



Politecnico di Torino

Corso di Studi in Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

**Metodologie e Strumenti per la Modellazione
Energetico-Ambientale di Parchi Edilizi**

Relatore:

Prof. Vincenzo Corrado

Correlatore:

Prof.ssa Ilaria Ballarini

Candidato:

Matteo Piro

Anno Accademico 2019-2020

Ai miei nonni

ABSTRACT

La modellazione energetica, con riferimento ad una scala distrettuale o cittadina, è uno strumento necessario per progettisti, pianificatori urbani e amministrazioni pubbliche, per valutare la quota energivora e il conseguente impatto ambientale relativo ad un parco edilizio esistente. Il 60% del patrimonio costruito italiano risulta antecedente agli anni '70, laddove per la maggior parte dei manufatti, questo si presenta ancora con tecnologie vetuste ed obsolete. Per migliorare la condizione sopracitata, sarà necessaria la costituzione di un modello virtuale energetico, cosiddetto UBEM (*Urban Buildings Energy Model*). Nella presente tesi si sono dapprima analizzati i diversi approcci metodologici *top-down* e *bottom-up*, replicabili per stimare il fabbisogno energetico di un parco edilizio. Dallo studio di vari programmi di simulazione, si è instaurato un confronto che ha generato delle linee guida, indirizzate a futuri sviluppatori, per comprendere preliminarmente le semplificazioni perseguite nell'adozione di un modello a scala distrettuale o urbana, rispetto ad uno indirizzato al singolo edificio. Nella seconda parte, del presente documento, si è simulato energeticamente, attraverso l'utilizzo di due *software* CitySim Pro e UMI, un isolato ubicato nel Quartiere degli Orti di Alessandria, composto da fabbricati multipiano con destinazione d'uso residenziale e mista, ponendosi a priori in una condizione sfavorevole e complessa. Con questo, s'intende la costituzione di un modello energetico a partire da fonti informative assolutamente accessibili alla collettività, a cui necessariamente si sono associati dati perlopiù frutto di: deduzioni, analisi storiche, statistiche e/o estratti da fonti ritenute autorevoli. Così facendo è stato possibile generare un approccio metodologico generale, anch'esso rivolto ai futuri sviluppatori. Definito quindi l'ambiente virtuale, a cui sarà associato inevitabilmente un certo grado di incertezza, si procederà all'estrazione e al confronto degli indici di prestazione energetica per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, desunti dagli *Attestati di Prestazione Energetica* e dai due programmi di calcolo. Dal paragone dei suddetti valori, con riferimento ad UMI, rispettivamente si può stabilire, con un'incertezza prossima al 14% e 23%, letta per l'intero isolato, la validità del modello proposto.

Energy modeling, referring to a district or city scale, is a crucial tool for designers, urban planners, and public administrations to evaluate the energy share and the consequent environmental impact of an existing building stock. The 60% of Italian building stock heritage, dated back to before the 1970s, is still arising with old growth and obsolete technologies. To improve the above-mentioned condition, it is required the creation of a virtual energy model, the so-called UBEM (Urban Buildings Energy Model). This dissertation first analyses the different top-down and bottom-up methodological approaches, replicable to evaluate the energy requirement of building stock. From the study of different simulation programs, a debate generated guidelines for future developers in order to understand previously the pursued simplifications in the adoption of a district or urban scale model, compared to one addressed to individual building. In the second part of this document, with the use of two different software, CitySim Pro and UMI, it took place an energy simulation of a block located in the Orti District of Alessandria, composed of multi-story buildings for residential and mixed-use, placing itself a priori in an unfavorable and complex condition. It is meant by this, the constitution of an energy model starting with information sources accessible to the community, to whom have been necessarily associated data, which are mostly the result of deductions, historical analysis, statistics and/or extracts from sources considered authoritative. In this way, it was possible to create a general methodological approach, also this addressed to future developers. Once the virtual environment has been defined, to which a certain degree of uncertainty will inevitably be associated, it will proceed with the extraction and comparison of the energy performance indicators for heating and domestic hot water, taken from the Energy Performance Certificates and from two calculation programs. From the comparison of these values, with reference to UMI, respectively, it is possible to establish, with an uncertainty close to 14% and 23%, for the whole block, the validity of the proposed model.

Parole chiave: Modellazione energetica urbana, fabbisogno energetico parco edilizio

Keywords: Urban energy modeling, building stock energy demand

ELENCO DELLE FIGURE

Fig. 1 - Edilizia residenziale a livello nazionale (ISTAT, 2011).....	5
Fig. 2 – Edilizia residenziale città di Alessandria (ISTAT, 2011).....	5
Fig. 3 - Bosco orizzontale, studio Boeri.	6
Fig. 4 - La frontiera produttiva da una prospettiva economica (ricavata da Grubb et al. ^[B-10]).	12
Fig. 5 – Approcci metodologici per la stima del consumo energetico.	18
Fig. 6 - Sotto-modelli nella piattaforma USEM (immagine ricavata da Sola et al. ^[B-7])......	25
Fig. 7 – Zona termica CitySim Pro (immagine estratta da Kämpf et al. ^[C-14])......	34
Fig. 8 - Localizzazione geografica Alessandria (FONTE: Google Maps).	75
Fig. 9 - Rappresentazioni delle circoscrizioni di Alessandria: A9 Quartiere degli Orti; A8 Quartiere Galimberti e a Sud il centro storico (immagine estratta da ^[D-1]).	77
Fig. 10 - A sinistra il Ponte degli Orti sul Tanaro; A destra lo straripamento del Tanaro sugli Orti.	78
Fig. 11 - Secolo XIX in cui traspare la volontà napoleonica di rendere Alessandria una delle città più fortificate d'Europa; si noti la confluenza del Bormida nel Tanaro (immagine estratta da ^[D-1]).	79
Fig. 12 - Cronoprogramma Teleriscaldamento cittadino area Nord di Alessandria - TELENERGIA.	81
Fig. 13 – A sinistra: suddivisione in fasce Quartiere degli Orti; A destra: isolato del quartiere Orti, oggetto della simulazione energetica (FONTE: Google Maps).....	84
Fig. 14 - Stralcio planimetrico del caso studio (immagine fuori scala).....	85
Fig. 15 - Isolato con identificata la codifica adottata e le relative destinazioni d'uso: in blu il residenziale e in giallo i fabbricati con utilizzo misto (almeno un'unità commerciale al pian terreno e abitazioni ai livelli superiori).	86
Fig. 16 - via Gioacchino Rossini in direzione Nord.	88
Fig. 17 - viale Teresa Michel in direzione Est.	88
Fig. 18 - via Gaetano Donizetti in direzione Sud.	89
Fig. 19 - via Santorre di Santarosa in direzione Ovest.	89
Fig. 20 - Flusso di lavoro per la definizione del modello energetico.	91
Fig. 21 - Modello geometrico CitySim Pro.	100
Fig. 22 - Modello geometrico UMI.	100
Fig. 23 - Introduzione CTE elettrici e derivanti da dispositivi illuminanti, CitySim Pro.....	109
Fig. 24 - Pian terreno ED_C1 (FONTE: Google Maps).....	111
Fig. 25 - Pian terreno ED_C4 (FONTE: Google Maps).....	112
Fig. 26 - Pian terreno ED_A3 (FONTE: Sopralluogo 21/1).....	112
Fig. 27 - Albero decisionale per la definizione dell'impianto di riscaldamento.	124
Fig. 28 - Rappresentazione cromatica energia grigia, espressa in [kWh/m ²], UMI.	138
Fig. 29 - Rappresentazione cromatica anidride carbonica emessa, espressa in [kgCO ₂ /m ²], UMI.	139
Fig. 30 - Confronto definizione termofisica parete: CitySim sopra, gbXML (Revit) sotto.	141
Fig. 31 – Rappresentazione cromatica fabbisogno termico annuo in [kWh/m ²], UMI.	154
Fig. 32 - Rappresentazione cromatica fabbisogno termico annuo in [kWh/m ³], CitySim Pro.....	154

ELENCO DELLE TABELLE

Tab. 1 - INPUT componente opaco, CitySim Pro.....	26
Tab. 2 - INPUT componente serramento, CitySim Pro.	27
Tab. 3 - INPUT carichi termici endogeni, CitySim Pro.....	28
Tab. 4 - INPUT accumulatore per riscaldamento, raffrescamento o ACS, CitySim Pro.....	29
Tab. 5 - INPUT caldaia, CitySim Pro.	29
Tab. 6 - INPUT pompa di calore per riscaldamento o raffrescamento, CitySim Pro.	30
Tab. 7 - INPUT sistema di cogenerazione, CitySim Pro.....	30
Tab. 8 - INPUT fotovoltaico, CitySim Pro.	31
Tab. 9 - INPUT pannello solare, CitySim Pro.	31
Tab. 10 - INPUT turbina eolica, CitySim Pro.....	31
Tab. 11 - INPUT teleriscaldamento, CitySim Pro.....	32
Tab. 12 - INPUT edificio, CitySim Pro.	33
Tab. 13 - OUTPUT CitySim Pro.....	35
Tab. 14 – INPUT Materiale Opaco, UMI.	37
Tab. 15 - INPUT i-esimo strato opaco, UMI.	38
Tab. 16 - INPUT Componente Trasparente, UMI.....	39
Tab. 17 - INPUT Serramento, UMI.	40
Tab. 18 - INPUT carichi termici endogeni, UMI.....	41
Tab. 19 - INPUT impianto di climatizzazione, UMI.	42
Tab. 20 - INPUT impianto di ventilazione, UMI.....	44
Tab. 21 - INPUT Impianto di ACS, UMI.....	45
Tab. 22 - Definizione zona termica, UMI.	45
Tab. 23 - Definizione serramenti, UMI.....	46
Tab. 24 - Parametri per generare i profili cDA e sDA, UMI.	48
Tab. 25 - OUTPUT UMI.....	49
Tab. 26 – INPUT i-esimo materiale opaco, <VE>.....	51
Tab. 27 - INPUT componente di involucro opaco, <VE>.	52
Tab. 28 - INPUT i-esimo componente di involucro vetrato, <VE>.....	53
Tab. 29 - INPUT serramento, <VE>.	54
Tab. 30 - INPUT dispositivo oscurante esterno ed interno, <VE>.	54
Tab. 31 - INPUT apporto termico dovuto agli occupanti, <VE>.....	55
Tab. 32 - INPUT apporto termico dovuto a dispositivi elettrici e apparecchi illuminanti, <VE>....	56
Tab. 33 - INPUT impianto ideale di riscaldamento, <VE>.	56
Tab. 34 - INPUT impianto ideale di raffrescamento, <VE>.....	57
Tab. 35 - INPUT impianto ideale ACS, <VE>.	58
Tab. 36 - INPUT energia ausiliaria, <VE>.	58
Tab. 37 - INPUT portate d'aria scambiate naturalmente, <VE>.	59
Tab. 38 - INPUT portate d'aria scambiate forzatamente, <VE>.	59
Tab. 39 - INPUT Pannello solare (piano), <VE>.....	59
Tab. 40 - Definizione zona termica, <VE>.	60
Tab. 41 - OUTPUT <VE>.....	62
Tab. 42 - Confronto BEM vs UBEM.	69
Tab. 43 - Consumi Energetici - Alessandria, 2015 (PAES - Primo Rapporto di Monitoraggio).....	83
Tab. 44 - Consumi Energetici - Alessandria, 2005 (PAES - Primo Rapporto di Monitoraggio).....	83
Tab. 45 - Informazioni geometrico-dimensionali fabbricati.	87

Tab. 46 - Dati climatici CitySim Pro.....	94
Tab. 47 - Dati climatici UMI.....	95
Tab. 48 - Numero e valore superfici climatizzate per piano.	98
Tab. 49 – Dati involucro estratti dagli APE.	101
Tab. 50 - Riepilogo codici componenti di involucro.....	102
Tab. 51 - Definizione IV_01.	103
Tab. 52 - Definizione IV_02.	103
Tab. 53 - Definizione IV_03.	103
Tab. 54 - Definizione IV_04.	104
Tab. 55 - Definizione IOS_01.	104
Tab. 56 - Definizione IOS_02.	104
Tab. 57 - Definizione IOS_03.	105
Tab. 58 - Definizione IOCT_01.	105
Tab. 59 - Definizione IOCT_02.	105
Tab. 60 - Definizione IOCT_03.	106
Tab. 61 - Frazioni vetrate per fabbricato e orientamento.	106
Tab. 62 - Definizione PV_01.	107
Tab. 63 - Definizione PO_01.	107
Tab. 64 - Alessandria NORD per fasce d'età.	111
Tab. 65 - Riepilogo numero e tipologia profili.	113
Tab. 66 - Riepilogo potenze generatori.	128
Tab. 67 - Riepilogo rendimenti generatori.	129
Tab. 68 - Profili orari A, B, C di consumo ACS.	130
Tab. 69 - Profili orari D, E di consumo ACS.	130
Tab. 70 - Approccio metodologico simulazione energetica urbana.	131
Tab. 71 - Dati di input LCA per singolo materiale, UMI.....	137
Tab. 72 - Energia grigia e CO ₂ emessa da edifici durante il loro periodo di vita.	137
Tab. 73 - Indici di prestazione energetica sistema di riscaldamento estratti da APE.....	147
Tab. 74 – Confronto indici di prestazione energetica riscaldamento estratti da: APE, UMI, CSPro.	148
Tab. 75 - Confronto EP _{H;nren} raggruppati.	151
Tab. 76 - Confronto fra i modelli generati su CitySim Pro e su UMI.....	156
Tab. 77 - Indici di prestazione energetica ACS estratti da APE.	159
Tab. 78 – Primo confronto indice di prestazione energetica per ACS simulato e letto da APE.	161
Tab. 79 – Secondo confronto indice di prestazione energetica per ACS simulato e letto da APE.	162
Tab. 80 - Confronto EP _{DHW;nren} raggruppati.	163

SOMMARIO

ABSTRACT	I
ELENCO DELLE FIGURE.....	III
ELENCO DELLE TABELLE.....	IV
SOMMARIO.....	VI
1. INTRODUZIONE	1
1.1. PARCO EDILIZIO ITALIANO	3
1.1.1. <i>Genesi e Conformazione</i>	3
1.1.2. <i>Classificazione Territoriale</i>	6
1.1.3. <i>Efficienza Energetica</i>	6
1.2. RIFERIMENTI.....	8
1.2.1. <i>Riferimenti Bibliografici e Sitografici</i>	8
1.2.2. <i>Legislazione vigente</i>	8
2. MODELLAZIONE ENERGETICA.....	11
2.1. APPROCCIO ANALITICO.....	11
2.1.1. <i>Top-down</i>	11
2.1.1.1. <i>Modello Econometrico</i>	12
2.1.2. <i>Bottom-up</i>	13
2.1.2.1. <i>Modello Ingegneristico</i>	13
2.1.2.2. <i>Modello Statistico</i>	14
2.1.2.2.1. <i>Rete Artificiale Neurale</i>	15
2.1.2.2.2. <i>Support Vector Regression</i>	16
2.1.2.2.3. <i>Albero di Regressione</i>	16
2.1.2.2.4. <i>Ragionamento Basato sui Casi</i>	17
2.1.3. <i>Riepilogo</i>	18
2.1.4. <i>Ottimizzazione</i>	19
2.2. BUILDING ENERGY MODEL	19
2.3. URBAN BUILDINGS ENERGY MODEL	20
2.3.1. <i>Level of Detail & Level of Information</i>	20
2.3.2. <i>Isole di Calore Urbano</i>	21
2.3.3. <i>Caratterizzazione Parco Edilizio</i>	21
2.4. RIFERIMENTI.....	22
2.4.1. <i>Riferimenti Bibliografici e Sitografici</i>	22
2.4.2. <i>Normativa Tecnica</i>	23

3. SOFTWARE DI SIMULAZIONE.....	25
3.1. CITYSIM PRO.....	25
3.1.1. <i>Dati di Input</i>	26
3.1.1.1. Involucro.....	26
3.1.1.2. Carichi Termici Endogeni.....	28
3.1.1.3. Impianto.....	29
3.1.1.4. Edificio	33
3.1.2. <i>Metodologia di Calcolo</i>	33
3.1.2.1. Modello Termico	33
3.1.2.2. Modello Impianto	34
3.1.2.3. Modello Radiativo	34
3.1.2.4. Modello Comportamentale	35
3.1.3. <i>Dati di Output</i>	35
3.2. UMI.....	36
3.2.1. <i>Dati di Input</i>	37
3.2.1.1. Involucro.....	37
3.2.1.2. Carichi Termici Endogeni.....	41
3.2.1.3. Impianto.....	42
3.2.1.4. Zona Termica.....	45
3.2.2. <i>Metodologia di Calcolo</i>	47
3.2.2.1. Modello Termico	47
3.2.2.2. Modello Illuminamento	47
3.2.2.3. Modello Mobilità.....	48
3.2.2.4. Life Cycle Assessment	49
3.2.3. <i>Dati di Output</i>	49
3.3. IES <VE>	50
3.3.1. <i>Dati di Input</i>	51
3.3.1.1. Involucro.....	51
3.3.1.2. Carichi Termici Endogeni.....	55
3.3.1.3. Impianto.....	56
3.3.1.4. Zona Termica.....	60
3.3.2. <i>Metodologia di Calcolo</i>	61
3.3.2.1. Modello Termico	61
3.3.2.2. Modello Impianto	61
3.3.2.3. Modello Radiativo	62

3.3.3.	<i>Dati di Output</i>	62
3.4.	URBANOPT	64
3.5.	SIMSTADT	64
3.6.	SOLENE.....	65
3.7.	CITYBES	66
3.8.	CITY ENERGY ANALYST.....	66
3.9.	SEMANCO	67
3.10.	MATRICE DI CONFRONTO SOFTWARE	68
3.11.	LINEE GUIDA MODELLAZIONE ENERGETICA PARCO EDILIZIO.....	68
3.12.	RIFERIMENTI.....	71
3.12.1.	<i>Riferimenti Bibliografici e Sitografici</i>	71
4.	PRESENTAZIONE DEL SITO OGGETTO DI STUDIO.....	75
4.1.	CONTESTUALIZZAZIONE STORICO-URBANISTICA	75
4.1.1.	<i>La Fondazione di Alessandria</i>	75
4.1.2.	<i>Quartiere degli Orti</i>	77
4.1.3.	<i>Piano d’Azione per l’Efficienza Energetica</i>	80
4.2.	PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO.....	83
4.2.1.	<i>Introduzione</i>	83
4.2.2.	<i>Sopralluogo conoscitivo</i>	87
4.2.2.1.	<i>Rilievo fotografico</i>	88
4.3.	RIFERIMENTI.....	90
4.3.1.	<i>Riferimenti Bibliografici e Sitografici</i>	90
5.	COSTITUZIONE DEL MODELLO EDIFICIO-IMPIANTO	91
5.1.	DATI CLIMATICI.....	92
5.2.	MODELLO GEOMETRICO	97
5.2.1.	<i>Superfici climatizzate</i>	98
5.2.2.	<i>Rappresentazione tridimensionale</i>	100
5.3.	INVOLUCRO	100
5.3.1.	<i>Involucro Verticale</i>	103
5.3.2.	<i>Involucro Orizzontale/Obliquo Superiore</i>	104
5.3.3.	<i>Involucro Orizzontale Inferiore</i>	105
5.3.4.	<i>Serramenti</i>	106
5.3.5.	<i>Partizioni interne</i>	107
5.4.	IDENTIFICAZIONE ZONE TERMICHE	108
5.5.	CARICHI TERMICI ENDOGENI	108

5.5.1.	<i>Profili orari</i>	110
5.5.2.	<i>Ottimizzazione del processo</i>	113
5.5.3.	<i>Presentazione anno di riferimento e profili orari</i>	114
5.5.4.	<i>Intensità carichi</i>	120
5.5.4.1.	Apporto termico dovuto agli occupanti.....	120
5.5.4.2.	Apporto termico dovuto ai dispositivi illuminanti.....	121
5.5.4.3.	Apporto termico dovuto agli apparecchi elettrici.....	121
5.6.	IMPIANTO TERMICO.....	121
5.6.1.	<i>Riscaldamento</i>	122
5.6.2.	<i>Produzione di Acqua Calda Sanitaria</i>	129
5.7.	GENERALIZZAZIONE APPROCCIO METODOLOGICO.....	131
5.8.	ANALISI DI IMPATTO AMBIENTALE.....	135
5.9.	PROPOSTA DI INTEROPERABILITÀ.....	140
5.10.	RIFERIMENTI.....	142
5.10.1.	<i>Riferimenti Bibliografici e Sitografici</i>	142
5.10.2.	<i>Normativa Tecnica</i>	143
6.	VALIDAZIONE DEL MODELLO ENERGETICO	145
6.1.	FABBISOGNO ENERGETICO PER RISCALDAMENTO.....	145
6.1.1.	<i>Presentazione risultati</i>	145
6.1.2.	<i>Approfondimento differenze CitySim Pro e UMI</i>	155
6.2.	FABBISOGNO ENERGETICO PER ACQUA CALDA SANITARIA.....	158
6.2.1.	<i>Presentazione risultati</i>	158
6.3.	RIFERIMENTI.....	165
6.3.1.	<i>Legislazione vigente</i>	165
6.3.2.	<i>Normativa Tecnica</i>	165
7.	CONCLUSIONI	167
ALLEGATI		
ALLEGATO A – MATRICE DI CONFRONTO SOFTWARE.....		
ALLEGATO B – LINEE GUIDA MODELLAZIONE ENERGETICA PARCO EDILIZIO.....		
ALLEGATO C – STRALCIO PLANIMETRICO ISOLATO – SCALA 1:500.....		
ALLEGATO D – SCHEDE RIEPILOGATIVE EDIFICI.....		

1. INTRODUZIONE

All'interno dell'Agenda 2030, sottoscritta dai Capi di Stato e di Governo e dagli Alti Rappresentanti riuniti presso l'ONU, uno dei diciassette obiettivi mondiali per lo sviluppo sostenibile, riguarda la materia energetica. Fra i quattro sottopunti elencati, quelli ritenuti di maggiore interesse, si riferiscono: al raddoppio entro il 2030 del tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica e ad un aumento, non specificatamente definito, della produzione derivante da fonti rinnovabili. A ciò, nel 2015, si è affiancato l'Accordo di Parigi, emanato per combattere il cambiamento climatico. Tale documento prevede il contenimento dell'aumento di temperatura globale al di sotto di 2 gradi centigradi rispetto ai livelli preindustriali, impegnandosi a contenere l'incremento a 1,5 gradi centigradi. Un altro punto fondamentale di tale intesa concerne la diminuzione dell'emissione di anidride carbonica, rappresentante uno dei gas serra ritenuti maggiormente pericolosi. La verifica di tali prescrizioni verrà valutata con una cadenza quadriennale.

Di concerto con il rapporto sull'energia redatto dall'IEA (*International Energy Agency*) il *World Energy Outlook 2019* ^[A-6], la domanda energetica mondiale è ancora largamente soddisfatta da fonti di tipo fossile (31% oli, 27% carbone e 23% gas), di cui, per quanto concerne la produzione elettrica, solo il 5% e il 2% sono generati rispettivamente da eolico e fotovoltaico. Inoltre, con riferimento al medesimo documento, concordemente con lo scenario pessimistico, se gli Stati percorressero la traiettoria attuale, la domanda energetica, con una proiezione temporale fino al 2040, registrerebbe un aumento pari al 1,3% ogni anno. Correlato a questo aumento di richiesta, sarà associato un conseguente incremento di un quarto delle emissioni climalteranti.

Di concerto con il pacchetto di direttive UE *Clean Energy for All Europeans*, gli interventi a medio termine, riferiti al 2030, nel campo dell'efficienza energetica dovranno essere almeno pari al 32,5% e la produzione da rinnovabili dovrà essere maggiore o uguale del 32% rispetto al valore totale. Gli obiettivi a lungo termine, invece, riferiti al 2050, si prefiggono di raggiungere, all'interno del vecchio continente, il traguardo ambizioso della neutralità climatica, conosciuta anche con la denominazione *carbon free*. A tal riguardo, a livello europeo il 40% del consumo energetico finale ed il 36% dell'emissione di gas serra deriva dal settore residenziale. Pertanto, se si vorranno perseguire i traguardi imposti dalla svolta sostenibile, il settore in cui si deve investire maggiormente risulta essere proprio quello delle costruzioni.

Seppur, in termini di politiche adottate, l'Europa si possa ritenere uno dei continenti maggiormente sostenibili, il fabbisogno dell'UE, in termini di energia primaria, rappresenta solo circa il 10% della domanda energetica mondiale. In quanto, la Cina e gli Stati Uniti continuano ad essere i maggiori consumatori, con una percentuale combinata che si attesta poco sotto il 40% del valore totale. A questi si affiancano: l'India che risulta essere la nazione con la crescita della domanda maggiore e l'Africa, in cui si prevede un aumento demografico pari a circa mezzo miliardo di persone entro il 2040, a cui sarà correlato, ovviamente, un maggior consumo. Numeri alla mano quindi, per limitare l'incremento della temperatura a 1,5 gradi e la conseguente emissione di gas serra, è necessario, soprattutto per i grandi consumatori, in cui il livello di intensità energetica delle attività economiche è diverso rispetto agli altri Paesi, la diffusione ed il rispetto di politiche sostenibili, volte a diminuire le ricadute ambientali delle città, delle regioni e dell'intera nazione.

L'Italia, dal punto di vista della quota rinnovabile prodotta ha raggiunto e superato il limite del 17% imposto dall'UE per il 2020, attestandosi nel novembre 2017 al 17,5%. Tuttavia, il Belpaese, in cui il gas naturale e il petrolio sono le fonti maggiormente utilizzate, non ha ancora raggiunto una riduzione delle emissioni del 13% rispetto ai livelli del 2005, continuando ad avere, in certe regioni,

una qualità dell'aria scarsa, che grava sul bilancio dello Stato per un valore di circa 47 miliardi di euro l'anno.

Nello specifico, di concerto con il *Rapporto Annuale 2019 dell'Efficienza Energetica* di ENEA ^[A-5], il consumo energetico totale, a livello nazionale, con riferimento all'anno 2017, è stato pari a 159,5 Mtep, in cui le fonti fossili coprono più dell'80%. Di questi, la quota usufruita dal settore residenziale, si attesta a 32,6 Mtep, frazionato nei seguenti vettori energetici: più del 50% proveniente da gas naturale, 20,6% derivato da biocombustibile e il 17,3% di energia elettrica. La domanda dovuta alla climatizzazione rappresenta circa il 70% dei consumi finali, laddove quest'ultimo valore si è ridotto di circa il 3,8% rispetto al 2016. Per quanto riguarda il settore non residenziale, invece, il consumo energetico è pari a 18,2 Mtep nel 2017, in cui l'energia elettrica e il gas naturale rappresentano più dell'80% della domanda, rispettivamente 44,1% e 36,1%.

Presentato il contesto all'intero del quale ci ritroviamo ad operare ed i consumi energetici derivanti dal parco immobiliare, accompagnati dal loro conseguente impatto ambientale, l'obiettivo dell'analisi non può più essere rivolta al singolo edificio, ma deve necessariamente essere indirizzata ad un parco edilizio: un isolato, un quartiere od un'intera città. In certi casi, correttamente, si asserisce che è inutile migliorare l'efficienza impiantistica in un manufatto altamente dispersivo. La medesima analogia sussiste ed è garantita, se si pensa di progettare un edificio assai performante, ubicato entro un contesto negativamente energivoro. Poiché, all'interno di questo tessuto urbano densamente edificato e vetusto, nella stagione estiva, vengono a crearsi le cosiddette "isole di calore urbano", le quali originano dei microclimi localizzati, in cui è possibile registrare degli innalzamenti di temperatura, pari addirittura a 5-6°C. Ed ecco che l'edificio energeticamente performante deve sottostare a questo squilibrio termico, ristabilendo le condizioni di comfort *indoor* di progetto, aumentando i suoi consumi, a causa della cattiva presenza ed operatività dei manufatti a lui vicini.

La volontà di redigere la presente tesi è maturata con la consapevolezza data dalla necessità menzionata nelle righe sopra. L'obiettivo principale del suddetto documento, quindi, è proprio quello di fornire degli utili strumenti, di supporto alla scelta ed alla comprensione, indirizzati a futuri sviluppatori, i quali siano intenti a cimentarsi nella modellazione energetica con riferimento ad una scala urbana. Una finalità ritenuta ancor più superba, in relazione alla metodologia proposta, riguarda quella di offrire dei risultati, impugnabili da certe amministrazioni pubbliche, atti a sensibilizzare i propri cittadini all'uso razionale dell'energia.

Il seguente lavoro di tesi si articola in tre macro-argomenti. Il primo, concerne la ricerca e l'individuazione degli approcci metodologici volti alla stima del fabbisogno energetico di un parco edilizio, perseguendo un calcolo diretto oppure procedendo verso una via alternativa, che *bypassi* lo svolgimento delle equazioni di bilancio. Il secondo, propone una panoramica riguardante i *software* adoperabili per eseguire una modellazione energetica con riferimento ad una scala urbana. Per tre di questi: CitySim Pro, UMI e IES <VE>, per cui è stato possibile analizzarli direttamente e in maniera più approfondita, seguirà la redazione di una matrice di confronto, volta a paragonare: i diversi input, le differenti metodologie di calcolo e i *sub*-modelli, che caratterizzano ciascuno di essi. Grazie all'esperienza maturata all'interno di questa fase di ricerca, è stato possibile pervenire ad un altro risultato interessante: le linee guida per la modellazione energetica di un parco edilizio. Queste, indirizzate anch'esse a futuri sviluppatori, riflettono sulle semplificazioni o approssimazioni esistenti fra un modello BEM (*Building Energy Model*), indirizzato al singolo manufatto, ed uno UBEM (*Urban Buildings Energy Model*), diretto ad un parco edilizio. Il terzo ed ultimo blocco riguarda la modellazione vera e propria di un oggetto reale. Per lo svolgimento di quest'ultimo compito, eseguito mediante l'utilizzo di due *software* di simulazione: CitySim Pro e UMI, si è deciso di riferirsi ad un

isolato, ubicato presso il Quartiere degli Orti, situato presso il comune di Alessandria. Grazie all'esperienza maturata durante questa simulazione, è stato possibile codificare una metodologia generalizzata di supporto alla costituzione del modello energetico. Ciò, è stato reso possibile, in quanto si è partiti, da una condizione sfavorevole e complessa, costruendo un modello UBEM, a partire da dei dati "aperti", accessibili alla collettività, senza alcun tipo di restrizione. Infine, per ogni edificio compreso nell'analisi, si è proposta una scheda riepilogativa, sintetizzante gli input e gli output di quello specifico manufatto, che può essere il punto di partenza per poter incasellare, in maniera ordinata, tutte le informazioni riconducibili ad un preciso parco immobiliare.

Tenuto conto del terzo ed ultimo macro-argomento, con riferimento alla città di Alessandria, nel 2015, di concerto col *Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile – PAES* ^[A-1], il settore residenziale, rispetto al totale, ha un consumo che pesa circa il 40% (di cui 54% gas naturale, 14% energia elettrica), invece, quello terziario grava per il 21%, con valori di vettori energetici sopracitati, rispettivamente pari a 50 e 45%. A tale consumo energetico, bisogna aggiungere che il parco edilizio alessandrino si presenta per circa il 43% costruito in un periodo antecedente al 1945. Il documento PAES, approvato dalla giunta comunale nel 2008, ha l'obiettivo di ridurre le emissioni inquinanti del 38% entro il 2020, rispetto a quelle registrate nel 2005. Con riferimento all'ultimo monitoraggio effettuato nel 2015, la contrazione dei gas climalteranti, rispetto a quelli del 2005, si è ridotta del 23%.

1.1. PARCO EDILIZIO ITALIANO

1.1.1. Genesi e Conformazione

L'Italia, titolare di 55 siti UNESCO, è la nazione insieme alla Cina che possiede il maggior numero di patrimoni dell'umanità. A questa eredità culturale vulnerabile e da salvaguardare, si associa un parco edilizio vetusto da porre in sicurezza dal punto di vista idrogeologico, sismico ed energetico. Seppure con diverse declinazioni e sfaccettature, in funzione della diversa area geografica considerata, gli edifici italiani si presentano costituiti prevalentemente in muratura oppure da uno scheletro in cemento armato, introdotto soprattutto nella prima metà del Novecento, accoppiato a tamponature in muratura.

L'edilizia residenziale, registrata dai dati ISTAT (*Istituto Nazionale di Statistica*), sul suolo nazionale ha visto un forte sviluppo durante il Novecento. Tuttavia, a causa delle due Guerre Mondiali, la proliferazione edificatoria ha visto un'inversione di tendenza negli anni compresi fra il 1919 e il 1945, per poi tornare a crescere, ove impellente era la necessità di ricostruire quanto andato distrutto. Conclusosi il periodo del *boom* economico, l'investimento nel mattone, grazie all'incremento del potere di acquisto degli italiani, l'aumento demografico e i bassi tassi di interesse per accedere a mutui o crediti, continuò a risultare conveniente rispetto ad altri settori. L'edificazione selvaggia e incontrollata venne governata da alcune importanti leggi urbanistiche, quali la "Legge Ponte" ^[A-17] prima, la "Legge Tappo" ^[A-16] poi e la *legge 10 del 1977* ^[A-14], che impose il pagamento del costo di costruzione per pervenire alla concessione edilizia. Il *trend*, descrittore la costruzione di edifici aventi una destinazione d'uso residenziale, dal 1980 ad oggi, diviene ad essere decrescente, un po' perché i borghi e le città risultano già conformati, quindi la superficie costruibile tende a diminuire, un po' perché l'investimento nel mattone non risulta sufficientemente conveniente, soprattutto dopo la crisi economica mondiale del 2007-2008.

Ovviamente l'andamento del mercato delle costruzioni residenziali a livello nazionale, si è ripercosso in maniera pressoché analoga anche per il comune di Alessandria. La differenza sostanziale è che il picco di edificato risulta anticipato di una decade, attestandosi a cavallo fra gli anni '60 e '70.

Ad oggi, il parco edilizio italiano si presenta costituito da circa 15 milioni di costruzioni. Di questi ultimi 11,9 divengono ad avere una destinazione d'uso residenziale, mentre la differenza restante risulta quasi equamente ripartita fra fabbricati non residenziale ed immobili non utilizzati, collabenti o di altro utilizzo (rispettivamente 1,6 e 1,5 milioni di edifici; CRESME, 2016 ^[A-2]). Da questa valutazione si evince che per agire sul 40% del consumo energetico totale e il 36% dell'emissione di anidride carbonica globale degli stati europei, proveniente dal settore delle costruzioni, le misure di riqualificazione architettonica, energetica e strutturale, devono essere indirizzate soprattutto all'edilizia abitativa, poiché diviene ad essere la destinazione d'uso maggiormente diffusa.

La prima prescrizione a livello energetico, invece, applicata in campo edilizio è stata introdotta dalla *Legge 373 del 1976* ^[A-15], successivamente sostituita dalla *L. 10/91* ^[A-13]. Per la prima volta, quindi, si pone un confine legislativo riguardo gli impianti di produzione del calore e l'isolamento termico degli edifici. Da questo punto di vista, due altri importanti strumenti in campo legislativo sono il *Decreto Legislativo n. 192 del 2005* ^[A-11], che ha stabilito i criteri per migliorare le prestazioni energetiche dei fabbricati e le modalità di integrazione delle fonti rinnovabili nel contesto edilizio, e il più recente *Decreto Requisiti Minimi (D.M. 26 giugno 2015)* ^[A-10].

Pertanto, il parco edilizio alessandrino, con un periodo di costruzione antecedente alla prima prescrizione in campo energetico, risulta essere pari a circa l'80% (circa il 65% rispetto alla media nazionale). In questo senso, il *Rapporto annuale 2018 di ICity Rate*, realizzato da FPA ^[A-4], valuta l'evoluzione inclusiva, intelligente, vivibile e più vicina ai bisogni degli abitanti di 107 città italiane ritenute fra le principali, fornendo un valore ad un certo numero di indicatori, raggruppati in quindici diversi ambiti della vita urbana, e stilando in ultimo una classifica provvisoria, per ogni settore, ed una totale. Rispetto alla graduatoria generale, la città di Alessandria compare nella 66esima posizione. L'unica categoria in cui la provincia piemontese rientra all'interno della *top 10* risulta: suolo e territorio. Tale indicatore, all'interno della sua valutazione, tiene conto della quota di territorio consumata, della mitigazione del rischio e della dinamica della superficie *pro capite*. Per quanto concerne il verde urbano e l'energia, Alessandria ricade rispettivamente nella 90esima e 34esima posizione. Il primo indicatore tiene conto dell'incidenza e della pianificazione del verde, invece, il secondo comprende: il patto dei sindaci per il clima e l'energia, la qualità del servizio elettrico, l'adeguamento del patrimonio comunale e l'andamento del consumo. Critica, invece, la situazione che riguarda la qualità dell'acqua e dell'aria. Non è dato conoscere con certezza l'incidenza percentuale di una o dell'altra categoria, però sicuramente, si può asserire che l'inquinamento dovuto a NO₂ e PM₁₀ squilibra la bilancia verso il fluido che respiriamo.

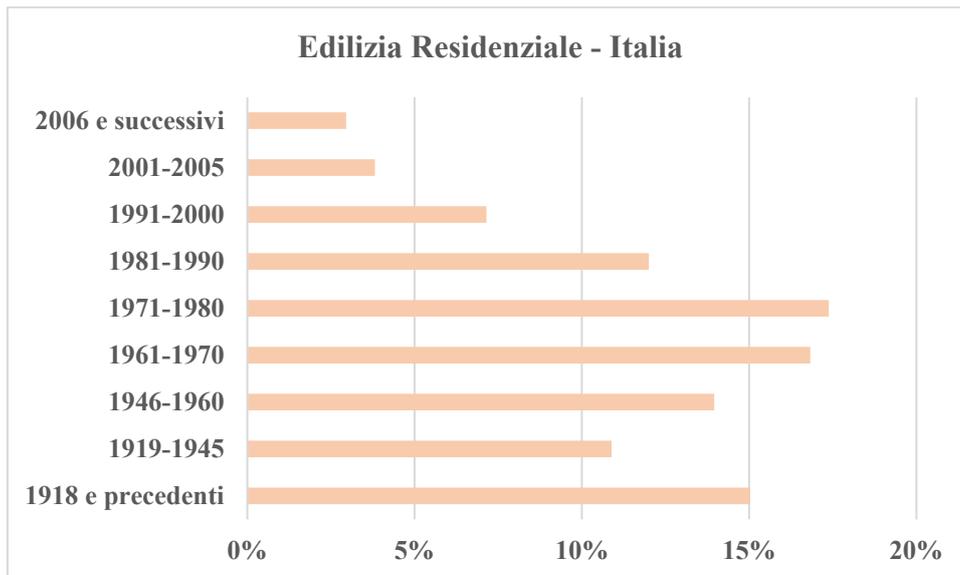


Fig. 1 - Edilizia residenziale a livello nazionale (ISTAT, 2011).

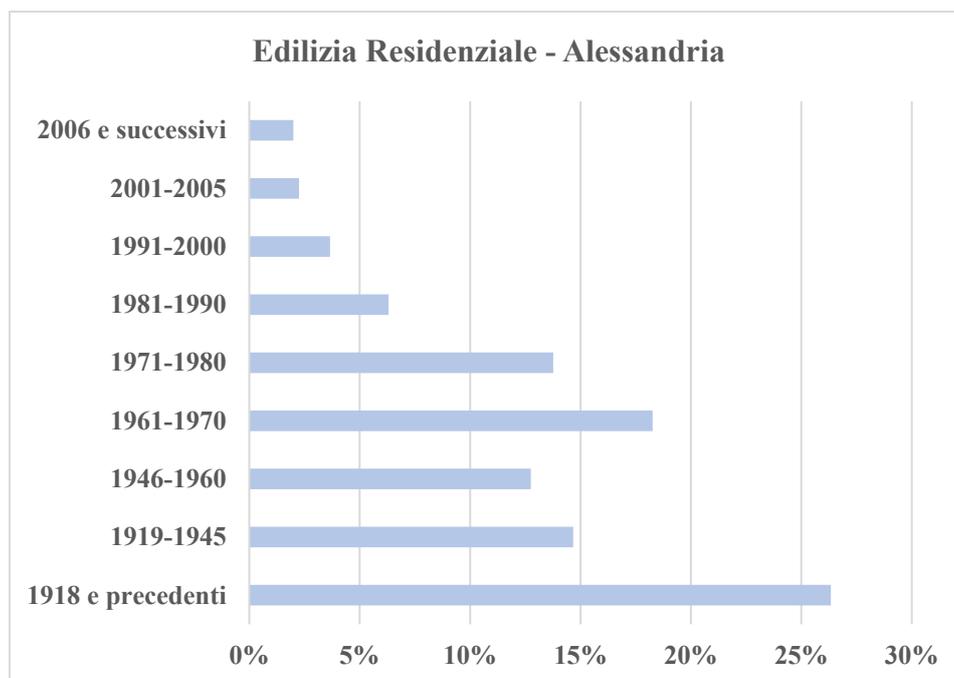


Fig. 2 – Edilizia residenziale città di Alessandria (ISTAT, 2011).

