <input type="checkbox"/> da 1 ora a 4 ore | <input type="checkbox"/> da 1 ora a 4 ore | <input type="checkbox"/> da 1 ora a 4 ore |
| <input type="checkbox"/> più di 4 ore | <input type="checkbox"/> più di 4 ore | <input type="checkbox"/> più di 4 ore |

Prevalentemente in quale periodo della giornata vengono utilizzate le schermature solari (se presenti)?

- | | | |
|--|--|--|
| <u>Inverno</u> | <u>Primavera/autunno</u> | <u>Estate</u> |
| <input type="checkbox"/> prima mattina | <input type="checkbox"/> prima mattina | <input type="checkbox"/> prima mattina |
| <input type="checkbox"/> mattina | <input type="checkbox"/> mattina | <input type="checkbox"/> mattina |
| <input type="checkbox"/> orario pranzo | <input type="checkbox"/> orario pranzo | <input type="checkbox"/> orario pranzo |
| <input type="checkbox"/> pomeriggio | <input type="checkbox"/> pomeriggio | <input type="checkbox"/> pomeriggio |
| <input type="checkbox"/> sera | <input type="checkbox"/> sera | <input type="checkbox"/> sera |
| <input type="checkbox"/> notte | <input type="checkbox"/> notte | <input type="checkbox"/> notte |
| <input type="checkbox"/> non c'è un periodo prevalente | <input type="checkbox"/> non c'è un periodo prevalente | <input type="checkbox"/> non c'è un periodo prevalente |

Riscaldamento

Quanti termosifoni sono presenti e solitamente accesi in questo appartamento?

<u>Zona notte</u>	<u>Zona giorno</u>	<u>Totali</u>
_____	_____	_____

Quanti elementi ha ogni termosifone?

Cucina	Soggiorno	Camera matr.	Camera 1	Camera 2	Bagno 1	Bagno 2	Altro
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Per regolare la temperatura dell'ambiente generalmente si agisce su:

- valvole termostatiche termostato ambiente entrambi nessuno dei due

Se nell'appartamento vengono utilizzate le valvole termostatiche, su quale valore vengono generalmente impostate?

<u>Zona notte</u>	<u>Zona giorno</u>	<u>Bagno</u>
_____	_____	_____

Se nell'appartamento viene utilizzato un termostato ambiente e quest'ultimo indica la temperatura, su quale valore viene generalmente impostato? _____ °C

Raffrescamento (solo per gli appartamenti con condizionatore estivo)

Per quanto tempo viene acceso il condizionatore estivo?

- meno di 30 minuti da 30 minuti a 1 ora da 1 ora a 4 ore più di 4 ore

Prevalentemente in quale periodo della giornata viene acceso il condizionatore estivo?

- mattino orario pranzo pomeriggio sera notte non c'è un periodo prevalente

ALLEGATO C.

Estratto scheda tecnica caldaia ARISTON t2 23 MI

T2

Predisposta per il teleservizio 



*Istruzioni d'uso
per l'utente*

*Istruzioni tecniche
per l'installazione
e la manutenzione*

**Caldaia murale istantanea
a camera aperta tipo B11bs
tiraggio naturale**

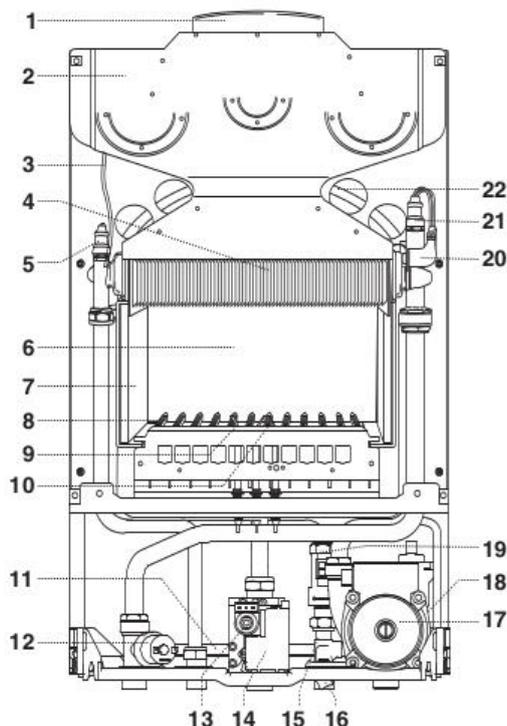
T2 23 MI



8. INSTALLAZIONE

L'INSTALLAZIONE E LA PRIMA ACCENSIONE DELLA CALDAIA DEVONO ESSERE EFFETTUATE DA PERSONALE QUALIFICATO IN CONFORMITÀ ALLE NORMATIVE NAZIONALI DI INSTALLAZIONE IN VIGORE E AD EVENTUALI PRESCRIZIONI DELLE AUTORITÀ LOCALI E DI ENTI PREPOSTI ALLA SALUTE PUBBLICA.

8.1 Vista Complessiva



LEGENDA:

1. Collettore scarico fumi
2. Cappa fumi
3. Sonda fumi
4. Scambiatore bitermico
5. Sonda sanitario
6. Camera combustione
7. Fibra ceramica isolante
8. Bruciatore
9. Elettrodo rilevazione
10. Elettrodi accensione
11. By-pass automatico
12. Pressostato di minima pressione
13. Valvola del gas
14. Accenditore
15. Filtro entrata acqua sanitaria
16. Rubinetto di riempimento
17. Circolatore con disareatore
18. Valvola di sicurezza 3 bar
19. Flussostato sanitario
20. Termostato sovratemperatura
21. Sonda riscaldamento
22. Vaso Espansione

8.2 Avvertenze prima dell'installazione

È ASSOLUTAMENTE INDISPENSABILE IL TRATTAMENTO DELL'ACQUA UTILIZZATA NEI SEGUENTI CASI:

- a) impianti molto estesi (con grossi contenuti d'acqua);
- b) frequenti immissioni di acqua di reintegro nell'impianto.
- c) circuiti sanitari

Nel caso si rendesse necessario lo svuotamento parziale o totale dell'impianto, si prescrive di effettuare il successivo riempimento con acqua trattata.

La caldaia serve a riscaldare l'acqua ad una temperatura inferiore a quella di ebollizione. Essa deve essere allacciata ad un impianto di riscaldamento e ad una rete di acqua sanitaria entrambi dimensionati in base alle sue prestazioni ed alla sua potenza. (Vedi Dati Tecnici).

Prima di collegare la caldaia è necessario:

- effettuare un lavaggio accurato delle tubazioni dell'impianto per rimuovere eventuali residui di filettature, saldature o sporcizie che possano compromettere il corretto funzionamento della caldaia;
- verificare la predisposizione della caldaia per il funzionamento con il tipo di gas disponibile (leggere quanto riportato sull'etichetta dell'imballo e sulla targhetta caratteristiche della caldaia);
- controllare che la canna fumaria non presenti strozzature e non vi siano collegati scarichi di altri apparecchi, salvo che questa sia stata realizzata per servire più utenze secondo quanto previsto dalle Norme vigenti;
- controllare che, nel caso di raccordo su canne fumarie preesistenti, queste siano state perfettamente pulite e non presentino scorie, in quanto l'eventuale distacco potrebbe ostruire il passaggio dei fumi, causando situazioni di pericolo;
- controllare che, nel caso di raccordo su canne fumarie non idonee, queste siano state intubate;
- in presenza di acque con durezza particolarmente elevata, si avrà rischio di accumulo di calcare con conseguente diminuzione di efficienza dei componenti della caldaia.

ALLEGATO C. ESTRATTO SCHEDA TECNICA CALDAIA ARISTON t2 23 MI

8.3 Ubicazione

ATTENZIONE  

Installare l'apparecchio su parete solida, non soggetta a vibrazioni.

Nessun oggetto infiammabile deve trovarsi nelle vicinanze della caldaia.

Assicurarsi che l'ambiente di installazione e gli impianti a cui deve connettersi l'apparecchiatura siano conformi alle normative vigenti.

AVVERTENZA 

La caldaia tipo B11bs può essere installata esclusivamente in un locale che risponde alle prescrizioni di ventilazione previste dalla normativa vigente.

Gli apparecchi *tipo B11bs sono apparecchi a camera aperta previsti per essere collegati ad un condotto di evacuazione dei prodotti della combustione verso l'esterno del locale; l'aria comburente è prelevata direttamente nell'ambiente in cui la caldaia è installata.* Lo scarico dei fumi è a tiraggio naturale.

Questo tipo di caldaia non può essere installata in un locale che non risponde alle appropriate prescrizioni di ventilazione.

La caldaia è progettata per l'installazione a parete, non può essere quindi installata su basamenti o pavimenti. La caldaia deve essere installata su una parete integra ed irremovibile per impedire l'accessibilità alle parti elettriche in tensione attraverso l'apertura posteriore del telaio. Per non compromettere il regolare funzionamento della caldaia il luogo di installazione deve rispondere al valore della temperatura limite di funzionamento ed essere protetto da agenti atmosferici.

Nella creazione di un vano tecnico si impone il rispetto di distanze minime che garantiscano l'accessibilità alle parti della caldaia come indicato nel paragrafo 8.4.

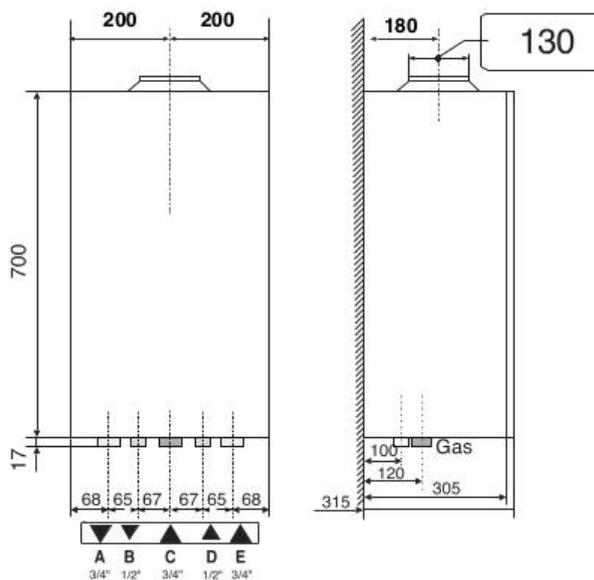
8.4 Posizionamento caldaia

Posizionare la caldaia utilizzando l'apposita dima di carta stampata sull'imballo o in caldaia, impiegando una livella a bolla.

Fissare la staffa metallica al muro per mezzo dei tasselli ad espansione, i quali devono essere inseriti correttamente (secondo le regole della buona tecnica) e appendere la caldaia.

ATTENZIONE 

Non danneggiare, nel forare la parete, cavi elettrici o tubazioni preesistenti.