Ad oggi, quindi, le politiche di azione saranno indirizzate in maniera preponderante, verso interventi di salvaguardia e riqualificazione del patrimonio esistente, che come detto precedentemente, per circa il suo 60% è stato costruito prima degli anni '70. Tuttavia, ciò non precluderà la costruzione *ex novo*, di nuovi quartieri o di intere città, il cui concetto però non è sempre replicabile. In questo senso, esempi virtuosi risultano essere i nuovi distretti milanesi (UPTOWN, Santa Giulia), oppure il bosco orizzontale, la città del futuro progettata dallo studio Boeri, a pochi chilometri da Cancún (si veda la Fig. 3). Tuttavia, la vera sfida delle generazioni future sarà quella di migliorare il comfort abitativo e le qualità degli immobili esistenti.



Fig. 3 - Bosco orizzontale, studio Boeri.

1.1.2. Classificazione Territoriale

Di concerto con il *D.P.R. 412/93* ^[A-12], il territorio italiano viene suddiviso in sei zone climatiche, in funzione dei gradi giorno (GG), parametro definito come la sommatoria della differenza fra temperatura media esterna giornaliera e la temperatura dell'ambiente *indoor*, estesa a tutto il periodo di riscaldamento con riferimento all'anno, della singola area:

- zona climatica A, alpina: numero di GG inferiore a 600;
- zona climatica B, padana: numero di GG compreso fra 600 e 900;
- zona climatica C, appenninica: numero di GG compreso fra 900 e 1400;
- zona climatica D, adriatica-settentrionale: numero di GG compreso fra 1400 e 2100;
- zona climatica E, tirrenica: numero di GG compreso fra 2100 e 3000;
- zona climatica F, sud-orientale e isole: numero di GG maggiore di 3000.

La città di Alessandria rientra nella zona climatica di tipo E, con un numero di gradi giorno pari a 2637.

1.1.3. Efficienza Energetica

Il 40% dell'energia utilizzata all'interno dell'Unione Europea deriva dai consumi dovuti al riscaldamento e raffrescamento del parco immobiliare e di questi l'80% proviene direttamente dagli edifici. A tale impiego è associato il 36% di emissioni di gas serra dell'intero continente. L'UE individuando le strategie a lungo termine, cioè quelle concernenti il 2050, per contrastare l'aumento di energia e la conseguente produzione di anidride carbonica, ha specificato sette possibili aree strategiche su cui gli Stati membri dovranno investire, al fine di creare un sistema più aperto, pulito e sostenibile. In cima a tale lista compare l'efficienza energetica, per rimarcare l'importanza e il peso che questo settore detiene. Fra i dati riportati si evidenzia che il tasso di ristrutturazione degli immobili si attesta ancora ad un valore modesto, laddove tre edifici su quattro non risultano energeticamente efficienti.

Per determinare l'autosufficienza degli immobili bisogna promuovere maggiormente il miglioramento della prestazione energetica del parco edilizio esistente rispetto alle nuove costruzioni. Ciò si verifica grazie ad un sistema legislativo man mano sempre più restrittivo, che impone per gli interventi *ex-novo* di proprietà di autorità pubbliche, la costruzione, dal 31 dicembre 2018, di manufatti nZEB (*nearly Zero Energy Building*), il cui bilancio energetico risulta essere pari o prossimo allo zero. Invece, per le nuove costruzioni private, tale limite verrà imposto a partire dalla fine del 2020. L'avvenire, quindi, sarà di per sé performante, rispettoso dell'ambiente e con un limitato consumo di gas climalteranti.

Ciò che risulta essere fuori controllo, energivoro e poco efficiente su diverse scale, come detto, dipende dal parco immobiliare esistente. Da questo punto di vista, le amministrazioni pubbliche, in maniera olistica e coerente, dovranno: aumentare i punti di ricarica dei veicoli elettrici, elettrificare la mobilità pubblica, aumentare la connettività e l'intelligenza di soluzioni digitali nell'ambiente urbano, creare spazi per poter parcheggiare soluzioni di mobilità alternative (bici, monopattini e skateboard elettrici), favorire la creazione di aree destinate al verde pubblico, l'adozione di reti energetiche distribuite (teleriscaldamento, teleraffrescamento), virare verso politiche rinnovabili, riqualificare il parco edilizio di sua proprietà e vigilare sugli interventi di nuova ristrutturazione. Il teleriscaldamento, rete di tubazioni interrata, attraversate da acqua calda proveniente da una centrale termica di cogenerazione, serve solo il 5% della popolazione italiana ed è installato soprattutto a nord del Belpaese, ove la domanda riscaldante risulta maggiore, a causa degli inverni più rigidi. Tale quota estrattiva risulta tuttavia inferiore rispetto alla media europea, soprattutto dei paesi scandinavi ^[A-5]. Tuttavia, dal punto di vista del singolo cittadino e del singolo edificio, il retrofit energetico, combinato ad una cultura del risparmio, risulta l'unico strumento per minimizzare gli sprechi e aumentare il comfort *indoor*. Fra i possibili interventi realizzabili, aventi un riscontro significativo, si riporta: l'isolamento termico delle superfici di involucro sia verticali, sia orizzontali che oblique, il rimpiazzo di serramenti vetusti, l'installazione di un sistema generativo più efficiente, la sostituzione dei sottosistemi impiantistici ritenuti poco performanti od obsoleti, l'utilizzo di energia rinnovabile, l'adozione di tecnologie di contabilizzazione e controllo.

Per quanto concerne l'isolamento termico è preferibile che questo venga eseguito dall'esterno per due ragioni: la prima è che in tal modo si ha la quasi totale eliminazione dei ponti termici e la seconda poiché si ha una migliore inerzia termica del componente di involucro. Il cappotto interno, oltre una riduzione del volume interno dello spazio abitato, presenta limitazioni riguardo lo spessore ammissibile dello strato di isolante, poiché è più frequente la formazione di condensa fra i vari strati. Per ottenere una migliore performance energetica risulta altamente sconsigliato sostituire il generatore in un immobile altamente dispersivo, ma è necessario combinare questo intervento con la posa di pannelli isolanti, in modo tale che il sistema edificio-impianto progredisca di pari passo. La definizione degli interventi edilizi o impiantistici, contenuti nell'*audit* energetico (o diagnosi energetica), da eseguire su un determinato immobile, avverrà successivamente alla costruzione da parte del progettista di un modello di calcolo virtuale e, dall'analisi di questo, si perverrà alla descrizione delle strategie di azione da perseguire. Per una simulazione energetica con riferimento ad una scala urbana, invece, non potendo attingere in maniera dettagliata a tutti gli input necessari per costruire il modello di calcolo, alcune informazioni caratterizzanti potranno essere desunte dagli *Attestati di Prestazione Energetica*, depositati presso la banca dati SIPEE della regione Piemonte.

Il governo italiano, già da diversi anni, ha stanziato delle risorse pubbliche per incentivare la riqualificazione energetica e strutturale del parco edilizio esistente. Tali detrazioni fiscali, contenute nella *Legge di Bilancio 2020* ^[A-7], rientrano nel Bonus casa 2020 e tra queste compaiono:

- Il bonus verde, fino al 36%, per agevolare il verde privato o pubblico;
- l'Ecobonus, con detrazione del 50% fino al 65%, per gli interventi di riqualificazione energetica;
- il bonus caldaie, per favorire la sostituzione dei generatori di calore con quelli a condensazione;
- il bonus unico condomini, con detrazioni fino all'80% o 85%, comprendenti sia Sismabonus che Ecobonus;
- bonus facciate, fino al 90% per la ristrutturazione delle facciate esterne degli edifici.

Tali finanziamenti statali, risultano degli strumenti di estrema importanza laddove si decidesse di rinnovare il proprio manufatto edilizio, vetusto ed obsoleto.

1.2. RIFERIMENTI

1.2.1. Riferimenti Bibliografici e Sitografici

[A-1] Città di Alessandria, *Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile – PAES, Primo Rapporto di Monitoraggio*, 2017.

[A-2] CNAPPC, Cresme Ricerche Spa, *Chi ha progettato l'Italia? Ruolo dell'architettura nella qualità del paesaggio edilizio italiano*, Roma ottobre 2017.

[A-3] D'Anna G., Gulino R., *Riqualificare il patrimonio edilizio ricostruendo l'esistente, a consumo del suolo nullo*, ANDIL-Associazione Nazionale degli Industriali dei Laterizi.

[A-4] Dominici G., Daniele F., *ICityRate rapporto annuale 2018*, Firenze ottobre 2018.

[A-5] ENEA, *Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2019 – Analisi e Risultati delle Policy di efficienza energetica del nostro paese*, 2019.

[A-6] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2019*, 2019.

ISTAT, consultato nell'ottobre 2019, <https://www.istat.it/>

1.2.2. Legislazione vigente

[A-7] Legge di Bilancio 2020, *Legge 27 dicembre 2019*, 2019.

[A-8] Direttiva UE 2018/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018, che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

[A-9] Direttiva UE 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

[A-10] Decreto interministeriale 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, conosciuto come Decreto Requisiti Minimi.

[A-11] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*.

[A-12] D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n.10.*

[A-13] 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.*

[A-14] Legge 28 gennaio 1977, n. 10, conosciuta come "Legge Bucalossi".

[A-15] Legge 30 aprile 1976, n. 373, *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.*

[A-16] Legge 19 novembre 1968, n. 1187, *Modifiche ed integrazioni alla legge urbanistica 17 agosto 1942, n. 1150*, conosciuta come "Legge Tappo".

[A-17] Legge 6 agosto 1967, n. 765, conosciuta come "Legge Ponte".

2. MODELLAZIONE ENERGETICA

2.1. APPROCCIO ANALITICO

I modelli virtuali hanno la finalità di prevedere uno scenario futuro, partendo da serie di informazioni storiche ed esplorando o simulando una precisa situazione dal punto di vista fisico ed ambientale, ricercando eventualmente i riflessi economici delle tecnologie adottate ed individuando la soluzione ottimale. La domanda energetica può essere calcolata con riferimento a due approcci metodologici differenti: il modello *top-down* e il modello *bottom-up*. L'applicabilità di una tecnica rispetto all'altra dipende dalla finalità che si vuole perseguire e dal diverso livello di dettaglio dei parametri di input. Ciò detto, le differenze sostanziali che intercorrono fra questi due approcci riguardano: il diverso grado di aggregazione dei dati, la distinzione fra il cosiddetto comportamento "endogeno" ed "esogeno" e, per ultimo, il differente fine per cui questi vengono utilizzati.

Il modello *top-down* è principalmente utilizzato per prevedere uno scenario futuro partendo da delle serie storiche passate, il *bottom-up*, invece, viene adoperato per esplorare la situazione attuale ed eventualmente indagare circostanze future. In generale, quindi, il *top-down* determina una visione generale del sistema, senza avventurarsi troppo nel dettaglio. Al contrario, il *bottom-up*, specifica ogni suo singolo componente, avendo in questo senso, una conoscenza più profonda del fenomeno che si vuole studiare. Tuttavia, non si esclude l'adozione di una metodologia ibrida, la quale prevede l'utilizzo contemporaneo di entrambi gli strumenti di valutazione, per esempio un modello principalmente *top-down* che adoperi nel suo calcolo una simulazione virtuale.

2.1.1. *Top-down*

Per modello *top-down*, in via generale, ci si riferisce a quell'approccio, riguardante la risoluzione di sistemi complessi, in cui si parte dall'obiettivo finale, si spacchetta l'output, in un numero finito di parti, individuando in maniera più agevole le interconnessioni esistenti fra queste. Cioè consiste nell'associare al problema un predefinito numero di *black boxes*, per dimostrare matematicamente la possibilità di ottenere quel risultato, senza però necessariamente far dipendere questo dalla conoscenza delle leggi fisiche che governano il fenomeno. Attraverso l'analisi della soluzione finale, si potranno individuare le risorse mancanti per completare la codifica del problema.

Ciò detto, i modelli *top-down*, considerano l'ambito residenziale in termini consumistici da un punto di vista energetico, affidandosi a dati aggregati intesi in senso endogeno, tipicamente provenienti da serie storiche, per investigare le relazioni che intercorrono fra il settore energetico, quello tecnologico ed economico. L'approccio endogeno ha lo scopo di limitare, il più possibile, la presenza di parametri derivanti dall'esterno (detti anche esogeni), i quali potrebbero essere desunti ad esempio da analisi statistiche. Solitamente i valori di partenza, da cui poi si perviene al calcolo del consumo degli edifici, sono funzione di variabili economiche (PIL, disoccupazione, inflazione, reddito *pro capite*), prezzo dell'energia e dati climatici.

Dovendo lavorare con dati aggregati, il modello *top-down* non contiene una diretta ed esplicita rappresentazione delle tecnologie adottate. Tuttavia, è necessario specificare che l'andamento economico è funzione del progresso tecnologico, poiché l'introduzione nel mercato di nuove tecniche o di nuovi materiali, ritenuti più efficienti rispetto a quelli già presenti, ha dei riflessi evidenti sul costo dell'energia. Da questo punto di vista, come rappresentato nella *Fig. 4*, esiste una curva, denominata *production frontier*, lungo la quale si individuano gli interventi ritenuti i migliori per incrementare l'efficienza energetica di un edificio. Al di sopra della funzione curvilinea si attestano gli interventi considerati inefficienti, in relazione al ritorno economico e ai benefici ottenibili. La

traslazione verso il basso della curva, invece, corrisponde al progresso in campo tecnologico, poiché a questo spostamento, sarà associato una diminuzione del capitale investito e un decremento della domanda energetica.

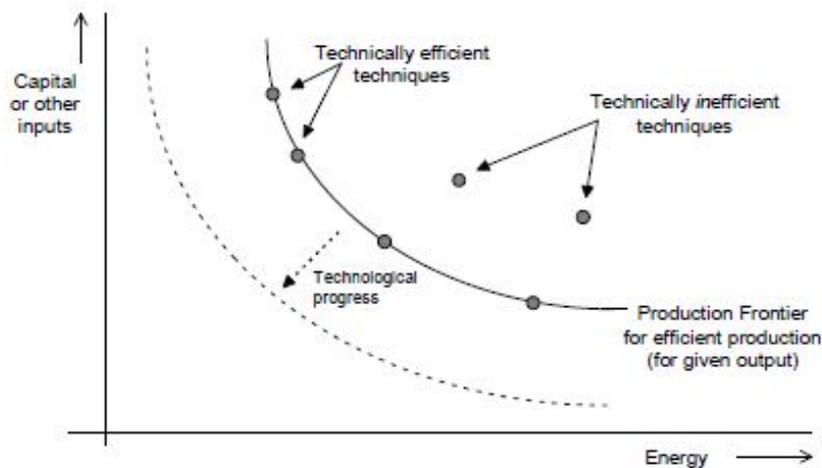


Fig. 4 - La frontiera produttiva da una prospettiva economica (ricavata da Grubb et al. [B-10]).

Questo per dire che, seppur all'interno del modello *top-down* si è soliti riferirsi ad un modello tecnologico e ad un modello economico, i due non sono indipendenti, poiché la variazione di uno corrisponde a dei cambiamenti tangibili nell'altro.

2.1.1.1. Modello Econometrico

Il modello econometrico, figlio dell'approccio *top-down*, viene sviluppato per determinare, seguendo un calcolo statistico, l'influenza delle variabili economiche sugli effetti delle politiche energetiche adottate. Le difficoltà nell'applicazione di tale metodologia dipendono dall'intercorrelazione energetico-economica dei parametri considerati. Il principale scopo nell'adozione di tale modello, che implicitamente si basa sulla teoria microeconomica, è fondato sul prevedere, in maniera statistica, adottando generalmente le equazioni di regressione lineare, la domanda energetica di un parco edilizio in funzione di variabili economiche, quali ad esempio il reddito *pro capite*. L'analisi, con l'obiettivo di prevedere uno scenario futuro, ha origine dall'estrazione di dati aggregati provenienti da serie storiche. Pertanto, avendo a che fare con la multi-collinearità, giocoforza uno svantaggio di tale modello risulterà l'impossibilità di valutare l'influenza di una precisa e definita misura tecnologica, ma verrà stabilito il comportamento del paniere completo. Numerosi e svariati possono essere gli impieghi di un modello econometrico, i cui parametri di input variano in funzione della finalità da perseguire. Fra questi si riporta, ad esempio, il calcolo della domanda energetica (solitamente annuale e valutabile per singolo servizio energetico o come consumo totale) di un certo aggregato urbano, valutato su scala provinciale, regionale o nazionale, atto alla proposta di scenari di riqualificazione, volti alla riduzione della domanda e ad un minor impatto ambientale.

In letteratura, sovente ci si può imbattere nella distinzione fra modello econometrico e macro-econometrico, la cui diversità fonda le sue basi principalmente sullo scopo dell'analisi e sulla teoria applicata, laddove quest'ultima si riferisce all'economia in senso ampio, i cui dati aggregati saranno funzione del reddito nazionale e non di quello *pro capite*.

2.1.2. *Bottom-up*

Il modello *bottom-up*, al contrario del *top-down*, è una metodologia che parte dal basso. Si costruisce, infatti, una strategia di azione sequenziale ed ordinata per raggiungere il risultato finale, dettagliando man mano ciascun sottosistema, che risulterà connesso agli altri, per perseguire l'obiettivo ultimo. Pertanto, trasponendo questo concetto alla materia energetica, il *bottom-up* può essere visto come la risoluzione analitica e diretta dell'equazione di bilancio termico, laddove ogni variabile entrante in gioco è influenzata dal contesto che lo circonda e, il cui comportamento è dipendente da quello degli altri parametri.

I modelli *bottom-up* si distinguono in: ingegneristici e statistici. I primi basano la propria metodologia su un calcolo analitico, i secondi invece, si fondano su valutazioni statistiche che stabiliscono la relazione esistente fra il consumo relativo all'edificio, i suoi usi finali e le condizioni climatiche. Un grande vantaggio ma sicuramente un limite di tale approccio, è che tale metodologia *bottom-up* si fonda su dati disaggregati, i quali, per via analitica, statistica od empirica, dovranno essere conosciuti dallo sviluppatore aprioristicamente, per poter procedere con le successive fasi di calcolo. In tal modo, quindi, si potrà conoscere nel dettaglio e singolarmente il comportamento dei potenziali interventi di riqualificazione energetica, per individuare quello più efficiente in termini di costi.

Vista l'enorme complessità nel reperimento dei dati di input necessari alla costituzione del modello termico, una soluzione potrebbe essere quella di accoppiare dei dati reali (endogeni) ad altri desunti per via statistica od empirica (esogeni). Il calcolo statistico potrebbe essere adoperato, per esempio, per determinare l'andamento temporale del profilo occupazionale oppure per valutare il consumo giornaliero dell'acqua calda sanitaria per persona. In tal modo quindi si perverrà alla definizione di un approccio *bottom-up*, la cui finalità risulta essere sempre la determinazione del fabbisogno energetico di un edificio o di un gruppo di questi ritenuti simili, all'interno del quale l'estrazione dei dati provenga da fonti diverse.

2.1.2.1. Modello Ingegnерistico

Il modello ingegneristico, classificato come un possibile approccio della metodologia *bottom-up*, fonda le sue basi sulla risoluzione dell'equazione di bilancio. Per perseguire questo obiettivo, sarà necessario avere una conoscenza completa dei parametri di input, ricavabili da misure effettuate sul campo oppure da riferimenti empirici, basati cioè sull'esperienza dell'osservatore. A tal riguardo, si dovranno possedere: i dati climatici del sito di interesse, il cui riferimento temporale dovrà coincidere col *time step* del calcolo; informazioni di carattere generale (unità abitative presenti, numero di piani e servizi energetici); le proprietà geometriche dell'ambiente urbano (superfici, volumi, altezze, ecc.), le caratteristiche termofisiche dei componenti di involucro opachi e trasparenti; la tipologia, il valore e il profilo di utilizzo dei carichi termici endogeni e i dati impiantistici dei generatori e dei sottosistemi considerati. Alcuni dei parametri sopracitati, soprattutto il comportamento degli occupanti o le modalità di impiego del sistema tecnologico, dovranno essere desunti, nella maggior parte dei casi, da fonti informative esterne. Di concerto con Swan e Urgusal ^[B-18], il modello ingegneristico, riferibile al settore residenziale, può essere classificato in funzione di tre diverse tecniche:

- la prima prevede la stima della domanda energetica attraverso lo studio degli apparecchi utilizzati, a livello regionale o nazionale, all'interno delle cellule abitative, in funzione di parametri quali: la tipologia, l'utilizzo, l'efficienza e il consumo;
- la seconda si fonda sulla formazione di un certo numero di archetipi, ovvero di unità ritenute rappresentative, classificando il patrimonio edilizio in funzione di una serie di parametri (anno di costruzione, estensione, tipologia di unità abitativa, destinazione d'uso), individuando così

il comportamento energetico dei manufatti, estendendo i risultati ottenuti dal calcolo a livello provinciale, regionale o nazionale;

- la terza, infine, si basa sulla definizione di un campione rappresentativo, ottenibile grazie ad un ingente *database* di informazioni, la cui domanda energivora, in maniera ponderata, può essere ampliata a manufatti ritenuti simili.

Nel primo caso, ad esempio, se si vuole stimare il fabbisogno elettrico di un edificio, è necessario conoscere la tipologia degli apparecchi, la potenza assorbita e il loro profilo di utilizzo. Questo approccio metodologico ricade all'interno della metodologia *bottom-up*, in quanto si parte da una serie di dati fra loro disaggregati. La differenza fra gli ultimi due metodi, secondo Swan e Urgusul [B-18], si basa sul diverso panorama di abitazioni consultabili. Mentre per la costruzione degli archetipi il numero è limitato, ciò non risulta completamente vero per il terzo caso, laddove, secondo gli studi proposti, ci si rifà ai dati reali di centinaia o migliaia di costruzioni, pervenendo ad individuare addirittura i conglomerati edilizi tipici di certe nazioni.

Alle sopracitate possibilità si aggiunge il calcolo del fabbisogno di un parco edilizio a partire dalla definizione di un modello energetico. In tal caso, si individueranno certi criteri di classificazione (anno di costruzione, forma, estensione, destinazione d'uso, categoria abitativa, ecc.), atti alla caratterizzazione del contesto urbano. Successivamente gli attributi verranno associati a ciascun manufatto e il *software* analiticamente calcolerà la domanda energetica (si veda il *paragrafo 2.3.*).

Concludendo quindi, risulta piuttosto complesso e a volte impossibile, reperire tutti i dati necessari alla completa definizione del modello ingegneristico. Tale difficoltà, tuttavia, risulta anche un punto di forza, poiché i potenziali interventi atti a migliorare la *performance* energetica sono dati disaggregati, cosicché la loro influenza possa essere valutata singolarmente caso per caso.

2.1.2.2. Modello Statistico

Il modello statistico è un approccio della metodologia *bottom-up*, la cui finalità prevede la stima del fabbisogno energetico degli edifici, generalmente attraverso un calcolo di regressione, in funzione delle caratteristiche degli stessi manufatti (Swan e Urgusul [B-18]). Questi dati possono essere desunti dall'analisi dei dati di consumo, funzione del vettore energetico utilizzato, o da semplici sopralluoghi, volti a rendere più robusto il parametro esaminato. Il reperimento delle informazioni dalle bollette energetiche potrebbe indurre, all'interno della funzione stima, un certo grado di multi-collinearità fra due o più variabili. In tal caso quindi si dovranno utilizzare delle trasformazioni statistiche per valutare separatamente l'influenza singola dei parametri considerati. Un vantaggio nell'adozione di tale metodologia, invece, riguarda il possibile accoppiamento di variabili economiche o macroeconomiche, le quali riflettano le ricadute monetarie delle scelte perseguite. Verranno riportate di seguito alcune tecniche, utili per la stima del fabbisogno energetico, che verranno presentate singolarmente e, in alcuni casi, confrontate con gli altri approcci.

Di concerto con quanto definito da Swan e Urgusul, l'approccio statistico, per stimare la domanda energetica di un parco edilizio residenziale, può essere risolto seguendo tre diverse tecniche:

- la prima si basa sull'analisi di regressione;
- la seconda denominata *Conditional Demand Analysis (CDA)*, fondata anch'essa sul metodo di regressione, è basata sullo studio dell'utilizzo e del consumo degli apparecchi all'interno dell'ambiente abitato;
- la terza riconosciuta col nome *Neural Network (o Artificial Neural Network, rete neurale artificiale; ANN)*, analisi predittiva ispirata al funzionamento della rete neurale umana,

stabilisce una connessione complessa e “nascosta” fra gli input e gli output del modello, attraverso la stima di coefficienti (o i cosiddetti *hidden neurons*), il cui calcolo non ha un preciso significato fisico.

L’analisi di regressione può presentarsi in maniera lineare o non-lineare. La prima può essere ancora classificata in semplice, multipla o quadratica. La scelta di una metodologia piuttosto che l’altra sarà compito dello sviluppatore, che dovrà stabilire quale approccio minimizza, in maniera più accurata, l’errore rispetto ai valori attesi. La definizione analitica del processo avverrà dopo la validazione del risultato rispetto ad un predefinito numero di parametri scelti.

Il metodo CDA, risulta di facile utilizzo, poiché i dati necessari per condurre l’analisi possono essere desunti da una semplice indagine degli impianti adoperati e conoscendo i valori di consumo, ottenibili dal fornitore energetico. Tuttavia, per ottenere dei risultati affidabili, è richiesto un *set* di parametri proveniente da centinaia o migliaia di abitazioni (Swan e Urganusul ^[B-18]). Il modello CDA, costruito *ad hoc* per l’obiettivo da perseguire, può essere utilizzato per calcolare la domanda dovuta al riscaldamento, raffrescamento, al consumo elettrico e al fabbisogno necessario per riscaldare l’acqua a fini sanitari.

Concordemente con Shabani e Zavalani ^[B-16], recentemente, per stimare la domanda energetica degli edifici, sono stati individuati diversi approcci statistici, i quali verranno presentati singolarmente di seguito: l’*artificial neural network*, il *support vector regression*, il *regression trees* e il *case-based reasoning*.

2.1.2.2.1. Rete Artificiale Neurale

L’*Artificial Neural Network*, è una metodologia predittiva ampiamente utilizzata per stimare la domanda energetica degli edifici. Una rete neurale artificiale può essere suddivisa in: parametri di input, le variabili di output e due strati di neuroni, cosiddetti “nascosti”, comunicanti direttamente con i dati di ingresso o di uscita. I neuroni operano in regime di *black box*, ciò significa che le relazioni instauratesi fra le parti non avranno un preciso significato fisico, bensì fra queste, si stabilirà solamente una dipendenza matematica. Ciò implica che solo utenti esperti, cioè coloro i quali abbiano ben compreso le relazioni esistenti tra le parti, possano adoperare tale metodologia predittiva. Il neurone, unità elementare contenuta nel processo, eseguirà le operazioni matematiche (funzioni di somma e di attivazione) per determinare il valore di output. Nello specifico, le funzioni di attivazione, generalmente non-lineari, potranno essere iperboliche o sigmoidee (Shabani e Zavalani ^[B-17]). Per limitare la capacità computazionale del sistema, è necessario che lo sviluppatore esegua anteriormente delle operazioni di ottimizzazione, volte a limitare il numero dei neuroni. Durante le iterazioni, alla struttura ANN dovrà essere associato un file che testi la validità del processo, fino a che non si raggiunga un errore ritenuto accettabile (Kalogirou ^[B-13]).

Dal momento che esiste una relazione non-lineare fra la domanda energetica associata all’edificio e la temperatura esterna, un vantaggio della rete neurale artificiale riguarda la possibilità di risolvere questo tipo di dipendenza. Inoltre, un altro beneficio derivante dall’adozione di tale metodologia, riguarda una elevata flessibilità nella gestione di sistemi complessi, laddove le connessioni fra input e output siano molteplici ed interdipendenti. Ciò, potrà essere reso possibile poiché il sistema ANN si focalizza in maniera preponderante sulla valutazione dei parametri di ingresso ritenuti maggiormente importanti.

2.1.2.2.2. *Support Vector Regression*

Il *Support Vector Regression* (SVR), una delle tecniche maggiormente conosciute della *machine learning*, è un metodo statistico, con l'abilità di risolvere problemi di regressione non-lineari, il cui utilizzo, recentemente, viene esteso anche alla stima del fabbisogno energetico di un certo agglomerato di edifici. Il SVR, facente parte del *Support Vector Machine* (SVM), utilizza delle variabili aventi una distribuzione continua, adoperando una funzione di regressione non-lineare. Di concerto con Jovanović *et al.* [B-12] e Magoules e Zhao [B-14], tale situazione può essere gestita introducendo nel calcolo delle condizioni di ottimizzazione. Queste saranno risolte a loro volta inserendo nella computazione, nel caso in cui il *set* di dati fosse molto ampio, delle funzioni cosiddette *sequential minimal optimization* (SMO). Le SMO suddivideranno il problema in una serie di algoritmi, gestibili con maggiore facilità dall'utente. Nella metodologia SVM, esistono quattro possibili tipi di funzioni di kernel frequentemente utilizzate, che sono: equazioni lineari, polinomiali, sigmoidee o funzioni radiali di base (RBF). Le RBF, frequentemente più utilizzate, verranno impiegate per investigare la relazione non-lineare esistente fra le variabili dipendenti ed indipendenti.

Concordemente con Jovanović *et al.* [B-12], il SVM è simile alla metodologia ANN, con dei risultati migliori o al più comparabili, in quanto le reti neurali hanno dei limiti nella generalizzazione del fenomeno, motivo per il quale ciò può indurre sovrastime nel risultato del modello. Secondariamente, un altro vantaggio di SVM concerne la risoluzione di un problema non-lineare, in maniera quadratica limitata, in modo da fornire un risultato unico ed ottimizzato. Come gli altri approcci statistici, anche il *support vector regression*, necessita di serie di storiche di dati tempo-dipendenti, laddove all'aumentare dei parametri disponibili, per migliorare l'accuratezza delle previsioni, proporzionalmente incrementerà anche la difficoltà computazionale.

2.1.2.2.3. *Albero di Regressione*

Il *Regression Tree* (RT), specifica tipologia del *Decision Tree* (o albero di decisione), è una metodologia predittiva, competitiva rispetto a SVR e ANN, che può essere applicata per stimare il fabbisogno energetico degli edifici. Tale modello, anch'esso basato sulla tecnica di regressione, la cui rappresentazione può essere assimilata a quella di un *flow-chart*, è costituito da tre parti fondamentali: i nodi, che raffigurano le variabili in gioco, i rami o gli archi, che riproducono un possibile valore per quella proprietà e le foglie che contengono la misura del parametro a cui si riferiscono. Nell'albero decisionale potranno comparire sia variabili qualitative che quantitative, tuttavia, in tale schema predittivo, si preferisce la presenza delle prime rispetto alle seconde. Ciò contraddistingue la differenza fra albero di classificazione e di regressione. Il secondo consiste nel partizionare i parametri indipendenti per ottenere un output, il cui valore sia rappresentato da una variabile continua e non discreta o categorica. Sequenzialmente, l'analisi avrà origine dal nodo-radice, da cui si genererà la prima biforcazione. Questi due rami potranno essere collegati ad un nodo interno oppure ad un nodo-foglia. La differenza sostanziale è che dal nodo interno, in cui verrà effettuato un test sull'attributo, può originarsi un'ulteriore bipartizione, che si esaurirà, dopo un predefinito numero di requisiti, con un nodo-foglia, il quale possiederà una certa condizione.

La costituzione di un albero decisionale, atto alla stima del fabbisogno energetico di un edificio, una volta individuato il regime (invernale od estivo) in cui si vuole operare, può avere origine da un test, contenuto nel nodo-radice, sul valore della temperatura interna della zona termica. In funzione del valore registrato, superiore od inferiore ad una certa soglia, e in relazione ad altre condizioni al contorno (ad esempio sull'occupabilità della zona), saranno individuati due diversi percorsi, uno dei quali si concluderà con l'azionamento dell'impianto, per ristabilire le condizioni di comfort *indoor*.

Associando un consumo alla condizione finale e applicando l'albero decisionale per ogni *time step* prescelto, si sarà in grado di stimare la domanda energetica totale. A tal riguardo, in letteratura, viene proposto uno studio analitico e completo, in ogni suo passaggio, effettuato da Zhun Yu *et al.* ^[B-19], che si basa sulla stima della domanda energetica con riferimento ad un settore residenziale giapponese. All'interno di un contesto urbano, i risultati ottenibili dall'albero decisionale, plasmati su un definito caso studio, potranno essere estesi ad altri manufatti ritenuti simili secondo certi criteri di classificazione. Tuttavia, il *regression tree*, rispetto agli approcci SVR e ANN, in relazione alla materia energetica, vede un utilizzo minore, ma in deciso sviluppo.

2.1.2.2.4. Ragionamento Basato sui Casi

Il *Case-Based Reasoning* (ragionamento basato sui casi, CBR) è una metodologia statistica che rientra anch'essa all'interno della *machine learning*. Il CBR propone una previsione futura basandosi su osservazioni passate. La scomposizione di un problema avverrà rifacendosi a quattro assunzioni principali: (a) il recupero delle esperienze passate; (b) l'adattamento della soluzione successiva rispetto a quella antecedente; (c) la revisione dell'output fuoriuscente; (d) la conservazione della conoscenza maturata, così da poterla riutilizzare. Pertanto, data la risoluzione di un preciso algoritmo, la metodologia CBR ha origine dalla ricerca, all'interno del database dei casi, di un problema simile, di cui sia proposta la risoluzione. Il confronto fra le variabili indipendenti avverrà secondo un criterio di similarità, associando loro un peso, attraverso il calcolo delle distanze. Ovvero si individueranno due valori soglia: minimo e massimo. Nel caso in cui il valore dell'input sia inferiore al minimo si attribuirà un completo valore di somiglianza, altrimenti, qualora si oltrepassasse il limite superiore. Gli intervalli compresi entro le estremità verranno trattati in maniera ponderata. Raggiunto un certo valore di similarità, si valuterà se, dati un *set* di variabili indipendenti, si possa estendere il completo o parziale utilizzo dell'algoritmo in memoria. Valutata la riuscita o meno del calcolo, a posteriori si valuterà se conservare nel *database* la risoluzione del problema.

Tuttavia, tale metodologia predittiva, risulta ancora poco utilizzata nell'ambito della stima della domanda energetica in relazione ai singoli edifici. A tal fine, verranno proposti di seguito, alcuni esempi applicativi reperibili in letteratura. Monfet *et al.* ^[B-1], hanno adoperato tale metodologia per calcolare il fabbisogno elettrico annuale all'interno di un ufficio canadese. Per valutare il comfort termico *indoor* in un manufatto, invece, Breekweg *et al.* ^{[B-5][B-6]}, l'hanno impiegata per individuare il modello di rete neurale artificiale ottimale, oppure, Platon *et al.* ^[B-8], si sono serviti di tale tecnica, per prevedere il consumo energetico di un edificio pubblico canadese. Dagli esempi proposti, prima di tutto si può riflettere sulla vastità di applicazioni possibili e, secondariamente, sulla possibilità di utilizzo di tale metodo singolarmente o in combinazione con altri. Pertanto, non è da escludere, che in un futuro prossimo l'approccio CBR possa essere adottato anche per la stima del fabbisogno energetico, con riferimento ad un contesto urbano, individualmente o in combinazione con altre tecniche di valutazione o di aggregazione dei dati (*cluster analysis*).

2.1.3. Riepilogo

Riassumendo quindi, oltre l'approccio ingegneristico, quelli generalmente più utilizzati, si fondano sull'utilizzo della tecnica di regressione, che correla la domanda energetica alle variabili climatiche e/o alle proprietà fisiche. La regressione può presentarsi in maniera lineare o non-lineare, ove la differenza risiede nel fatto che nel secondo caso, la convergenza alla soluzione sarà raggiunta da un processo reiterato. La bontà del modello, quindi, verrà valutata dall'analisi dei residui, come l'indice R-quadro o altri parametri di origine statistica come lo scarto quadratico medio. Per entrambe le scelte, comunque, il calcolo si baserà sulla definizione dei coefficienti, contenuti nell'equazione e rappresentativi dei parametri di input, secondo una certa metodologia: minimi quadrati, metodi bayesiani o altri. Di seguito vengono riassunte le varie metodologie percorribili riferite agli approcci *top-down* e *bottom-up*.

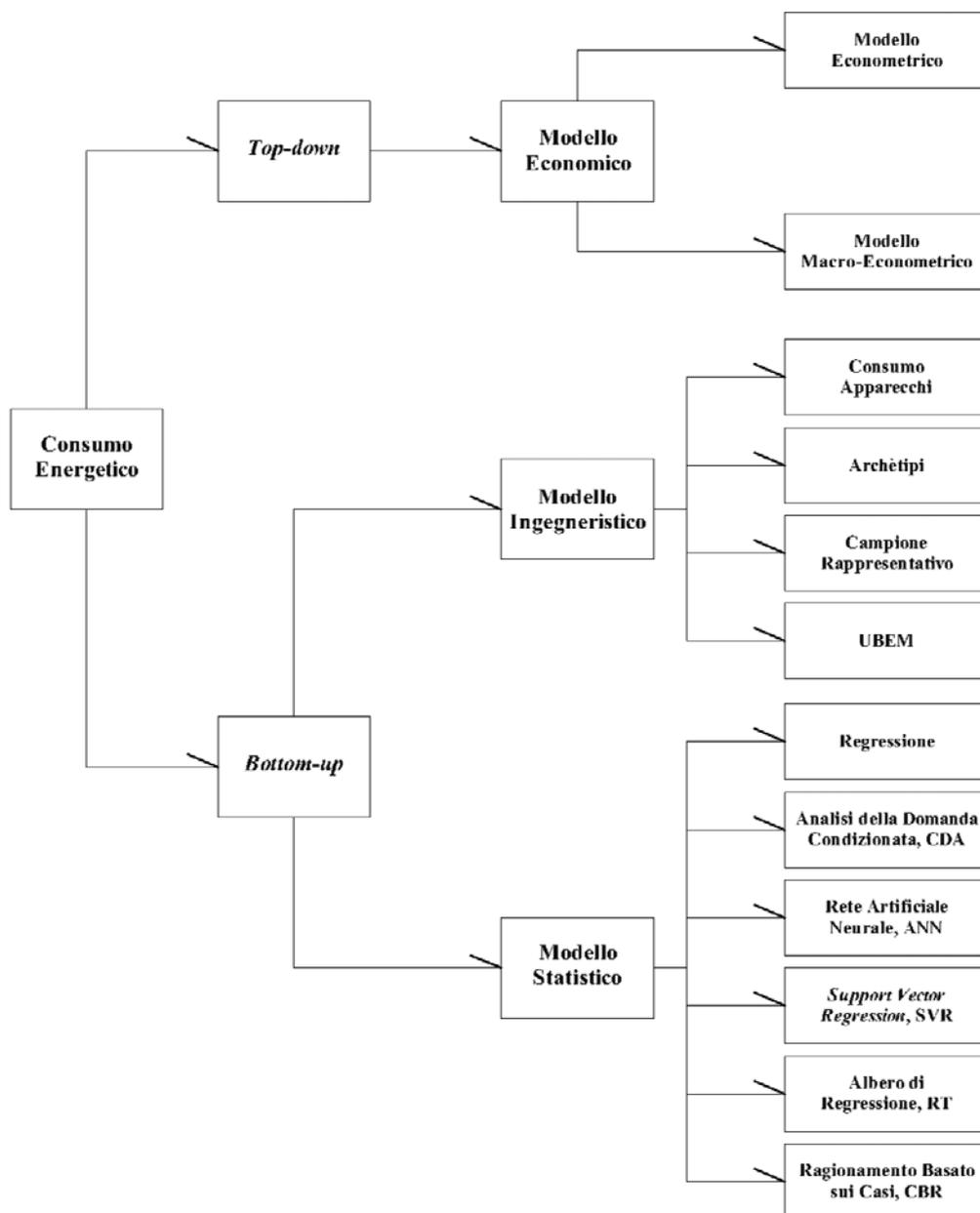


Fig. 5 – Approcci metodologici per la stima del consumo energetico.

2.1.4. Ottimizzazione

Una volta che si sia stimato il fabbisogno energetico di un ambiente urbano e solo dopo che siano stati formulati una serie di potenziali interventi volti a migliorare le prestazioni degli edifici esistenti, al *software* di simulazione può essere associato un algoritmo di ottimizzazione, che abbia la funzione di scegliere le opere ritenute maggiormente efficaci ed efficienti, in termini di costo e di riduzione dell'impatto ambientale. Nel caso in cui, invece, si trattasse di un ambiente distrettuale di nuova costruzione, la sopracitata computazione, potrebbe essere utilizzata per far variare automaticamente i numerosi parametri di input, rappresentanti le diverse tecnologie individuate, determinando la combinazione perfetta delle variabili in gioco. A questo scopo, un *tool* utilizzabile risulta essere GenOpt, il quale solo dopo aver avuto accesso agli input e agli output del *software* di simulazione energetica e successivamente ad aver specificato il *set* di possibili variabili modificabili, attraverso una libreria di algoritmi monodimensionali, multidimensionali o di uno specificato dall'utente, individuerà automaticamente la funzione di minor costo. Tuttavia, di concerto con quanto specificato da Sola *et al.* ^[B-7], altri programmi commerciali e ad accesso libero, volti all'ottimizzazione del processo edilizio, sono: Altair HyperStudy, DAKOTA, GoSUM, iSIGHT, LionSolver, MOBO, MultiOpt, Opt-E-Plus e TRNOPT.