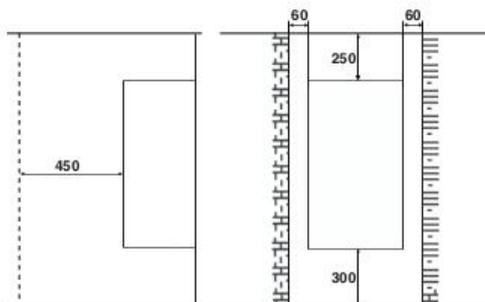


Legenda:

- A = Mandata Impianto
- B = Uscita acqua calda
- C = Ingresso Gas
- D = Entrata acqua fredda
- E = Ritorno impianto

8.5 Distanze minime

Per permettere un agevole svolgimento delle operazioni di manutenzione della caldaia è necessario rispettare le distanze minime indicate nello schema.



8.6 Collegamento gas

ATTENZIONE  

Verificare la tenuta dell'impianto del gas con rubinetto di intercettazione posto in caldaia chiuso e successivamente aperto e valvola del gas chiusa (disattivata), per 10 minuti il contatore non deve indicare alcun passaggio di gas.

Proteggere i tubi di collegamento in modo da evitare il loro danneggiamento.

Accertarsi che gli ugelli ed i bruciatori siano compatibili con il gas di alimentazione.

La caldaia è stata progettata per utilizzare gas appartenenti al gruppo H della seconda famiglia (H2H3+) come riportato nello schema al paragrafo 10.4.

Nel caso sia necessario adattare la caldaia ad un tipo di gas diverso vedere il punto 10.1.

La trasformazione della caldaia ad un tipo di gas diverso deve essere effettuata da personale qualificato.

La tubazione di adduzione del gas deve essere realizzata e dimensionata secondo quanto prescritto dalle Norme specifiche ed in base alla potenza massima della caldaia, assicurarsi anche del corretto dimensionamento ed allacciamento del rubinetto di intercettazione.

Prima dell'installazione si consiglia un'accurata pulizia delle tubazioni del gas per rimuovere eventuali residui che potrebbero compromettere il funzionamento della caldaia.

E' necessario verificare che il gas distribuito corrisponda a quello per cui è stata predisposta la caldaia (vedi targa dati posta in caldaia).

E' inoltre importante verificare la pressione del gas (metano o GPL) che si andrà ad utilizzare per l'alimentazione della caldaia, in quanto se insufficiente può ridurre la potenza del generatore con disagi per l'utente.

8.7 Collegamento idraulico

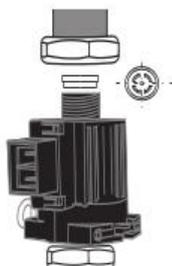
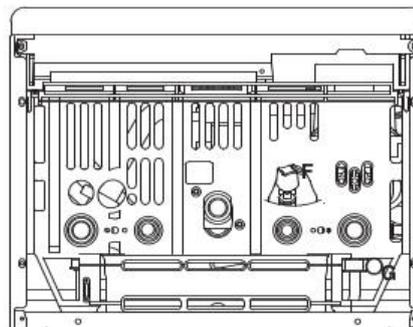
AVVERTENZE

Prima di effettuare il collegamento idraulico è necessario provvedere ad un accurato lavaggio dell'impianto per eliminare eventuali residui o sporcizie che possono compromettere il buon funzionamento della caldaia.

Verificare che il vaso di espansione abbia una capacità adeguata al contenuto d'acqua dell'impianto.

VISTA DEI RACCORDI CALDAIA

- Legenda:
- A = Mandata Impianto
 - B = Uscita acqua calda
 - C = Ingresso Gas
 - D = Entrata acqua fredda
 - E = Ritorno impianto
 - F = Rubinetto di riempimento
 - G = Scarico dispositivo di sovrappressione



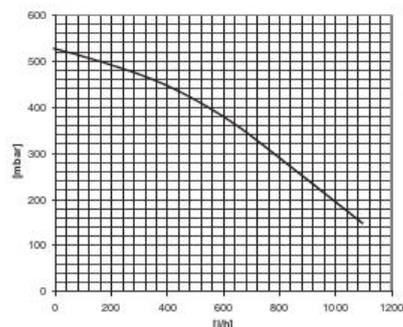
In figura sono rappresentati i raccordi per l'allacciamento idraulico e gas della caldaia. Verificare che la pressione massima di rete non superi i 6 bar; in caso contrario è necessario installare un riduttore di pressione.

La minima pressione per il funzionamento dei dispositivi che regolano la produzione di acqua calda sanitaria è di 0,2 bar.

E' possibile inserire a monte del flussostato sanitario un limitatore di portata a pasticca, come indicato nella figura a lato.

Per il dimensionamento delle tubazioni e dei corpi radianti dell'impianto si valuti il valore di prevalenza residua in funzione della portata richiesta, secondo i valori riportati sul grafico.

ALLEGATO C. ESTRATTO SCHEDA TECNICA CALDAIA ARISTON t2 23 MI



ATTENZIONE



Proteggere i tubi di collegamento in modo da evitare il loro danneggiamento

La caldaia è dotata di un by-pass automatico che provvede a garantire una corretta portata d'acqua nello scambiatore nel caso di un impianto con portata variabile (valvole termostatiche, etc.)

Lo scarico del dispositivo di sovrappressione deve essere collegato ad un sifone di scarico con possibilità di controllo visivo per evitare che in caso di intervento dello stesso si provochino danni a persone, animali e cose, dei quali il costruttore non è responsabile.

8.8 Collegamento allo scarico fumi

La caldaia dovrà essere collegata ad un sistema di evacuazione fumi rispondente alle normative vigenti.

AVVERTENZE

I condotti scarico fumi non devono essere a contatto o nelle vicinanze di materiali infiammabili e non devono attraversare strutture edili o pareti di materiale infiammabile.

ATTENZIONE



Assicurarsi che i passaggi di scarico e ventilazione non siano ostruiti.

Assicurarsi che i condotti di scarico fumi non abbiano perdite

8.9 Collegamento elettrico

AVVERTENZA

Prima di qualunque intervento nella caldaia togliere l'alimentazione elettrica tramite l'interruttore esterno poiché la caldaia è sempre alimentata anche con il proprio interruttore in posizione "0".

Per una maggiore sicurezza far effettuare da personale qualificato un controllo accurato dell'impianto elettrico, in quanto il costruttore non è responsabile per eventuali danni causati dalla mancanza di messa a terra dell'impianto o per anomalie di alimentazione elettrica.

Verificare che l'impianto sia adeguato alla potenza massima assorbita dalla caldaia indicata sulla targhetta e controllare che la sezione dei cavi sia idonea, comunque non inferiore a 1,5 mm².

Il corretto collegamento ad un efficiente impianto di terra è indispensabile per garantire la sicurezza dell'apparecchio.

La caldaia è completa di cavo di alimentazione sprovvisto di spina. Il cavo di alimentazione deve essere allacciato ad una rete di 230V-50Hz rispettando la polarizzazione L-N ed il collegamento di terra .

Importante!

I collegamenti alla rete elettrica devono essere eseguiti con allacciamento fisso (non con spina mobile) e dotati di un interruttore bipolare con distanza di apertura dei contatti di almeno 3 mm.

In caso di sostituzione del cavo elettrico di alimentazione rivolgersi a personale qualificato. Sono vietate prese multiple, prolunghie o adattatori.

E' vietato utilizzare i tubi dell'impianto idraulico, di riscaldamento e del gas per il collegamento di terra dell'apparecchio.

La caldaia non è protetta contro gli effetti causati dai fulmini.

In caso si debbano sostituire i fusibili di rete, usare fusibili da 2A rapidi.

ATTENZIONE



Proteggere tubi e cavi di collegamento in modo da evitare il loro danneggiamento

Eseguire i collegamenti elettrici con conduttori di sezione adeguata.

8.10. Collegamento Termostato Ambiente

AVVERTENZA

Non collegare l'alimentazione di rete (220 V AC) ai cavi del T.A.! Ciò danneggerebbe la scheda elettronica.

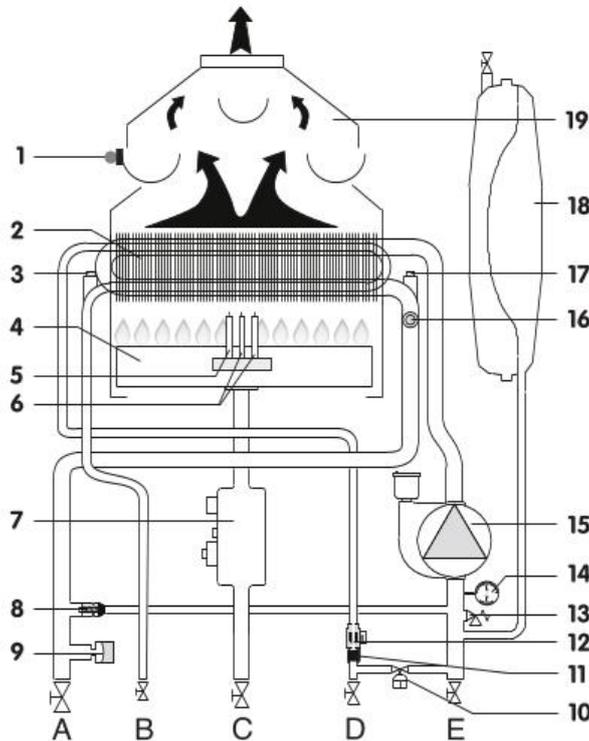
ATTENZIONE

Prima di qualunque intervento nella caldaia togliere l'alimentazione elettrica tramite l'interruttore esterno poiché la caldaia è sempre alimentata anche con il proprio interruttore in posizione "0".

Per effettuare il collegamento del termostato ambiente è necessario:

- 1 Aprire il pannello comandi come indicato al paragrafo 9.1.
- 2 Inserire il cavo del termostato nel passacavo e fissarlo tramite il pressacavo predisposto, quindi collegare i due fili al morsetto elettrico posizionato sul lato posteriore del portastrumenti rimuovendo il ponticello di collegamento.

8.11 Schema Idraulico



Legenda:

1. Sonda fumi
 2. Scambiatore primario
 3. Sonda sanitario
 4. Bruciatore
 5. Elettrodi di accensione
 6. Elettrodo di rilevamento fiamma
 7. Valvola del gas
 8. By-pass automatico
 9. Pressostato di minima
 10. Rubinetto di riempimento caldaia
 11. Filtro entrata acqua sanitario
 12. Flussostato sanitario
 13. Dispositivo di sovrappressione 3 bar
 14. Termoidrometro
 15. Circolatore con disaeratore
 16. Sonda sovratemperatura
 17. Sonda riscaldamento
 18. Vaso di espansione
 19. Cappa fumi
-
- A. Mandata riscaldamento 3/4"
 - B. Uscita acqua calda 1/2"
 - C. Gas 3/4"
 - D. Entrata acqua fredda 1/2"
 - E. Ritorno riscaldamento 3/4"