2.2. BUILDING ENERGY MODEL

La transizione digitale dal BEM (*Building Energy Model*) fino all'UBEM (*Urban Buildings Energy Model*), si riferisce alla creazione di un modello energetico, che faccia tesoro delle condizioni al contorno e delle equazioni imposte per la definizione di un oggetto digitale riferibile ad un unico edificio, estendendo queste ad una scala urbana: distrettuale, cittadina, provinciale o regionale. Così da risultare un utile strumento per amministrazioni pubbliche, urbanisti, pianificatori o committenti, che abbiano l'intenzione di valutare l'impatto energetico-ambientale (consumi, disponibilità di luce naturale, mobilità) di una certa area di loro proprietà. Individuando, successivamente, all'interno della zona di interesse, i manufatti edilizi maggiormente energivori, per indirizzare in maniera più capillare gli strumenti economici, per una svolta più *smart*, *green* e meno emissiva.

L'etimologia dell'acronimo BEM deriva da quella di BIM (*Building Information Model*), che consiste nella creazione di un modello virtuale informatizzato, garante di un certo livello di dettaglio, in funzione dell'obiettivo dell'oggetto digitale da perseguire, che possa essere consultato per prevedere il comportamento dell'edificio reale, valutando le implicazioni sia sull'oggetto in sé che sull'ambiente circostante.

I dati di input necessari, di concerto con un predefinito contenuto di LOD (*Level of Detail*) e LOI (*Level of Information*), per la costituzione di un modello energetico edificio-impianto, divengono ad essere i seguenti:

- caratteristiche geometrico-dimensionali che possano ben definire la configurazione architettonica del manufatto;
- serie storico-temporali dei dati climatici costituenti l'area di interesse, con un prefissato *time step* (orario, giornaliero o mensile), in funzione del tipo di calcolo svolto;
- proprietà termo-fisiche dei componenti opachi e vetrati costituenti l'opera edilizia;
- condizioni di comfort attese, di concerto con la destinazione d'uso e le attività svolte all'interno del manufatto;
- definizione del regime di calcolo adottato: stazionario, semi-stazionario, dinamico, ecc.;
- identificazione delle zone termiche e delle *service areas*, in funzione della complessità dell'immobile, delle differenti condizioni di utilizzo e del sistema impiantistico;

- carichi termici interni sensibili e latenti, che vadano a modificare il comfort interno, dovuti: agli occupanti, agli apparecchi illuminanti, a dispositivi elettrici, a motori elettrici e/o alla cottura dei cibi, accompagnati dalla loro intensità o utilizzo e dal loro profilo temporale;
- definizione dei servizi impiantistici presenti, associati alla loro conformazione sia del sistema di generazione e sia degli altri sottosistemi.

Gli obiettivi principali di una analisi energetica prevedono:

- l'anticipazione dei consumi e dei costi energetici, su base mensile o annua;
- le emissioni annuali di CO₂, derivanti dall'operatività della costruzione;
- comparare fra di loro diverse possibili soluzioni, valutando anche il ritorno economico dell'investimento, in termini di efficienza energetica, per migliorare l'*energy performance* associato all'edificio.

Tuttavia, nella maggior parte dei casi, soprattutto quando l'oggetto della valutazione risultano essere gli edifici esistenti, lo sviluppatore del modello, non possiede una completa definizione dei parametri di input. Ciò determinerà inevitabilmente delle incertezze, che implicheranno l'insorgenza di un certo errore fra la situazione reale e quella simulata. Da questo punto di vista, pertanto, risulterà necessaria la calibrazione del modello, cioè quelle successive operazioni di affinamento dei parametri iniziali, atte a far tendere la situazione virtuale più prossima a quella letta dai dati di consumo, per far in modo che gli indici statistici, rappresentanti l'errore percentuale, siano compresi in un certo *range* apprezzabile (per esempio di concerto con quelli forniti dalla *ASHRAE Guideline 14 - 2014*), in funzione se il calcolo viene eseguito su base oraria o mensile. Solo dopo che il modello risulterà calibrato, si potranno valutare gli obiettivi soprariportati.

2.3. URBAN BUILDINGS ENERGY MODEL

Recentemente, numerosi studi e ricerche, stanno indirizzando il *focus* dell'analisi energetica verso una scala urbana, poiché, in caso contrario, gli edifici ritenuti sostenibili indirettamente lo diventano meno, contestualizzati rispetto all'ambiente a loro limitrofo. Giocoforza il pensiero vira verso un'analisi ad ampia scala che valuti l'impatto energetico-ambientale non solo del singolo edificio ma di un determinato parco edilizio. Per modellare e prevedere questo scenario è necessaria la creazione di un oggetto digitale, contraddistinto con l'acronimo anglofono UBEM (*Urban Buildings Energy Model*) o USEM (*Urban-Scale Energy Modelling*). Nei paragrafi presentati di seguito si mostreranno le differenti caratteristiche che contraddistinguono un oggetto digitale su scala cittadina.

Il modello UBEM verrà costruito seguendo un approccio *bottom-up*, cioè dividendo e semplificando, per una maggiore comprensione, l'obiettivo finale fino a pervenire ad un sistema complesso, man mano sempre più dettagliato. L'alternativa a tale metodologia risulta essere l'approccio *top-down* che consiste nel partire dalla soluzione finale, facendo dipendere tutto il resto da questa. Cioè consiste nell'associare all'output un predefinito numero di *black boxes* per dimostrare matematicamente la possibilità di ottenere quel risultato senza però necessariamente conoscere la legge fisica che governa il processo.

2.3.1. Level of Detail & Level of Information

Come già anticipato precedentemente, l'accuratezza del modello di calcolo dipende dal livello di dettaglio geometrico-informativo dei dati inseriti in input. Ovviamente la precisione è funzione della finalità dell'analisi, quindi banalmente un modello energetico su scala regionale avrà un livello di dettaglio inferiore rispetto ad un'analisi distrettuale. Pertanto, si dovranno formulare delle semplificazioni per ottemperare alla scarsità di informazioni reperibili, poiché l'analisi in questione

ha la finalità di adattarsi ad un parco edilizio esistente. Laddove, fra i pochi elementi certi, si registra la presenza dei dati contenuti nelle certificazioni energetiche depositate presso la banca informativa della regione Piemonte.

Come specificato nelle pagine precedenti, alla base di una modellazione energetica esiste un modello architettonico, quindi di concerto con la *UNI 11337-4* ^[B-21], il sistema geometrico dei componenti di involucro diverrà ad essere al massimo un LOD di tipo C, in cui saranno definite le stratigrafie principali, accompagnate dalla loro configurazione materica. Imposta questa si potrà risalire al comportamento energetico del componente da costruzione. Invece, per quanto riguarda la progettazione dello spazio, rispetto alla classificazione contenuta nella sopracitata norma, ci si riferirà con ogni probabilità al LOD C, che prevede, fra le altre cose, la definizione del pacchetto di finitura. Tuttavia, nel caso in cui si aumentasse la scala di intervento, il livello di dettaglio regredirebbe fino al grado B, che prevede la modellazione di geometrie tridimensionali approssimate. In conclusione, quindi, come era lecito aspettarsi, l'accuratezza delle informazioni di input di un UBEM risultano meno dettagliate di un modello energetico sul singolo edificio.

2.3.2. Isole di Calore Urbano

Nella modellazione urbana è necessario tenere in conto del differente microclima che viene ad instaurarsi fra un ambiente cittadino ed un'area periferica o rurale. Le cause di tale fenomeno sono da imputare esclusivamente all'azione antropica, che dovrebbe essere indirizzata verso politiche più rispettose delle dinamiche naturali. Infatti, le isole di calore urbano, si originano soprattutto a causa: dell'operatività degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, del traffico veicolare e dall'esercizio di stabilimenti industriali. Gli effetti registrabili, oltre ad un significativo aumento delle temperature (in alcuni casi fino a 5-6 °C), comportano una minore frequenza ed intensità temporalesca ed un minore potere convettivo dovuto all'azione vento, che viene ostacolato dalla morfologia artificiale della realtà cittadina.

Pertanto, per una più accurata verosimiglianza del modello energetico rispetto alla situazione reale, è necessario che i dati climatici di input, tengano conto della concentrazione di isole di calore urbano, disseminate sul tessuto cittadino. In prima analisi quindi, bisognerà valutare la natura delle informazioni meteorologiche e nel caso in cui la stazione risulta essere installata in situ, bisognerà confrontare il suo microclima con quello dell'area di interesse, poiché il gradiente termico esistente tenderà ad amplificare l'incertezza all'interno del modello di calcolo. Questo poiché la realtà urbana, ritenuta in assoluto a maggior temperatura, implicherebbe un sovradimensionamento degli impianti di riscaldamento in regime invernale e un sottodimensionamento di quelli di raffrescamento nella stagione estiva.

2.3.3. Caratterizzazione Parco Edilizio

Ogni edificio ha la propria storia, le proprie caratteristiche e la propria conformazione geometrica, pertanto risulta altamente improbabile trovare due costruzioni uguali. Tuttavia, sarà più probabile trovare due costruzioni che accolgano il principio di similarità, cioè che abbiano in comune precise caratteristiche. Questo ragionamento, accoppiato all'impossibilità di ottenere tutte le informazioni necessarie e al fine di ridurre la capacità computazionale del calcolatore nell'elaborazione del modello, implica che un certo contesto urbano venga caratterizzato e classificato secondo determinati criteri. Tali criteri divengono ad essere: l'anno di costruzione, la destinazione d'uso, la forma, il contesto climatico e la tipologia edilizia (appartamento, casa singola, casa multifamiliare, etc.).

La validazione del modello simulato con la situazione reale avverrà definendo un numero soddisfacente di edifici di riferimento, la cui formazione dei suoi elementi costituenti si basa su due metodi differenti: un'analisi letteraria o un'analisi statistica.

2.4. RIFERIMENTI

2.4.1. Riferimenti Bibliografici e Sitografici

- [B-1] Arkhipova E., Choinière D. e Monfet D., *Evaluation of a case-based reasoning energy prediction tool for commercial buildings*, ESL-IC-13-10-13, 2013.
- [B-2] Ballarini I., Corgnati S. P. e Corrado V., *Building Typology Brochure – Italy, Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*, Luglio 2014.
- [B-3] Ballarini I., Corgnati S. P. e Corrado V., *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project*, Institut Wohnen und Umwelt, 2012, pp. 81-89.
- [B-4] Beckers B., Kämpf J. H. e Vermeulen T., *Urban Form Optimization for the Energy Performance of Buildings using CitySim*, CISBAT 2013, 2013.
- [B-5] Breckweg M. R. B., Gruber P., et al., *Development of a generalized neural network model to detect faults in building energy performance - Part I*, ASHRAE Transactions 106:61-73, 2000.
- [B-6] Breckweg M. R. B., Gruber P., et al., *Development of a generalized neural network model to detect faults in building energy performance - Part II*, ASHRAE Transactions 106:74-93, 2000.
- [B-7] Corchero C., Salom J., Sanmarti M. e Sola A., *Simulation Tools to Build Urban-Scale Energy Models: A Review*, Energies 2018, 2018.
- [B-8] Dehkordi V. R., Martel J. e Platon R., *Hourly prediction of a building's electricity consumption using case-based reasoning, artificial neural networks and principal component analysis*, Energy and Buildings, vol. 92, pp. 10-18, 2015.
- [B-9] Djurovic-Petrovic M., Kavacic M., Mavrogianni A., Mumovic D., Stevanovic Z. e Summerfield A., *A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector*, Building and Environment 45 (2010) 1683-1697, 2010.
- [B-10] Grubb et al., *The Cost of Limiting Fossil-Fuel CO₂ Emissions: A Survey and Analysis*, Annual Review of Energy and Environment, vol. 18, 1993.
- [B-11] Hong T., Zhou X. e Yan D., *Comparison of Building Energy Modeling Programs: HVAC Systems*, August 2013.
- [B-12] Jovanović R. Ž., Novaković V. M., Nord N. M., Sretenović A. A. e Živković B. D., *Support Vector Machine for the prediction of heating energy use*, Thermal Science 2018(00):126-126, 2018.
- [B-13] Kalogirou S. A., *Artificial neural networks in energy application in buildings*, Article in International Journal of Low-Carbon Technologies, July 2016, 2016.
- [B-14] Magoules F. e Zhao H. X., *Parallel Support Vector Machines Applied to the Prediction of Multiple Buildings Energy Consumption*, Journal of Algorithms and Computational Technology, 4 (2), pp.231-250. hal-00617930, 2010.
- [B-15] Saha GP e Stephenson J., *A model of residential energy use in New Zealand*, Energy 1980; 5(2):167-75.

[B-16] Shabani A. e Zavalani O., *Predicting Building Energy Consumption using Engineering and Data Driven Approaches: A Review*, EJERS, European Journal of Engineering Research and Science, Vol. 2, No. 5, May 2017, 2017.

[B-17] Shabani A. e Zavalani O., *Hourly Predicting of Building Energy Consumption: An Incremental ANN Approach*, EJERS, European Journal of Engineering Research and Science, Vol. 2, No. 7, July 2017, 2017.

[B-18] Swan L. G. e Urigusai V. I., *Modeling of end use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1819-1835, 2009.

[B-19] Zhun Yu et al., *A decision tree method for building energy demand modeling*, Energy and Buildings 42 (2010) 1637-1646, 2010.

[B-20] Van Beeck N., *Classification of Energy Models*, 1999.

GenOpt, consultato nell'ottobre del 2019, <https://simulationresearch.lbl.gov/GO/index.html>

2.4.2. Normativa Tecnica

[B-21] UNI 11337-4, *Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti*, 2017.

3. SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Nei paragrafi riportati di seguito, verranno descritti i *software*, utilizzabili per un'analisi energetica con riferimento ad una scala urbana, accompagnata nella parte finale, da una matrice di confronto originata da tre eseguibili accessibili e testati direttamente. La creazione del modello virtuale pertanto gestirà in digitale, in funzione del tipo di calcolo considerato, le equazioni di bilancio energetico. In ogni caso, al programma principale, saranno associati numerosi *tool*, atti all'esecuzione di una parte del calcolo: radiativo, termico, illuminotecnico, ecc. (si veda la Fig. 6, estrapolata da Sola *et al.* [B-7]). La parte finale del capitolo si concluderà con un confronto fra il modello di calcolo BEM e le semplificazioni o approssimazioni contenute nella definizione di un UBEM.

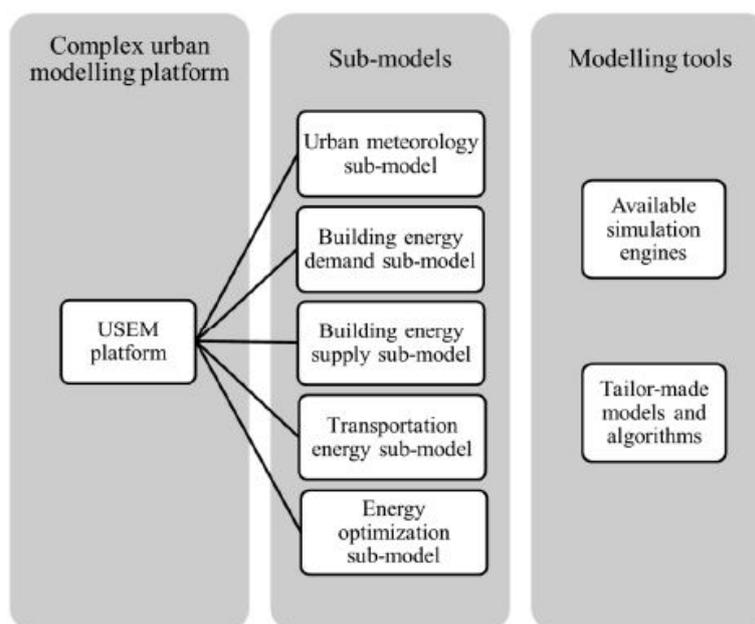


Fig. 6 - Sotto-modelli nella piattaforma USEM (immagine ricavata da Sola *et al.* [B-7]).

3.1. CITYSIM PRO

Il software CitySim, sviluppato dal *Solar Energy and Building Physics Laboratory of EPFL (L'École Polytechnique Fédérale de Lausanne)*, è un programma di simulazione energetica ad ampia scala (urbana o cittadina) che basa il proprio funzionamento su un modello termico semplificato, che risulta essere un buon compromesso fra il livello di dettaglio dei dati di input, la precisione dell'output e il tempo di elaborazione (Kämpf *et al.* [C-12]). Successivamente la compagnia KAEMCO ha sviluppato una interfaccia grafica per il *software*, divenendo ad essere CitySim Pro. Il programma è rivolto ad urbanisti energetici e committenti pubblici o privati.

Innanzitutto, è necessario importare i dati climatici e la naturale morfologia della superficie orizzontale dell'area di interesse, rispettivamente nelle estensioni CLI e HOR. Tale operazione può avvenire mediante l'utilizzo del *database* Meteororm, che, in funzione della località prescelta, fornirà i dati climatici virtuali su base oraria, riferendosi a serie storiche con un'ampiezza ventennale. L'aggettivo "virtuale" contraddistingue la condizione secondo cui i valori meteorologici non si riconducano ad un anno ben preciso, ma saranno il frutto dell'interpolazione all'interno di un arco di tempo predefinito. Successivamente a ciò si passerà alla modellazione geometrica del contesto urbano, eseguibile sia sul programma SketchUp sia sul *software* Rhinoceros, che poi verrà importata nell'ambiente di lavoro CitySim. In questo contesto, selezionato un singolo edificio o un gruppo di

questi, ritenuti simili, si dovranno definire le caratteristiche generali, quali: la temperatura massima e minima all'interno degli ambienti, il tasso di ricambio orario dell'aria esausta, l'irradianza media superficiale con le aperture oscurate e il fattore di ombreggiamento delle chiusure oscuranti. Successivamente, devono essere inserite le proprietà termo-fisiche dei componenti opachi e vetrati. Per questi ultimi gli unici parametri registrabili riguardano la trasmittanza delle finestre, il fattore solare e la frazione apribile, dato inseribile attraverso un numero razionale, con riferimento all'orientamento di facciata. Non è possibile inserire informazioni riguardo: il materiale e la superficie del telaio, la presenza o meno di vetri multipli, della tipologia di gas installati, ecc. Per quanto concerne i carichi termici endogeni, è possibile inserire il profilo occupazionale, accompagnando questo dato, al numero di persone e all'attività metabolica svolta. È possibile inserire informazioni riguardo al carico termico dovuto ad apparecchi elettrici, elettronici o luminosi, imponendo la potenza dell'oggetto, la frazione convettiva e radiativa. In maniera facilitata si potranno inserire anche le informazioni impiantistiche, riguardanti: il volume, la capacità termica dell'accumulatore e le temperature di ingresso e di uscita del fluido circolante, i pannelli fotovoltaici e solari (tipologia installata e relativa efficienza), per ottenere in output una stima sulla produzione delle sopracitate fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda il modello termico questo è comparabile ad un sistema elettrico costituito da resistenze e condensatori. Pertanto, tutti gli strati dei componenti di involucro saranno disarticolati in: nodi a cui sarà associata un valore di temperatura, resistenze e l'inerzia termica sarà tenuta in conto dalla conduttanza. Il modello radiativo, per calcolare la radiazione solare, valutare l'illuminazione naturale interna e l'irraggiamento ad alta lunghezza d'onda, invece, verrà risolto adottando il sistema *Simplified Radiosity Algorithm* di Robinson e Stone [C-24]. Tale calcolo si basa sulla discretizzazione di entrambi gli emisferi, attribuendo ad ognuno di questi un angolo solido conosciuto.

Dopo aver eseguito la simulazione, sicuramente, una delle potenzialità di CitySim Pro risulta essere la vastità di risultati grafici, su diverse scale di colore, indicante l'intensità del parametro selezionato, ottenibili in automatico dal *software*. Numerose sono le simulazioni svolte attraverso CitySim, fra queste si riporta quella eseguita a Torino, nell'area circoscritta dagli assi stradali: Corso Duca degli Abruzzi, Corso Mediterraneo e via S. Caboto. In conclusione, CitySim, visti i gradi di libertà riguardanti i dati di input, risulta essere un *software* volto soprattutto a contesti cittadini di ampia scala e non di quartiere, laddove il livello di dettaglio delle informazioni reperibili è inversamente proporzionale al cerchio di azione adottato.

3.1.1. Dati di Input

3.1.1.1. Involucro

Tab. 1 - INPUT componente opaco, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.1.1	Conducibilità termica
1.1.1.2	Densità
1.1.1.3	Calore specifico
1.1.1.4	Coefficiente di assorbimento solare

1.1.1.5	Emissività ad alta lunghezza d'onda
1.1.1.6	Energia grigia
1.1.1.7	Carbonio consumato

(1.1.1.1): Rappresenta la capacità di un *i-esimo* materiale a trasmettere calore;

(1.1.1.2): Espressa come il rapporto fra la massa e il volume dell'*i-esimo* materiale;

(1.1.1.3): Quantità di energia scambiata da 1 grammo di sostanza per aumentare la sua temperatura di 1°C;

(1.1.1.4): Capacità di un materiale di assorbire l'energia di una radiazione elettromagnetica mediata sullo spettro solare;

(1.1.1.5): Rappresenta l'energia irradiata dal materiale rispetto a quella di un corpo nero, alla stessa temperatura;

(1.1.1.6): La somma dell'energia consumata in tutti i processi per la produzione del componente opaco;

(1.1.1.7): La somma dell'anidride carbonica emessa in atmosfera, prodotta da tutti i processi atti alla produzione del componente opaco.

Per la costituzione di un pacchetto stratigrafico si dovrà richiamare il codice identificativo di ciascun materiale, associando lo spessore dell'*i-esimo* strato e il valore di riflettanza a bassa lunghezza d'onda dell'intero componente. Nel modello si potrà associare un unico *template* per ognuna delle quattro componenti: parete, soffitto, pavimento e il suolo. Pertanto, non sarà possibile, ad esempio, attribuire ad una chiusura verticale una stratigrafia diversa dalle altre tre.

Tuttavia, si può decidere di prendere in considerazione la evotraspirazione dell'erba, aggiungendo ai parametri del suolo il fattore *k* che rappresenta il tasso di umidità della superficie, la quale può variare da 0,1-0,2 per un suolo arido fino a 0,6-0,8 per uno umido.

Tab. 2 - INPUT componente serramento, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.1.8	Frazione vetrata (N, S, E, O, copertura)
1.1.1.9	Trasmittanza termica
1.1.1.10	Fattore solare della finestra
1.1.1.11	Frazione apribile

(1.1.1.8): Percentuale, con riferimento ai punti cardinali o alla superficie di copertura, vetrata rispetto alla porzione opaca;

(1.1.1.9): Quantità di potenza scambiata dal serramento;

(1.1.1.10): Frazione di energia termica entrante in ambiente rispetto a quella incidente sulla superficie vetrata, riferibile alla finestra;

(1.1.1.11): Frazione apribile del serramento.

Come riportato nella tabella superiore, i dati di input inseribili per quanto concerne i componenti vetrati risultano piuttosto limitati. Non è possibile inserire differenti tipi di vetro, in funzione delle varie facciate, così come non è possibile immettere nessuna informazione riguardo il telaio del serramento. Tali input implicano che i sistemi vetrati verranno distribuiti uniformemente lungo la facciata a partire dal baricentro di questa. Intuitivamente quindi divengono ad essere giocoforza delle vere e proprie finestre a nastro.

3.1.1.2. Carichi Termici Endogeni

Tab. 3 - INPUT carichi termici endogeni, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.2.1	Numero di persone
1.1.2.2	Inverso della densità di occupazione
1.1.2.3	Apporto termico sensibile
1.1.2.4	Quota radiativa
1.1.2.5	Apporto termico latente
1.1.2.6	Profilo temporale occupanti
1.1.2.7	Potenza media installata per dispositivo elettrico
1.1.2.8	Frazione convettiva degli apporti termici
1.1.2.9	Frazione radiativa degli apporti termici
1.1.2.10	Profilo orario e giornaliero di utilizzo

(1.1.2.1): Numero di persone all'interno della zona termica;

(1.1.2.2): Numero di persone per metro quadrato di superficie;

(1.1.2.3): Apporto termico sensibile dovuto agli occupanti, in funzione dell'attività metabolica svolta;

(1.1.2.4): Quota radiativa dovuta agli occupanti;

(1.1.2.5): Apporto termico latente dovuto agli occupanti, in funzione dell'attività metabolica svolta;

(1.1.2.6): Profilo orario durante il quale si verifica parzialmente o totalmente l'occupazione della zona termica;

(1.1.2.7): Potenza media installata dal dispositivo elettronico;

(1.1.2.8): Frazione convettiva degli apporti termici dovuti ai dispositivi elettrici, che comparirà subito a bilancio;

(1.1.2.9): Frazione radiativa degli apporti termici dovuti ai dispositivi elettrici, che comparirà a bilancio in maniera ritardata e smorzata;

(1.1.2.10): Profilo orario medio per tutto l'arco della giornata in cui si verifica il totale o parziale utilizzo dei dispositivi elettronici.

Si costruiscono ora per ora i giorni con la diversa percentuale di occupanti presenti in quel momento all'interno della zona termica. Successivamente, si costruisce il profilo annuale, associando il codice identificativo a ciascuna delle ventiquattrore.

3.1.1.3. Impianto

Tab. 4 - INPUT accumulatore per riscaldamento, raffrescamento o ACS, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.1	Calore specifico
1.1.3.2	Volume
1.1.3.3	Perdite energetiche dell'accumulatore
1.1.3.4	Densità fluido
1.1.3.5	Temperatura di ritorno del fluido
1.1.3.6	Temperatura in mandata del fluido
1.1.3.7	Temperatura critica (*)
1.1.3.8	Temperatura in ingresso al <i>tank</i> (**)

(*) Parametro inseribile solo per accumulatori allacciati ad un impianto di riscaldamento o ACS.

(**) Parametro inseribile solo per accumulatori allacciati ad un impianto di ACS.

(1.1.3.1): Quantità di energia scambiata da 1 grammo di fluido per aumentare la sua temperatura di 1°C;

(1.1.3.2): Volume del serbatoio di accumulo, espresso in m³;

(1.1.3.3): Perdite termiche disperse dal serbatoio di accumulo;

(1.1.3.4): Espressa come il rapporto fra la massa e il volume del fluido circolante;

(1.1.3.5): Temperatura di ritorno del fluido;

(1.1.3.6): Temperatura in mandata del fluido;

(1.1.3.7): Temperatura critica del fluido oltre la quale c'è il rischio di un cambiamento di fase;

(1.1.3.8): Temperatura in ingresso al serbatoio di ACS.

Tab. 5 - INPUT caldaia, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.9	Massima potenza termica erogabile
1.1.3.10	Efficienza termica
1.1.3.11	Combustibile utilizzato dal generatore

(1.1.3.9): Massima potenza termica erogabile dalla caldaia;

(1.1.3.10): Efficienza della macchina termica;

(1.1.3.11): Combustibile immesso nel generatore.

Tab. 6 - INPUT pompa di calore per riscaldamento o raffrescamento, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.12	Potenza massima erogabile
1.1.3.13	Efficienza tecnica
1.1.3.14	Temperatura <i>target</i> della sorgente
1.1.3.15	Minimo approfondimento della sorgente
1.1.3.16	Massimo approfondimento della sorgente
1.1.3.17	Diffusività termica del suolo

(1.1.3.12): Massima potenza termica erogabile dalla pompa di calore;

(1.1.3.13): Efficienza della macchina termica;

(1.1.3.14): Temperatura della sorgente;

(1.1.3.15): Minimo approfondimento della sorgente al di sotto del piano campagna;

(1.1.3.16): Massimo approfondimento della sorgente al di sotto del piano campagna;

(1.1.3.17): Espressa come il rapporto fra la conducibilità termica e il prodotto fra la densità e la capacità termica.

Tab. 7 - INPUT sistema di cogenerazione, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.18	Massima potenza termica erogabile
1.1.3.19	Efficienza termica
1.1.3.20	Efficienza elettrica
1.1.3.21	Coefficiente minimo di carico parziale

(1.1.3.18): Massima potenza termica erogabile dal sistema di cogenerazione;

(1.1.3.19): Efficienza termica;

(1.1.3.20): Efficienza elettrica;

(1.1.3.21): Coefficiente minimo di carico parziale, sotto cui il sistema di cogenerazione non si aziona.

Si può considerare anche la situazione in cui si abbia un sistema combinato composto da una pompa di calore e un sistema di cogenerazione. Per definire questa possibilità bisognerà scrivere un codice in XML contenente gli input delle due tabelle soprariportate.

Tab. 8 - INPUT fotovoltaico, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.22	Potenza nominale del pannello fotovoltaico
1.1.3.23	Tensione d'esercizio ottimale
1.1.3.24	Comportamento termico con il circuito aperto
1.1.3.25	Temperatura dell'efficienza relativa
1.1.3.26	Temperatura di riferimento per l'utilizzo
1.1.3.27	Area delle celle

(1.1.3.22): Potenza nominale del pannello fotovoltaico;

(1.1.3.23): Tensione d'esercizio ottimale;

(1.1.3.24): Comportamento termico con il circuito aperto;

(1.1.3.25): Temperatura dell'efficienza relativa;

(1.1.3.26): Temperatura di riferimento per l'utilizzo;

(1.1.3.27): Area delle celle fotovoltaiche.

Tab. 9 - INPUT pannello solare, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.28	Efficienza pannello solare
1.1.3.29	Comportamento termico con il circuito aperto
1.1.3.30	Dipendenza dalla temperatura del coefficiente di perdita di calore
1.1.3.31	Area del collettore

(1.1.3.28): Efficienza del pannello solare;

(1.1.3.29): Comportamento termico con il circuito aperto;

(1.1.3.30): Dipendenza dalla temperatura del coefficiente di perdita di calore;

(1.1.3.31): Area del collettore solare.

Tab. 10 - INPUT turbina eolica, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.32	Potenza del generatore
1.1.3.33	<i>Cut-in speed</i>
1.1.3.34	<i>Cut-out speed</i>
1.1.3.35	Altezza del mozzo dal suolo
1.1.3.36	Diametro del rotore

1.1.3.37	Vita di progetto
----------	------------------

(1.1.3.32): Potenza della turbina eolica alla velocità del vento nominale;

(1.1.3.33): Minima velocità del vento ove le pale della turbina iniziano a ruotare;

(1.1.3.34): Velocità del vento ove la rotazione delle pale della turbina vengono disattivate per evitare eventuali danneggiamenti;

(1.1.3.35): Altezza di installazione del mozzo della turbina eolica;

(1.1.3.36): Diametro del rotore;

(1.1.3.37): Vita media di progetto della turbina eolica, solitamente compresa fra 25 e 30 anni. Ad ogni anno sarà associato un valore di produzione annua, in funzione della velocità media del vento.

Tab. 11 - INPUT teleriscaldamento, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.3.38	Temperatura di mandata da centrale di quartiere
1.1.3.39	Efficienza della pompa di circolazione della rete
1.1.3.40	Rapporto fra le perdite di carico locali e di attrito
1.1.3.41	Approfondimento della tubazione di mandata
1.1.3.42	Approfondimento della tubazione di ritorno
1.1.3.43	Distanza orizzontale fra due tubazioni parallele
1.1.3.44	Conduttività termica del terreno
1.1.3.45	Temperatura media annuale del terreno
1.1.3.46	Lunghezza <i>i-esimo</i> tratto di tubazione
1.1.3.47	Spessore <i>i-esimo</i> tratto di tubazione
1.1.3.48	Conducibilità termica <i>i-esimo</i> strato isolante della tubazione

(1.1.3.38): Temperatura di mandata da centrale di quartiere, uguale per tutti gli edifici allacciati;

(1.1.3.39): Efficienza della pompa di circolazione della rete;

(1.1.3.40): Rapporto fra le perdite di carico locali e di attrito della rete;

(1.1.3.41): Approfondimento della tubazione di mandata rispetto al piano campagna in distribuzione primaria;

(1.1.3.42): Approfondimento della tubazione di ritorno rispetto al piano campagna in distribuzione primaria;

(1.1.3.43): Distanza orizzontale fra due tubazioni parallele;

(1.1.3.44): Conduttività termica del terreno (argilla, sabbia, ghiaia);

(1.1.3.45): Temperatura media annuale terreno;

(1.1.3.46): Lunghezza *i-esimo* tratto di tubazione di mandata o ritorno;

(1.1.3.47): Spessore *i-esimo* tratto di tubazione di mandata o ritorno;

(1.1.3.48): Conducibilità termica *i-esimo* strato isolante della tubazione di mandata o ritorno.

3.1.1.4. Edificio

Tab. 12 - INPUT edificio, CitySim Pro.

cod.	Quantità
1.1.4.1	Tasso di infiltrazione
1.1.4.2	Minima temperatura ammissibile
1.1.4.3	Massima temperatura ammissibile
1.1.4.4	Fattore correttivo del dispositivo oscurante
1.1.4.5	Irradianza con componenti vetrati oscurati

(1.1.4.1): Tasso di aria per infiltrazione;

(1.1.4.2): Minima temperatura consentita all'interno dell'edificio, convenzionalmente posta pari a 20°C;

(1.1.4.3): Massima temperatura consentita all'interno dell'edificio, convenzionalmente posta pari a 26°C;

(1.1.4.4): Rappresenta la capacità oscurante dei dispositivi che proteggono dalla radiazione solare incidente rapportata con il loro non utilizzo;

(1.1.4.5): Rappresenta l'irradianza solare entrante all'interno dell'ambiente quando i serramenti sono oscurati.

3.1.2. Metodologia di Calcolo

3.1.2.1. Modello Termico

Per quanto riguarda il modello termico (Kämpf *et al.* [C-14], Emmanuel e Kämpf [C-12]) questo è comparabile ad un sistema elettrico costituito da resistenze e condensatori. In questo caso, una parete conducente può essere rappresentata da uno o più nodi di temperatura, laddove il flusso termico fra la parete e l'aria esterna viene raffigurato da una corrente elettrica circolante attraverso un resistore compreso fra due nodi. L'inerzia della zona termica sarà tenuta in considerazione da due capacità termiche, ove la prima considera i componenti massivi (pareti, pavimenti, soffitti), mentre la seconda è caratterizzata da materiali leggeri (volume d'aria del sistema termodinamico interno e componenti di arredo; Kämpf [C-18]).

Il nodo rappresentate la temperatura esterna T_{ext} è collegato a quello relativo alla temperatura superficiale esterna T_{os} , su cui agirà un flusso di calore figlio della radiazione incidente a bassa ed alta lunghezza d'onda, attraverso una resistenza, che rappresenta la resistenza liminare esterna, il cui valore varia in funzione della velocità e della direzione del vento. A T_{os} , è direttamente connesso col nodo di parete T_w , collegato alla relativa capacità termica. Ad esso, a sua volta, si congiunge quello della superficie interna del componente di involucro T_{is} , su cui agirà un flusso solare a bassa lunghezza d'onda e un flusso ad alta lunghezza d'onda figlio della quota radiativa proveniente dai carichi endogeni. Il nodo rappresentante la temperatura superficiale interna T_a , invece, sarà raggiunto

da un flusso termico, dato dalla somma di: una quota convettiva causata dall'assorbimento della radiazione a bassa lunghezza d'onda, dalla frazione convettiva dei carichi endogeni e dal contributo scambiato dai terminali di impianto. Infine, a T_a potrebbe essere connessa al nodo esterno una resistenza variabile dovuta ad infiltrazioni e portate d'aria di ventilazione.

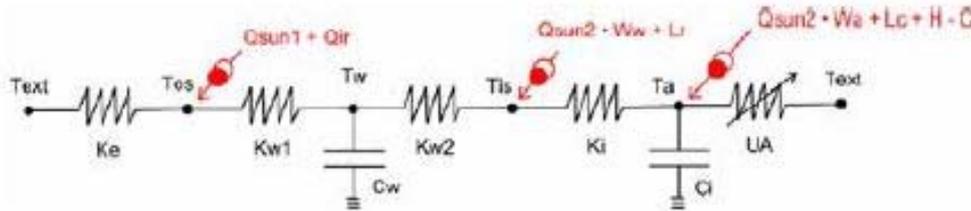


Fig. 7 – Zona termica CitySim Pro (immagine estratta da Kämpf et al. [C-14]).

Per la rappresentazione di due zone termiche in adiacenza fra di loro (si pensi ad esempio agli appartamenti di uno stesso condominio), il collegamento termico avverrà mettendo in comunicazione i due sistemi attraverso il nodo di temperatura ambiente T_a . In questo ramo si presenterà una resistenza e una capacità termica, per tenere conto dello scambio energetico fra zone e dell'inerzia del componente opaco delimitante.

3.1.2.2. Modello Impianto

L'interazione edificio/impianto, trattata in maniera dinamica e iterativa, si rifà alla presenza di un sistema analitico basato su equazioni di regressione, introdotte per stimare la curva delle prestazioni del generatore considerato. I generatori, considerabili all'interno del software CitySim Pro, sono quelli soprariportati, che ricordiamo essere: l'accumulatore di calore, il boiler, la pompa di calore, il teleriscaldamento, la cogenerazione, la turbina eolica, il fotovoltaico e il solare-termico. Il modello HVAC è basato sul calcolo psicrometrico dell'aria umida, considerando una miscelazione perfetta dei due gas: aria e vapore. Le equazioni di bilancio di massa ricavate sono tre: la prima prende in considerazione la possibile condensazione all'interno dello scambiatore di calore, la seconda prevede la conservazione della portata entrante e di quella uscente, non permettendo quindi perdite di massa all'interno dei condotti e, la terza, infine, stima la quota umida dovuta alle persone presenti all'interno della zona termica (Kämpf [C-18]). Questa analisi, pertanto, calcola lo stato psicrometrico dell'aria (temperatura, umidità ed entalpia) ad ogni stadio del suo utilizzo.

3.1.2.3. Modello Radiativo

Di concerto con Kämpf et al. [C-14], definire la radiazione a bassa lunghezza d'onda, incidente sulle superfici delimitanti la scena urbana, CitySim Pro si rifà all'utilizzo del cosiddetto *Simplified Radiosity Algorithm* di Robinson e Stone. La volta celeste viene suddivisa in 145 parti di concerto col modello di Tregenza, ciascuna delle quali sottende un certo angolo solido e possiede un certo valore di luminosità, calcolata nel centroide col modello di Perez. Così, definita la posizione fra il piano ricevente e l'*i-esima* parte di cielo si ottiene l'angolo di incidenza che, accoppiato ad un fattore proporzionale, renderà possibile il calcolo dell'irradianza diretta del cielo. L'irradianza diretta del fascio luminoso potrà essere derivata dall'irradianza normale del raggio luminoso, collimante su una superficie con un certo angolo di incidenza e parte di questa energia sarà visibile direttamente dal sole. Pertanto, il contributo dell'irradianza diretta dal cielo e del fascio di luce contribuisce alla luminosità di una certa superficie che a sua volta influenza l'irradianza incidente di altre superfici a lei visibili. In quest'ultima formulazione, comparirà la frazione che è ostacolata dalle superfici urbane

riflettenti e la radianza della superficie che domina l'ostruzione. Il procedimento soprariportato può essere utilizzato anche per calcolare l'irradianza ad alta lunghezza d'onda (Kämpf *et al.* [C-14], Emmanuel e Kämpf [C-12]).

3.1.2.4. Modello Comportamentale

La caratteristica principale del modello comportamentale, che fornisce una risposta probabilistica ad eventi stocastici, è legata alla presenza degli occupanti all'interno della zona termica, i quali certamente influenzeranno l'utilizzo e l'intensità delle sorgenti endogene. Il calcolo si basa sul fatto che il comportamento di ogni persona è indipendente dagli eventi e la loro azione futura dipende da quella passata. Si costruiranno quindi i modelli giornalieri di presenza e/o assenza e sulla base di questi *template* si costruirà il profilo annuale. Inoltre, potrà essere generato il cosiddetto "profilo delle attività" su base giornaliera, ove verrà identificato il possibile utilizzo di un certo dispositivo elettronico. In altri termini, se un occupante ha la possibilità di adoperare tre diversi dispositivi con riferimento ad un certo intervallo di tempo t , a cui saranno associati un certo consumo energetico e un certo utilizzo parziale o totale per quel t , l'algoritmo genererà un numero casuale, il cui minimo è 0 ed il massimo è 1, compreso fra quelle tre frazioni di utilizzo. Alla probabilità sorteggiata sarà associato quindi il carico energetico del dispositivo, il cui valore casuale risulta essere a lui più prossimo, per quel t .