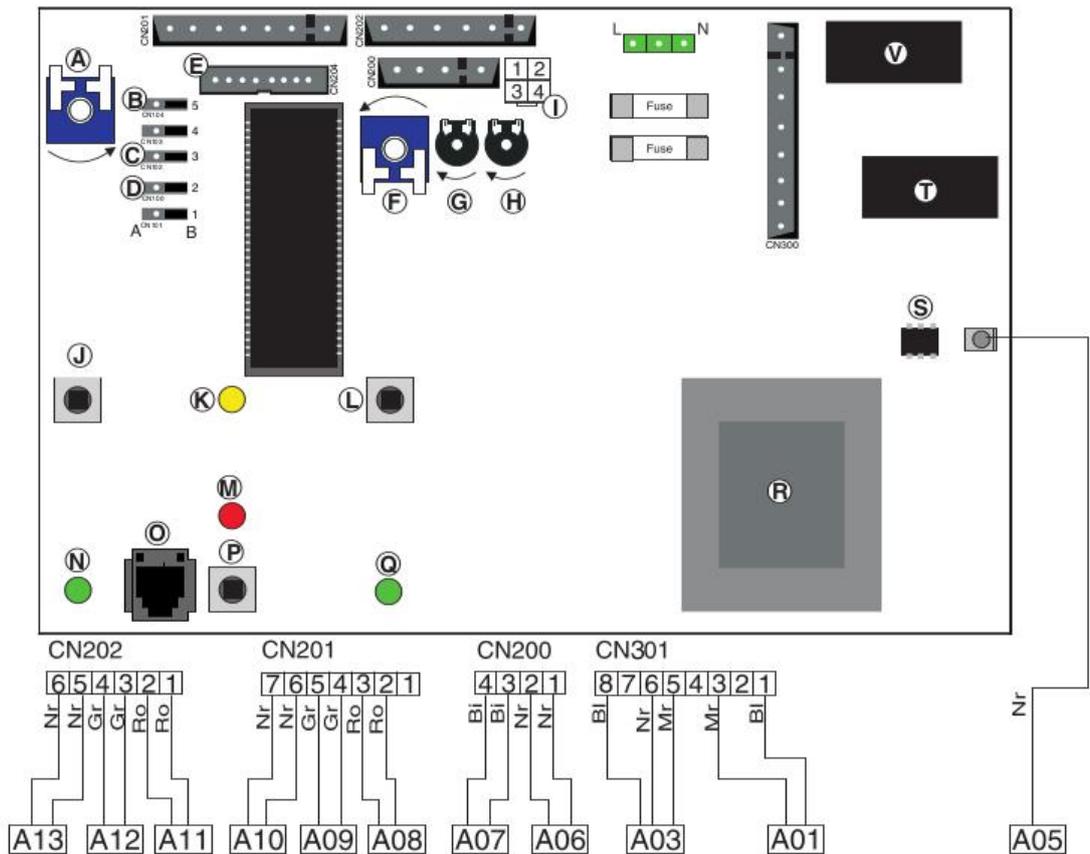
ALLEGATO C. ESTRATTO SCHEDA TECNICA CALDAIA ARISTON t2 23 MI

8.12 Schema Elettrico

- A - Regolazione temperatura riscaldamento
- B - JUMPER Postventilazione
- C - JUMPER selettore impianti a pavimento
- D - JUMPER selezione Ritardo Accensione
- E - Connettore schedino controllo remoto Klima Manager
- F - Regolazione temperatura sanitario
- G - Regolazione lenta accensione
- H - Regolazione massima temperatura riscaldamento
- I - Connettore orologio programmatore
- J - Pulsante ON/OFF
- K - Led segnalazione anomalie evacuazione fumi
- L - Deviatore Estate/Inverno
- M - Led segnalazione mancata accensione
- N - Led Acceso/Spento
- O - Porta per Teleservizio Easy
- P - Pulsante di sblocco
- Q - Led segnalazione di funzionamento Estate/Inverno
- R - Trasformatore
- S - Optotriac accenditore
- T - Relè valvola gas
- V - Relè circolatore

- A01 - Circolatore
- A03 - Alimentazione Accenditore/Valvola gas
- A04 - Circuito rilevazione fiamma
- A05 - Sensore fiamma
- A06 - Sonda riscaldamento
- A07 - Sonda sanitario
- A08 - Flussostato sanitario
- A09 - Pressostato di minima pressione
- A10 - Modulatore
- A11 - Sonda fumi
- A12 - Termostato di sovratemperatura
- A13 - Programmatore Orario/Termostato ambiente

- Colori:
- Gr - Grigio
 - Bi - Bianco
 - Rs - Rosso
 - Mr - Marrone
 - Bl - Blu
 - Nr - Nero
 - Ro - Rosa