3.1.3. Dati di Output

I risultati riportati di seguito, la cui consultazione può avvenire sia su diverse scale di colore, indicante l'intensità del parametro selezionato, sia su base numerica, possono essere analizzati rispetto a diversi intervalli di tempo: orario, giornaliero, mensile o annuo. Può essere modulato solamente il valore massimo e minimo dell'intensità da visualizzare, la cui scala è costituita da cinque valori a cui corrispondono cinque tonalità differenti (se non si modifica il massimo e il minimo: 0 - 0,25 - 0,5 - 0,75 - 1). Fra gli output selezionabili, sicuramente quelli di maggiore interesse risultano: i valori di temperatura superficiale dei vari componenti di involucro, la domanda energetica, espressa in kWh/m³, di riscaldamento e raffrescamento relativa a ciascun manufatto, il valore di temperatura *indoor* e, come precedentemente enunciato, una stima sulla produzione energetica derivante da pannelli solari e/o fotovoltaici. Tutti i dati numerici possono essere esportati e consultati generando i file di estensione TSV, gestibile con Excel.

Tab. 13 - OUTPUT CitySim Pro.

cod.	Tipo di Dato	Quantità
1.3.1	Fabbisogno Energetico	Fabbisogno energetico dovuto al riscaldamento
1.3.2		Fabbisogno energetico dovuto al raffrescamento
1.3.3	Produzione Rinnovabile	Energia prodotta da fotovoltaico
1.3.4		Energia prodotta da solare termico
1.3.5	Temperature	Temperatura superficiale
1.3.6		Temperatura <i>indoor</i>
1.3.7	Apporto Radiativo	Radiazione a bassa lunghezza d'onda
1.3.8		Radiazione ad alta lunghezza d'onda

1.3.9	Fattore di Vista	Fattore di vista della volta celeste
1.3.10	Consumo elettrico	Consumo elettrico (*)
1.3.11	Consumo Combustibile	Consumo di combustibile (*)
1.3.12	Potenza generatore	Potenza della macchina termica (*)
1.3.13	Energia non rinnovabile	Energia non rinnovabile annuale ambiente urbano (*)
1.3.14	<i>GWP</i>	Potenziale di riscaldamento globale ambiente urbano (*)

(*) I seguenti parametri sono consultabili solamente in formato numerico.

- (1.3.1): Fabbisogno di energia dovuto al riscaldamento;
- (1.3.2): Fabbisogno di energia dovuto al raffrescamento;
- (1.3.3): Quota di energia rinnovabile prodotta da un impianto fotovoltaico;
- (1.3.4): Quota di energia rinnovabile prodotta da un impianto solare termico;
- (1.3.5): Temperatura superficiale componenti di involucro, in funzione dell'esposizione;
- (1.3.6): Temperatura dell'aria interna alla zona termica;
- (1.3.7): Quota radiativa a bassa lunghezza d'onda, in funzione dell'esposizione;
- (1.3.8): Quota radiativa ad alta lunghezza d'onda, in funzione dell'esposizione;
- (1.3.9): Fattore di vista della volta celeste, convenzionalmente se 0,5 per facciate verticali e 1 per superfici orizzontali;
- (1.3.10): Consumo elettrico orario edificio;
- (1.3.11): Energia sprigionata quando una certa quantità di combustibile viene bruciata;
- (1.3.12): Potenza oraria del generatore dell'impianto di riscaldamento;
- (1.3.13): Energia non rinnovabile annua del completo ambiente urbano modellato;
- (1.3.14): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera del completo ambiente urbano modellato.

3.2. UMI

UMI (*Urban Modeling Interface*) è un ambiente di modellazione, sviluppato da *Sustainable Design Lab* del MIT, con l'obiettivo di valutare quale risulta essere l'impatto energetico-ambientale di una realtà urbana, sia a livello di quartiere, sia a livello di città. Tale *software*, rivolto a: ricercatori, progettisti, architetti e urbanisti, si presenta come un *plug-in* del modellatore tridimensionale Rhinoceros, installabile nella sua versione più recente: la 6.0.

Il programma UMI permette di svolgere valutazioni concernenti: il quantitativo di energia consumata da ogni singolo edificio, il comfort abitativo negli spazi pubblici cittadini, l'illuminazione naturale giornaliera collidente su ogni manufatto e l'impatto ambientale, in termini chilogrammi di CO₂ emesse, determinato dalla sostenibilità e dalla qualità delle infrastrutture, presenti nell'area di interesse. Come spiegato nei paragrafi precedenti, il modello energetico è composto da sub-modelli, gestiti da motori di calcolo differenti. Con riferimento a ciò, il motore di calcolo energetico è EnergyPlus. Invece, per

le simulazioni illuminotecniche si fa riferimento a Daysim e codici in linguaggio Python per valutazioni sulla mobilità urbana.

La simulazione della realtà cittadina comprende la modellazione geometrica: degli edifici presenti con le varie destinazioni d'uso, delle strade, dei parchi e delle entità di rilevante altezza che proiettano la loro ombra nelle aree a loro limitrofe. Successivamente a questa, si procede, attraverso l'apposita interfaccia UMI, all'importazione dei dati climatici in formato EPW, provenienti da EnergyPlus, che potranno essere convertiti attraverso il modello UWG (*Urban Weather Generator*) in dati microclimatici urbani, i quali terranno conto delle modifiche dovute all'azione antropica sull'ambiente cittadino. Verranno definiti diversi *template*, contenenti le informazioni riguardo: i diversi tipi di materiali da costruzione utilizzati, le proprietà fisiche ad essi associate, i profili temporali e i carichi termici interni, che poi verranno attribuiti a singoli o gruppi di edifici ritenuti simili. È definibile, inoltre, anche il cosiddetto *amenities template*, per gestire i profili di mobilità urbana. Infine, UMI, nella sua ultima versione, introduce un *tool*, denominato TRACI, per valutare, in maniera semplificata, il ciclo di vita dei materiali da costruzione attraverso il *Life Cycle Assessment* (LCA) per definire qual è l'impatto ambientale degli edifici durante la loro esistenza.

La visualizzazione grafica dei risultati generata in automatico dal *software*, i cui dati numerici sono esportabili in file di estensione CSV, aiuta la comprensione dell'analisi svolta, individuando per esempio quali sono gli edifici più energivori o al contrario quelli più performanti da un punto di vista energetico. In tal senso, il programma UMI fornisce le seguenti rappresentazioni, con diverse scale di colore: il consumo energetico su base annua, espresso in kWh al metro quadrato, per ogni singolo edificio; la valutazione della mobilità; le analisi sulla disponibilità di luce naturale e il consumo di combustibile legato al LCA dei materiali da costruzione, espresso in kWh, consumato durante il ciclo di vita dell'edificio

3.2.1. Dati di Input

3.2.1.1. Involucro

Tab. 14 – INPUT Materiale Opaco, UMI.

cod.	Quantità
2.1.1.1	Conducibilità termica
2.1.1.2	Densità
2.1.1.3	Scabrezza
2.1.1.4	Calore specifico
2.1.1.5	Emittanza termica
2.1.1.6	Coefficiente di assorbimento solare
2.1.1.7	Coefficiente di assorbimento visibile
2.1.1.8	Resistenza alla diffusione dell'umidità
2.1.1.9	Energia consumata dovuta alla produzione e lavorazione del materiale
2.1.1.10	Carbonio consumato
2.1.1.11	Costo

2.1.1.12	Tasso di sostituzione
2.1.1.13	Intervallo di sostituzione
2.1.1.14	Carbonio emesso per il trasporto
2.1.1.15	Distanza di trasporto
2.1.1.16	Energia utilizzata per il trasporto

(2.1.1.1): Rappresenta la capacità di un *i-esimo* materiale a trasmettere calore;

(2.1.1.2): Espressa come il rapporto fra la massa e il volume dell'*i-esimo* materiale;

(2.1.1.3): Definisce la rugosità di un materiale, influenza il coefficiente liminare esterno convettivo;

(2.1.1.4): Quantità di energia scambiata da 1 grammo di sostanza per aumentare la sua temperatura di 1°C;

(2.1.1.5): Potenza emessa per unità di superficie;

(2.1.1.6): Porzione della radiazione solare incidente assorbibile dal materiale;

(2.1.1.7): Porzione della radiazione, nel campo del visibile (0,37-0,78 micron), assorbibile dal materiale;

(2.1.1.8): Rappresenta quanto la resistenza alla diffusione del vapore d'acqua di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e di temperatura;

(2.1.1.9): La somma dell'energia consumata nei processi di lavorazione e produzione del materiale;

(2.1.1.10): La somma dell'anidride carbonica emessa in atmosfera, prodotta dai processi di produzione e lavorazione del componente opaco;

(2.1.1.11): Costo al metro quadro;

(2.1.1.12): Tasso di sostituzione con riferimento all'anno;

(2.1.1.13): Arco temporale, espresso in anni, dopo cui si dovrà sostituire il componente opaco;

(2.1.1.14): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera durante la fase di trasporto;

(2.1.1.15): Distanza fra luogo di produzione e di installazione;

(2.1.1.16): Energia consumata durante la fase di trasporto.

Tab. 15 - INPUT *i-esimo* strato opaco, UMI.

cod.	Quantità
2.1.1.17	Spessore
2.1.1.18	Carbonio dovuto all'assemblaggio
2.1.1.19	Energia consumata per l'assemblaggio
2.1.1.20	Carbonio dovuto alla decostruzione
2.1.1.21	Energia consumata per la decostruzione
2.1.1.22	Costo

- (2.1.1.17): Spessore dello strato *i-esimo* facente parte di un determinato pacchetto stratigrafico;
- (2.1.1.18): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera durante la fase di assemblaggio per metro quadrato di componente di involucro;
- (2.1.1.19): Energia consumata durante la fase di assemblaggio per metro quadrato di componente di involucro;
- (2.1.1.20): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera durante la fase di decostruzione per metro quadrato di componente di involucro;
- (2.1.1.21): Energia consumata durante la fase di decostruzione per metro quadrato di componente di involucro;
- (2.1.1.22): Costo al metro cubo del componente di involucro.

Tab. 16 - INPUT Componente Trasparente, UMI.

cod.	Quantità
2.1.1.23	Conducibilità termica
2.1.1.24	Densità
2.1.1.25	Coefficiente di trasmissione solare
2.1.1.26	Coefficiente di riflessione solare frontale
2.1.1.27	Coefficiente di riflessione solare posteriore
2.1.1.28	Coefficiente di trasmissione visibile
2.1.1.29	Coefficiente di riflessione visibile frontale
2.1.1.30	Coefficiente di riflessione visibile posteriore
2.1.1.31	Coefficiente di trasmissione infrarossa
2.1.1.32	Emissività frontale infrarossa
2.1.1.33	Emissività posteriore infrarossa
2.1.1.34	Fattore di sporcizia
2.1.1.35	Energia consumata durante le fasi di produzione e lavorazione del materiale
2.1.1.36	Carbonio consumato
2.1.1.37	Costo
2.1.1.38	Tasso di sostituzione
2.1.1.39	Intervallo di sostituzione
2.1.1.40	Carbonio emesso per il trasporto
2.1.1.41	Distanza di trasporto
2.1.1.42	Energia utilizzata per il trasporto

- (2.1.1.23): Rappresenta la capacità di un *i-esimo* materiale a trasmettere calore;

- (2.1.1.24): Espressa come il rapporto fra la massa e il volume dell'*i-esimo* materiale;
- (2.1.1.25): Quota trasmessa e mediata rispetto allo spettro solare;
- (2.1.1.26): Quota, mediata sullo spettro solare, riflessa dalla superficie esterna del componente vetrato;
- (2.1.1.27): Quota, mediata sullo spettro solare, riflessa dalla superficie interna del componente vetrato;
- (2.1.1.28): Quota trasmessa, mediata sullo spettro solare e ponderata dalla risposta dell'occhio umano;
- (2.1.1.29): Quota, mediata sullo spettro visibile, riflessa dalla superficie esterna del componente vetrato;
- (2.1.1.30): Quota, mediata sullo spettro visibile, riflessa dalla superficie interna del componente vetrato;
- (2.1.1.31): Quota trasmessa ad alta lunghezza d'onda;
- (2.1.1.32): Energia, ad alta lunghezza d'onda, irradiata dalla superficie esterna del componente vetrato, rispetto a quella di un corpo nero alla sua stessa temperatura;
- (2.1.1.33): Energia, ad alta lunghezza d'onda, irradiata dalla superficie interna del componente vetrato, rispetto a quella di un corpo nero alla sua stessa temperatura;
- (2.1.1.34): Fattore correttivo che tiene conto del tasso di sporcizia presente sulla superficie, è funzione del tipo di ambiente in cui è installato (industriale o non industriale) e dell'inclinazione del vetro;
- (2.1.1.35): La somma dell'energia consumata durante i processi di produzione e lavorazione del componente vetrato;
- (2.1.1.36): La somma dell'anidride carbonica emessa in atmosfera, prodotta dalle fasi di produzione e lavorazione del componente vetrato;
- (2.1.1.37): Costo al metro quadro;
- (2.1.1.38): Tasso di sostituzione con riferimento all'anno;
- (2.1.1.39): Arco temporale, espresso in anni, dopo cui si dovrà sostituire il componente vetrato;
- (2.1.1.40): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera durante la fase di trasporto;
- (2.1.1.41): Distanza fra luogo di produzione e di installazione;
- (2.1.1.42): Energia consumata nella fase di trasporto.

Tab. 17 - INPUT Serramento, UMI.

cod.	Quantità
2.1.1.43	Spessore componente vetrato
2.1.1.44	Tipo di gas presente nell'intercapedine
2.1.1.45	Carbonio dovuto all'assemblaggio
2.1.1.46	Energia consumata per l'assemblaggio
2.1.1.47	Carbonio dovuto alla decostruzione

2.1.1.48	Energia consumata per la decostruzione
2.1.1.49	Costo

(2.1.1.43): Spessore strato *i-esimo* del componente vetrato o dell'intercapedine;

(2.1.1.44): In assenza di vetro singolo si dovrà compilare questa voce inerendo il tipo di gas inerte confinato dall'intercapedine trasparente;

(2.1.1.45): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera durante la fase di assemblaggio per metro quadrato di serramento;

(2.1.1.46): Energia consumata durante la fase di assemblaggio per metro quadrato di serramento;

(2.1.1.47): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera durante la fase di decostruzione per metro quadrato di serramento;

(2.1.1.48): Energia consumata durante la fase di decostruzione per metro quadrato di serramento;

(2.1.1.49): Costo al metro cubo del serramento;

3.2.1.2. Carichi Termici Endogeni

Tab. 18 - INPUT carichi termici endogeni, UMI.

cod.	Quantità
2.1.2.1	Persone (Si/No)
2.1.2.2	Densità occupazione
2.1.2.3	Profilo occupazione
2.1.2.4	Dispositivi elettrici (Si/No)
2.1.2.5	Densità di potenza installata da dispositivi elettrici
2.1.2.6	Profilo di utilizzo dispositivi elettrici
2.1.2.7	Illuminazione artificiale (Si/No)
2.1.2.8	Densità di potenza installata da apparecchi illuminanti
2.1.2.9	Profilo di utilizzo dispositivi elettrici
2.1.2.10	Modulazione dell'intensità luminosa
2.1.2.11	<i>Target</i> di illuminamento

(2.1.2.1): Presenza o meno di persone all'interno della zona termica;

(2.1.2.2): Numero di persone per metro quadrato di superficie;

(2.1.2.3): Profilo orario durante il quale si verifica parzialmente o totalmente l'occupazione della zona termica;

(2.1.2.4): Presenza o meno di dispositivi elettrici, installati all'interno della zona termica;

(2.1.2.5): Densità di potenza installata da dispositivi elettrici per metro quadrato di superficie;

(2.1.2.6): Profilo orario durante il quale si verifica parzialmente o totalmente l'utilizzo dei dispositivi elettrici, installati nella zona termica;

(2.1.2.7): Presenza o meno di apparecchi illuminanti, installati all'interno della zona termica;

(2.1.2.8): Densità di potenza installata da apparecchi illuminanti per metro quadrato di superficie;

(2.1.2.9): Profilo orario durante il quale si verifica parzialmente o totalmente l'utilizzo degli apparecchi illuminanti, installati nella zona termica;

(2.1.2.10): La modulazione dell'intensità luminosa può essere: continuativa, assente o ad intervalli di tempo;

(2.1.2.11): Livello di illuminamento da garantire per una determinata destinazione d'uso.

3.2.1.3. Impianto

Tab. 19 - INPUT impianto di climatizzazione, UMI.

cod.	Quantità
2.1.3.1	Riscaldamento (Si/No)
2.1.3.2	Temperatura di <i>set-point</i> riscaldamento
2.1.3.3	Profilo di utilizzo impianto di riscaldamento
2.1.3.4	Tipo di limite imposto per l'attivazione
2.1.3.5	Massima capacità riscaldante
2.1.3.6	Massima portata di flusso riscaldato
2.1.3.7	COP impianto di riscaldamento
2.1.3.8	Raffrescamento (Si/No)
2.1.3.9	Temperatura di <i>set-point</i> raffrescamento
2.1.3.10	Profilo di utilizzo impianto di raffrescamento
2.1.3.11	Tipo di limite imposto per l'attivazione
2.1.3.12	Massima capacità raffrescante
2.1.3.13	Massima portata di flusso raffrescato
2.1.3.14	EER impianto di raffrescamento
2.1.3.15	Ventilazione meccanica (Si/No)
2.1.3.16	Profilo di utilizzo ventilazione meccanica
2.1.3.17	Minima portata di aria pulita per area
2.1.3.18	Minima portata di aria pulita per persona
2.1.3.19	Tipologia di economizzatore
2.1.3.20	Tipologia di recuperatore di calore
2.1.3.21	Efficienza recuperatore di calore latente
2.1.3.22	Efficienza recuperatore di calore sensibile

- (2.1.3.1): Presenza o meno dell'impianto di riscaldamento;
- (2.1.3.2): Temperatura di *set-point* regime invernale;
- (2.1.3.3): Profilo di utilizzo impianto di riscaldamento;
- (2.1.3.4): Limite imposto sull'utilizzo dell'impianto, si può scegliere fra: nessun limite, limite sulla capacità riscaldante, sulla portata o su entrambi;
- (2.1.3.5): Capacità di riscaldamento totale massima consentita (sensibile e latente) in watt, di concerto col limite imposto in (2.1.3.4);
- (2.1.3.6): Massima portata di fluido riscaldante in metri cubi al secondo, di concerto col limite imposto in (2.1.3.4);
- (2.1.3.7): Coefficiente di prestazione della macchina termica;
- (2.1.3.8): Presenza o meno dell'impianto di raffrescamento;
- (2.1.3.9): Temperatura di *set-point* regime estivo;
- (2.1.3.10): Profilo di utilizzo impianto di raffrescamento;
- (2.1.3.11): Limite imposto sull'utilizzo dell'impianto, si può scegliere fra: nessun limite, limite sulla capacità raffrescante, sulla portata o su entrambi;
- (2.1.3.12): Capacità di raffrescamento totale massima consentita (sensibile e latente) in watt, di concerto col limite imposto in (2.1.3.11);
- (2.1.3.13): Massima portata di fluido raffrescamento in metri cubi al secondo, di concerto col limite imposto in (2.1.3.11);
- (2.1.3.14): Efficienza frigorifera della macchina termica;
- (2.1.3.15): Presenza o meno dell'impianto di ventilazione meccanica;
- (2.1.3.16): Profilo di utilizzo impianto di ventilazione meccanica;
- (2.1.3.17): Minima portata di aria pulita, esente da concentrazioni inquinanti, per metro quadrato di superficie;
- (2.1.3.18): Minima portata di aria pulita, esente da concentrazioni inquinanti, per persona;
- (2.1.3.19): Tale parametro specifica la possibile presenza di un economizzatore, facente parte del sistema di ventilazione. La scelta può ricadere su tre possibilità: assenza dello scambiatore di calore, economizzatore funzionante per differenza di temperatura di bulbo secco o di entalpia, fra l'aria fornita all'ambiente rispetto a quella presente all'interno di questo;
- (2.1.3.20): Tipologia del recuperatore di calore: nessuno, funzionante per differenza di temperatura di bulbo secco o di entalpia, fra l'aria fornita all'ambiente rispetto a quella presente all'interno di questo;
- (2.1.3.21): Efficienza recuperatore di calore latente;
- (2.1.3.22): Efficienza recuperatore di calore sensibile.

Tab. 20 - INPUT impianto di ventilazione, UMI.

cod.	Quantità
2.1.3.23	Infiltrazione (Si/No)
2.1.3.24	Tasso di infiltrazione
2.1.3.25	Ventilazione naturale (Si/No)
2.1.3.26	Minima temperatura esterna ventilazione naturale
2.1.3.27	Massima temperatura esterna ventilazione naturale
2.1.3.28	Massima umidità relativa ventilazione naturale
2.1.3.29	Profilo ventilazione naturale
2.1.3.30	Temperatura di <i>set-point</i> zona ventilata naturalmente
2.1.3.31	Profilo ventilazione (Si/No)
2.1.3.32	Ricambi orari ventilazione
2.1.3.33	Profilo ventilazione
2.1.3.34	Temperatura di <i>set-point</i> ventilazione
2.1.3.35	Galleggiamento (Si/No)
2.1.3.36	Vento (Si/No)

(2.1.3.23): Presenza di infiltrazione d'aria per ventilazione naturale;

(2.1.3.24): Numero di ricambi d'ora convenzionale per la ventilazione naturale;

(2.1.3.25): Presenza o meno di un sistema specifico per la ventilazione naturale;

(2.1.3.26): Minima temperatura dell'aria esterna veicolata per ventilazione naturale;

(2.1.3.27): Massima temperatura dell'aria esterna veicolata per ventilazione naturale;

(2.1.3.28): Massima umidità relativa dell'aria veicolata per ventilazione naturale;

(2.1.3.29): Profilo di utilizzo sistema di ventilazione naturale;

(2.1.3.30): Temperatura di *set-point* della zona ventilata naturalmente;

(2.1.3.31): Presenza del profilo di utilizzo del sistema di ventilazione meccanica, adoperato per garantire un predefinito valore di ricambi d'ora;

(2.1.3.32): Numero di ricambi d'ora imposti per la ventilazione meccanica;

(2.1.3.33): Nel caso in cui (2.1.3.31) fosse stato validato, inserire il profilo di utilizzo nel presente campo;

(2.1.3.34): Temperatura di *set-point* dell'aria immessa dal sistema di ventilazione;

(2.1.3.35): Presenza o meno fenomeni di galleggiamento, originabili dalla differenza di temperatura fra zona termica e ambiente esterno;

(2.1.3.36): Presenza o meno dell'azione del vento.

Tab. 21 - INPUT Impianto di ACS, UMI.

cod.	Quantità
2.1.3.37	Presenza ACS (Si/No)
2.1.3.38	Profilo di utilizzo
2.1.3.39	Temperatura fluido in mandata
2.1.3.40	Temperatura del fluido in ingresso
2.1.3.41	Portata per metro quadrato di superficie

(2.1.3.37): Presenza o meno dell'impianto che garantisca l'acqua calda sanitaria;

(2.1.3.38): Profilo di utilizzo ACS;

(2.1.3.39): Temperatura del fluido in mandata dal generatore;

(2.1.3.40): Temperatura del fluido in ingresso al generatore;

(2.1.3.41): Portata erogata per metro quadrato di superficie.

3.2.1.4. Zona Termica

Per ogni zona termica individuata si dovranno specificare le aree delimitanti. Da questo punto di vista, i pacchetti stratigrafici precedentemente conformati dovranno essere attribuiti alle superfici: di facciata, alle partizioni, ai solai di interpiano, all'involucro orizzontale contro terra e alla copertura. Si dovrà inoltre definire, nel caso in cui ci fossero, quali sono le superfici adiabatiche. Tali informazioni, così come i carichi termici, la massa interna dei componenti di involucro, il profilo di climatizzazione, ventilazione e ACS, saranno memorizzate in un oggetto che dovrà essere richiamato nella tabella riportata di seguito.

Tab. 22 - Definizione zona termica, UMI.

cod.	Quantità
2.1.4.1	Template elementi costruttivi
2.1.4.2	Template carichi termici endogeni
2.1.4.3	Template impianto di climatizzazione
2.1.4.4	Template impianto di ventilazione
2.1.4.5	Template impianto di ACS
2.1.4.6	Risoluzione del reticolo di luce naturale
2.1.4.7	Altezza del piano di lavoro
2.1.4.8	Template massa degli elementi costruttivi interni
2.1.4.9	Massa interna esposta per unità di superficie

(2.1.4.1): Template elementi costruttivi, delimitanti la zona termica;

(2.1.4.2): Template carichi termici endogeni, attribuiti alla zona termica;

- (2.1.4.3): *Template* impianto di climatizzazione, attribuito alla zona termica;
- (2.1.4.4): *Template* impianto di ventilazione, attribuito alla zona termica;
- (2.1.4.5): *Template* impianto di ACS, attribuito alla zona termica;
- (2.1.4.6): Risoluzione del reticolo di luce naturale, all'interno della zona termica;
- (2.1.4.7): Altezza del piano di lavoro, parametro fondamentale per calcolare il *target* di illuminazione da perseguire;
- (2.1.4.8): *Template* massa degli elementi costruttivi interni, delimitanti la zona termica;
- (2.1.4.9): Massa interna direttamente esposta per unità di superficie, delimitante la zona termica.

Inoltre, in fase di acquisizione, si dovrà specificare, per ogni punto cardiale, la frazione vetrata rispetto alla facciata totale e l'altezza di interpiano fra un solaio e l'altro. È importante sottolineare che non è possibile individuare la posizione spaziale dei serramenti e la loro effettiva dimensione in quel determinato punto. Questi divengono ad essere delle finestre a nastro, cioè l'area trasparente verrà distribuita uniformemente partendo dal baricentro della parete attraverso una fascia, la cui ampiezza è proporzionale alla percentuale di vetratura occupata. Tale approssimazione determinerà una non buona accuratezza nella valutazione degli apporti solari e dei conseguenti ombreggiamenti, poiché se un determinato serramento in una casistica reale risulta oscurato per la sua interezza, ad esempio da un'ostruzione esterna, con questo metodo lo risulterà solo in parte.

Tab. 23 - Definizione serramenti, UMI.

cod.	Quantità
2.1.4.10	Ubicazione
2.1.4.11	<i>Template</i> serramento
2.1.4.12	Frazione apribile
2.1.4.13	Sistema oscurante (Attivo/Non Attivo)
2.1.4.14	Profilo di utilizzo sistema oscurante
2.1.4.15	<i>Set-point</i> del sistema oscurante
2.1.4.16	Coefficiente di trasmissione solare sistema oscurante
2.1.4.17	Ubicazione sistema oscurante

- (2.1.4.10): Ubicazione serramento: esterno o interno;
- (2.1.4.11): Tipologia di serramento;
- (2.1.4.12): Frazione di area apribile;
- (2.1.4.13): Utilizzo o meno del sistema oscurante;
- (2.1.4.14): Profilo di utilizzo del sistema oscurante;
- (2.1.4.15): Irradianza oltre cui il sistema oscurante si dovrebbe utilizzare;
- (2.1.4.16): Coefficiente di trasmissione solare del sistema oscurante;
- (2.1.4.17): Ubicazione sistema oscurante: esterno o interno.

3.2.2. Metodologia di Calcolo

3.2.2.1. Modello Termico

Il calcolo integrato e sequenziale del modello ha origine con la risoluzione del bilancio termico per ogni zona, che definirà le condizioni dell'ambiente esaminato e il fabbisogno energetico dovuto al riscaldamento e al raffrescamento, per ogni intervallo di tempo considerato. La risoluzione della sopracitata uguaglianza può avvenire mediante l'utilizzo di tre differenti algoritmi: i primi due si basano sull'introduzione di approssimazioni finite, mentre la terza si fonda su una determinazione analitica. Il primo e il secondo approccio ricercano la convergenza del sistema attraverso una funzione di Taylor, in un caso troncata al primo ordine e nell'altro al terzo, ove in quest'ultima circostanza, per la risoluzione per ogni *time step*, sarà necessaria la conoscenza del valore delle temperature di tre periodi antecedenti al momento del calcolo. Entrambe presentano l'ampiezza degli intervalli di tempo limitata e, bloccando l'approssimazione al primo o al terzo ordine, implicherà l'insorgenza di un certo grado di errore. Un ottimo compromesso risulta essere la risoluzione del bilancio con il calcolo analitico, quindi senza dover troncature forzatamente l'uguaglianza e conoscendo solamente il valore della temperatura del precedente *time step* (DOE [C-27]).

L'equazione di conservazione della massa sul volume d'aria, compreso entro la zona termica, includerà in ogni caso: la portata d'aria immessa ed estratta dall'ambiente e il volume d'aria "esausto" utilizzato dai ventilatori. A questi potranno essere associate valutazioni sulle portate d'aria di infiltrazione e di miscelazione con gli ambienti limitrofi e comunicanti (DOE [C-27]).

Il bilancio termico della superficie esterna della parete, valido per il calcolo del flusso termico scambiato e della temperatura superficiale, convenzionalmente con contributi positivi dall'esterno verso l'interno, includerà: la radiazione solare assorbita diretta, diffusa e riflessa a bassa lunghezza d'onda; la radiazione ad alta lunghezza d'onda scambiata con lo spazio circostante; la quota convettiva scambiata con l'ambiente esterno e la frazione conduttiva scambiata con la parete (DOE [C-27]).

Il bilancio termico della superficie interna, invece, terrà in conto di quattro diverse componenti di scambio: la conduzione attraverso l'elemento costruttivo; la frazione convettiva scambiata con l'aria; la radiazione a bassa lunghezza d'onda assorbita e riflessa e la radiazione ad alta lunghezza d'onda. La quota a bassa lunghezza d'onda include l'irraggiamento entrante nella zona dalle superfici vetrate e la frazione emessa da carichi endogeni, quali ad esempio l'illuminazione. La porzione ad alta lunghezza d'onda, invece, comprenderà l'assorbimento e l'emissione di sorgenti radiative a bassa temperatura, come le altre superfici delimitanti la zona, gli apparecchi elettrici o gli occupanti (DOE [C-27]).

Per i carichi termici endogeni, a cui sarà associato un profilo temporale di utilizzo, per ogni *time step* considerato, si valuterà qual è la frazione radiativa e quella convettiva, cioè quella che comparirà subito a bilancio. Una volta determinata la domanda energetica si perverrà ad una modellazione algebrica reiterata fra l'impianto e l'edificio per convergere alla soluzione definitiva, in modo tale da raggiungere le condizioni di comfort *indoor* auspiccate.

3.2.2.2. Modello Illuminamento

UMI utilizza il *tool* DAYSIM, per generare un profilo di illuminamento naturale annuale, ricorrendo all'utilizzo del coefficiente di luce diurna di Perez accoppiato con il cosiddetto *raytrace calculations* di RADIANCE, in cui i raggi vengono proiettati da una volta celeste partizionata in 145 frammenti diversi fra loro. I raggi, quindi, vengono collimati dalle posizioni dei sensori attraverso percorsi a più

rimbalzi fino a raggiungere una fonte di luce o fino ad estinguersi. Nel caso in cui vengano considerati più punti di proiezione, il comportamento dei raggi verrà valutato in maniera indipendente ed in parallelo (Jones e Reinhart ^[C-17]). Per quanto concerne il modello di Perez, invece, i parametri che entrano in gioco sono due: la luminosità e la chiarezza del cielo. Questi ultimi sono determinati dai valori registrati di irradianza normale orizzontale diretta e diffusa di una specifica località, in un arco temporale predefinito. La quantità di luce naturale dipende dalla posizione del sole e dalle correnti condizioni climatiche. Da DAYSIM verranno calcolati due importanti parametri per la valutazione dell'illuminamento diurno che sono: DA (*Daylight Autonomy*) e CDA (*Continuous Daylight Autonomy*). Il primo fattore rappresenta la frazione di tempo, con riferimento all'anno, durante la quale si verifica il raggiungimento di un certo livello di illuminamento senza l'ausilio di illuminazione artificiale; invece, il secondo, definisce in maniera percentuale, per un definito arco temporale, lo scarto rimanente fra l'illuminamento naturale ottenibile rispetto al target imposto per quella determinata destinazione d'uso.

Tab. 24 - Parametri per generare i profili cDA e sDA, UMI.

cod.	Tipo di Dato	Quantità
2.2.1	Scena Virtuale	Geometria dell'ambiente virtuale
2.2.2		Paesaggio circostante
2.2.3		Riflettanza suolo
2.2.4		Proprietà ottiche materiali
2.2.5		Status dei dispositivi oscuranti
2.2.6	Area di interesse	Posizione dei sensori
2.2.7		Punto di vista dell'occupante
2.2.8	Sky Model	Latitudine
2.2.9		Longitudine
2.2.10		Data e Tempo
2.2.11		Visibilità del cielo (nuvoloso, sereno, ecc.)
2.2.12		Condizioni Climatiche

3.2.2.3. Modello Mobilità

Per quanto concerne la definizione della qualità della mobilità all'interno dell'ambiente urbano, ad ogni edificio verrà attribuito una valutazione, definita *walkscore*, per misurare la facilità con cui una certa area risulta collegata infrastrutturalmente rispetto a nove punti di interesse (scuole, ristoranti, parchi, banche, alimentari, librerie, bar, negozi e luoghi di intrattenimento; MIT SDL ^[C-23]). Ad ogni servizio è associato un peso diverso in base all'importanza, di concerto con l'algoritmo di Dijkstra, utilizzato per il calcolo delle minime distanze. I dati di input necessari sono il nodo di inizio e di fine. Maggiore sarà la vicinanza e la qualità di collegamento dai luoghi di interesse, maggiore sarà il punteggio attribuibile all'edificio. Alla fine dell'analisi, per ogni edificio, si attribuiranno due voti: uno per la qualità delle infrastrutture pedonali ed uno per quelle ciclabili.

3.2.2.4. Life Cycle Assessment

UMI, nella sua ultima versione, introduce un *tool*, denominato TRACI, per valutare, in maniera semplificata, il ciclo di vita dei materiali da costruzione attraverso il *Life Cycle Assessment (LCA)* per definire qual è l'impatto ambientale degli edifici durante la loro esistenza. Ciò avviene mediante due parametri: l'energia consumata per produrre i materiali costituenti l'edificio, tipicamente non rinnovabile, espressa in kWh di energia primaria, e l'emissione di gas serra durante il ciclo di vita degli stessi materiali, espresso in kgCO₂. I risultati, consultabili per singolo edificio o per gruppo di questi, considerati nell'analisi LCA, possono comprendere le emissioni di generazione e produzione del materiale o possono anche includere il trasporto e l'utilizzo in situ. Pertanto, per far in modo che la verifica sul LCA vada a buon fine è necessario attribuire a ciascun materiale da costruzione opaco e vetrato, informazioni quali: il carbonio dovuto al trasporto, la distanza dal magazzino o centro di produzione all'edificio, il tasso di sostituzione, l'intervallo di tempo per ogni sostituzione, ma soprattutto il quantitativo di gas serra prodotti dal materiale. Tuttavia, per quanto concerne il *tool* TRACI, la US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) non garantisce circa la bontà dei dati contenuti nel *database*.

3.2.3. Dati di Output

Nella tabella riportata di seguito vengono mostrati gli output ottenibile dal software UMI, ove i fabbisogni energetici vengono espressi in termini di energia primaria non rinnovabile. I dati potranno essere consultati su base mensile, compresi in un'intera annualità.

Tab. 25 - OUTPUT UMI.

cod.	Tipo di Dato	Quantità
2.3.1	Fabbisogno Energetico	Fabbisogno di Energia Totale Operativa
2.3.2		Fabbisogno energetico dovuto al Riscaldamento
2.3.3		Fabbisogno energetico dovuto al Raffrescamento
2.3.4		Fabbisogno energetico dovuto ad ACS
2.3.5	Quota energetica	Quota energetica dovuta all'illuminazione
2.3.6		Quota energetica dovuta agli apparecchi elettrici
2.3.7	LCA	CO ₂ immagazzinata nell'edificio
2.3.8		Energia grigia immagazzinata nell'edificio
2.3.9		CO ₂ immagazzinata nella facciata dell'edificio
2.3.10		Energia grigia immagazzinata nella facciata dell'edificio
2.3.11		CO ₂ immagazzinata nelle finestre
2.3.12		Energia grigia immagazzinata nelle finestre
2.3.13	Apporto Solare	Radiazione incidente sulle finestre
2.3.14	Mobilità	Pedonabilità
2.3.15		Ciclabilità
2.3.16		<i>cDA</i>

2.3.17	illuminazione naturale	sDA
--------	------------------------	-----

(2.3.1): Fabbisogno di energia richiesta durante il totale impiego dei servizi dell'edificio, quali: il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, l'illuminazione e il funzionamento di apparecchi elettrici;

(2.3.2): Fabbisogno di energia dovuto al riscaldamento;

(2.3.3): Fabbisogno di energia dovuto al raffrescamento;

(2.3.4): Fabbisogno di energia dovuto all'ACS;

(2.3.5): Quota energetica consumata dagli apparecchi illuminanti;

(2.3.6): Quota energetica consumata dagli apparecchi elettrici;

(2.3.7): Somma dei chilogrammi di anidride carbonica dei componenti opachi e trasparenti emessi in atmosfera durante tutte le fasi atte alla costruzione dell'edificio;

(2.3.8): Somma dell'energia consumata dai componenti opachi e trasparenti durante tutte le fasi atte alla costruzione dell'edificio, espressa in termini di energia primaria non rinnovabile;

(2.3.9): Chilogrammi di anidride carbonica dei componenti opachi e trasparenti emessi in atmosfera durante tutte le fasi atte alla costruzione della facciata dell'edificio;

(2.3.10): Energia consumata dai componenti opachi e trasparenti durante tutte le fasi atte alla costruzione della facciata dell'edificio, espressa in termini di energia primaria non rinnovabile;

(2.3.11): Chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera dovuti alla costruzione e al montaggio dei serramenti;

(2.3.12): Energia consumata dovuta alla costruzione e al montaggio dei serramenti, espressa in termini di energia primaria non rinnovabile;

(2.3.13): Radiazione solare incidente sulle superfici vetrate

(2.3.14): Voto rappresentante la qualità della mobilità pedonale all'interno dello spazio urbano;

(2.3.15): Voto rappresentante la qualità della mobilità ciclabile all'interno dello spazio urbano;

(2.3.16): cDA (*Continuous Daylight Autonomy*), rappresenta la frazione di ore dell'anno ove il valore di luce diurna è maggiore o uguale al target di illuminamento imposto. Il dato è consultabile per edificio o per differenti solai;

(2.3.17): sDA (*Spatial Daylight Autonomy*), descrive quanto spazio riceve un valore sufficiente di luce diurna. Il dato è consultabile per edificio o per differenti solai.

3.3. IES <VE>

IES <VE>, sviluppato da *Integrated Environmental Solutions Ltd*, rappresenta un *software* integrato per la simulazione olistica delle performance energetico-ambientali di un quartiere urbano, che ha l'obiettivo di valutare l'interazione fra i diversi edifici. Il programma è costituito da una serie di moduli interconnessi fra di loro, ognuno dei quali riveste una precisa funzione. Fra questi, uno dei principali risulta essere ModelIT, ovvero lo spazio digitale in cui si può direttamente modellare tridimensionalmente l'entità geometrica. Contrariamente a ciò, una soluzione differente è contraddistinta dall'importazione del modello, direttamente leggibile, da *software* come Revit o SketchUp, oppure da un qualsiasi programma, che possa convertire il file finale nel formato

standardizzato IFC. Tuttavia, prima di procedere alla definizione geometrico-dimensionale degli spazi, sarà necessario importare i dati climatici, su base oraria, del sito di interesse. Le estensioni ammesse, in tal senso, risultano essere il file EPW, direttamente scaricabile dal sito dell'*U.S. Department of Energy* o da *database*, quali ad esempio *Meteonorm*, oppure il documento FWT reperibile dalla pagina web di IES. Al modulo ModelIT, per il calcolo dinamico energetico, si affianca *ApacheSim*. Mediante l'interrogazione di questo, l'utente potrà caratterizzare nel dettaglio tutti i parametri di input necessari alla corretta definizione del modello termico. La simulazione entro tale applicativo può essere collegata a *MacroFlo*, utilizzato per analizzare in via dinamica gli scambi convettivi di tipo naturale e *ApacheHVAC* impiegato per la caratterizzazione analitica o ideale del sistema impiantistico. Nel primo di quest'ultimo caso, quindi, ciascun componente facente parte della struttura tecnologica verrà definito in maniera rigorosa in ogni suo aspetto, nel secondo caso, invece, si procederà solo alla sua definizione virtuale. Quest'ultima soluzione, data la limitatezza delle informazioni accessibili, risulta essere la via preferenziale da seguire nel caso di una simulazione energetica con riferimento ad una scala cittadina o distrettuale. *SunCast*, inoltre, avrà il compito di simulare dettagliatamente, all'interno della scena di progetto, le ombre portate dalle ostruzioni esterne e la mappatura della radiazione solare interna penetrabile attraverso porte e finestre. *SunPath*, invece, può essere utilizzato per individuare la proiezione stereografica del sole, in funzione: dell'ubicazione del luogo, del giorno dell'anno e dell'ora. Infine, *FlucsDL*, *FlucsPro*, *LightPro* e *Radiance*, sono degli applicativi utilizzabili per eseguire delle simulazioni illuminotecniche all'interno e all'esterno della zona termica. Addirittura, attraverso *LightPro* l'utente potrà definire un certo numero e tipologia di punti luce per valutare se effettivamente all'interno dell'area di progetto si raggiunge i livelli di illuminamento raccomandabile.

Pertanto, le potenzialità principali del programma IES <VE>, risultano essere:

- la consultazione ed il calcolo dei consumi energetici per servizi energetici e per edificio, con riferimento ad un preciso *time step*;
- i picchi dei carichi termici;
- l'analisi di potenziali misure in termini di efficienza energetica;
- la determinazione dell'impatto dovuto al surriscaldamento degli ambienti, con ricadute sul comfort termico degli occupanti;
- la valutazione di diversi scenari illuminotecniche;
- la previsione del quantitativo di emissioni inquinanti provenienti dagli impianti tecnologici degli edifici;
- la simulazione dei flussi convettivi naturali, incanalati all'interno della conformazione urbana, calcolabili attraverso le CFD.

3.3.1. Dati di Input

3.3.1.1. Involucro

Tab. 26 – INPUT *i-esimo materiale opaco*, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.1.1	Spessore
3.1.1.2	Conducibilità termica
3.1.1.3	Densità

3.1.1.4	Scabrezza
3.1.1.5	Calore specifico
3.1.1.6	Resistenza alla diffusione dell'umidità

(3.1.1.1): Spessore dello strato *i-esimo* facente parte di un determinato pacchetto stratigrafico;

(3.1.1.2): Rappresenta la capacità di un *i-esimo* materiale a trasmettere calore;

(3.1.1.3): Espressa come il rapporto fra la massa e il volume dell'*i-esimo* materiale;

(3.1.1.4): Definisce la rugosità di un materiale, influenza il coefficiente liminare esterno convettivo;

(3.1.1.5): Quantità di energia scambiata da 1 grammo di sostanza per aumentare la sua temperatura di 1°C;

(3.1.1.6): Rappresenta quanto la resistenza alla diffusione del vapore d'acqua di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e di temperatura.

Tab. 27 - INPUT componente di involucro opaco, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.1.7	Coefficiente di assorbimento solare della superficie interna dell'involucro
3.1.1.8	Coefficiente di assorbimento solare della superficie esterna dell'involucro
3.1.1.9	Resistenza termica liminare interna
3.1.1.10	Resistenza termica liminare esterna
3.1.1.11	Emissività della superficie interna del componente di involucro
3.1.1.12	Emissività della superficie esterna del componente di involucro

(3.1.1.7): Porzione della radiazione solare incidente assorbibile dalla superficie interna del componente di involucro;

(3.1.1.8): Porzione della radiazione solare incidente assorbibile dalla superficie esterna del componente di involucro;

(3.1.1.9): Resistenza termica liminare interna del componente di involucro;

(3.1.1.10): Resistenza termica liminare esterna del componente di involucro;

(3.1.1.11): Rappresenta l'energia irradiata dalla superficie interna del componente di involucro rispetto a quella di un corpo nero, alla stessa temperatura;

(3.1.1.12): Rappresenta l'energia irradiata dalla superficie esterna del componente di involucro rispetto a quella di un corpo nero, alla stessa temperatura.

Tab. 28 - INPUT *i*-esimo componente di involucro vetrato, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.1.13	Spessore componente vetrato o intercapedine
3.1.1.14	Conducibilità termica
3.1.1.15	Dipendenza angolare
3.1.1.16	Coefficiente di riflessione solare frontale
3.1.1.17	Coefficiente di riflessione solare posteriore
3.1.1.18	Coefficiente di trasmissione solare
3.1.1.19	Indice di rifrazione
3.1.1.20	Emissività frontale
3.1.1.21	Emissività posteriore
3.1.1.22	Coefficiente di trasmissione visibile
3.1.1.23	Coefficiente di riflessione visibile frontale
3.1.1.24	Coefficiente di riflessione visibile posteriore

(3.1.1.13): Spessore dello strato *i*-esimo facente parte del serramento;

(3.1.1.14): Rappresenta la capacità di un *i*-esimo componente vetrato a trasmettere calore;

(3.1.1.15): Dipendenza angolare da cui dipendono le proprietà ottiche del componente vetrato;

(3.1.1.16): Quota, mediata sullo spettro solare, riflessa dalla superficie esterna del componente vetrato;

(3.1.1.17): Quota, mediata sullo spettro solare, riflessa dalla superficie interna del componente vetrato;

(3.1.1.18): Quota, mediata sullo spettro solare, trasmessa dalla superficie vetrato;

(3.1.1.19): Deviazione del raggio luminoso, calcolato secondo la legge di Fresnel;

(3.1.1.20): Rappresenta il rapporto fra la radiazione emessa dalla superficie vetrata esterna e la radiazione emessa da un corpo nero alla stessa temperatura;

(3.1.1.21): Rappresenta il rapporto fra la radiazione emessa dalla superficie vetrata interna e la radiazione emessa da un corpo nero alla stessa temperatura;

(3.1.1.22): Coefficiente di trasmissione mediato sullo spettro solare e ponderata dalla risposta dell'occhio umano;

(3.1.1.23): Quota, mediata sullo spettro visibile, riflessa dalla superficie esterna del componente vetrato;

(3.1.1.24): Quota, mediata sullo spettro visibile, riflessa dalla superficie interna del componente vetrato.

Tab. 29 - INPUT serramento, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.1.25	i-esimo componente vetrato
3.1.1.26	Tipologia di gas contenuta nell'intercapedine
3.1.1.27	Resistenza termica liminare interna
3.1.1.28	Resistenza termica liminare esterna
3.1.1.29	Frazione di area occupata dal telaio
3.1.1.30	Frazione di area interna occupata dal telaio
3.1.1.31	Frazione di area esterna interna dal telaio
3.1.1.32	Coefficiente di assorbimento solare del telaio
3.1.1.33	Resistenza termica del telaio

(3.1.1.25): Caratteristiche termofisiche del componente vetrato contenute nella tabella precedente;

(3.1.1.26): Tipologia di gas presente all'interno dell'intercapedine;

(3.1.1.27): Resistenza termica liminare interna del componente di involucro;

(3.1.1.28): Resistenza termica liminare esterna del componente di involucro;

(3.1.1.29): Quota percentuale del telaio rispetto alla restante parte del serramento;

(3.1.1.30): Frazione di area interna occupata dal telaio;

(3.1.1.31): Frazione di area esterna occupata dal telaio;

(3.1.1.32): Coefficiente di assorbimento solare del telaio, definito come il rapporto fra la radiazione assorbita dalla superficie e dalla quota incidente su di esso;

(3.1.1.33): Resistenza termica del telaio.

Tab. 30 - INPUT dispositivo oscurante esterno ed interno, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.1.34	Profilo di utilizzo
3.1.1.35	Coefficiente correttivo di resistenza termica del dispositivo oscurante di notte
3.1.1.36	Coefficiente correttivo di resistenza termica del dispositivo oscurante di giorno
3.1.1.37	Fattore di trasmissione di diffusione al suolo
3.1.1.38	Fattore di trasmissione di diffusione del cielo
3.1.1.39	Coefficiente di trasmissione solare del dispositivo oscurante
3.1.1.40	Tipologia di oscurante ed area oscurata (*)
3.1.1.41	Frazione di ore in cui l'illuminamento naturale non è permesso (*)

(*) Parametro inseribile solo nel caso di dispositivi oscuranti posti sul lato interno.

- (3.1.1.34): Profilo di utilizzo del dispositivo oscurante, in funzione di un profilo temporale orario predefinito oppure in funzione di un certo valore di irraggiamento;
- (3.1.1.35): Coefficiente correttivo della resistenza termica associata al sistema quando è in funzione di notte, convenzionalmente il parametro viene imposto pari a zero;
- (3.1.1.36): Coefficiente correttivo della resistenza termica associata al sistema quando è in funzione di giorno, convenzionalmente il parametro viene imposto pari a zero;
- (3.1.1.37): Grado di ombreggiamento del suolo da parte del dispositivo oscurante visto dalla struttura vetrata, il parametro influisce sulla quantità di radiazione solare diffusa a terra incidente sulla finestra;
- (3.1.1.38): Grado di ombreggiamento del cielo da parte del dispositivo oscurante visto dalla finestra, il parametro influisce sulla quantità di radiazione solare diffusa incidente sulla finestra dal cielo;
- (3.1.1.39): Coefficiente di trasmissione solare del dispositivo oscurante, definito in funzione dell'angolo di incidenza fra sole e apparecchio ombreggiante, valutato ad intervalli regolari di 15°;
- (3.1.1.40): Tipologia di oscurante (tenda veneziana o tenda) e normale utilizzo (attiva, semi-attiva, chiusa);
- (3.1.1.41): Frazione di ore la penetrazione dell'illuminamento naturale non è permesso, a causa dell'attivazione del dispositivo oscurante.

3.3.1.2. Carichi Termici Endogeni

Tab. 31 - INPUT apporto termico dovuto agli occupanti, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.2.1	Numero di occupanti
3.1.2.2	Occupanti per metro quadrato di superficie
3.1.2.3	Profilo temporale occupanti
3.1.2.4	Frazione sensibile
3.1.2.5	Frazione latente

- (3.1.2.1): Numero di occupanti all'interno della zona termica;
- (3.1.2.2): Occupanti per metro quadrato di superficie;
- (3.1.2.3): Profilo orario durante il quale si verifica parzialmente o totalmente l'occupazione della zona termica;
- (3.1.2.4): Apporto termico sensibile dovuto agli occupanti, in funzione dell'attività metabolica svolta;
- (3.1.2.5): Apporto termico latente dovuto agli occupanti, in funzione dell'attività metabolica svolta;

Tab. 32 - INPUT apporto termico dovuto a dispositivi elettrici e apparecchi illuminanti, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.2.6	Potenza consumata dall'apparecchio (*)
3.1.2.7	Livello di illuminamento (**)
3.1.2.8	Densità di potenza installata (**)
3.1.2.9	Frazione sensibile
3.1.2.10	Frazione radiativa
3.1.2.11	Profilo temporale di utilizzo
3.1.2.12	Profilo temporale di attenuazione luminosa (**)

(*) Parametro inseribile per un dispositivo elettrico.

(**) Parametro inseribile per un apparecchio illuminante.

(3.1.2.6): Massima potenza consumata dal dispositivo elettronico;

(3.1.2.7): Livello di illuminamento per una determinata zona termica;

(3.1.2.8): Apporto termico sensibile dovuto a dispositivi elettrici ed apparecchi illuminanti;

(3.1.2.9): Densità di potenza installata, definita come il massimo guadagno sensibile e massimo consumo energetico in combinazione con il massimo illuminamento;

(3.1.2.10): Frazione radiativa degli apporti termici dovuta a dispositivi elettrici ed apparecchi illuminanti, che comparirà a bilancio in maniera ritardata e smorzata;

(3.1.2.11): Profilo oraria di utilizzo degli apparecchi illuminanti o dispositivi elettrici;

(3.1.2.12): Profilo orario durante il quale si verifica il parziale o totale utilizzo del sistema illuminante.

3.3.1.3. Impianto

Tab. 33 - INPUT impianto ideale di riscaldamento, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.3.1	Vettore energetico in ingresso al generatore
3.1.3.2	Temperatura di <i>set-point</i> in regime invernale
3.1.3.3	Efficienza stagionale del generatore
3.1.3.4	COP
3.1.3.5	Massima capacità riscaldante del sistema
3.1.3.6	Limitazione della capacità termica
3.1.3.7	Efficienza del recuperatore di calore
3.1.3.8	Temperatura dell'aria di ritorno dal recuperatore di calore
3.1.3.9	Frazione radiativa dovuta all'impianto di riscaldamento

- (3.1.3.1): Vettore energetico in ingresso al generatore;
- (3.1.3.2): Temperatura di *set-point* in regime invernale all'interno della zona termica;
- (3.1.3.3): Efficienza stagionale del generatore;
- (3.1.3.4): Coefficiente di prestazione della macchina termica;
- (3.1.3.5): Capacità di riscaldamento massima consentita (sensibile e latente) in watt, di concerto col limite imposto in (3.1.3.6);
- (3.1.3.6): Limite imposto sull'utilizzo dell'impianto in funzione della capacità riscaldante;
- (3.1.3.7): Efficienza del recuperatore di calore, nel caso in cui fosse presente;
- (3.1.3.8): Temperatura dell'aria di ritorno dal recuperatore di calore, nel caso in cui fosse presente;
- (3.1.3.9): Frazione radiativa dovuta all'impianto di riscaldamento.

Tab. 34 - *INPUT impianto ideale di raffrescamento, <VE>*.

cod.	Quantità
3.1.3.10	Meccanismo di ventilazione raffrescante
3.1.3.11	Temperatura di <i>set-point</i> in regime estivo
3.1.3.12	EER nominale
3.1.3.13	EER stagionale
3.1.3.14	SSEER
3.1.3.15	Massima capacità raffrescante del sistema
3.1.3.16	Limitazione della capacità termica
3.1.3.17	Potenza della pompa o del ventilatore (% sul calore espulso)
3.1.3.18	Frazione radiativa dovuta all'impianto di raffrescamento

- (3.1.3.10): Meccanismo di ventilazione raffrescante: ventilazione naturale, ventilazione meccanica, aria climatizzata;
- (3.1.3.11): Temperatura di *set-point* in regime estivo all'interno della zona termica;
- (3.1.3.12): Efficienza frigorifera nominale del generatore;
- (3.1.3.13): Efficienza frigorifera stagionale del generatore;
- (3.1.3.14): Efficienza frigorifera, data dal rapporto fra la quota erogata rispetto a quella totale, compresa l'energia consumata da pompe e ventilatori atte all'espulsione del calore;
- (3.1.3.15): Capacità di raffrescamento massima consentita (sensibile e latente) in watt, di concerto col limite imposto in (3.1.3.16);
- (3.1.3.16): Limite imposto sull'utilizzo dell'impianto in funzione della capacità raffrescante;
- (3.1.3.17): Potenza della pompa o del ventilatore dovuta all'espulsione del calore dalla zona termica, espresso in percentuale;
- (3.1.3.18): Frazione radiativa dovuta all'impianto di raffrescamento.

Tab. 35 - INPUT impianto ideale ACS, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.3.19	Volume d'acqua giornaliero consumata
3.1.3.20	Profilo temporale di utilizzo
3.1.3.21	Efficienza di erogazione
3.1.3.22	Temperatura media di ingresso dell'acqua fredda
3.1.3.23	Temperatura di mandata
3.1.3.24	Presenza del serbatoio di accumulo (Si/No)
3.1.3.25	Volume del serbatoio di accumulo
3.1.3.26	Fattore perdite di calore del serbatoio di accumulo

(3.1.3.19): Volume d'acqua giornaliero consumata;

(3.1.3.20): Profilo orario di utilizzo impianto di ACS, che sarà direttamente collegato a quello degli occupanti;

(3.1.3.21): Efficienza di erogazione;

(3.1.3.22): Temperatura media di ingresso dell'acqua fredda

(3.1.3.23): Temperatura di mandata del fluido caldo;

(3.1.3.24): Presenza del serbatoio di accumulo;

(3.1.3.25): Volume del serbatoio di accumulo;

(3.1.3.26): Fattore che valuta le perdite di calore del serbatoio di accumulo.

Tab. 36 - INPUT energia ausiliaria, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.3.27	Valore di energia ausiliaria
3.1.3.28	Valore di energia ausiliaria con impianti di riscaldamento/raffrescamento off
3.1.3.29	Frazione di energia ausiliaria consumata dai ventilatori

(3.1.3.27): Energia ausiliaria, calcolata quando si verifica un carico sul sistema, utilizzata da: ventilatori, pompe e strumenti di controllo, in funzione della superficie;

(3.1.3.28): Valore di energia ausiliaria con impianti di riscaldamento/raffrescamento disattivati, convenzionalmente questo valore viene posto pari a zero;

(3.1.3.29): Frazione di energia ausiliaria consumata dai ventilatori.

Tab. 37 - INPUT portate d'aria scambiate naturalmente, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.3.30	Infiltrazione/Ventilazione naturale
3.1.3.31	Ricambi orari d'aria
3.1.3.32	Profili temporali di variazione
3.1.3.33	Profilo orario di temperatura

(3.1.3.30): Aria scambiata all'interno della zona termica per infiltrazione o ventilazione naturale;

(3.1.3.31): Ricambi orari d'aria;

(3.1.3.32): Profili temporali di variazione dello scambio convettivo;

(3.1.3.33): Profilo di temperatura dell'aria dall'ambiente comunicante: esterno, spazio adiacente.

Tab. 38 - INPUT portate d'aria scambiate forzatamente, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.3.34	Portate d'aria scambiate
3.1.3.35	Ricambi orari d'aria
3.1.3.36	Profili temporali di variazione

(3.1.3.34): Aria scambiata all'interno della zona termica per infiltrazione o ventilazione naturale;

(3.1.3.35): Ricambi orari d'aria;

(3.1.3.36): Profili temporali di variazione dello scambio convettivo.

Tab. 39 - INPUT Pannello solare (piano), <VE>.

cod.	Quantità
3.1.3.37	Area collettore
3.1.3.38	Azimuth
3.1.3.39	Inclinazione
3.1.3.40	Fattore di ombreggiamento
3.1.3.41	Fattore di degrado
3.1.3.42	Efficienza scambiatore di calore
3.1.3.43	Efficienza di conversione a temperatura ambiente
3.1.3.44	Coefficiente a_1 – perdite di calore del primo ordine
3.1.3.45	Coefficiente a_2 – perdite di calore del secondo ordine
3.1.3.46	Portata

3.1.3.47	Potenza della pompa
3.1.3.48	Volume serbatoio di accumulo
3.1.3.49	Perdite di calore dell'accumulatore alla massima temperatura

(3.1.3.37): Area del collettore solare;

(3.1.3.38): Angolo azimutale del pannello solare in senso orario da nord;

(3.1.3.39): Inclinazione del pannello solare rispetto all'orizzontale;

(3.1.3.40): Fattore che tiene conto delle possibili ombre portate dagli edifici limitrofi sul pannello solare;

(3.1.3.41): Fattore che tiene conto degli effetti del soleggiamento e del tasso di degradamento del pannello;

(3.1.3.42): Efficienza scambiatore di calore;

(3.1.3.43): Efficienza di conversione a temperatura ambiente;

(3.1.3.44): Coefficiente a_1 – perdite di calore del primo ordine;

(3.1.3.45): Coefficiente a_2 – perdite di calore del secondo ordine;

(3.1.3.46): Portata di acqua calda attraversante il pannello solare, espressa per metro quadrato di pannello;

(3.1.3.47): Potenza della pompa compresa nel sistema di riscaldamento solare;

(3.1.3.48): Volume del serbatoio di accumulo;

(3.1.3.49): Fattore che tiene conto delle perdite di calore dell'accumulatore, registrate alla massima temperatura.

3.3.1.4. Zona Termica

Tab. 40 - Definizione zona termica, <VE>.

cod.	Quantità
3.1.4.1	Template elementi costruttivi
3.1.4.2	Template carichi termici endogeni
3.1.4.3	Template impianto di riscaldamento
3.1.4.4	Template impianto di raffrescamento
3.1.4.5	Template impianto di ventilazione naturale
3.1.4.6	Template impianto di ventilazione forzata
3.1.4.7	Template impianto di ACS
3.1.4.8	Template dispositivi ausiliari

(3.1.4.1): Template elementi costruttivi;

(3.1.4.2): Template carichi termici endogeni;

- (3.1.4.3): *Template* impianto di riscaldamento;
- (3.1.4.4): *Template* impianto di raffrescamento;
- (3.1.4.5): *Template* impianto di ventilazione naturale;
- (3.1.4.6): *Template* impianto di ventilazione forzata;
- (3.1.4.7): *Template* impianto di ACS;
- (3.1.4.8): *Template* dispositivi ausiliari.

3.3.2. Metodologia di Calcolo

3.3.2.1. Modello Termico

Apache Simulation, modulo del *software* IES <VE>, è il motore di calcolo energetico che effettua la simulazione dinamica degli scambi di calore che si verificano all'interno dell'edificio o compresi nel suo intorno. All'interno di questo ambiente, gli scambi conduttivi, convettivi e radiativi saranno computati individualmente e saranno successivamente integrati con gli altri componenti costituenti il modello. La definizione dello scambio conduttivo, all'interno del modello di calcolo, avverrà in maniera monodimensionale, mantenendo le proprietà termofisiche dei materiali costituenti, discretizzati in un predefinito numero di nodi, indipendenti dal tempo. Per quanto concerne lo scambio convettivo naturale e forzato, invece, definito generalmente come il prodotto fra una prestabilita differenza di temperatura e il relativo coefficiente di scambio h_c , il *software* permette allo sviluppatore di scegliere se imporre un valore costante di h_c oppure se tenere conto, in maniera iterativa, del suo comportamento non-lineare, variabile in funzione della temperatura. La radiazione solare incidente, calcolata con riferimento a ciascun *time step*, può essere suddivisa in tre diversi contributi: diretta, diffusa dalla volta celeste e diffusa dal suolo.

Il *software* perverrà alla risoluzione di tre diverse equazioni di bilancio: una riferibile alla superficie interna, una a quella esterna e il bilancio sull'aria compresa nel sistema termodinamico. Il bilancio termico sensibile e latente dell'aria compresa nella zona, si basa sull'assunzione che la temperatura e l'umidità vengono assunte uniformi all'interno dell'ambiente di progetto. La risoluzione delle equazioni di bilancio non-lineari avverrà in maniera reiterata e adoperando funzioni lineari. Ad ApacheSim possono essere integrati, nel caso in cui fosse ritenuto necessario, altri moduli del *software* madre: ApacheHVAC e MacroFlo. Il primo, se incluso, comprenderà nel bilancio termico ciascuna componente impiantistica, invece, nel caso in cui entrambi siano compresi nella simulazione, il programma eseguirà un confronto fra il calcolo delle portate d'aria scambiate naturalmente o meccanicamente effettuato da ApacheSim o dalle altre due estensioni. Per quanto riguarda i carichi termici endogeni (occupanti, dispositivi elettrici, apparecchi luminosi, ecc.), frazionabili nella loro porzione sensibile, latente, radiativa e convettiva, saranno espressi in valori massimi, modulati rispetto al loro utilizzo con riferimento ad un profilo temporale.

3.3.2.2. Modello Impianto

La presenza dell'impianto di acqua calda sanitaria, ventilazione, riscaldamento o raffrescamento, all'interno dell'ambiente di simulazione, può essere valutato in una duplice maniera: ideale oppure analitica. In quest'ultimo caso l'utente dovrà caratterizzare ogni componente del sistema attraverso la compilazione, in tutti i suoi campi, del modulo ApacheHVAC. Nel primo caso, quindi il comportamento sarà valutato in maniera fittizia, cioè non individuando una precisa tipologia di generatore o di altri componenti impiantistici ma definendo dei limiti virtuali di applicabilità quali la

massima capacità riscaldante o raffrescante e le temperature di comfort in regime invernale ed estivo. A livello urbano, tale calcolo risulta di notevole interesse in quanto, a fronte di un limitato ventaglio di parametri di input, è fondamentale contraddistinguere, anche in via semplificata, i parametri impiantistici, non lanciando, in questo senso non eseguendo la simulazione in *free running*. In maniera generale, si potranno definire parametri aggiuntivi riguardanti: i profili di utilizzo e la frazione radiante derivante dai terminali di ambiente.

3.3.2.3. Modello Radiativo

SunCast, modulo facente parte dell'ambiente IES <VE>, dato un contesto urbano e fissata una determinata ora, data, latitudine, longitudine e orientamento del sito, è in grado di effettuare simulazioni riguardanti l'esposizione all'illuminazione naturale di certi edifici e valutazioni concernenti le ombre portate sui manufatti.

Dal punto di vista illuminotecnico, all'interno del software è integrato il *tool* RADIANCE adoperato per prevedere la distribuzione radiativa all'interno e all'esterno dell'edificio. Questo applicativo basa il proprio funzionamento sulla discretizzazione di una distribuzione di fasci luminosi ad un numero finito di raggi, i quali verranno proiettati dalla volta celeste (si veda *paragrafo 3.2.2.2.*). Per condurre tale analisi, in input dovranno essere importate la geometria tridimensionale e le proprietà termofisiche del manufatto, per poter valutare il livello di illuminamento naturale nell'ambiente interno ed esterno.

3.3.3. Dati di Output

Tab. 41 - OUTPUT <VE>.

cod.	Tipo di Dato	Quantità
3.3.1	Domanda Energetica Sensibile	Fabbisogno energetico dovuto al Riscaldamento
3.3.2		Fabbisogno energetico dovuto al Raffrescamento
3.3.3		Fabbisogno energetico dovuto alla Ventilazione
3.3.4		Fabbisogno energetico dovuto all'ACS
3.3.5		Fabbisogno energetico totale
3.3.6	Domanda Energetica Latente	Carico dell'impianto di umidificazione
3.3.7		Carico dell'impianto di deumidificazione
3.3.8	Consumo Elettrico	Consumo elettrico dovuto all'impianto
3.3.9		Consumo elettrico dovuto all' <i>i-esimo</i> sottosistema
3.3.10		Consumo elettrico derivante da apparecchi illuminanti
3.3.11		Consumo elettrico derivante da dispositivi elettrici
3.3.12	<i>i-esimo</i> sottosistema impiantistico	<i>j-esimo</i> vettore energetico in input all' <i>i-esimo</i> sottosistema
3.3.13		Energia termica in output dall' <i>i-esimo</i> sottosistema
3.3.14	Energia Ausiliaria	Energia ausiliaria dell' <i>i-esimo</i> sottosistema
3.3.15	Temperature	Temperatura media radiante

3.3.16		Temperatura operativa
3.3.17	Concentrazione CO ₂	Concentrazione dell'anidride carbonica nell'aria
3.3.18	Comfort <i>indoor</i>	PMV
3.3.19		PPD

- (3.3.1): Rappresenta l'energia termica sensibile effettivamente fornita dal sistema, per quella zona e per quel determinato riferimento temporale;
- (3.3.2): Rappresenta l'energia termica frigorifera sensibile effettivamente fornita dal sistema, per quella zona e per quel determinato riferimento temporale;
- (3.3.3): Fabbisogno di energia dovuta alla ventilazione;
- (3.3.4): Fabbisogno di energia dovuta all'ACS;
- (3.3.5): Fabbisogno di energia totale;
- (3.3.6): Carico latente dell'impianto di umidificazione;
- (3.3.7): Carico latente dell'impianto di deumidificazione;
- (3.3.8): Consumo elettrico totale dell'impianto;
- (3.3.9): Consumo elettrico dovuto all'*i-esimo* sottosistema impiantistico;
- (3.3.10): Definito come la somma degli apporti termici: ritornati all'aria (per esempio da recuperatori di calore), radiativi, convettivi e visibili. Tale contributo esprimibile anche sottoforma di potenza;
- (3.3.11): Definito come la somma degli apporti termici: radiativi, convettivi, latenti e dispersi. Tale contributo esprimibile anche sottoforma di potenza;
- (3.3.12): Quantitativo del *j-esimo* vettore energetico (gas naturale, metano, propano, ecc.) in input all'*i-esimo* sottosistema impiantistico;
- (3.3.13): Energia termica in output dall'*i-esimo* sottosistema impiantistico;
- (3.3.14): Energia ausiliaria dell'*i-esimo* sottosistema impiantistico;
- (3.3.15): Temperatura media radiante di uno spazio è una misurata degli effetti combinati delle temperature delle superfici interne ad una certa zona;
- (3.3.16): Temperatura operativa di una zona;
- (3.3.17): Rappresenta il livello di concentrazione di diossido di carbonio, espresso in parti per milione, emesso in atmosfera per ogni edificio;
- (3.3.18): Voto medio previsto riferibile alla zona termica;
- (3.3.19): Percentuale di insoddisfatti riferibile alla zona termica.

3.4. URBANOPT

URBANOpt è un software di simulazione energetica, utilizzato con riferimento ad una scala urbana, sviluppato dal *National Renewable Energy Laboratory*. Tale programma, attualmente non ancora scaricabile, si serve rispettivamente della piattaforma OpenStudio e di EnergyPlus, precedentemente discusse, per eseguire la modellazione energetica al livello del singolo edificio. Tuttavia, il programma, attualmente (dato aggiornato nel novembre 2019), non è *open-source*, pertanto, per pervenire al suo utilizzo è necessaria una specifica abilitazione.

URBANOpt può essere utilizzato per investigare (URBANOpt):

- in fase di progettazione, il miglior compromesso energetico fra la geometria ed il luogo in cui è ubicato il manufatto;
- strategie e tecnologie per l'accumulo di energia negli edifici e nei quartieri;
- le misure di efficienza energetica nelle costruzioni;
- le caratteristiche e i carichi del sistema energetico di distretto, per identificare il migliore approccio per raggiungere gli obiettivi a livello locale.

Il *software* pertanto, potrà essere utilizzato per analizzare (URBANOpt):

- i profili di carico orario dei singoli edifici, in funzione della destinazione d'uso appartenente;
- la variazione del consumo energetico in funzione dei diversi scenari di efficienza energetica;
- la produzione di energia rinnovabile, di concerto con il numero e la tipologia di pannelli solari o fotovoltaici installabili;
- la differenza di utilizzo energetico fra gli edifici che sfruttano un impianto indipendente, rispetto a quelli serviti da un sistema termico condiviso;
- il carico dinamico dell'impianto.

3.5. SIMSTADT

Il *software* SimStadt, sviluppato dal *Energy and Geoinformatics departments of the University of Applied Sciences Stuttgart*, è un programma di simulazione energetica utilizzabile con riferimento ad una scala urbana. Questa piattaforma ha lo scopo di supportare i pianificatori delle città e le amministrazioni pubbliche a virare verso strategie energetiche meno impattanti ed energivore.

Una caratteristica fondamentale di SimStadt è la possibilità di importare il modello 3D della realtà urbana nel formato standardizzato CityGML. Tale *data model*, ove si riporta la totale assenza di informazioni energetiche, immagazzina tutti i parametri geometrico-tridimensionali e le relazioni esistenti fra queste. CityGML incorpora, inoltre, quattro differenti livelli di dettaglio che ben si adattano alla finalità ultima richiesta. Da questo punto di vista, il LOD1 risulta la più semplice rappresentazione di un'entità volumetrica, raffigurando l'oggetto a blocchi tridimensionali. La forma del livello successivo incorpora la presenza del tetto, mentre il terzo, invece, aggiunge la posizione e la dimensione dei serramenti. Il LOD4, infine, inserisce al dettaglio precedente la modellazione degli spazi interni. In questo senso, l'ambiente di simulazione SimStadt è in grado di riconoscere e gestire tutti i livelli dei LOD sopraelencati.

Il *software* permette di effettuare delle analisi riguardo: lo sfruttamento della radiazione solare, il calcolo della domanda energetica e il quantitativo di anidride carbonica emessa in atmosfera. Per quanto concerne le prime due analisi è necessario importare, all'interno del programma, i dati climatici riferiti alla zona di interesse, esportabili ad esempio dal database Meteonorm, su base oraria

o mensile. Il calcolo della domanda energetica, determinabile anche in maniera globale, racchiude la valutazione del consumo dovuto all'impianto: di riscaldamento, di ACS e la richiesta in termini elettrici. Per quanto concerne il consumo derivante per l'acqua calda sanitaria e il fabbisogno elettrico, queste variabili dipendono maggiormente dall'utilizzo dell'edificio, pertanto la loro valutazione sarà effettuata su base annua attraverso un calcolo statistico. Per l'impianto di riscaldamento, invece, il calcolo verrà svolto su base mensile, di concerto con la norma *ISO 13790*, applicata separatamente a ciascun edificio. Una potenzialità racchiusa all'interno del software SimStadt riguarda la possibilità di comparare, con la situazione simulata, degli scenari predefiniti volti a migliorare le prestazioni energetiche dei manufatti (Robinson *et al.* ^[C-4]). Il programma, attualmente (dato aggiornato nel novembre 2019), non è *open-source*, pertanto, per pervenire al suo utilizzo è necessaria una specifica abilitazione.

3.6. SOLENE

SOLENE, *software* sviluppato dal gruppo di ricerca CRENAU (*Urban Architecture Nantes Research Centre*) con base a Nantes, originariamente era volto soprattutto ad architetti e pianificatori urbani, per la progettazione di nuovi quartieri, simulando la richiesta edificatoria e valutando le ricadute in termini di domanda energetica e di comfort termico. Non di meno, la volontà del *team* era quella di virtualizzare gli effetti dell'ambiente circostante sul singolo edificio e viceversa, analizzando così i manufatti non come *unicum*, ma come entità direttamente relazionate fra di loro.

La struttura del *software* è disarticolata in circa 200 *tool* eseguibili, ognuno dei quali assolve ad un compito ben preciso. Da questo punto di vista, per lo sviluppatore, risulta di notevole aiuto il *plug-in* T4SU installabile come estensione di SketchUp. Questo, primariamente, risulta un tramite fra la modellazione tridimensionale ed il *software* di simulazione, successivamente, in tale ambiente virtuale, possono essere eseguite analisi atmosferico-visive sulla morfologia dello spazio urbano (fattore di vista del cielo e del sole). SOLENE, supporta inoltre l'importazione di formati GIS tipicamente utilizzati (*shape* e *database file*), ma anche di file derivanti da ArchiCAD. Ulteriormente, può essere realizzato un modello termico, accoppiabile, a seconda dei casi, con il calcolo computazionale dei flussi d'aria all'interno del contesto cittadino attraverso la CFD (*Computational Fluid Dynamics*) *tool* Code_Saturne, la quale però non risulta ancora validata (Siems *et al.* ^[C-25]).

Il principale vantaggio del programma riguarda la rappresentazione dell'intero ambiente urbano che può modificare la distribuzione e l'intensità di alcuni fenomeni fisici, quali ad esempio lo scambio radiativo e convettivo. Pertanto, per ottemperare a ciò, SOLENE permette di tenere in considerazione, nello spazio di modellazione, di elementi vegetali quali: alberi, prati e tetti verdi, i quali fungendo da regolatori termo-igrometrici, avranno un'influenza all'interno del calcolo energetico, ad esempio assorbendo parte della radiazione solare incidente, non collimante quindi sulle superfici artificiali urbane. Riassumendo quindi, SOLENE permette di eseguire le analisi proposte di seguito:

- Bilancio energetico dell'edificio: domanda energetica, temperature superficiali e comfort *indoor* (PMV, temperatura fisiologica equivalente);
- Conduzione e accumulo termico all'interno dei componenti di involucro e del suolo;
- Portate d'aria e scambio convettivo all'interno della morfologia urbana, mediante l'utilizzo degli strumenti della fluidodinamica computazionale;
- Scambio radiativo, a bassa e ad alta lunghezza d'onda, tenendo in considerazione della riflessione diffusa;
- Trasformazioni di ambienti urbani, accompagnato da un'analisi sulla visibilità della volta celeste e del sole;

- Evotraspirazione da superfici naturali (vegetazione, stagni d'acqua, ecc.).

Il programma, attualmente (dato aggiornato nel novembre 2019), non è *open-source*, pertanto, per pervenire al suo utilizzo è necessaria una specifica abilitazione.

3.7. CITYBES

CityBES, piattaforma web sviluppata da *Lawrence Berkeley National Lab* degli Stati Uniti, è uno strumento, utilizzabile da pianificatori urbani, progettisti o amministrazioni pubbliche, per modellare e analizzare il comportamento energetico di un ambiente cittadino, per supportare ed incentivare i programmi volti al miglioramento energetico del parco edilizio di riferimento. CityBES, all'interno del quale si potranno modellare più di dieci mila manufatti insieme (Chen *et al.* [C-6]), può essere suddiviso in tre diverse parti: la prima riferita al reperimento dei dati (geometrici, fisici, climatici), la seconda raggruppante l'algoritmo di calcolo e la terza, infine, indirizzata alla valutazione degli interventi migliorativi.

La modellazione geometrico-tridimensionale avverrà con il formato internazionale standardizzato CityGML oppure si potrà procedere all'importazione di un modello bidimensionale nel formato GeoJSON, a cui saranno associate informazioni aggiuntive, riguardanti: l'altezza dell'edificio, il numero dei piani, la tipologia e l'anno di costruzione dei manufatti edilizi. EnergyPlus, motore di calcolo di CityBES, viene adoperato per la simulazione energetico-dinamica dell'ambiente abitato. Il programma, all'interno del proprio ambiente di lavoro, integra automaticamente più di 75 potenziali interventi di efficienza energetica (Chen *et al.* [C-7] [C-8]) derivanti da diversi *database*, fra cui CBES (*Commercial Building Energy Saver*). A questi sarà associata una descrizione tecnica, informazioni concernenti la modellazione ed il costo dell'investimento per ciascuna misura selezionata. Infine, i risultati potranno essere visualizzati su diverse scale di colore in un ambiente tridimensionale.

Il *cloud computing* associato alla caratteristica di possedere, nella propria libreria, una serie di potenziali misure già catalogate e pronte per essere richiamate, risultano senza dubbio le principali potenzialità nell'utilizzo di tale applicativo. Un limite di tale programma riguarda l'impossibilità di modellare direttamente il proprio scenario urbano (dato aggiornato al dicembre 2019), nel senso che il *software* lo permette, però per importare il proprio oggetto digitale, e su questo simulare i possibili interventi di riqualificazione energetica, è necessaria una particolare abilitazione. In alternativa, previa registrazione, per qualsiasi utente, sarà possibile solamente visionare i modelli preconfezionati da terzi, riferiti a specifici quartieri americani, su cui si possono identificare le varie tipologie e potenzialità degli interventi migliorativi.

3.8. CITY ENERGY ANALYST

City Energy Analyst (CEA), facente parte del progetto di ricerca condotto dai dipartimenti di Architettura e Sistemi Edilizi del Politecnico federale di Zurigo, è un *software* di simulazione energetica utilizzabile con riferimento ad una scala urbana.

La struttura di CEA fonda il suo utilizzo sull'interrogazione di sette diversi *database* e sei moduli di calcolo gestibili nel linguaggio di programmazione Python. Fra le banche dati principali, quelle di maggior interesse risultano: quella relativa ai parametri meteorologici; quella della scena urbana, contenente le proprietà dimensionali e i dati geo-referenziati degli edifici e delle infrastrutture; quella concernente le informazioni riguardanti le proprietà standard dei manufatti e del sistema HVAC e le librerie ritenute complementari e non. Il modello termico del programma CEA si basa su un sistema R-C, atto alla stima degli scambi energetici su base oraria esistenti fra gli edifici, gli utenti e l'ambiente circostante. Tale metodologia computazionale, costituita da sei resistenze ed un

condensatore, si basa su un calcolo dinamico semplificato, di concerto con la *UNI EN ISO 13790*. Il modello R-C, il cui utilizzo è focalizzato alla stima della domanda termica sensibile, discretizza un edificio intero e le sue superfici, in un circuito elettrico che lavora con: resistenze, condensatori e nodi di temperatura, laddove i primi rappresentano delle aree che ritardano il trasferimento dell'energia e i secondi, invece, raffigurano l'inerzia termica del componente di involucro (Fonseca *et al.* [C-13]). Una delle potenzialità nell'adozione di tale programma riguarda la possibilità di ottenere una geometria tridimensionale, ricavabile da *Open Street Maps*, solamente circoscrivendo l'area di interesse. A ciò si associa l'opportunità di valutare una serie di possibili scenari di riqualificazione, volte al miglioramento delle *performance* energetiche di un parco edilizio.

3.9. SEMANCO

SEMANCO è una piattaforma integrata, frutto del progetto EECITIES, utilizzata per calcolare il fabbisogno energetico a differenti scale urbane. Tale programma si rivolge a pianificatori, consulenti energetici o amministrazioni pubbliche decise a prendere coscienza della qualità del proprio patrimonio edilizio. A differenza degli altri *software*, SEMANCO, si classifica nella categoria *cloud computing*, ovvero quei programmi localizzati su server remoti, il cui utilizzo avviene attraverso l'accesso al sito-web della piattaforma. Il principale vantaggio di tale sistema risiede nella dislocazione della capacità computazionale, ovvero demandare ad un altro *hardware*, l'elaborazione dei dati. Implicitamente tale sistema, impone che i professionisti interessati possano accedere ai progressi del modello su qualsiasi calcolatore e inoltre, potranno essere lanciate contemporaneamente più simulazioni, ottimizzando così il processo di analisi. Un altro vantaggio del *software* oltre alla sua interfaccia *user-friendly*, volta a facilitare l'esperienza dello sviluppatore, risulta essere la diversa scala di applicabilità a cui si rivolge, poiché in tale ambiente virtuale è possibile modellare: un campus, un quartiere o un'intera cittadina, con modesti tempi di elaborazione richiesti. SEMANCO, il cui motore energetico è URSOS, integra al proprio interno un ambiente di modellazione tridimensionale, che garantisce, successivamente al calcolo, una visualizzazione tematica degli output ottenuti. Da questo punto di vista, i risultati ottenibili dal seguente *tool*, per l'area urbana modellata, sono i seguenti:

- fabbisogno energetico dovuto al riscaldamento, raffrescamento e ACS;
- consumo elettrico ed emissione di anidride carbonica in atmosfera;
- calcolo dettagliato delle ombre portate sugli edifici;
- quantitativo di combustibile necessario per soddisfare la domanda derivante dai servizi energetici considerati.