ALLEGATO C. ESTRATTO SCHEDA TECNICA CALDAIA ARISTON t2 23 MI

12. DATI TECNICI

		T2 23 MI
Certificazione CE		63AU4548
Portata termica	max/min Kw	25.6/11.0
Potenza termica	max/min Kw	23.4/9.6
Rendimento alla portata termica nominale	%	91.4
Rendimento al 30% della portata termica nominale	%	89.3
Perdita di calore al mantello ($\Delta T=50^{\circ}\text{C}$)	%	1.4
Perdite al camino bruciatore funzionante	%	7.2
Perdite al camino bruciatore spento	%	0.4
Portata massima fumi (metano)	Kg/h	76.8
Tiraggio minimo	Pa	42
Consumo a potenza nominale (G20)	m ³ /h	2.72
(15°C, 1013 mbar) (G30-G31)	Kg/h	2.02/2.00
Temperatura fumi rilevata alla pot. nominale con metano	°C	102
Contenuto di CO ₂	%	4.6
Temperatura ambiente minima	°C	+5
Perdite di carico lato acqua (max) ($\Delta T=20^{\circ}\text{C}$)	mbar	200
Prevalenza residua per l'impianto	bar	0.25
Temperatura riscaldamento	max/min °C	82/42
Temperatura sanitario	max/min °C	56/36
Quantità di acqua calda $\Delta T=25^{\circ}\text{C}$	l/min	13.4
Quantità di acqua calda $\Delta T=35^{\circ}\text{C}$	l/min	9.6
Prelievo minimo di acqua calda	l/min	2.5
Pressione acqua sanitaria	max/min bar	6/0.2
Capacità vaso espansione	l	6
Pressione di precarica	bar	1
Massimo contenuto di acqua nell'impianto	l	130
Pressione massima riscaldamento	bar	3
Pressione nominale Gas Metano (G20)	mbar	20
Gas Liquidi (G30-G31)	mbar	30-37
Tensione/Frequenza di alimentazione	V/Hz	230 / 50
Potenza elettrica assorbita totale	W	100
Grado di protezione impianto elettrico	IP	X4D
Peso	Kg	39

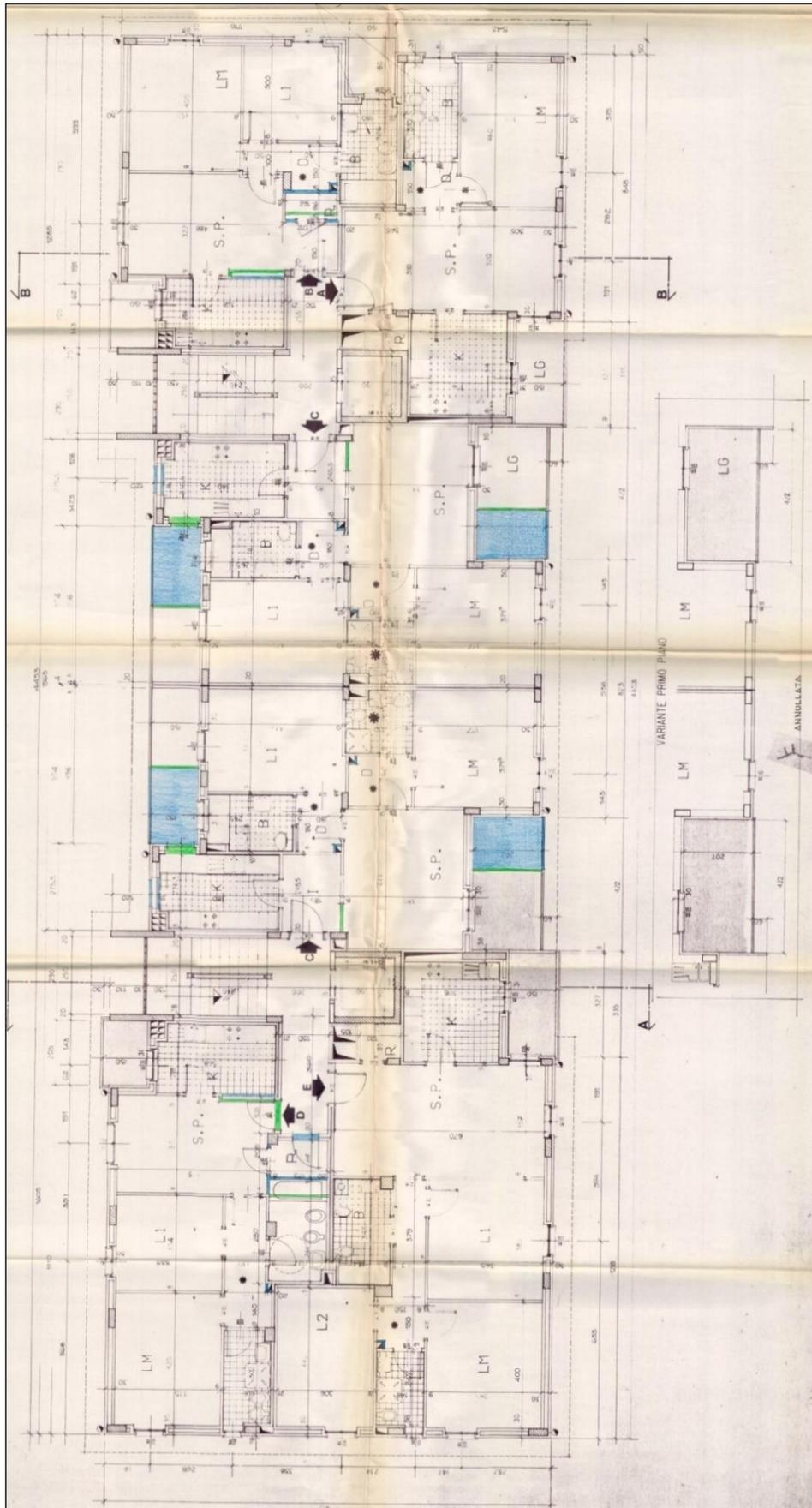
Merloni
TermoSanitari SpA

Viale A. Merloni, 45
 60044 Fabriano (AN)
 Tel. 0732.6011
 Fax 0732.602331
<http://www.mtsgroup.com>