Gli output, inoltre, potranno essere interrogati in maniera tabellare oppure sottoforma di diagrammi cartesiani automaticamente. All'interno dello stesso ambiente di simulazione, l'utente potrà valutare, attraverso un'analisi multicriteriale, l'efficienza di diversi scenari di riqualificazione, analizzando le categorie di edifici coinvolti (Madrazo *et al.* [C-21]).

I progetti simulati all'interno dell'ambiente SEMANCO, sono per lo più contesti urbani, localizzati nelle città di: Manresa, Newcastle, Copenhagen e Torino. Il programma, attualmente (dato aggiornato nel novembre 2019), non è *open-source*, pertanto, per pervenire al suo utilizzo è necessaria una specifica abilitazione.

3.10. MATRICE DI CONFRONTO SOFTWARE

Nell'*Allegato A*, verrà presentata la matrice di confronto, all'interno della quale compariranno i criteri considerati per la valutazione dei tre *software*, rispettivamente: CitySim Pro, UMI e IES <VE>. Le colonne orizzontali saranno occupate, quindi dai tre programmi oggetto dell'analisi, lungo le righe verticali, invece, appariranno: i parametri di input necessari alla creazione del modello, le approssimazioni effettuate dai *tool* e dei richiami alle diverse metodologie di calcolo applicate, le quali, si ricorda, sono state trattate singolarmente e in maniera esaustiva nelle sezioni precedenti. Pertanto, uno dei vantaggi nella costituzione di tale matrice, è la valutazione aprioristica del grado di complessità delle informazioni necessarie, cosicché si possa individuare in maniera puntuale il *software* che meglio si adatta alla modellazione.

Gli altri programmi (URBANopt, SimStadt, SOLENE, CityBES, CEA e SEMANCO), seppur trattati nei paragrafi precedenti, non faranno parte della tabella, in quanto per potervi accedere direttamente è richiesta un'autorizzazione o un'abilitazione che per alcuni di essi è stata negata o ignorata. Sono stati comunque riportati cosicché il lettore possa farsi un'idea su quali *software* possano essere utilizzati per stimare il fabbisogno energetico di un parco edilizio esistente o di nuova costruzione. Nello specifico: URBANopt, attualmente, viene adoperato all'interno del NREL; SimStadt è in fase di sviluppo e aggiornamento (dato aggiornato all'ottobre del 2019); SOLENE, creato dal CRENAU di Nantes, è utilizzabile per progetti interni a quel dipartimento; CityBES necessita di una particolare abilitazione e SEMANCO, infine, è un programma poco adoperato nella sua storia e che per poter essere sfruttato necessita di una particolare abilitazione.

3.11. LINEE GUIDA MODELLAZIONE ENERGETICA PARCO EDILIZIO

Dall'esperienza maturata, frutto dell'analisi dei *software* utilizzabili per la modellazione energetica di un parco edilizio, si è generata una seconda matrice di confronto, consultabile per interesse nell'*Allegato B*, ma presentata riassunta per punti nella pagina successiva, in cui si compara il *modus operandi* dei programmi adoperabili con riferimento ad un singolo edificio con quelli impiegabili ad una scala urbana. Nel primo caso si è preso come riferimento soprattutto il modello di calcolo generato da EnergyPlus, *software* ampiamente utilizzato e riconosciuto dalla comunità scientifica internazionale, a cui si è associata l'esperienza maturata all'interno di ambienti di simulazione quali: EdilClima e la piattaforma ANIT. L'obiettivo di tale analisi è quella di fornire delle linee guida grazie alle quali, lo sviluppatore di un modello energetico, possa rendersi conto aprioristicamente delle approssimazioni effettuate all'interno di un contesto urbano rispetto alla simulazione sul manufatto singolo. Viene da sé che la generalizzazione all'interno della comparazione, frutto del paragone fra diversi simulatori, è indispensabile sia dal lato del singolo edificio sia da quello di un parco edilizio. Nel caso di incongruenze o contraddizioni all'interno di uno specifico campo, rilevabili anche all'interno della *Matrice di Confronto* (si veda *Allegato A*) originata dai tre *tool* presentati, si è scelto di riportare il comportamento preponderante. Questo poiché, rispetto a CitySim Pro e UMI, all'interno di cui non è possibile, anche nel caso in cui si volesse, andare oltre l'input considerato, IES <VE> risulta un *software* con una storia ed una flessibilità di utilizzo maggiormente dettagliabile, ciò è permesso grazie ai diversi moduli interrogabili, ognuno dei quali prevede delle condizioni al contorno ed un modello di calcolo differente, in modo tale che lo sviluppatore possa detenere un più alto numero di gradi di libertà nella scelta.

Tab. 42 - Confronto BEM vs UBEM.

Variabile	BEM	UBEM
Geometrie	<ul style="list-style-type: none"> - Modellazione tridimensionale di geometrie complesse 	<ul style="list-style-type: none"> - Modellazione tridimensionale di masse
Dati climatici	<ul style="list-style-type: none"> - Funzione della tipologia di <i>software</i> da cui verranno letti 	<ul style="list-style-type: none"> - Influenzati dalle isole di calore urbano
Componente opaco	<ul style="list-style-type: none"> - Posizione, estensione e proprietà termofisiche univocamente definite 	<ul style="list-style-type: none"> - Un pacchetto stratigrafico definibile per ogni elemento tecnico (chiusura verticale, orizzontale superiore ed inferiore), è valido per l'intero edificio; - Pacchetto stratigrafico definibile per orientamento di facciata oppure valido per l'intero edificio, con riferimento ad un elemento tecnico
Componente vetrato	<ul style="list-style-type: none"> - Posizione, estensione e proprietà termofisiche univocamente definite; - Modellazione frazione vetrata e quota occupata dal telaio, con relative proprietà fisiche ad esse associate 	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicazione baricentrale per facciata di piano o per facciata di edificio; - Definizione unica del serramento, valida per l'intero edificio; - Percentuale della frazione vetrata sul totale della facciata; - Comportamento energetico definito modellando il numero e la tipologia di componenti vetrati o inserendo direttamente la trasmittanza del serramento ed il fattore solare; - Frazione vetrata funzione dell'orientamento; - Impossibilità di inserimento di uno specifico serramento in una determinata posizione
Dispositivi oscuranti	<ul style="list-style-type: none"> - Funzione della conformazione dell'apparecchio 	<ul style="list-style-type: none"> - Inserimento resistenza termica o fattore correttivo che valuti la transizione dovuta alla

	<p>oscurante (a lamelle o uniforme);</p> <ul style="list-style-type: none"> - Profilo di apertura/chiusura in relazione al <i>time step</i> considerato 	<p>presenza o all'assenza del dispositivo oscurante;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Azionamento dispositivi con <i>set-point</i> irraggiante o con profilo <i>ad hoc</i>
Ponti termici	<ul style="list-style-type: none"> - Calcolo numerico; - Calcolo agli elementi finiti; - Calcolo attraverso Atlante dei Ponti Termici 	<ul style="list-style-type: none"> - Calcolo assente o semplificato, attuato inserendo un fattore correttivo, agente sul valore della trasmittanza termica dei componenti di involucro
Apporti termici interni	<ul style="list-style-type: none"> - Considerati in maniera puntuale o parametrica 	<ul style="list-style-type: none"> - Calcolati per via parametrica, con riferimento allo spazio
Occupanti	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamento occupanti previsto secondo modelli stocastici o deterministici; - Modello basato sullo spazio o sulla persona 	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamento occupanti previsto secondo modelli stocastici o deterministici; - Modello basato sullo spazio
Impianto	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema di generazione reale o fittizio, considerando i vari sottosistemi impiantistici (emissione, regolazione, distribuzione e accumulo); - Dispersioni termiche calcolate per ciascun sottosistema; - Reiterazione calcolo per compensare le perdite di calore in ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema di generazione reale o fittizio; - Assenza dei sottosistemi a valle della generazione; - Calcolo assente o semplificato per le dispersioni termiche dei vari sottosistemi
Partizioni	<ul style="list-style-type: none"> - Posizione, estensione e proprietà termofisiche univocamente definite 	<ul style="list-style-type: none"> - Un pacchetto stratigrafico, definibile per ogni elemento tecnico (partizioni verticali e orizzontali), è valido per l'intero edificio; - Fattore correttivo per frequenza di presenza per partizioni verticali; - Partizioni orizzontali per frazionare due piani successivi
Zona termica	<ul style="list-style-type: none"> - Differenti condizioni d'uso; - Complessità dell'edificio; - Complessità del sistema impiantistico; - Confine legislativo 	<ul style="list-style-type: none"> - Coincidente con l'intero edificio oppure partizionamento per ciascun piano in <i>core</i> e <i>perimeter zones</i>

3.12. RIFERIMENTI

3.12.1. Riferimenti Bibliografici e Sitografici

- [C-1] Bare J., Hopton M. e Young D., *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) – USER’S MANUAL*.
- [C-2] Beckers B., Kämpf J. H. e Vermeulen T., *Urban Form Optimization for the Energy Performanze of Buildings using CitySim*, CISBAT 2013, 2013.
- [C-3] Biliardo M., Coccolo S., Kaempf J. e Mutani G., *CitySim Guide: Urban Energy Modelling*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2018.
- [C-4] Brassel K-H, Bruse M., Coors V., Duminil E., Eicker U., Nouvel R. e Robinson D., *SimStadt, a new Workflow-driven urban Energy Simulation Platform for CityGML city Models*, CISBAT 2015, 2015.
- [C-5] Buhl W.F., Crawley D. B., Fishere D. E., Glazer J., Huang Y. J., Lawrie L. K., Liesen R. J., Pedersen C. O., Strand R. K., Winkelmann F. C. e Wittef M. J., *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*, D. B. Crawley et al./Energy and Buildings 33/4, 2001.
- [C-6] Chen Y., Hong T., Lee S. H. e Piette M. A., *CityBES: A Web-based Platform to Support City-Scale Building Energy Efficiency*, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2016.
- [C-7] Chen Y., Hong T. e Piette M. A., *City-Scale Building Retrofit Analysis: A Case Study using CityBES*, Building Simulation 2017, August 7-9, 2017.
- [C-8] Chen Y., Hong T., Luo X. e Piette M. A., *Modeling City Building Stock for Large-Scale Energy Efficiency Improvements using CityBES*, Lawrence Berkeley National Laboratory, ACEEE Summer Study in Building Energy Efficiency, 2018.
- [C-9] Christoffersen J., Hvass M., Johnsen K. e Roy N., *Daylight calculations in practice: An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms*, January 2013.
- [C-10] Corchero C., Salom J., Sanmarti M. e Sola A., *Simulation Tools to Build Urban-Scale Energy Models: A Review*, Energies 2018, 2018.
- [C-11] Dogan T., Jakubiec J A., Rakha T., Reinhart C. F e Sang A., *UMI – An Urban Simulation Environment for Building Energy Use, Daylighting and Walkability*, Proceedings of BS2013, pp. 476-483.
- [C-12] Emmanuel W. e Kämpf J. H., *A verification of CitySim results using the BESTEST and monitored consumption values*.
- [C-13] Fonseca J. A., Marechal F., Nguyen T. e Schlueter A., *City Energy Analyst (CEA): Integrated framework for analysis and optimization of building energy systems in neighborhoods and city districts*, Energy and Buildings 113 (2016) 202–226, 2015.
- [C-14] Haldi F., Kämpf J., Leroux P., Perez D., Rasheed A., Robinson D. e Wilke, U, *CitySim: Comprehensive Micro-Simulation of Resource Flows for Sustainable Urban Planning*, IBPSA Conference, pp. 1083-1086, 2009.
- [C-15] Hong T., Zhou X. e Yan D., *Comparison of Building Energy Modeling Programs: HVAC Systems*, August 2013.

- [C-16] Jakubiec J. A. e Reinhart C. F., *DIVA 2.0: Integrating daylight and Thermal Simulations using Rhinoceros 3D, DAYSIM and EnergyPlus*, Proceedings of Building Simulation 2011, 2011.
- [C-17] Jones N. L. e Reinhart C. F., *Speedup Potential of Climate-Based Daylight Modelling on GPUs*, MIT.
- [C-18] Kämpf J., *On the Modelling and Optimisation of Urban Energy Fluxes*, Thesis n. 4548 (2009) EPF de Lausanne, 2009.
- [C-19] Kämpf J., Papadopoulo M., Perez D., Robinson D. e Wilke U., *CitySim Simulation: The Case Study of Alt-Wiedikon, a Neighbourhood of Zurich City*, 2011.
- [C-20] Lauzet N., Morille B. e Musy M., *SOLENE-microclimate: a tool to evaluate envelopes efficiency on energy consumption at district scale*, IBPC 2015, 2015.
- [C-21] Madrazo L. et al., *D5.4 Prototype of the integrated platform*, FUNITEC, 2013.
- [C-22] Mignet F., *A further step in Environment and Bioclimatic Analysis: the Software tool SOLENE*, Building Simulation 2007, 2007.
- [C-23] MIT Sustainable Design Lab, *umidocs Documentation*, Release 2.3a4.
- [C-24] Robinson D. e Stone A., *Holistic Radiation Modelling with a fast Simplified Radiosity Algorithm*, IBPSA Conference, 2005.
- [C-25] Siems T., Simon K. e Voss K., *State-of-Art of Education on Solar Energy in Urban Planning*, 2018.
- [C-26] U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation –EnergyPlus Essentials*.
- [C-27] U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation - Engineering Version*, 2019.
- [C-28] U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation – Getting Started with EnergyPlus*, 2019.
- [C-29] U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Version 9.1.0 Documentation – Plant Application Guide*, 2019.
- Algoritmo di Dijkstra, https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_di_Dijkstra
- ApacheSim Calculation Methods IES <VE> 2019, consultato nel novembre 2019, <https://help.iesve.com/ve2019/>
- BCL, consultato nell'ottobre 2019, <https://bcl.nrel.gov/>
- CityBES, consultato nel dicembre 2019, <https://citybes.lbl.gov/>
- City Energy Analyst, consultato nel dicembre 2019, <https://cityenergyanalyst.com/>
- CitySim Pro, consultato nell'ottobre del 2019, <http://kaemco.ch/>
- DAYSIM, consultato nell'ottobre 2019, <https://daysim.ning.com/page/program-structure>
- EECITIES, consultato nel novembre 2019, <http://www.eecities.com/>
- EnergyPlus, consultato nell'ottobre del 2019, <https://energyplus.net/>
- IES <VE>, consultato nel novembre 2019, <http://www.iesve.com/>
- Meteonorm, consultato nell'ottobre del 2019, <https://meteonorm.com/en/horizon-tiles>
- OpenStudio, consultato nell'ottobre del 2019, <https://www.openstudio.net/>

Rhinoceros, consultato nell'ottobre del 2019, <https://www.rhino3d.com/it/>

SEMANCO, consultato nel novembre 2019,

http://arcdev.housing.salle.url.edu/semanco/platform_prototype8/index.php/home_controller/toHome

SimStadt, consultato nell'ottobre del 2019, <http://www.simstadt.eu/en/index.jsp>

SOLENE, consultato nell'ottobre 2019, <https://aau.archi.fr/crenau/solene/>

Sketchup, consultato nell'ottobre del 2019, <https://www.sketchup.com/it>

UMI, consultato nell'ottobre del 2019,

<http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/umi/index.html>

URBANopt, consultato nell'ottobre 2019, <https://www.nrel.gov/buildings/urbanopt.html>

4. PRESENTAZIONE DEL SITO OGGETTO DI STUDIO

Alessandria, comune avente 93.808 abitanti, situato nella pianura fra il fiume Tanaro e la Bormida, ai piedi delle colline del basso Monferrato, capoluogo dell'omonima provincia, risulta il terzo comune più popoloso e il primo per superficie dell'intero Piemonte. La città, importante nodo ferroviario italiano, possiede una posizione strategica, collocandosi al centro del triangolo industriale Torino-Genova-Milano e costituendo un punto nevralgico di interscambio con i comuni e le regioni limitrofe. L'importanza della posizione geografica ha avuto degli evidenti riflessi anche dal punto di vista storico, in quanto Alessandria ha sempre dovuto subire le mire espansionistiche di numerosi condottieri: dall'imperatore del Sacro Romano Impero Barbarossa a Napoleone. Gli episodi di natura militare hanno fatto sì che la città diventasse una delle roccaforti più importanti all'interno del panorama europeo.



Fig. 8 - Localizzazione geografica Alessandria (FONTE: Google Maps).

4.1. CONTESTUALIZZAZIONE STORICO-URBANISTICA

4.1.1. La Fondazione di Alessandria

Per colmare l'assenza di un importante centro abitato, nella pianura fra Tortona e Acqui, il 3 maggio del 1168 a Lodi, in occasione del convegno della Lega Lombarda, alleanza militare nata per rivendicare le libertà comunali in contrasto con le politiche imperiali di Federico I Barbarossa prima, e in seguito di Federico II di Svevia, alla presenza dei consoli: Oberto di Foro, Aleramo di Marengo e Rodolfo Nebbia, si sancì la fondazione della città di Alessandria. Il comune, nato dal sostegno economico di Genova, sorto fra i quattro borghi di: Bergoglio, Gamondio, Marengo e Rovereto, fu così nominata in onore di Papa Alessandro III, sostenitore della Lega, costituita nel 1167 a Pontida, e deciso oppositore della politica imperiale. L'avanzata di Barbarossa in Italia avvenne nel 1174, prima incendiando Susa, entrando a Torino, assediando Asti ed infine dirigendosi verso Alessandria, sua principale antagonista. La battaglia fu catastrofica e gli alessandrini vinsero contro i soldati

tedeschi, decimati dall'inverno rigido e dalla fame. Tuttavia, Barbarossa tentò invano un estremo attacco il 6 aprile del 1175. Respinto anche questo, il condottiero si arrese definitivamente il giorno 12 dello stesso mese. Seppur sconfitto sul campo, in seguito alla battaglia di Legnano, combattuta fra il condottiero e la Lega Lombarda, si stipulò la pace di Costanza e Alessandria passò diplomaticamente sotto la giurisdizione imperiale, assumendo la denominazione di *Cesarea*, che la contraddistinse fino al 1198, anno dopo il quale si riprese la vecchia denominazione.

Il secolo successivo, fu caratterizzato da un movimentato gioco di alleanza e tradimenti, in quanto i marchesi del Monferrato indussero Alessandria a scontrarsi ed a coalizzarsi con i comuni limitrofi. Nel 1215, Alessandria, Vercelli, Asti e Milano distrussero e saccheggiarono Casale Monferrato e, nel 1291 il *Gran Marchese*, Guglielmo VII del Monferrato, convinto dell'alleanza con Alessandria, entrò indifeso nella cittadina, però ingannato, fu imprigionato ed ucciso. Carlo II d'Angiò, re di Napoli, acquisì il controllo di Alessandria, a causa dell'assenza di eredi diretti del *Gran Marchese*. Nel 1315 Marco Visconti, conte di Milano, sconfisse gli angioini sullo Scrivia. Tuttavia, la popolazione, non vedendo di buon occhio la dominazione milanese, chiese la protezione del marchese del Monferrato. A seguire gli abitanti furono sottomessi varie volte: nel 1356, nel 1361 e nel 1403, sommossa domata dal condottiero Facino Cane. Il tentativo di conquista da parte dei francesi nel 1391 divenne realtà nell'agosto del 1499. Durante questi anni i milanesi dovettero difendere più volte la città dalle incursioni delle truppe d'oltralpe. La dominazione del Ducato di Milano, ai cui Sforza succedettero i Visconti, si protrasse fino al 4 novembre del 1535, dopo cui ebbe inizio il governo spagnolo e nella cui occasione, Carlo Guasco giurò fedeltà all'Imperatore Carlo V di Spagna.

Nel 1630 si registrò una terribile epidemia di peste che coinvolse 4000 alessandrini su una popolazione di circa 18.000 abitanti. Nel 1643 prima e nel 1661 poi, le truppe spagnole, grazie all'aiuto dei cittadini, riuscirono a fronteggiare l'avanzata dell'esercito sabaudo, con la conseguente vittoria della città, avvenuta nel febbraio del 1707, in cui l'esercito piemontese, capitanato da Eugenio di Savoia, entrò trionfalmente. L'annessione ufficiale al ducato di Savoia si verificò in seguito al trattato di Utrecht. La posizione strategica della città indusse, durante l'età contemporanea, la prima e la seconda campagna d'Italia ad opera della Francia rivoluzionaria. In seguito alla battaglia di Marengo avvenuta nel 1800, combattuta nel territorio alessandrino, il ducato di Savoia passò sotto la dominazione francese. Successivamente all'annessione ufficiale, avvenuta due anni più tardi, l'idea napoleonica era quella di rendere la città di Alessandria una delle più fortificate d'Europa. Nel 1814, il capoluogo di provincia venne conquistato dagli austriaci, per poi passare di nuovo sotto il controllo dei Savoia, dopo il trattato di Parigi. Nel 1847 il comune divenne parte del regno di Sardegna, e in seguito alla vittoria austriaca nella prima guerra di indipendenza, tale esercito poté riacquisire, per la seconda volta, la proprietà della città. Infine, nel 1861 il regno di Sardegna divenne il regno d'Italia.

Il Ventennio fascista non fu un periodo florido per il comune, in quanto la maggior parte della forza lavoro rimaneva impiegata nel campo agricolo con il settore industriale fermo alla situazione prebellica. Il 5 aprile 1945, durante la Seconda Guerra Mondiale, la ferrovia e il centro città furono sede di ripetuti e tragici bombardamenti, ad opera di aerei anglo-americani. Le perdite furono ingentissime: 45 case rase al suolo, mille appartamenti resi inagibili, 160 vittime e oltre 600 feriti. Nel corso di questi eventi, anche la sinagoga fu parzialmente distrutta e saccheggiata. Nel Dopoguerra, Alessandria fu caratterizzata da un periodo di *boom* economico, in cui soprattutto si svilupparono maggiormente il settore meccanico e agricolo. Negli anni '80 in città accrebbero piccole e medie industrie, che videro l'impiego di maestranze locali.

4.1.2. Quartiere degli Orti

Il Quartiere degli Orti, localizzato nella parte Nord della città di Alessandria, sorge sulla sponda destra del fiume Tanaro. La fondazione del Rione, avvenuta nel 1168, coincide con quella del centro abitato dapprima denominato “Cittanova”, per poi mutare in “Alessandria”, in onore di Papa Alessandro III, sostenitore della campagna contro il regime imperiale capitanato da Barbarossa. Il nome del quartiere, i cui territori si estendevano fino ad un’area affacciata sulla confluenza del Bormida col Tanaro, deriva dalle origini delle genti che abitavano questi luoghi: gli ortolani. Successivamente, a causa delle innumerevoli inondazioni del fiume amico-nemico, ci fu un arretramento verso l’interno dell’ambiente costruito, modificando così anche l’intersezione dei due corsi d’acqua, spostandolo, dove tutt’ora risiede, a Sud del Borgo di Montecastello. Le informazioni che seguono, per la maggior parte, sono state desunte dalla pubblicazione: *Orti: d’j’ort e gavòn: storia, vita e personaggi del quartiere alessandrino*, scritta da Gianfranco Calorio ^[D-1].



Fig. 9 - Rappresentazioni delle circoscrizioni di Alessandria: A9 Quartiere degli Orti; A8 Quartiere Galimberti e a Sud il centro storico (immagine estratta da ^[D-1]).

Gli abitanti degli Orti, gente povera, semplice, dal carattere romantico, scherzoso, ironico e smalzato, dediti alla caccia, alla pesca, al lavoro nei campi e nei banchi da seta, erano in contrasto simbolico con le genti di città. Con gli abitanti del Rione Cristo, esisteva un’antica rivalità a causa della presenza di un viale che collegava quest’ultimo quartiere con i paesi collinari limitrofi. “Quelli degli Orti”, invece, erano invidiati, dagli alessandrini in generale, a causa del loro attaccamento viscerale alle proprie terre. Tutto ciò, ovviamente, rimaneva all’interno dei limiti della decenza e del rispetto, escludendo in tal senso azioni sovversive o violente. Fra gli ortolani e il fiume Tanaro è sempre esistito un rapporto di convivenza e rispetto reciproco, man mano consolidatosi negli anni,

successivi alle grandi alluvioni. Tale corso d'acqua, oltre ad un rapporto vitale, ha rappresentato una fonte di alimentazione e di riscaldamento invernale per le genti del posto, in quanto, dopo ogni piena del fiume, era sovente la caccia a tronchi di legno di grosse dimensioni ammassati lungo le rive. La pesca e l'ortocoltura, anni addietro, erano l'unica fonte di alimentazione della popolazione degli Orti. Il fiume Tanaro, corso da cui catturare del buon pesce (carpe, cavedoni, barbi, laschi, arborelle, anguille, ecc.), richiestissimo in città, ben presto divenne la discarica di materiali proventi delle demolizioni delle fortificazioni e degli edifici, a cui si associò, nei primi anni '30, lo scarico nel corso d'acqua della prima fognatura, soprattutto dei lavelli, poiché le acque inquinate degli altri servizi igienici venivano stipate nelle fosse biologiche, localizzate nei pressi degli edifici. Alla pesca, come detto, si associò l'ortocoltura, di vitale importanza per gli abitanti del Rione. Il terreno fertile, misto a sabbia, risultato dell'antico deposito fluviale e alluvionale, ha garantito la buona coltivazione di ortaggi, mais, grano e barbabietole da zucchero. L'attaccamento alla coltura, solitamente amplificato dalla presenza di un appezzamento di terreno limitrofo all'abitazione, esente quindi da qualsiasi tipo di opera costruita, veniva attrezzato ad orto e/o a giardino. Un'altra mansione, ampiamente diffusa, soprattutto fra le donne, riguardava la lavorazione della seta, poiché negli Orti, vi erano i centri di produzione più importanti della Città. Al passo con i tempi, intorno all'anno 1914, dopo l'insediamento della fabbrica Borsalino, azienda manifatturiera italiana, si registrò uno spostamento della popolazione, soprattutto femminile, dalla coltivazione dei campi alla condizione di operaio.

Religiosamente il Quartiere degli Orti apparteneva alle chiese di Santa Maria di Castello e San Martino, la cui parrocchia concorse allo sviluppo del Rione, con alcune famiglie a loro legate, stanziatesi per motivi anonari. La seconda Chiesa, così come la maggior parte del Sobborgo, fu allagata nel 1674, nel 1683 e il 6 agosto del 1750, a causa dello straripamento del Tanaro. Tali eventi catastrofici, hanno rafforzato, nell'ideologia degli ortolani, il rispetto espansionistico verso gli argini del suddetto fiume.

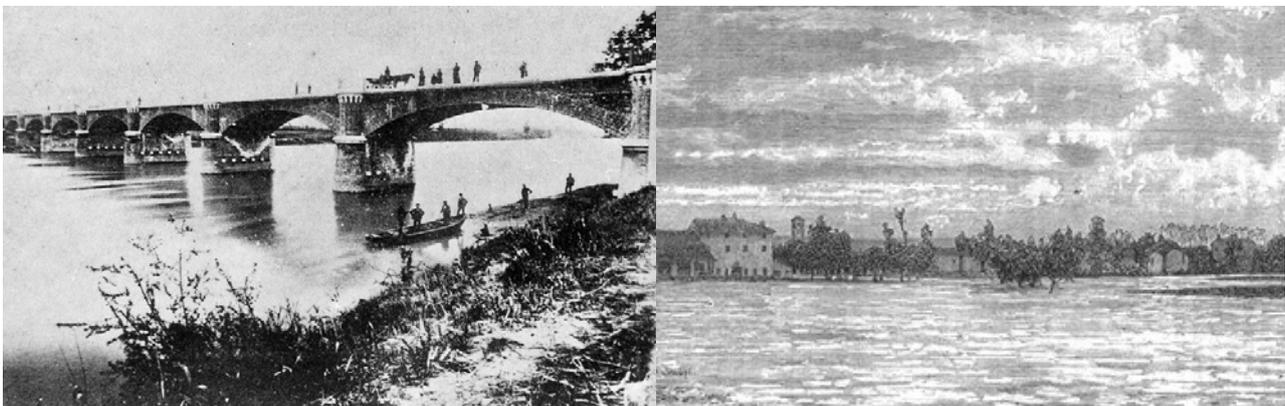


Fig. 10 - *A sinistra il Ponte degli Orti sul Tanaro; A destra lo straripamento del Tanaro sugli Orti.*

La storia della città di Alessandria, costellata da numerosi eventi bellici, ha evidenti riflessi sull'impostazione del tessuto urbano del Quartiere degli Orti, così come tale fatto è individuabile anche negli altri Rioni alessandrini. Nel 1643, si assistette al miglioramento dell'ordinamento bastionato, potenziando, nel 1779-1790, le fortificazioni urbane con mezzelune ed opere militari.



Fig. 11 - *Secolo XIX in cui traspare la volontà napoleonica di rendere Alessandria una delle città più fortificate d'Europa; si noti la confluenza del Bormida nel Tanaro (immagine estratta da ^[D-1]).*

Gli anni successivi al secondo dopoguerra, sono da considerarsi il periodo di massima espansione edilizia del Quartiere degli Orti, in quanto questo è stato caratterizzato da una serie di investimenti pubblici (ampliamento Macello, illuminazione pubblica, asfaltatura strade, vespasiani, ecc.) volti al miglioramento infrastrutturale della città. Durante questo periodo, si assistette all'edificazione di parti non ancora costruite del Rione, attraverso la realizzazione di casette monofamiliari a due o tre piani fuori terra.

Gli anni '65-'80 sono stati caratterizzati soprattutto dall'insediamento di un numero limitato di condomini, a cui furono preferiti complessi edilizi, localizzati principalmente nella parte Sud degli Orti, in sostituzione di quelli originari. I corpi di fabbrica, a carattere condominiale, videro maggior diffusione soprattutto negli anni '80-'90, costellati anche da risistemazioni e/o ampliamenti delle antiche abitazioni fatiscenti, sfocianti nella creazione di case a schiera o indipendenti, principalmente a due piani fuori terra.

Come lecito aspettarsi, grazie al progresso in campo tecnologico, scientifico e medico, nell'arco della storia, il numero degli abitanti del Quartiere degli Orti ha visto una crescita, culminata da un picco verificatosi nel 1979, con 4674 unità. Tuttavia, negli ultimi anni, si è registrato un decremento di quasi 700 residenti principalmente a causa di due fattori. Il primo è sicuramente da ricercare nel *trend* negativo di nascite censibile a livello nazionale, il secondo, invece, si deve all'impossibilità di ampliamenti edilizi dei corpi di fabbrica originari, atti al soddisfacimento delle nuove esigenze igienico-sanitarie, poiché ad oggi, il Rione degli Orti si presenta saturo, in termini di patrimonio

edificato. Tale indisponibilità abitativa si verifica a causa del confinamento a Nord-Ovest con il fiume Tanaro, a Est con la Piazza d'Armi e a Sud da manufatti vetusti, privi degli *standard* abitativi necessari. Negli ultimi anni il Quartiere, ritenuto a “misura d'uomo”, rispetto agli altri altamente urbanizzati, è particolarmente richiesto da giovani coppie in cerca di realtà meno cementificate. Ad oggi, di concerto con le rilevazioni demografiche comunali (dato aggiornato al 31 ottobre 2019), gli abitanti del Quartiere Orti si attestano a 4016, con circa una trentina di unità in meno rispetto all'anno precedente.

4.1.3. Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica

Il piano d'azione del comune di Alessandria, in ambito energetico, prevede un obiettivo ambizioso e virtuoso per ottemperare ai limiti imposti dall'UE. Le linee guida per raggiungere i traguardi prefissati sono contenute nel documento *Concerto-AL-Piano* ^[D-4], all'interno del quale è confluita l'esperienza di vari *partners*, e la cui validità delle opere viene confermata in maniera biennale dai *Rapporti di Monitoraggio* del PAES ^{[D-2][D-3]}. *Concerto-AL-Piano* ha lo scopo di dimostrare la sostenibilità economica e sociale di una serie di interventi, concernenti: il rinnovamento del parco edilizio pubblico e privato in termini di efficienza energetica, la costruzione di nuovi fabbricati ritenuti sostenibili e la realizzazione di una rete di teleriscaldamento cittadina, integrata perfettamente nell'ambiente urbano.

Nel 2008, il comune di Alessandria ha sottoscritto il Patto dei Sindaci, impegnandosi a ridurre almeno al 20% le emissioni di gas climalteranti sul territorio cittadino entro il 2020. Due anni più tardi, il Consiglio Comunale ha approvato il *Piano di Azione per l'Energia Sostenibile* (PAES), riducendo le emissioni di CO₂ al 2020 del 38% rispetto ai valori registrati nel 2005. Per raggiungere tali obiettivi, è necessario concepire un piano d'azione in maniera olistica, comprendendo più settori della realtà cittadina, vertendo infatti: sulla riprogettazione di interi quartieri, sulla riqualificazione energetica del settore residenziale e terziario, sulla realizzazione di impianti e reti cittadine e sulla pianificazione e progettazione della mobilità sostenibile. Fra i contenuti del documento compaiono le opere che l'amministrazione pubblica vorrebbe portare avanti per ottemperare ai suddetti limiti. Ogni due anni si redigerà un documento per valutare lo stato di avanzamento, apportando eventuali modifiche alla strategia impiegata.

Nella città di Alessandria sono presenti due società di teleriscaldamento che operano all'interno dei confini comunali. La prima, ALESSANDRIA CALORE Srl, con un sistema di tubazioni interrato, serve il Quartiere Cristo, ubicato nella parte Sud del centro abitato. Tale impianto, entrato in esercizio nell'ottobre del 2014, si compone oggi di una centrale di cogenerazione, ubicata in via Gandolfi e alimentata a metano, e di una rete cittadina con una lunghezza pari a 7,5 km. Al termine del quarto ed ultimo lotto, completato nel 2017, gli edifici pubblici e privati, serviti dalla rete cittadina, risultano essere 67, per un totale di 23 MW_t. La seconda società, TELENERGIA Srl, per dotare la città di un sistema di teleriscaldamento, operante nella gran parte del suolo cittadino rimanente, prevede un progetto tutt'ora in fase di sviluppo. L'impianto urbano ha l'obiettivo di servire, nella condizione di regime, 780 edifici per un valore prossimo a 67.000 potenziali utenti. Nello specifico l'intervento, la cui rete avrà una lunghezza complessiva di 62 km per un investimento di 90 milioni di euro, si compone di:

- due centrali di cogenerazione, grazie alle quali sarà garantita maggior sicurezza, alimentate da gas naturale e da fonti rinnovabili, localizzate in zone diametralmente opposte: una a Nord-Est, in un'area deposito cassonetti di proprietà di AMAG Ambiente, vicina al cimitero cittadino, ed una a Sud, nei pressi del Quartiere Europa;

- una rete principale ad anello chiuso, percorsa da acqua calda e formata da tubazioni in acciaio pre-isolate ed interrato;
- un impianto cittadino secondario, che dalla rete principale si stacca verso le abitazioni;
- allacciamenti alle utenze, accoppiate all'installazione di uno scambiatore di calore in centrale.

La centrale Sud avrà una potenza termica di circa 96 MW e una potenza elettrica di 10MW, quella ubicata a Nord, invece, avrà una potenza termica di 49 MW a fronte di 9,5 MW di potenza elettrica. Attualmente (dato aggiornato nel dicembre 2019), la costruzione della centrale Sud, il cui completamento doveva avvenire nell'ottobre del 2019, per coprire la suddetta stagione termica, non è ancora stata resa operativa. Riguardo la centrale Nord, invece, la data di inizio non è stata specificata, ma è stata resa nota la durata prevista per i lavori: dieci mesi dall'ottenimento dell'autorizzazione.



Fig. 12 - Cronoprogramma Teleriscaldamento cittadino area Nord di Alessandria - TELENERGIA.

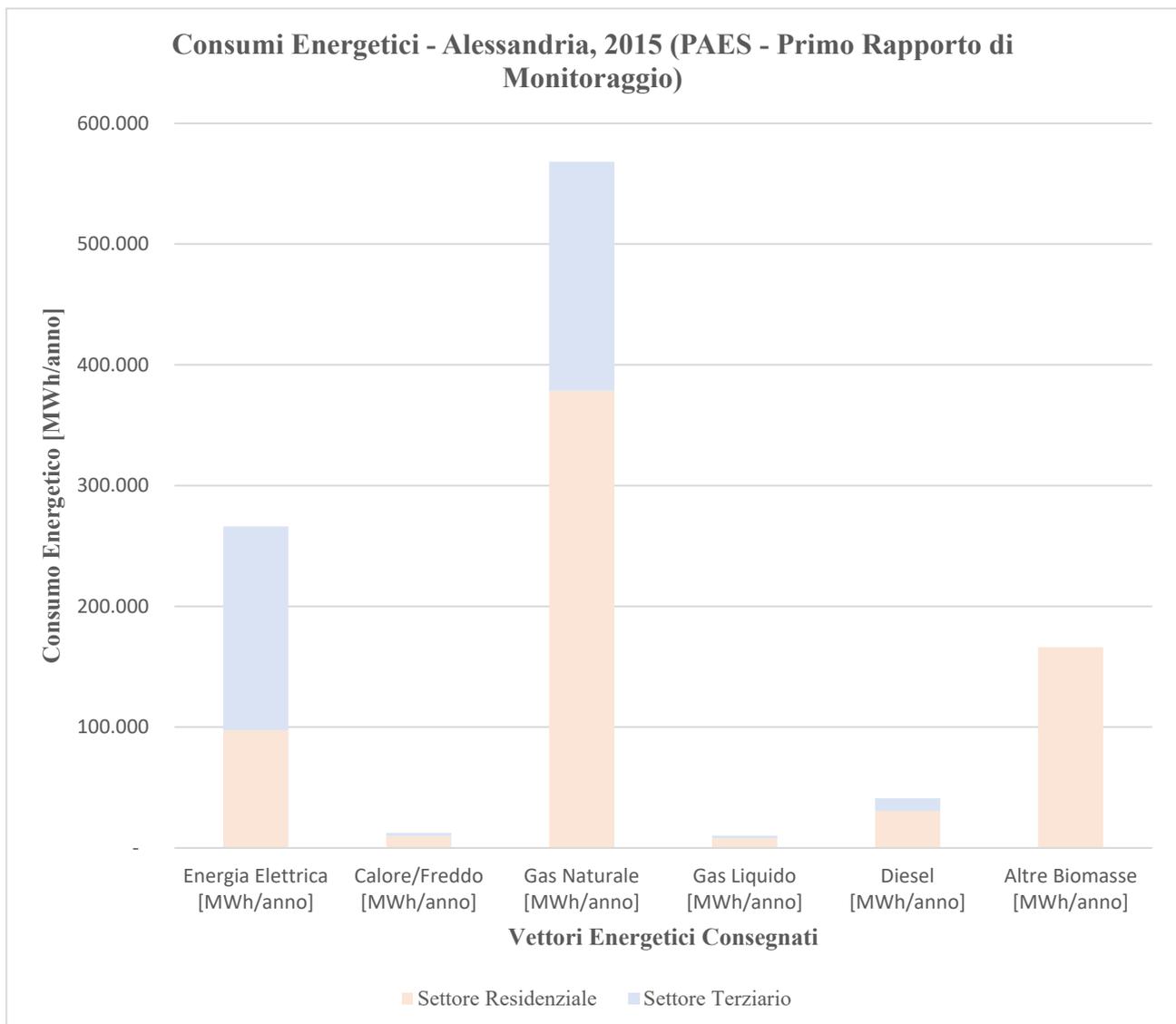
In accordo con il progetto *Concerto-AL-Piano*, il quale originariamente prevedeva, su tutti: la diagnosi energetica di 3.000 abitazioni, il risanamento energetico di circa 48.000 m² di superficie edificata e la riqualificazione di 299 abitazioni popolari. Inoltre, di concerto con questo documento, Alessandria, si prefigge di valorizzare le biomasse presenti sul territorio per la produzione di bio-metano, per l'alimentazione del parco veicolare e per il riscaldamento di enti pubblici e scuole. Il progetto prevede l'estrazione di metano da biomasse agricole, fanghi di depurazione e dall'organico proveniente dalla raccolta differenziata, principalmente attraverso processi di fermentazione anaerobica, convogliando il combustibile, attraverso infrastrutture comunali, verso gli impianti di cogenerazione distribuiti sul territorio alessandrino. Nello specifico il progetto prevede:

- una linea di fermentazione anaerobica per la produzione di bio-gas derivante da materiale agricolo, localizzato in località San Michele;

- una seconda linea di fermentazione anaerobica per la produzione di bio-gas derivante da materiale organico, proveniente dalla raccolta differenziata, localizzato nell'impianto di trattamento rifiuti AMAG;
- una terza linea di fermentazione anaerobica per la produzione di bio-gas dai fanghi di depurazione;
- impianti di filtraggio e raffinazione dei bio-gas previa immissione nel metanodotto;
- bioreattori, per la produzione di olio vegetale, ubicati presso l'impianto di San Michele.

Tuttavia, di concerto con il *Primo Rapporto di Monitoraggio* del PAES, a causa soprattutto di problematiche normative e ambientali, che hanno modificato le convenzioni con i *partners*, stipulate nel 2010, si è sfociati nell'insostenibilità economica della centrale a biomassa, la cui opera verrà sostituita da una alimentata a metano. Concordemente con il medesimo documento, AMIU e ARAL, aziende operanti nell'ambito del recupero dei rifiuti urbani, stanno procedendo all'espansione degli impianti atti all'ottenimento di energia elettrica e calore ricavabile dalle biomasse.

Di concerto con il *trend* nazionale, il patrimonio edilizio della città di Alessandria risulta costruito per il 43% ad anni antecedenti al 1945, mentre il 27% è stato costruito dagli anni '70 fino ai nostri giorni. In entrambi i casi, ma soprattutto nel primo, sarà lecito aspettarsi la limitata o totale assenza di isolamento termico nei fabbricati coinvolti.



Tab. 43 - Consumi Energetici - Alessandria, 2015 (PAES - Primo Rapporto di Monitoraggio).

Settore	Energia Elettrica [MWh/y]	Calore/Freddo [MWh/y]	Gas Naturale [MWh/y]	Gas Liquido [MWh/y]	Diesel [MWh/y]	Altre Biomasse [MWh/y]	Tot. [MWh/y]
Settore Residenziale	97,387	9,865	378,476	7,914	30,501	166,205	690,348
Settore Terziario	168,742	2,466	189,614	2,191	10,554	-	373,567

Tab. 44 - Consumi Energetici - Alessandria, 2005 (PAES - Primo Rapporto di Monitoraggio).

Settore	Energia Elettrica [MWh/y]	Olio da riscaldamento [MWh/y]	Gas Naturale [MWh/y]	Gas Liquido [MWh/y]	Diesel [MWh/y]	Altre Biomasse [MWh/y]	Tot. [MWh/y]
Settore Residenziale	85,789	8,008	640,644	32,032	120,121	-	886,594
Settore Terziario	189,407	2,797	132,731	11,646	11,453	-	348,034

Rispetto ai valori registrati nei 2005, la somma dei vettori energetici termici del settore residenziale (886.594 MWh/anno) si sono ridotti del 22% a fronte di una crescita del consumo elettrico del 14% rispetto al 2015. Da registrare è anche il mutamento dei combustibili utilizzati a dieci anni di distanza: teleriscaldamento e biomasse nel 2015, olio da riscaldamento e maggior gas naturale nel 2005. Nel settore terziario, invece, c'è stato nel 2015 un incremento del 43% del consumo di gas, mentre si sono ridotti i consumi elettrici.

4.2. PRESENTAZIONE DEL CASO STUDIO

4.2.1. Introduzione

Per definire la validità della metodologia energetica, che verrà proposta nei capitoli successivi, è necessaria l'individuazione di un caso studio su cui si possano eseguire le analisi. Il Quartiere degli Orti di Alessandria, prevalentemente a destinazione d'uso residenziale, può essere, in maniera semplificata, suddiviso in tre fasce (si veda Fig. 13). La prima, quella più vicina al centro storico, compresa fra Spalto Rovereto e via Teresa Michel, risulta popolata da fabbricati multipiano, generalmente a tre o quattro livelli, aventi una connotazione residenziale e terziario/commerciale al pian terreno. Nella seconda, circoscritta fra via Teresa Michel e via Vinzaglio, spiccano manufatti, quali: la sede distaccata del Politecnico di Torino, l'Università del Piemonte Orientale, una palestra, un supermercato e dei capannoni industriali. La terza ed ultima fascia, localizzata nella parte più a Nord del Borgo, prevalentemente a destinazione d'uso residenziale, si presenta occupata da fabbricati ad uno o due piani fuori terra. Naturalmente in quest'ultima area, in maniera meno frequente, si riscontra anche l'esistenza di condomini a più di due livelli, bar e ristoranti. I lotti agrari e l'edificato, localizzati ad Est di viale Milite Ignoto, fanno anche essi parte del Quartiere degli Orti.

Per la corretta definizione del modello geometrico i parametri necessari da ricavare sono: l'impronta areale dei fabbricati coinvolti nella simulazione, l'altezza di questi e, per ciascun orientamento degli edifici, è fondamentale conoscere la percentuale vetrata rispetto al totale della facciata. Tali informazioni sono state reperite, per ciascun manufatto, nella seguente maniera: la carta vettoriale della città di Alessandria, è stata necessaria per l'individuazione della superficie lorda di pavimento, il rilievo fotografico e quanto rilevabile da Google Maps, è stato utile per la definizione dell'altezza e della frazione trasparente. Per minimizzare l'incertezza soprattutto di quest'ultimo parametro, è necessario individuare un isolato "aperto", cioè che metta l'osservatore esterno nelle condizioni di

poter collimare le facciate degli edifici orientate verso la corte interna. Tenuto conto di ciò e della volontà di simulare fabbricati aventi una destinazione d'uso combinata residenziale e commerciale e di non

avere un isolato troppo esteso e frammentato (vedasi il tessuto edilizio della terza fascia), si è individuato l'ambiente di progetto proposto di seguito (si veda *Fig. 13*).

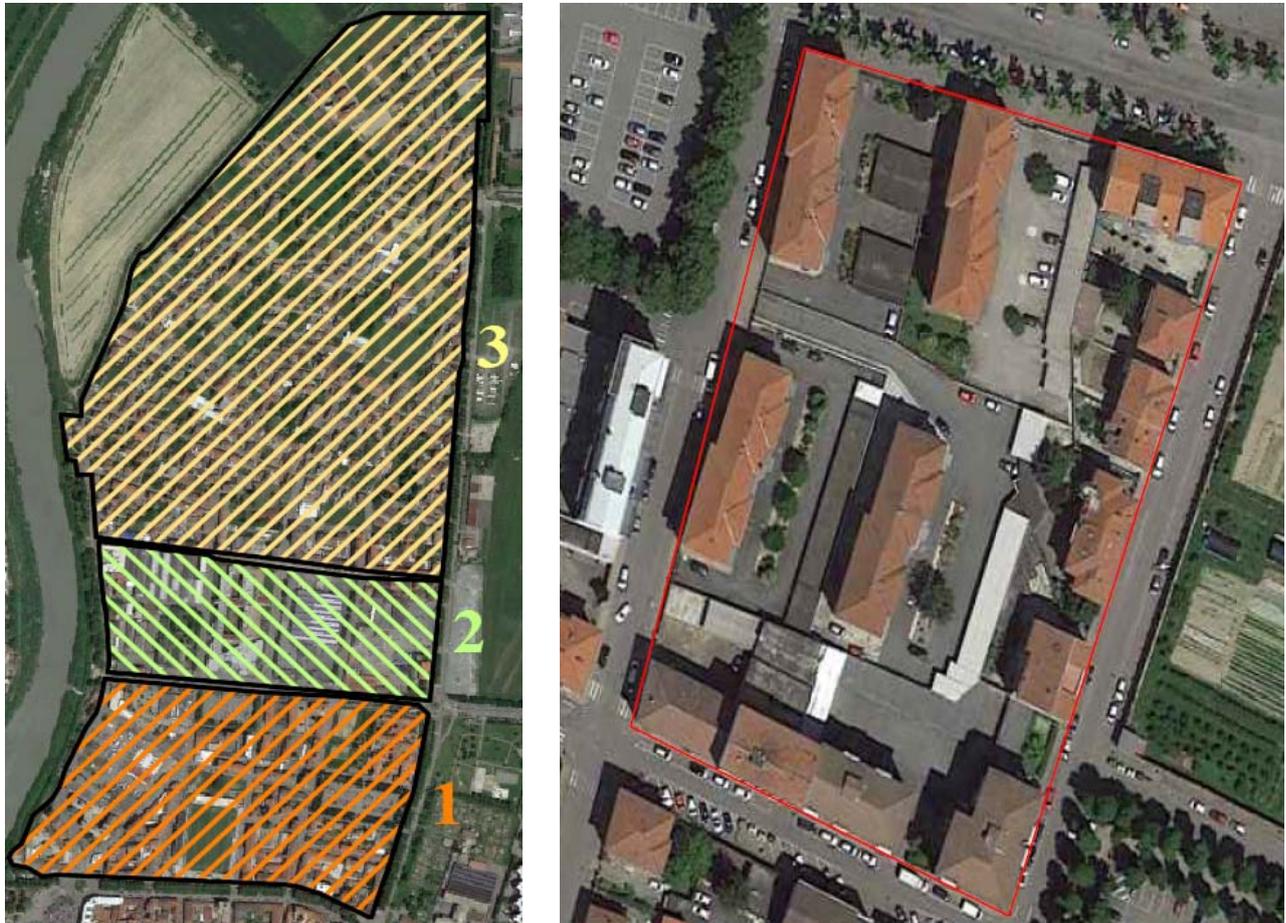


Fig. 13 – *A sinistra: suddivisione in fasce Quartiere degli Orti; A destra: isolato del quartiere Orti, oggetto della simulazione energetica (FONTE: Google Maps).*

Il caso studio, oggetto della simulazione energetica, facente parte della prima fascia, è un isolato, ubicato nel Quartiere degli Orti, compreso fra i seguenti quattro assi viari: viale Teresa Michel a Nord, via Gaetano Donizetti ad Est, via Santorre di Santarosa a Sud e via Gioacchino Rossini ad Ovest. Tale area è composta da 15 fabbricati multipiano, aventi prevalentemente una destinazione d'uso residenziale. Fra questi si possono individuare quattro edifici di edilizia popolare (*ED_A1*, *ED_A2*, *ED_B1*, *ED_B2*; si veda la codifica riportata nella pagina seguente) composti da quattro piani fuori terra con le medesime caratteristiche volumetriche e tecnologiche. I manufatti restanti si presentano come dei condomini a due, tre, quattro o cinque livelli. Nel fabbricato ubicato nell'incrocio Nord-Est (*ED_A3*), al pian terreno, si riporta la presenza di tre differenti attività commerciali: un tabacchino e centro scommesse, una libreria ed un negozio di biciclette. Nei manufatti ubicati nelle estreme posizioni Sud-Est e Sud-Ovest (*ED_C1* e *ED_C4*, rispettivamente), invece, attualmente si riporta la presenza di locali adibiti ad attività commerciali momentaneamente inutilizzati.



Fig. 15 - Isolato con identificata la codifica adottata e le relative destinazioni d'uso: in blu il residenziale e in giallo i fabbricati con utilizzo misto (almeno un'unità commerciale al pian terreno e abitazioni ai livelli superiori).

Tab. 45 - Informazioni geometrico-dimensionali fabbricati.

cod. edificio	Destinazione d'uso	n. piani	Anno di costruzione	Superficie lorda di fabbricato [m ²]	Altezza (filo gronda) [m]	n. unità abitative e commerciali
ED_A1	R	4	1957	416,0	14	16
ED_A2	R	4	1957	416,0	14	16
ED_A3	R + C	4	1964	342,5	12,4	15
ED_A4	R	3	1930	112,0	13,5	3
ED_A5	R	3	1960-1970 (stimato)	101,0	10,5	3
ED_A6	R	2	1960-1970 (stimato)	83,5	6,4	2
ED_B1	R	4	1957	416,0	14	16
ED_B2	R	4	1957	416,0	14	16
ED_B3	R	3	1960-1970 (stimato)	90,0	10,2	3
ED_B4	R	3	1960-1970 (stimato)	117,0	10,2	3
ED_B5	R	4	1960	207,5	14,4	10
ED_C1	R + C	3	1950	231,0	10,2	6
ED_C2	R	6	1964	223,0	20,4	10
ED_C3	R	5	1970	267,0	17	15

[*] R = Residenziale; C = Commerciale; R + C = Residenziale con al piano terra almeno un'unità commerciale.

4.2.2. Sopralluogo conoscitivo

In data 21 gennaio, si è eseguito un sopralluogo *in situ* per avere una conoscenza diretta dei manufatti da simulare energeticamente. Durante questa attività, sono state reperite informazioni concernenti: la tipologia costruttiva, il numero di unità abitative presenti, lo stato di conservazione dell'edificio, la presenza di schermature solari esterne, l'eventuale sostituzione di serramenti originali con altri più performanti e la possibile presenza di interventi di riqualificazione, eseguiti in tempi recenti, come ad esempio la realizzazione di un cappotto termico sulla facciata (condizione non riscontrata in nessun caso). Il sopralluogo si è svolto solamente all'esterno dei fabbricati, non avendo un'autorizzazione ad accedervi internamente e non potendo comunicare direttamente coi proprietari o residenti. Di seguito vengono riportate le fotografie degli assi viari.

4.2.2.1. Rilievo fotografico



Fig. 16 - *via Gioacchino Rossini in direzione Nord.*



Fig. 17 - *viale Teresa Michel in direzione Est.*



Fig. 18 - *via Gaetano Donizetti in direzione Sud.*



Fig. 19 - *via Santorre di Santarosa in direzione Ovest.*

4.3. RIFERIMENTI

4.3.1. Riferimenti Bibliografici e Sitografici

[D-1] Calorio G., *Orti: d'j'ort e gavòn: storia, vita e personaggi del quartiere alessandrino*, dell'Orso, 1990.

[D-2] Comune di Alessandria, *Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile – PAES*, 2010.

[D-3] Comune di Alessandria, *Primo Monitoraggio Completo del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile – PAES*, 2017.

[D-4] Pagani R. *et al.*, *Concerto-AL-Piano – Sustainable Urban Transformations*, 2016.

ALESSANDRIA CALORE srl, consultato nel dicembre 2019, <https://www.alessandriacalore.it>

Cartografia vettoriale della città di Alessandria, consultato nel gennaio 2020, <http://gis.comune.alessandria.it/public/>

Comune di Alessandria, consultato nel dicembre 2019, <https://www.comune.alessandria.it>

Google Maps, consultato nel gennaio 2020, <https://www.google.com/maps>

TELENERGIA – Alessandria Teleriscaldamento, consultato nel dicembre 2019, <https://www.telenergia-alessandria.it>

5. COSTITUZIONE DEL MODELLO EDIFICIO-IMPIANTO

La modellazione energetica verrà eseguita su due differenti motori di calcolo, descritti precedentemente: CitySim Pro e UMI. L'adozione di tale scelta si deve principalmente a tre motivazioni: alla disponibilità ad accedere a tali *software*, al diverso tipo di calcolo eseguito e alla volontà di comparare i risultati derivanti da due ambienti di simulazione differenti. Si ricorda che i due programmi trattano in maniera diversa il calcolo del modello termico, radiativo e impiantistico, laddove, in quest'ultimo caso, CitySim Pro si rifà all'operatività analitica di un predefinito generatore, al contrario di quello ideale eseguito in UMI. Indipendentemente dal *software* impiegato la costituzione del modello avverrà considerando le medesime informazioni, generando così due oggetti digitali il più possibile simili fra di loro.

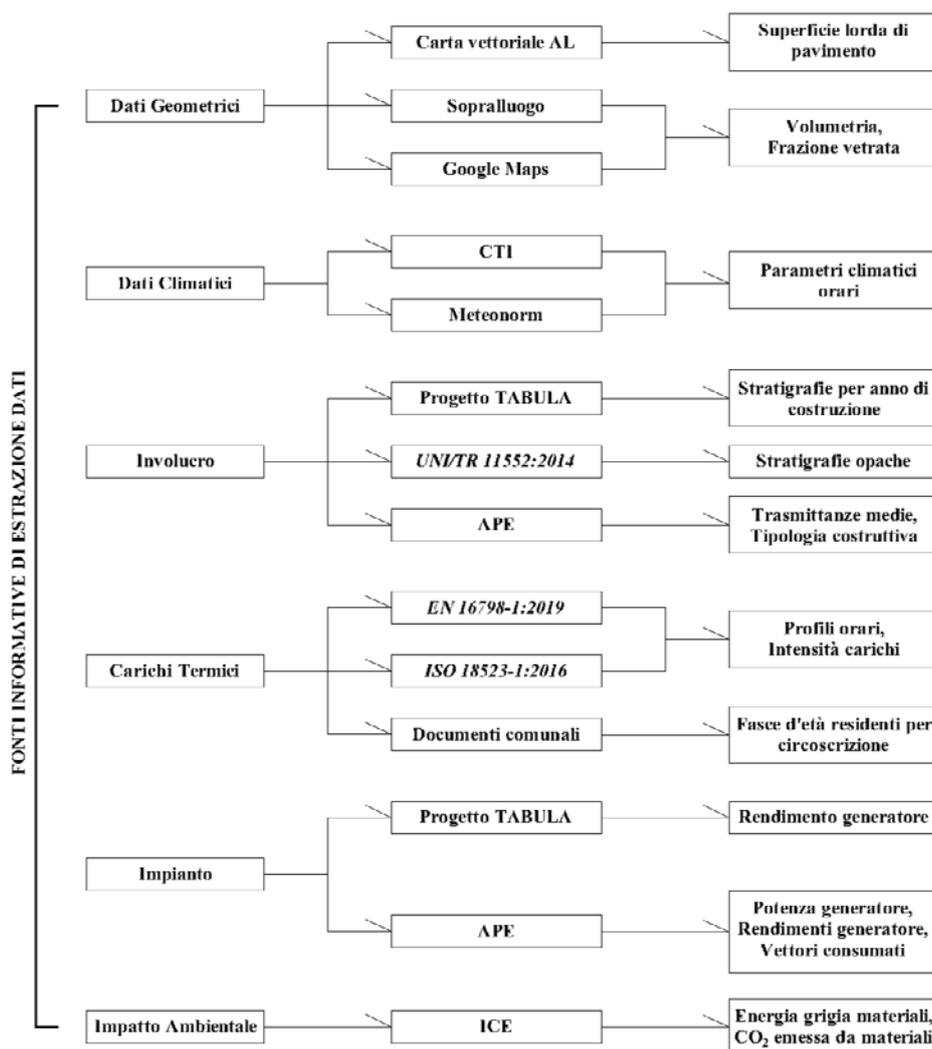


Fig. 20 - Flusso di lavoro per la definizione del modello energetico.

Per completare il quadro dei *set* di input, analizzato di seguito, singolarmente per ogni categoria, sono stati ricavati dei parametri derivanti da: banche dati di natura statistica ed informativa, normativa, pubblicazioni scientifiche, documentazioni comunali e da indicazioni basate sull'esperienza. Nello specifico: i dati meteorologici, su base oraria, saranno desunti dal *database* Meteonorm e dalle rilevazioni orarie del CTI (*Comitato Termotecnico Italiano*); la definizione dei componenti di involucro e, il conseguente comportamento energetico, avverrà di concerto con i ragionamenti

contenuti nel progetto TABULA [E-1][E-2], le cui osservazioni, in alcuni casi, sono state implementate da quanto descritto nella UNI/TR 11552 [E-10], in base all'esperienza o a quanto contenuto nella banca dati SIPEE; l'intensità e la frequenza dell'apporto termico delle sorgenti endogene, valutato per via parametrica, comprese all'interno della zona termica, sarà ricavato intrecciando dati desunti da due diverse fonti informative: statistica (ISTAT) e normativa (*prEN 16798-1* del 2019 [E-13] e la *ISO 18523-1* del 2016 [E-12]); le informazioni impiantistiche principali quali: la tipologia, la potenza e i vettori energetici consumati saranno estratti dal SIPEE, completando il quadro informativo da dati contenuti nel progetto TABULA e nel documento PAES.

Per quanto riguarda alcuni degli *Attestati di Prestazione Energetica*, come era lecito aspettarsi, non sono completi in ogni loro forma. Ad esempio, per un edificio composto da sedici appartamenti (*ED_A1*, *ED_A2* o *ED_B2*), nella banca dati SIPEE è scaricabile e consultabile solo uno di questi. In altri casi, per gli stessi manufatti, si riportano divergenze nei dati riportati (diverse tipologie costruttive, differenti parametri impiantistici, etc.), in quanto la redazione del documento è avvenuto in epoche e/o a cura di certificatori differenti. Pertanto, le informazioni ivi contenute saranno da filtrare in base all'esperienza. Da questo punto di vista si riporta la totale assenza di APE riguardanti, in relazione alla codifica adottata, i seguenti fabbricati: *ED_A5*, *ED_A6*, *ED_B3* e *ED_B4*. Il modello energetico di questi edifici, il cui periodo di costruzione si stima essere simile agli altri (a cavallo fra gli anni '60 e '70), sarà determinato osservando le caratteristiche registrabili per gli altri edifici costituenti l'isolato.

5.1. DATI CLIMATICI

I dati climatici, importati all'interno dei *software* CitySim Pro e UMI, saranno il prodotto di due differenti banche dati: quella del *database* Meteonorm e le rilevazioni orarie ad opera del *Comitato Termotecnico Italiano* (CTI), per la città di Alessandria. Ciò si verifica poiché, i dati orari del CTI (temperatura esterna dell'aria, radiazione solare globale, diretta e diffusa sul piano orizzontale, umidità relativa, pressione di vapore e velocità del vento), registrati presso la stazione meteorologica Alessandria Lobbi ($\lambda = 8^{\circ}42'18''$; $\varphi = 44^{\circ}56'20''$; 90 m.s.l.m.), non sono sufficienti a coprire i valori di input necessari per completare i *file* climatici, che verranno successivamente importati in UMI e CitySim Pro. Pertanto, come base di partenza si è proceduto alla generazione di un *file* derivante da Meteonorm, nelle due diverse estensioni EPW per UMI e CLI per CitySim Pro, a cui si sono sostituiti, laddove possibile, i valori del CTI. La sopracitata operazione, è fondamentale in fase di validazione dei risultati, poiché i confronti fra i valori *standard* e quelli fuoriusciti dai due programmi di simulazione, deve avvenire con riferimento alle medesime informazioni climatiche, cioè quelle con cui sono stati redatti gli *Attestati di Prestazione Energetica*. Ciò si verifica poiché, il *file* climatico del CTI, stilato su base oraria, è il punto di partenza da cui si sono poi generati i valori *standard* mensili, adoperati per la compilazione degli APE.

Con riferimento a questo, il numero dei Gradi Giorno (GG), espresso come differenza di temperatura dell'ambiente di progetto e la temperatura media giornaliera esterna, il cui calcolo è esteso a tutto il periodo di riscaldamento (dal 15 ottobre fino al 15 di aprile), deve essere il medesimo in entrambi i casi e così determinato:

$$GG = \sum_{i=1}^n (\vartheta_{int} - \vartheta_e^*) = 2637 GG \quad (5.1)$$

Ove:

- GG = numero di gradi giorno città di Alessandria, desunti dalla UNI 10349-3:2016 [E-11];

- ϑ_{int} = temperatura interna dell'ambiente di progetto, posta pari a 20°C;
- ϑ_e^* = temperatura giornaliera media esterna.

Come si evince dalle tabelle proposte di seguito, in cui vengono definiti i parametri climatici di input, necessari ai due programmi di simulazione, con riferimento ai dati radiativi, bisogna specificare:

- l'irradianza solare globale incidente sul piano orizzontale nell'EPW;
- l'irradianza solare diretta normale nell'EPW e nel *file* CLI;
- l'irradianza solare diffusa incidente sul piano orizzontale nell'EPW e nel *file* CLI.

Il primo e l'ultimo dato possono essere desunti direttamente dalle rilevazioni orarie del CTI. Tuttavia, nel sopracitato documento compare l'irradianza solare diretta incidente sul piano orizzontale e non quella normale alla superficie, definita come quell'area ortogonale ai raggi solari, richiesta dai *file* EPW e CLI. Pertanto, tale parametro è stato desunto dall'irradianza solare globale, proveniente sempre dal CTI, in funzione: della longitudine, della latitudine, dell'altitudine, della posizione del sole durante l'arco delle 8760 ore dell'anno, etc.; e successivamente sarà importato nel *file* climatico. Per completare l'informazione nell'EPW, in modo tale che non si vengano a generare degli errori in fase di conversione, è necessario calcolare ora per ora, il valore della temperatura del punto di rugiada di concerto con la formulazione di August-Roche-Magnus, a partire dalle seguenti espressioni:

$$p_{vs} = 6,11 \cdot 10^{[(7,5 \cdot T)/(237,7+T)]} \quad (5.2)$$

Ove:

- p_{vs} = pressione di vapore di saturazione espressa in [hPa];
- T = temperatura di bulbo secco, espressa in [°C].

$$p_{v,eff} = (RH \cdot p_{vs})/100 \quad (5.3)$$

Ove:

- $p_{v,eff}$ = pressione di vapore effettiva dell'aria, espressa in [hPa];
- RH = umidità relativa dell'aria, espressa in [%];
- p_{vs} = pressione di vapore di saturazione espressa in [hPa].

$$T_{dew-point} = \{[-430,22 + 237,7 \cdot \ln(p_{v,eff})]/[-\ln(p_{v,eff}) + 19,08]\} \quad (5.4)$$

Ove:

- $T_{dew-point}$ = temperatura di rugiada dell'aria, espressa in [°C];
- $p_{v,eff}$ = pressione di vapore effettiva dell'aria, espressa in [hPa].

Infine, mediante la procedura proposta il numero dei gradi giorno con cui verrà effettuato il calcolo e i valori di irradianza solare, risulteranno i medesimi sia nei due ambienti di programmazione sia con riferimento al termine di paragone, desunto dall'*Attestato di Prestazione Energetica*.

Per quanto concerne i risultati estratti dal *database* di Meteonorm, invece, per ogni variabile considerata e rimanente, saranno generati stocasticamente dei dati a partire da osservazioni mensili interpolate su un anno di riferimento. Pertanto, tali valori, rappresenteranno un anno medio figlio

delle indagini registrate all'interno di un certo periodo. Così come tali parametri non rappresenteranno una reale serie storica ma un ipotetico anno che statisticamente riproduca un intervallo tipico, funzione della località considerata. All'interno di Meteororm, l'aggregazione e quindi l'estrazione dei valori, è riferibile a due periodi diversi: di irraggiamento e di temperatura. Con riferimento a ciò, il primo si riferisce a serie storiche reali registrate fra il 1991-2010, il secondo, invece, richiama i valori censiti fra il 2000-2009 e da questi, il programma, originerà dei parametri orari virtuali, per ciascuna delle 8760 ore dell'anno.

Per CitySim Pro e UMI, sono stati importati dei dati meteorologici desunti dalle medesime serie storiche (riportati nelle tabelle proposte di seguito). In questi due ambienti di simulazione, saranno importati *set* di dati differenti, a causa dei diversi motori di calcolo adoperati. Per CitySim Pro, quindi, si importerà un file climatico, con estensione CLI, e la superficie orizzontale, con estensione HOR; in UMI, invece, verrà importato un file di estensione EPW (*EnergyPlus Weather File*). La codifica, adoperata per richiamare le variabili all'interno delle tabelle, proposte di seguito, non segue una denominazione derivata da particolari norme o legislazioni, ma si riferisce a quella contenuta nel manuale di Meteororm. Così come le unità di misura riportate richiamino quelle accettate dai motori di calcolo considerati.

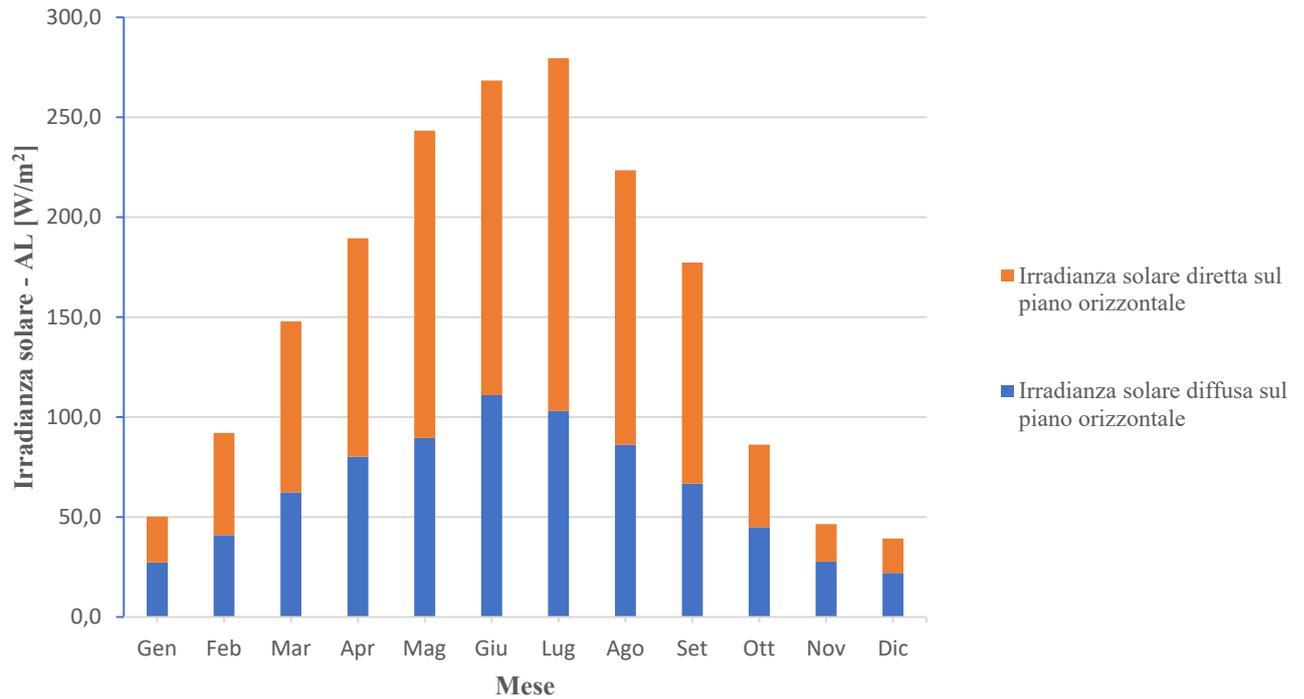
Tab. 46 - Dati climatici CitySim Pro.

Cod.	Variabile	Unità di misura
dm	Giorno	-
m	Mese	-
h	Ora	-
G_Dh	Irradianza solare diffusa sul piano orizzontale	W/m ²
G_Bn	Irradianza solare diretta normale	W/m ²
Ta	Temperatura dell'aria esterna	°C
Ts	Temperatura del terreno	°C
FF	Velocità del vento	m/s
DD	Direzione del vento	°
RH	Umidità relativa	%
RR	Tasso di precipitazioni	mm
N	Copertura nuvolosa	octal

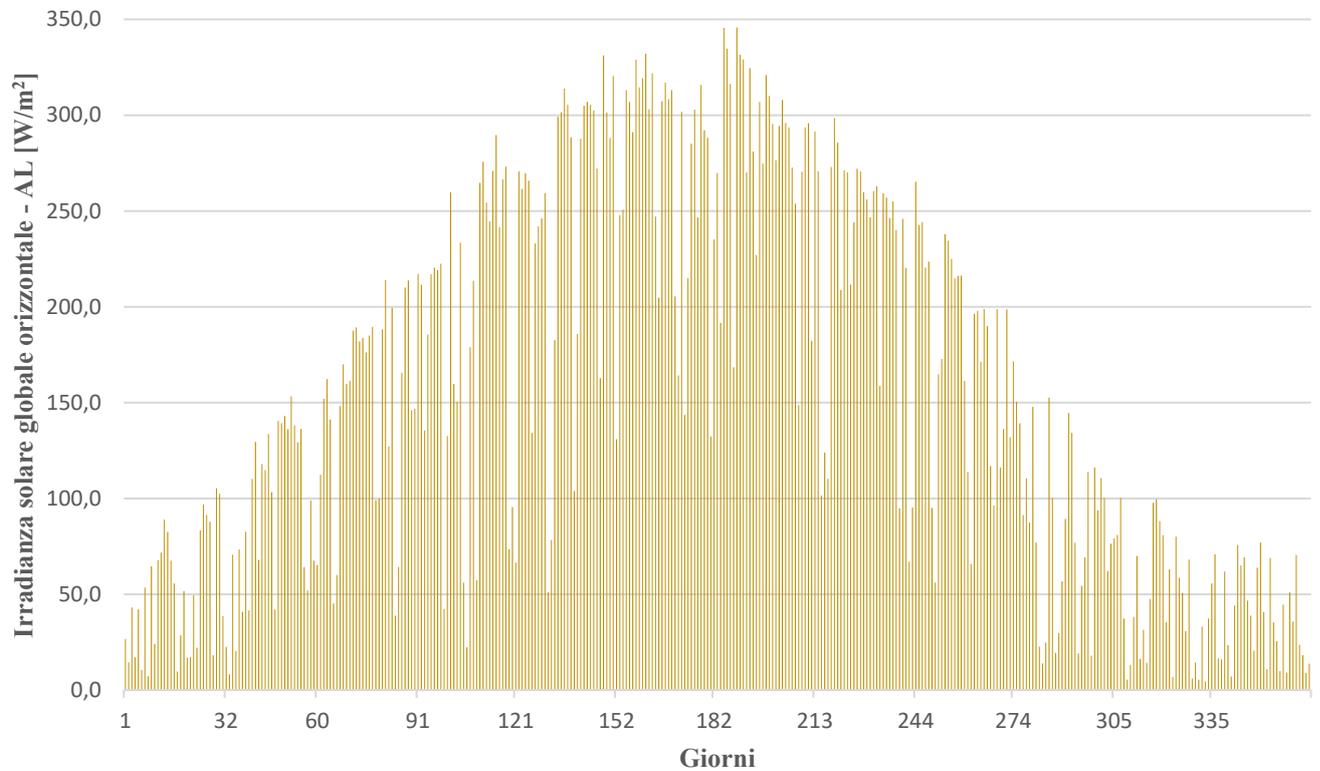
Tab. 47 - Dati climatici UMI.

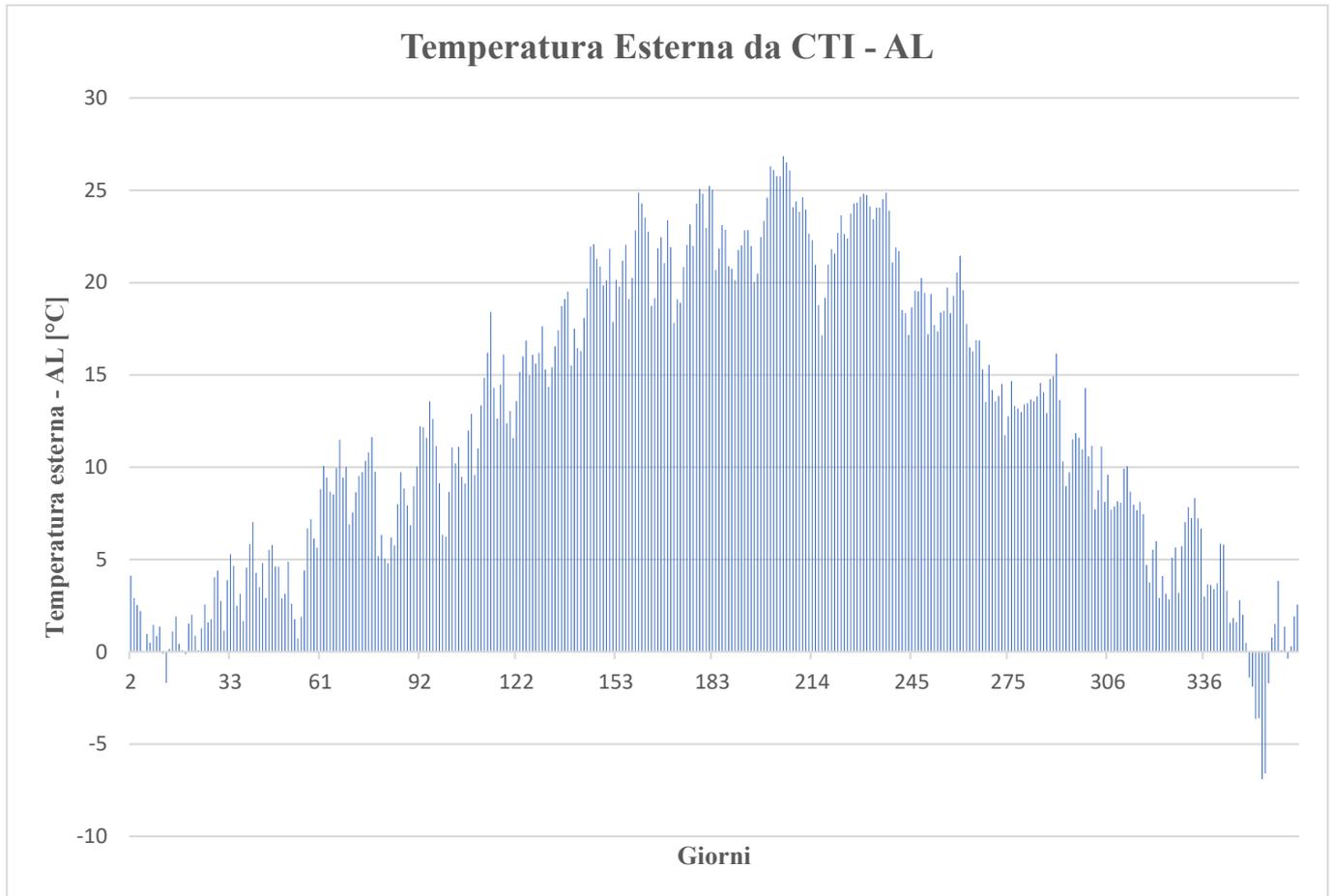
Cod.	Variabile	Unità di misura
dm	Giorno	-
m	Mese	-
h	Ora	-
G_G0	Radiazione al bordo superiore dell'atmosfera	Wh/m ²
G_ex	Radiazione solare extraterrestre orizzontale	Wh/m ²
G_Gh	Irradianza solare globale sul piano orizzontale	Wh/m ²
G_Bn	Irradianza solare diretta normale	Wh/m ²
G_Dh	Irradianza solare diffusa sul piano orizzontale	Wh/m ²
LG	Illuminamento globale	lux
LD	Illuminamento diffuso	lux
LZ	Illuminamento zenitale	lux
N	Copertura nuvolosa	octal
N1	Copertura opaca volta celeste	octal
Ta	Temperatura dell'aria esterna	°C
Td	Temperatura di rugiada dell'aria esterna	°C
RH	Umidità relativa	%
PP	Pressione atmosferica	Pa
DD	Direzione del vento	°
FF	Velocità del vento	m/s
Vis	Visibilità	km
w	Angolo di incidenza solare orario	°
Sn	Approfondimento nevoso	cm

Irradianza Solare Diretta e Diffusa sul piano orizzontale da CTI - AL



Irradianza Solare Globale sul piano orizzontale da CTI - AL





5.2.MODELLO GEOMETRICO

Con riferimento ad una modellazione urbana, generalmente si parte da un supporto bidimensionale e si procede successivamente all'estrusione delle geometrie rispetto all'asse verticale. L'impronta areale dei fabbricati, in questo caso gestita su AutoCad, è stata in seguito importata in SketchUp per procedere alla modellazione tridimensionale. Oltre al caso studio preso in esame, saranno definiti anche gli edifici limitrofi, ritenuti influenti ai fini della simulazione. Con riferimento ai seguenti manufatti, non si procederà alla caratterizzazione energetica, ma questi saranno trattati solo come ostruzioni esterne, atte al calcolo delle ombre portate.

Completata la modellazione tridimensionale, per CitySim Pro si esporterà da SketchUp un *file* di tipo DXF 2000 attraverso il relativo *plug-in*, per UMI, invece, si importerà in Rhino il *file* di SketchUp e si procederà alla conversione delle geometrie in *polysurfaces*. UMI, in termini di modello geometrico, ammette dei volumi con le seguenti proprietà:

- l'oggetto deve essere chiuso;
- tutte le superficie costituenti devono essere planari;
- le superfici della facciata devono essere verticali;
- la superficie di copertura e di pavimento devono essere orizzontali.

Le medesime proprietà valgono anche per CitySim Pro, la differenza sostanziale è che in quest'ultimo ambiente si ammettono anche delle coperture a falde inclinate.

5.2.1. Superfici climatizzate

Una constatazione importante, la quale successivamente avrà delle ricadute rilevanti sul calcolo, riguarda la definizione delle superfici climatizzate delle unità abitative e commerciali. Tale parametro dimensionale, non essendo a priori noto, è stato desunto, nel caso in cui fosse stato possibile dagli APE. Laddove, le informazioni raccolte non fossero state sufficienti ad avere un quadro completo per tutti gli appartamenti, avendo dapprima sottratto la superficie adibita a vano scala (parametro orientativamente compreso fra il 5-15%), si è scelto di applicare i fattori di correzione, contenuti nella *UNITS 11300-1* per passare dal volume lordo a quello netto climatizzato:

- $f = 0,7$ per destinazioni d'uso residenziale, per pareti fino a 45 cm;
- $f = 0,8$ per destinazioni d'uso del tipo E.4 ed E.5, per attività commerciali con presenza di partizioni interne.