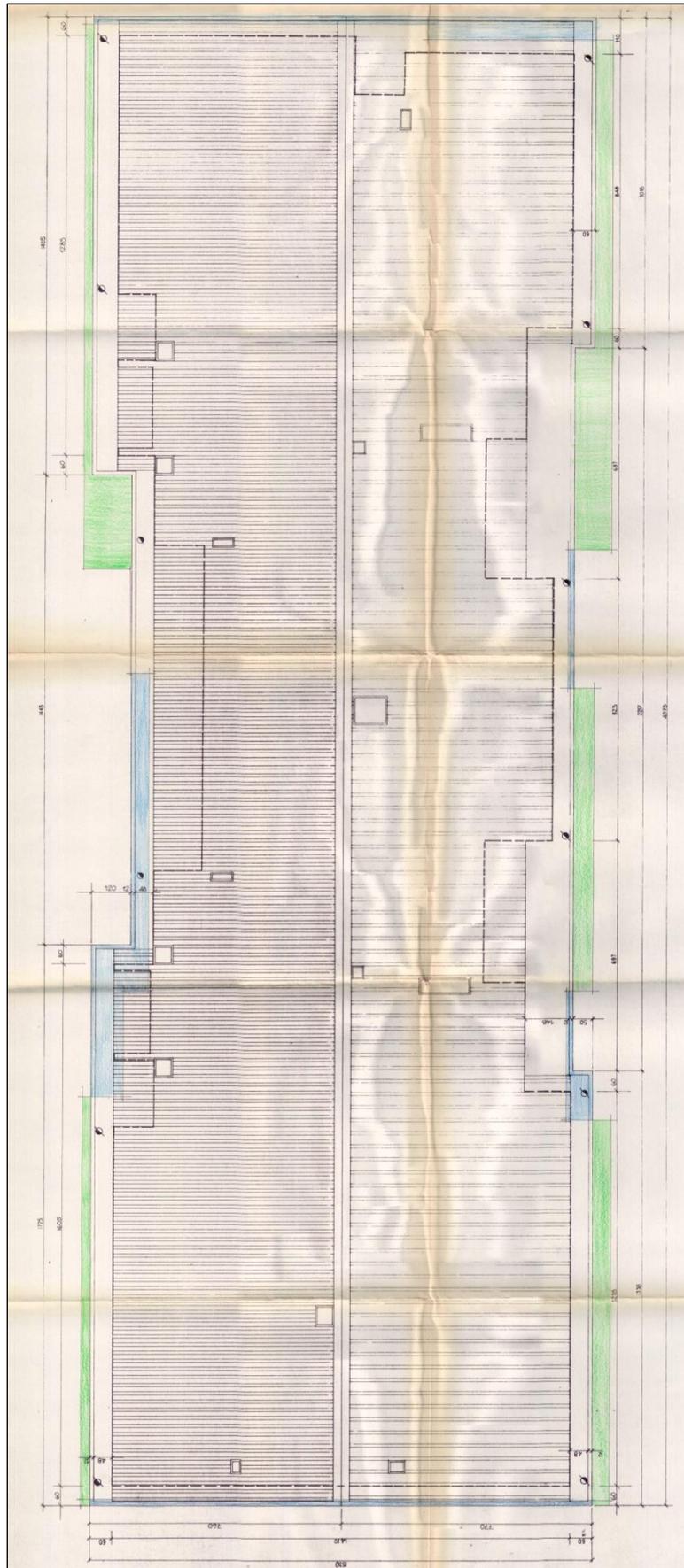


099 84 1916 000

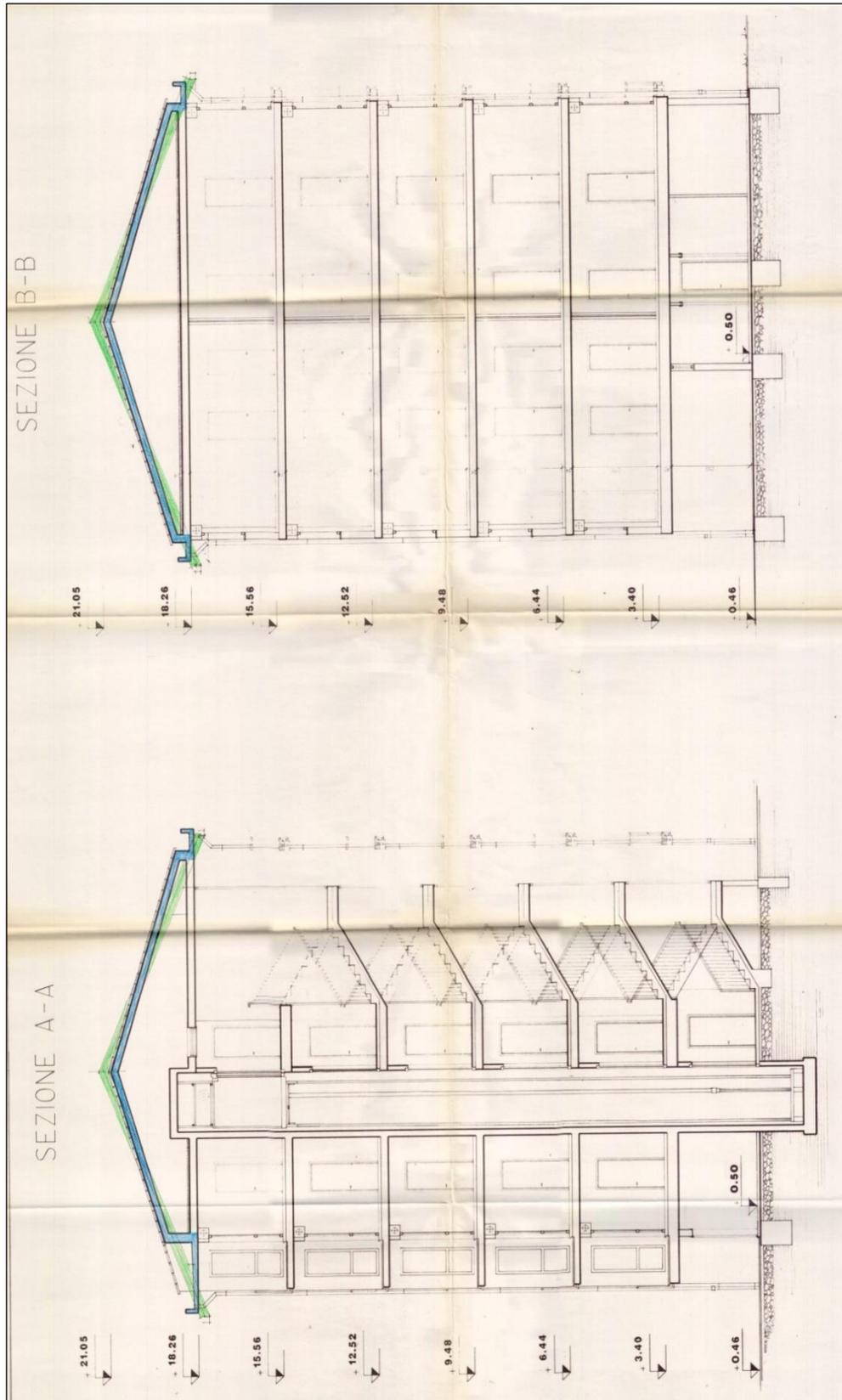
Pianta piano tipo



Pianta copertura

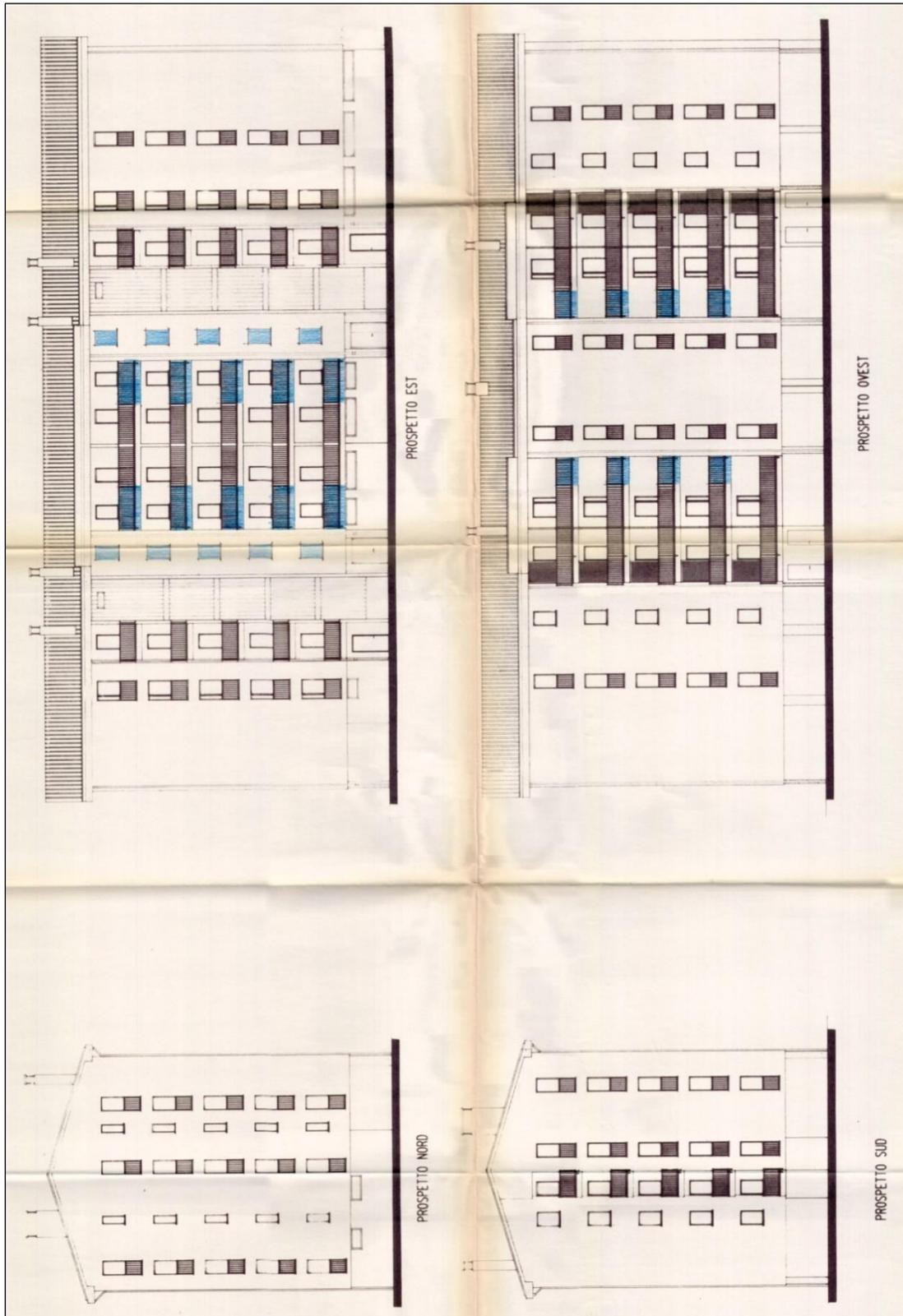


Sezioni



ALLEGATO D. SCHEMI PROGETTUALI - EDIFICIO

Prospetti



ALLEGATO D. SCHEMI PROGETTUALI - EDIFICIO