Pertanto, anche per il valore ed il numero delle superfici climatizzate, bisogna gestire un certo grado di incertezza. Nella tabella presentata di seguito i valori ritratti in grassetto sono frutto di deduzioni e ragionamenti, per quelli in corsivo, invece, esiste un riscontro reale, ricavato dagli APE.

Tab. 48 - Numero e valore superfici climatizzate per piano.

cod. edificio	n. piano	Sup. climat. 1 [m ²]	Sup. climat. 2 [m ²]	Sup. climat. 3 [m ²]	Sup. climat. 4 [m ²]
ED_A1	1	70,0	75,0	75,0	85,0
	2	<i>85,4</i>	69,6	75,0	75,0
	3	70,0	75,0	75,0	85,0
	4	70,0	75,0	75,0	85,0
ED_A2	1	70,0	75,0	75,0	85,0
	2	70,0	75,0	75,0	85,0
	3	<i>70,8</i>	74,2	75,0	85,0
	4	70,0	75,0	75,0	85,0
ED_A3	1	<i>128,0</i>	56,0	56,0	
	2	60,0	60,0	60,0	60,0
	3	60,0	60,0	60,0	60,0
	4	60,0	60,0	60,0	60,0
ED_A4	1	68,6			
	2	<i>68,6</i>			
	3	68,6			
ED_A5	1	70,7			
	2	70,7			
	3	70,7			
ED_A6	1	58,5			
	2	58,5			
ED_B1	1	<i>88,5</i>	<i>76,1</i>	66,5	73,8
	2	<i>85,4</i>	<i>75,7</i>	69,6	74,4
	3	70,0	75,0	75,0	85,0
	4	70,0	75,0	75,0	85,0
ED_B2	1	<i>72,3</i>	<i>72,7</i>	75,0	85,0

	2	70,0	75,0	75,0	85,0
	3	70,0	75,0	75,0	85,0
	4	70,0	75,0	75,0	85,0
ED_B3	1	63,0			
	2	63,0			
	3	63,0			
ED_B4	1	105,0			
	2	105,0			
	3	105,0			
ED_B5	1	88,9			
	2	41,7	41,7	47,2	
	3	47,2	41,7	41,7	
	4	47,2	41,7	41,7	
ED_C1	1	75,6	79,4		
	2	75,6	79,4		
	3	75,6	79,4		
ED_C2	1	93,4			
	2	59,5	93,4		
	3	59,5	93,4		
	4	179,6			
	5	59,5	93,4		
	6	59,5	93,4		
ED_C3	1	35,0	70,5		
	2	50,5	70,5	65,0	
	3	50,5	70,5	65,0	
	4	50,5	70,5	65,0	
	5	50,5	70,5	65,0	
ED_C4	1	164,7	65,3		
	2	230,0			
	3	63,8	166,2		
	4	65,3	65,3	99,5	
	5	230,0			

5.2.2. Rappresentazione tridimensionale

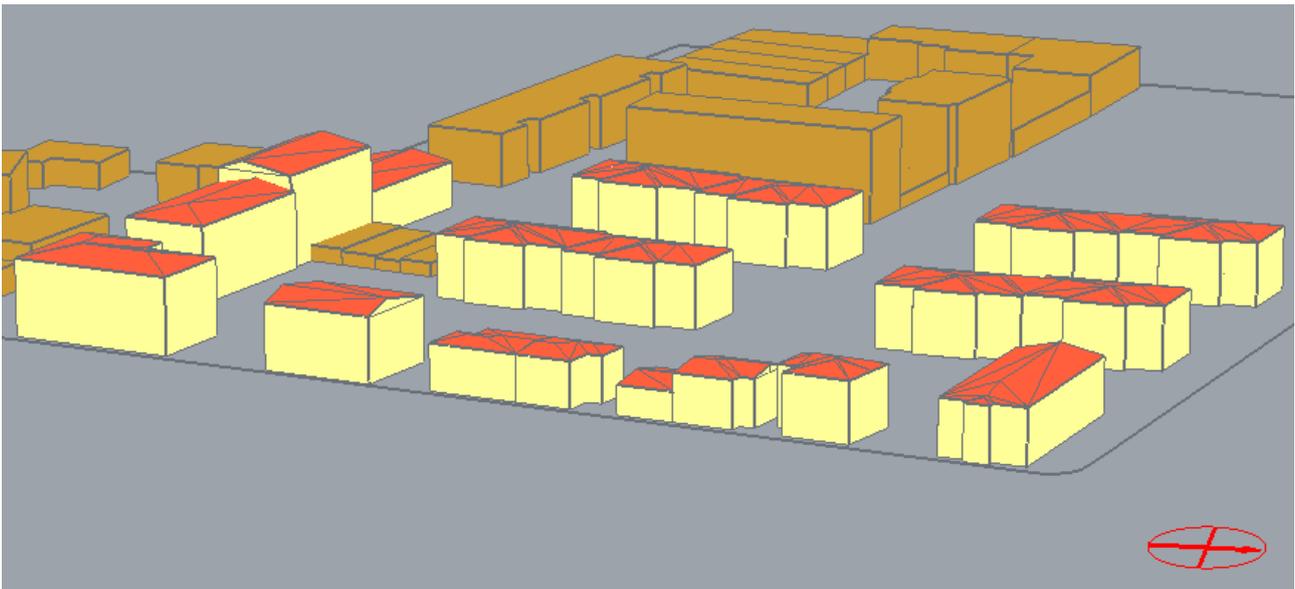


Fig. 21 - Modello geometrico CitySim Pro.

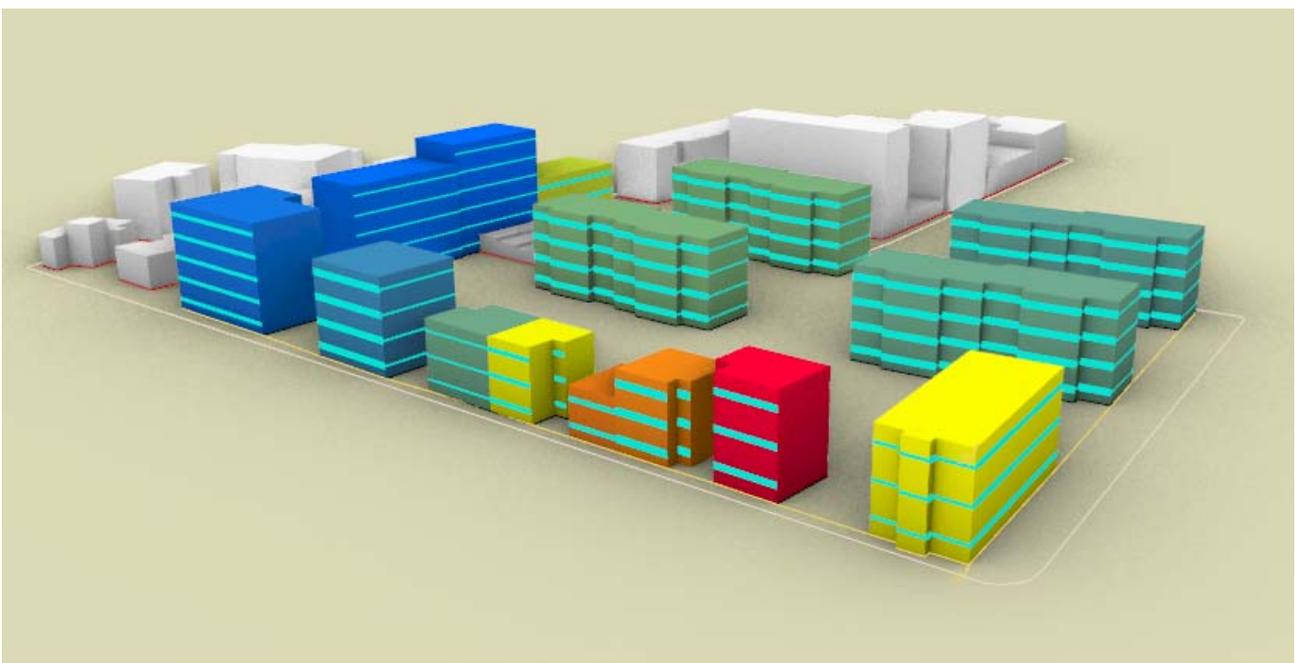


Fig. 22 - Modello geometrico UMI.

5.3. INVOLUCRO

La definizione delle stratigrafie dei componenti di involucro verticali, orizzontali ed obliqui, come punto di partenza, è stata desunta da quanto contenuto nel progetto europeo TABULA (*Typology Approach for Building Stock Energy Assessment*), concepito per armonizzare le tipologie costruttive residenziali del parco immobiliare europeo. Con riferimento a questo documento, la tipologia dei fabbricati è funzione: della zona climatica, dell'epoca di costruzione e della classe di dimensione edilizia. Laddove fosse ritenuto necessario, per completare quanto contenuto in TABULA, si estrarranno le informazioni dalla norma UNI/TR 11552 del 2014, in cui compare l'abaco delle strutture opache, costituenti l'involucro edilizio. Inoltre, la lettura del pacchetto stratigrafico sarà

perfezionata dal sopralluogo e da quanto contenuto nell'APE, depositato presso il portale del SIPEE. Con riferimento a quest'ultimo documento, se completato in tutte le sue parti, sarà possibile conoscere: la tipologia costruttiva e la trasmittanza media delle superfici verticali opache e vetrate. Come si evince dalla tabella riportata di seguito, solo alcuni *Attestati di Prestazione Energetica* sono completati in tutte le loro parti. Le trasmittanze termiche medie, ponderate rispetto alle superfici delimitanti, sono state considerate come un ordine di grandezza, appunto poiché non sono depurate rispetto all'area. Nel caso in cui nella stessa cella comparissero più valori, ciò è da imputare alla presenza di più documenti riferiti a diverse unità abitative, comprese nello stesso fabbricato. Infine, si riporta che le informazioni sono state presentate fedelmente, senza nessun tipo di alterazione.

Tab. 49 – *Dati involucro estratti dagli APE.*

cod. Edificio	Tipologia costruttiva	Trasmittanza termica media superfici verticali opache [W/m ² K]	Trasmittanza termica media serramenti [W/m ² K]
ED_A1	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	1,25	3,00
ED_A2	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	1,25	3,00
ED_A3	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	-	-
ED_A4	-	1,51	3,90
ED_A5	-	-	-
ED_A6	-	-	-
ED_B1	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	1,25	3,00
ED_B2	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	1,25	3,00
ED_B3	-	-	-
ED_B4	-	-	-
ED_B5	-	1,12	2,18
ED_C1	struttura in muratura portante	(1,20; 1,22; 1,28)	(2,00; 4,43; 1,8)
ED_C2	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	(0,86; 1,57; 0,79)	(2,90; 4,61; 2,80)
ED_C3	struttura mista	(0,95; 1,08)	(3,29; 5,08)
ED_C4	struttura in c.a. con chiusure in laterizio	-	-

Fondamentale, per l'estrazione delle informazioni dal progetto TABULA, risulta essere l'anno di costruzione del fabbricato. Tale dato è desumibile, nel caso in cui fosse stato depositato, dall'*Attestato di Prestazione Energetica* dell'edificio oppure dal GeoPortale della Regione Piemonte. Il sopralluogo conoscitivo è stata un'attività utile per confutare quanto contenuto in TABULA, per comprendere la tipologia costruttiva dell'edificio e per visionare direttamente possibili interventi migliorativi, le cui

informazioni non siano state direttamente aggiornate negli APE (sostituzione dei serramenti o cappotto esterno, per esempio). Ovviamente il reperimento di queste informazioni è limitato, in quanto vincolato ad un'osservazione esterna degli oggetti edilizi, poiché non è stato in nessun modo possibile accedervi o avere una comunicazione diretta coi proprietari o coi residenti.

Definito l'anno di costruzione dei manufatti, da TABULA e da altri *database* contenenti le proprietà termofisiche dei materiali, per ogni strato si potranno desumere le seguenti caratteristiche: spessore, massa volumica, calore specifico e conducibilità termica, oppure direttamente la trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico. La trasmittanza termica e il fattore solare del vetro, invece, definiranno il comportamento del vetro, soprattutto in CitySim Pro. Inoltre, in alcuni casi, i pacchetti stratigrafici dei componenti di involucro orizzontali ed obliqui, sono stati dettagliati maggiormente di concerto con quanto contenuto nella *UNI/TR 11552*. Di seguito, verrà presentata una tabella riepilogativa contenente il codice delle stratigrafie (consultabili nella loro interezza nei paragrafi successivi) dei componenti di involucro: verticali, orizzontali, obliqui e vetrati, per ogni manufatto considerato. La resistenza liminare interna ed esterna atta al calcolo della trasmittanza termica dei componenti di involucro opachi, di concerto con la direzione del flusso termico, è stata desunta dalla *EN ISO 6946* [E-8].

Tab. 50 - Riepilogo codici componenti di involucro.

cod. Edificio	Anno di costruzione	cod. Involucro Verticale	cod. Involucro Orizzontale inferiore	cod. Involucro Orizzontale/Obliquo superiore	cod. Serramenti
ED_A1	1957	IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03
ED_A2	1957	IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03
ED_A3	1964	IV_02	IOCT_02	IOS_01	S_01
ED_A4	1930	IV_01	IOCT_01	IOS_03	S_01
ED_A5	1960-1970 (stimato)	IV_04	IOCT_02	IOS_01	S_02
ED_A6	1960-1970 (stimato)	IV_04	IOCT_02	IOS_01	S_02
ED_B1	1957	IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03
ED_B2	1957	IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03
ED_B3	1960-1970 (stimato)	IV_03	IOCT_02	IOS_01	S_02
ED_B4	1960-1970 (stimato)	IV_03	IOCT_02	IOS_01	S_02
ED_B5	1960	IV_04	IOCT_03	IOS_01	S_03
ED_C1	1950	IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03
ED_C2	1964	IV_02	IOCT_03	IOS_01	S_01
ED_C3	1970	IV_04	IOCT_03	IOS_02	S_01
ED_C4	1971	IV_04	IOCT_02	IOS_02	S_01

5.3.1. Involucro Verticale

Tab. 51 - Definizione IV_01.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IV_01	Intonaco esterno	0,02	0,90	1800	840	1,387
	Laterizio pieno	0,36	0,72	1800	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,40				

Tab. 52 - Definizione IV_02.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IV_02	Intonaco esterno	0,02	0,90	1800	840	1,166
	Laterizio forato	0,08	0,38	800	840	
	Intercapedine d'aria	0,06	0,50	1,3	1000	
	Laterizio forato	0,12	0,38	800	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,30				

Tab. 53 - Definizione IV_03.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IV_03	Intonaco esterno	0,02	0,90	1800	840	0,869
	Laterizio forato	0,16	0,38	800	840	
	Laterizio forato	0,20	0,38	800	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,40				

Tab. 54 - Definizione IV_04.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IV_04	Intonaco esterno	0,02	0,90	1800	840	0,979
	Laterizio forato	0,15	0,38	800	840	
	Laterizio forato	0,16	0,38	800	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,35				

5.3.2. Involucro Orizzontale/Obliquo Superiore

Tab. 55 - Definizione IOS_01.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IOS_01	Tegole in argilla	0,03	1,00	2000	799	1,605
	Intercapedine d'aria	0,10	0,96	1,3	1000	
	Massetto	0,02	1,40	2000	840	
	CLS armato	0,04	2,00	2400	880	
	Pignatta	0,16	0,56	900	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,37				

Tab. 56 - Definizione IOS_02.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IOS_02	Tegole in argilla	0,03	1,00	2000	799	1,486
	Intercapedine d'aria	0,10	0,96	1	1000	
	Massetto	0,02	1,40	2000	840	
	CLS armato	0,04	2,00	2400	880	
	Pignatta	0,24	0,71	900	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,45				

Tab. 57 - Definizione IOS_03.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IOS_03	Tegole in argilla	0,03	1,00	2000	799	1,634
	Intercapedine d'aria	0,10	0,96	1	1000	
	Massetto	0,02	1,40	2000	840	
	CLS armato	0,03	2,00	2400	880	
	Pignatta	0,20	0,71	900	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,40				

5.3.3. Involucro Orizzontale Inferiore

Tab. 58 - Definizione IOCT_01.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IOCT_01	Ghiaione - ciottoli di fiume	0,20	1,20	1700	840	1,406
	CLS alleggerito	0,10	0,33	1200	880	
	Massetto	0,03	1,40	2000	840	
	Pavimentazione in grès	0,015	1,47	1700	840	
	Spessore Tot.	0,345				

Tab. 59 - Definizione IOCT_02.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IOCT_02	Ghiaione - ciottoli di fiume	0,30	1,20	1700	840	1,258
	CLS alleggerito	0,10	0,33	1200	880	
	Massetto	0,03	1,40	2000	840	
	Pavimentazione in grès	0,015	1,47	1700	840	
	Spessore Tot.	0,445				

Tab. 60 - Definizione IOCT_03.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
IOCT_03	Ghiaione - ciottoli di fiume	0,40	1,20	1700	840	1,139
	CLS alleggerito	0,10	0,33	1200	880	
	Massetto	0,03	1,40	2000	840	
	Pavimentazione in grès	0,015	1,47	1700	840	
	Spessore Tot.	0,545				

5.3.4. Serramenti

L'inserimento delle proprietà termofisiche dei serramenti sui due *software* di simulazione avviene in maniera differente. Da un lato in UMI, si modellano le caratteristiche del singolo vetro e si costruisce *ad hoc* un sistema composto dall'esatto numero di lastre e dalla tipologia di gas inerte presente, struttura comune a tutto l'edificio. Dall'altro in CitySim Pro, come parametri di input, validi per tutte le facciate, si potranno inserire solamente la trasmittanza termica del serramento e il fattore solare del vetro. Da questo punto di vista, con riferimento a quanto contenuto in TABULA, si definiscono due tipologie di serramenti:

- S_01: serramento con vetro singolo e telaio in legno: $U_W = 4,9 \frac{W}{m^2K} - g_{gl,n} = 0,85$;
- S_02: serramento con vetro singolo, telaio in metallo e senza taglio termico: $U_W = 5,7 \frac{W}{m^2K} - g_{gl,n} = 0,85$;
- S_03: serramento con vetro-camera con intercapedine d'aria e telaio in legno: $U_W = 2,8 \frac{W}{m^2K} - g_{gl,n} = 0,75$.

Inoltre, essendo che nei due programmi è possibile inserire solamente una tipologia di serramento valida per tutto il fabbricato, si sono formulate le seguenti semplificazioni: i portoni di ingresso o le serrande opache, ubicate al pian terreno, non sono state considerate come frazione vetrata e in quest'ultima è stata valutata anche l'area del telaio, stabilita come parte del sistema serramento e non come involucro opaco. Come area trasparente, invece, sono state tenuti in conto i portoni di ingresso traguardabili e ovviamente tutti gli altri componenti vetrati riscontrabili in facciata. Anche in questo caso, l'attribuzione di S_01 o S_02 è da imputare alle trasmittanze termiche medie contenute negli APE. Di seguito si riporta la tabella riepilogativa contenente le frazioni vetrate per ciascun edificio, classificate per orientamento.

Tab. 61 - Frazioni vetrate per fabbricato e orientamento.

cod. edificio	% Area vetr. NE	% Area vetr. NO	% Area vetr. SE	% Area vetr. SO
ED_A1	6%	22%	29%	9%
ED_A2	6%	22%	29%	9%
ED_A3	24%	1%	6%	20%
ED_A4	0%	24%	17%	0%

ED_A5	0%	18%	26%	0%
ED_A6	0%	17%	16%	4%
ED_B1	9%	22%	29%	6%
ED_B2	9%	22%	29%	6%
ED_B3	0%	18%	19%	0%
ED_B4	0%	9%	11%	0%
ED_B5	10%	19%	29%	0%
ED_C1	17%	19%	0%	16%
ED_C2	7%	0%	0%	19%
ED_C3	10%	0%	1%	14%
ED_C4	3%	1%	17%	12%

5.3.5. Partizioni interne

In UMI è necessario inserire, per il calcolo della capacità termica dell'ambiente di progetto, una tipologia di partizioni interne verticali e orizzontali. Di seguito vengono proposte due tipologie di divisori ampiamente utilizzati in edilizia ed inseriti nel programma.

Tab. 62 - Definizione PV_01.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
PV_01	Intonaco esterno	0,02	0,90	1800	840	2,581
	Mattoni pieni	0,12	0,72	1800	840	
	Intonaco interno	0,02	0,70	1400	840	
	Spessore Tot.	0,16				

Tab. 63 - Definizione PO_01.

cod. stratigrafia	Materiale (da E a I)	Spessore [m]	Conducibilità Termica [W/mK]	Densità [kg/m ³]	Calore specifico [J/kgK]	Trasmittanza Termica [W/m ² K]
PO_01	Intonaco esterno	0,02	0,90	1800	840	1,492
	Soletta CLS	0,16	0,56	900	880	
	Malta di cemento	0,02	1,40	2000	840	
	Massetto in CLS ordinario	0,12	1,06	2000	840	
	Malta di cemento	0,02	1,40	2000	840	
	Pavimentazione in grès	0,015	1,47	1700	840	
	Spessore Tot.	0,355				

5.4. IDENTIFICAZIONE ZONE TERMICHE

Per zona termica si intende una porzione di edificio costituita da un insieme di ambienti termicamente omogenei fra di loro, entro le quali le variazioni di carico termico sensibile e latente siano simili e siano serviti dal medesimo sistema di riscaldamento e/o climatizzazione. La suddivisione in zone termiche dipende: dalle differenti condizioni d'uso, dalla complessità dell'edificio e dalla tipologia di sistema impiantistico installato.

La formazione delle zone termiche ha delle conseguenze nella caratterizzazione dell'impianto e nella definizione dei carichi termici endogeni, poiché se un fabbricato possiede più unità abitative con caratteristiche diverse, lo sviluppatore dovrà gestire la coesistenza di queste differenze. Seppur il caso studio preso in esame presenta un'impronta areale limitata, la modellazione energetica si riferisce ad una scala urbana e non sul singolo edificio. Ciò detto si è deciso di far coincidere la zona termica con il volume netto interno dell'edificio, non tenendo in conto dei possibili confini legislativi riscontrabili in presenza di un condominio. Nel caso in cui si decidesse, all'interno dei due *software* proposti, di originare più zone termiche all'interno dello stesso fabbricato, la via percorribile meno invasiva sarebbe quella di frammentare tali aree per piano di riferimento. Un'eventuale problematica connessa a questa soluzione riguarderebbe la gestione dei componenti di involucro fra due zone termiche adiacenti, poiché la stratigrafia del pavimento del piano superiore e il soffitto di quello inferiore, dovranno essere il prodotto di un unico pacchetto.

UMI, per quanto concerne la suddivisione delle zone termiche, si rifà al partizionamento automatico, per ogni piano del fabbricato, in quattro regioni di "perimetro" e una di "nucleo" (*perimeter and core zones*). La prima si riferisce alla ripartizione dello spazio lungo la facciata in funzione del diverso orientamento, la cui profondità, tipicamente pari a 4 o 5 metri, viene definita dall'utente. La regione centrale rimanente, invece, sarà definita come quella di nucleo, la cui estensione può essere comunque modificata. Tale partizionamento è reso utile per contrastare il sottodimensionamento della domanda energetica simulata. Ad esempio, nel caso di un edificio di grosse dimensioni, il quale possiede un'unica zona termica, se si verificasse un extra-guadagno solare entrante dalla facciata Sud, questo non potrebbe essere usufruito solamente dalle zone direttamente coinvolte, ma tale apporto sarà assorbito anche dalle zone orientate a Nord, esenti da irraggiamento solare (Dogan e Reinhart ^[E-3]). Inoltre, in UMI, si inseriranno le proprietà termofisiche dei partizionamenti orizzontali e le altezze di interpiano per individuare gli spazi elementari di piano, facenti parte della stessa zona termica. In CitySim, contrariamente a ciò che avviene in UMI, la definizione della zona termica coincide con l'intero fabbricato.

5.5. CARICHI TERMICI ENDOGENI

Per carichi termici endogeni si intendono quegli apporti termici, contenuti all'interno di una determinata zona termica, la cui presenza modifica le condizioni di comfort dell'ambiente di progetto. Tutti gli *heat gains*, considerabili generalmente come apporti gratuiti nella stagione invernale e contribuiti da espellere in quella estiva, possono essere di natura puramente convettiva, radiativa oppure costituiti da entrambe le quote. La frazione convettiva viene istantaneamente convertita in carichi termici, al contrario di quella di natura radiativa, che prima di essere ceduta al sistema termodinamico, dovrà essere assorbita dalle superfici dei materiali che costituiscono il confine dell'area di calcolo. L'inerzia termica dei componenti di involucro e di arredo determinerà l'entità degli accumuli ed il tasso con cui queste energie verranno rilasciate. Pertanto, le quote radiative compariranno, rispetto ad un intervallo di tempo definito, in maniera smorzata e sfasata, in funzione dei valori di inerzia termica. Generalmente, i carichi termici endogeni possono essere classificati di

concerto con la diversa natura delle sorgenti che li origina: occupanti, sistemi di illuminazione artificiale, apparecchiature e motori elettrici e apparati di cottura dei cibi, quest'ultimi considerabili nel caso di attività in cui si somministrano alimenti e/o bevande. Nella presente analisi saranno considerate solamente le prime tre fonti.

La considerazione dei carichi termici endogeni, di concerto con quanto contenuto in letteratura, può avvenire in funzione dello spazio o della persona in maniera deterministica o stocastica (Fonseca *et al.* [E-4]). Ciò significa che, in relazione allo spazio, ad una definita tipologia di locale o destinazione d'uso, viene attribuito un certo valore parametrico riferito a quella classe di utilizzo, nel secondo, invece, si "segue" il comportamento e l'azione individuale della persona, la quale interagisce direttamente con le sorgenti termiche, all'interno dell'ambiente di progetto. Sovente, la non perfetta conoscenza del profilo di assenza-presenza degli occupanti, è una delle principali cause dell'amplificazione della differenza fra i consumi energetici simulati rispetto a quelli reali. Tuttavia, attualmente non esistono dei modelli stocastici, basati ad esempio sul modello di Markov (Neves-Silva e Virote [E-7]), utilizzabili con riferimento ad una scala distrettuale. Pertanto, in questa sede, ci si riferirà a valori di natura deterministica basati sulla tipologia di spazio considerato, poiché contrariamente significherebbe gestire l'azione dell'utente all'interno dell'ambiente urbano.

In CitySim Pro l'unico modo per inserire all'interno del modello la presenza di carichi termici endogeni, provenienti da dispositivi elettrici ed apparecchi illuminanti, avviene attraverso l'introduzione dei comandi *DeviceType* e *ActivityType*. Con riferimento alla prima stringa di codice verranno inseriti: la potenza media erogabile, la frazione convettiva, radiativa ed il profilo di utilizzo orario su base giornaliera. Inoltre, per ogni valore orario, l'algoritmo genererà un numero stocastico, rappresentate la probabilità di utilizzo di quel dispositivo, laddove se questo numero risulta essere minore o uguale a quello letto nell'*i-esima* ora, si terrà conto del consumo derivante dal *DeviceType* considerato, viceversa per il caso contrario. Successivamente l'utente, per ciascun manufatto, dovrà collegare i dispositivi elettrici con la stringa *ActivityType*. Facendo questo l'algoritmo tiene conto dell'utilizzo singolo, combinato o di nessuno impiego dei dispositivi a cui si richiama. Chiarendo quest'ultimo concetto con un esempio: si immagini un ambiente all'interno del quale ci siano due dispositivi elettrici, ad ognuno dei quali è associata una potenza ed un profilo di utilizzo orario su base giornaliera. L'algoritmo, generando stocasticamente un valore per ogni ora e confrontando questo con i valori appartenenti a ciascun dispositivo, letti nella medesima ora, cerca di prevedere l'utilizzo degli apparecchi compresi all'interno dell'ambiente di progetto.

```
<DeviceType id="6" name="Device_ED_A6">
    <Device name="Ele_ED_A6" avgPower="155" convectiveFraction="0.7"
radiativeFraction="0.3" p1="0.5" p2="0.5" p3="0.5" p4="0.5" p5="0.5" p6="0.5" p7="0.5"
p8="0.66" p9="0.66" p10="0.5" p11="0.5" p12="0.57" p13="0.57" p14="0.57" p15="0.57"
p16="0.5" p17="0.52" p18="0.68" p19="0.68" p20="0.76" p21="0.76" p22="0.76" p23="0.6"
p24="0.6"/>
    <Device name="Ill_ED_A6" avgPower="356" convectiveFraction="0.3"
radiativeFraction="0.7" p1="0" p2="0" p3="0" p4="0" p5="0" p6="0" p7="0.15" p8="0.15"
p9="0.15" p10="0.15" p11="0.05" p12="0.05" p13="0.05" p14="0.05" p15="0.05" p16="0.05"
p17="0.2" p18="0.2" p19="0.2" p20="0.2" p21="0.2" p22="0.2" p23="0.15" p24="0.15"/>
</DeviceType>

<ActivityType id="6" name="Activity_ED_A6">
    <Activity name="Act_ED_A6" deviceType="6" p1="1" p2="1" p3="1"
p4="1" p5="1" p6="1" p7="1" p8="1" p9="1" p10="1" p11="1" p12="1" p13="1" p14="1"
p15="1" p16="1" p17="1" p18="1" p19="1" p20="1" p21="1" p22="1" p23="1" p24="1"/>
</ActivityType>
```

Fig. 23 - Introduzione CTE elettrici e derivanti da dispositivi illuminanti, CitySim Pro.

Pertanto, la prima considerazione da descrivere è che sicuramente tale algoritmo non è stato concepito per considerare il valore del carico termico in maniera parametrica, ma è stato originato per studiare il probabile utilizzo di più dispositivi, compresi all'interno della zona termica, in maniera puntuale. Quest'ultima considerazione contrasta con una delle ipotesi formulate inizialmente, cioè quella di considerare l'intensità dei carichi in funzione della superficie climatizzata, poiché non potendo avere un riscontro diretto con ciò che avviene all'interno delle unità abitative, è praticamente impossibile prevedere la tipologia di dispositivi installati, la loro potenza e il loro utilizzo. Secondariamente, bisogna asserire che la volontà di immettere i carichi, nella maniera descritta, coincide con l'impossibilità da parte dell'utente di poterli introdurre diversamente all'interno del *software* e con la determinazione di non generare un modello energetico senza l'influenza di questi, anche se trattati nella maniera non corretta. Ancora: la generazione stocastica non si adatta bene alla presente simulazione, poiché il valore calcolato dovrà comparire con certezza all'interno del modello, altrimenti alla fine si confronteranno dei risultati all'interno dei quali compariranno formulazioni differenti. Infine, l'ultima nota da riportare, riguarda il fatto che su CitySim Pro, l'utente sarà impossibilitato a identificare un andamento annuo di consumo, ma si dovrà accontentare di quello giornaliero.

5.5.1. Profili orari

L'obiettivo dei dati proposti di seguito è quello di definire il profilo temporale, su base oraria, valido per un anno di riferimento, di concerto col *time step* considerato nei due *software*, e l'intensità degli apporti termici dovuti a: occupanti, sistemi di illuminazione e dispositivi elettrici. Il reperimento dei seguenti dati incogniti è stato desunto dalla *prEN 16798-1* del 2019, per le destinazioni d'uso di tipo residenziale e dalla *ISO 18523-1* del 2016, per le attività rientranti nel terziario-commerciale. Per ciascuna destinazione d'uso sono state definite delle schede riepilogative, in cui compaiono i profili giornalieri dei sopracitati carichi, suddivisi in: giorni feriali, sabato e domenica o ricorrenze festive. Nella parte superiore di ciascun modello vengono riassunti i principali parametri di input inseriti nei due programmi. Imposto un anno virtuale di riferimento 2005, generato in relazione ai dati climatici, per ogni scheda si è proceduto ad individuare e conteggiare il verificarsi dei tre profili giornalieri. Alle festività nazionali italiane (Natale, Capodanno, Ferragosto, ecc.) si è aggiunta la celebrazione di San Baudolino, Santo Patrono della città di Alessandria, che si verifica il 10 novembre.

La coincidenza della zona termica con l'intero edificio ha delle evidenti ricadute con la considerazione dei carichi termici, poiché la definizione delle prime è direttamente correlata al valore delle sorgenti endogene. Ad esempio, all'interno di uno stesso condominio, a carattere assolutamente residenziale, ci saranno una serie di appartamenti, occupati da persone diverse (famiglia con figli, coppia di anziani oppure unità abitate da studenti o lavoratori). Pertanto, definito un preciso giorno ed una specifica ora, ciò che si registra nell'interno condominio è la somma di ciò che si verifica in ogni unità edilizia. Questo è reso vero in termini di intensità di valore di carichi termici ma non per profili di utilizzo o di assenza-presenza. Per ovviare a questo inconveniente, dunque, l'intensità della sorgente endogena, riferita ad una specifica ora, sarà pari alla media ponderata, dei valori contenuti nelle schede riepilogative, funzione del numero di appartamenti abitati rispetto alle tipologie di occupanti individuate. Ovviamente tale criticità non si verifica nel caso di villette monofamiliari isolate, ma quest'ultima circostanza esula dall'ambiente di progetto considerato.

Per comprendere l'incidenza percentuale del numero di appartamenti si è deciso, quindi, di suddividere la popolazione residente per fasce d'età: *over 65* per immobili occupati da una coppia di anziani, dai 20 ai 35 anni per immobili occupati da studenti, lavoratori o da una giovane coppia e la restante parte per i fabbricati abitati da famiglie con figli.

Tab. 64 - *Alessandria NORD per fasce d'età.*

Popolazione Residente suddivisa per Circoscrizione e Fasce d'età													
0	1-3	4-5	6-11	12-14	15-19	20-29	30-40	41-60	61-65	66-70	71-80	81 e oltre	Tot.
86	296	209	760	376	658	1300	1633	4962	1045	1067	1915	1294	15601

Individuando, di concerto con le rilevazioni comunali risalenti al dicembre 2018 per la circoscrizione Alessandria Nord, così:

- Profilo A: 27% di anziani;
- Profilo B: 14% di studenti o lavoratori;
- Profilo C: 59% di membri costituenti una famiglia tipo.

Ovviamente l'assunzione proposta è una semplificazione che è facilmente riscontrabile nella realtà. Riguardo ai fabbricati con una destinazione d'uso residenziale e non, per l'attribuzione del numero di giorni feriali e festivi ci si è rifatti a quanto contenuto nel calendario proposto di seguito.

I profili D ed E, invece, sono da riferirsi alle destinazioni d'uso non residenziali. Nello specifico: l'*ED_C1*, localizzato all'incrocio fra via G. Rossini e via Santorre di Santarosa, al pian terreno momentaneamente presenta un locale non utilizzato (dato confermato anche dal sopralluogo eseguito in data 21 gennaio). Tuttavia, gli si è attribuito il profilo D, cioè quello adibito a bar. Per l'*ED_C4*, invece, ubicato fra via Santorre di Santarosa e via G. Donizetti, anch'esso inattivo, si è associato il profilo E, cioè quello riferibile alla vendita di prodotto al dettaglio.

**Fig. 24** - *Pian terreno ED_C1 (FONTE: Google Maps).*



Fig. 25 - Pian terreno ED_C4 (FONTE: Google Maps).

Per l'ED_A3, infine, ubicato nell'incrocio fra viale Teresa Michel e via G. Donizetti, come si evince dalla foto proposta di seguito, presenta tre attività commerciali attualmente in esercizio. Il negozio più a sinistra risulta essere un rivenditore di biciclette, quello più a destra risulta essere una libreria e i tre ingressi centrali rappresentano l'accesso ad un tabacchino e centro scommesse. Si noti che, all'estremità di questi ultimi, sono localizzati gli ingressi per accedere ai piani superiori dell'edificio condominiale. Per il fabbricato ED_A3, quindi, è stato attribuito il profilo E per tutti e tre gli esercizi commerciali.



Fig. 26 - Pian terreno ED_A3 (FONTE: Sopralluogo 21/1).

Anche il numero di unità abitative, per ciascun fabbricato multipiano, è oggetto di incertezza. In alcuni casi, per il seguente dato, è stato possibile ricavarlo dagli *Attestati di Prestazione Energetica*, laddove non debitamente specificato, invece, si è proceduto a formulare delle ipotesi. Fra queste, durante l'attività di sopralluogo, per la determinazione del numero di appartamenti a destinazione d'uso residenziale, si sono contati il numero di cognomi presenti sui relativi campanelli. Aggiungendo a questi la quantità di attività commerciali, per ricavare il valore totale. Per quanto concerne la non perfetta coincidenza dei profili D ed E con gli specifici esercizi atti alla vendita, la motivazione è da ricondurre all'assenza di questi specifici utilizzi nelle sopracitate norme. Pertanto, si è attribuito loro il profilo che è stato ritenuto più simile.

Tab. 65 - Riepilogo numero e tipologia profili.

cod. edificio	n. unità abitative e commerciali	Destinazione d'uso*	Profilo A	Profilo B	Profilo C	Profilo D	Profilo E
ED_A1	16	R	4	2	9	-	-
ED_A2	16	R	4	2	9	-	-
ED_A3	15	R + C	3	2	7	-	3
ED_A4	3	R	1	0	2	-	-
ED_A5	3	R	1	0	2	-	-
ED_A6	2	R	1	0	1	-	-
ED_B1	16	R	4	2	9	-	-
ED_B2	16	R	4	2	9	-	-
ED_B3	3	R	1	0	2	-	-
ED_B4	3	R	1	0	2	-	-
ED_B5	10	R	3	1	6	-	-
ED_C1	6	R + C	1	1	3	1	-
ED_C2	10	R	3	2	6	-	-
ED_C3	15	R	4	2	9	-	-
ED_C4	9	R + C	2	1	5	-	1

[*] R = Residenziale; C = Commerciale; R + C = Residenziale con al piano terra almeno un'unità commerciale.

5.5.2. Ottimizzazione del processo

Nell'ambiente CitySim Pro per quanto concerne la caratterizzazione del modello energetico, tale attività avviene prevalentemente mediante la compilazione di un codice XML, di concerto con una precisa codifica. Pertanto, per velocizzare le successive operazioni di immissione dati e riducendo così a zero la propagazione dell'errore, si è studiato un algoritmo, gestito in Excel, che possa fornire il codice preconfezionato solamente da incollare nel file XML e a cui sarà necessario attribuire un certo numero identificativo e alcune correzioni. Tale procedimento è stato adoperato per la compilazione automatica e per la definizione: delle caratteristiche termofisiche dei componenti di involucro, ma soprattutto per la trascrizione dei profili orari. Questo poiché in CitySim Pro, per gli occupanti e l'andamento del consumo orario di ACS, definita la diversa tipologia di ventiquattrore (feriale, sabato, domenica o festivo), è necessario associare per i 365 giorni dell'anno il codice identificativo corretto. In assenza dell'algoritmo sopracitato, questa considerazione avrebbe implicato, oltre uno spreco di tempo utile, la compilazione manuale degli otto profili annuali (quattro per gli occupanti e quattro per l'ACS), incorrendo sicuramente nella generazione di inesattezze nel modello, dovute alla trascrizione della mole di informazioni qui descritta. Come detto, l'algoritmo è stato gestito su Excel, laddove, successivamente ad aver richiamato le celle in cui compaiono i dati sensibili, attraverso la funzione CONCATENA, si è potuto generare la stringa completa, frutto dell'accoppiamento delle singole stringhe. Visto l'interesse per tale metodologia, questa è stata estesa anche alla compilazione dei profili giornalieri per i carichi termici endogeni, provenienti da dispositivi elettrici o apparecchi illuminanti. Per gli altri parametri (frazioni vetrate, densità degli occupanti, parametri impiantistici, etc.) si è proceduto alla trascrizione manuale.

5.5.3. Presentazione anno di riferimento e profili orari

Lu	Ma	Me	Gi	Ve	Sa	Do	
					1	2	Gennaio
3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	
17	18	19	20	21	22	23	
24	25	26	27	28	29	30	
31							
	1	2	3	4	5	6	
7	8	9	10	11	12	13	
14	15	16	17	18	19	20	
21	22	23	24	25	26	27	
28							
	1	2	3	4	5	6	Marzo
7	8	9	10	11	12	13	
14	15	16	17	18	19	20	
21	22	23	24	25	26	27	
28	29	30	31				
				1	2	3	Aprile
4	5	6	7	8	9	10	
11	12	13	14	15	16	17	
18	19	20	21	22	23	24	
25	26	27	28	29	30		
						1	Maggio
2	3	4	5	6	7	8	
9	10	11	12	13	14	15	
16	17	18	19	20	21	22	
23	24	25	26	27	28	29	
30	31						
		1	2	3	4	5	Giugno
6	7	8	9	10	11	12	
13	14	15	16	17	18	19	
20	21	22	23	24	25	26	
27	28	29	30				

Lu	Ma	Me	Gi	Ve	Sa	Do	
				1	2	3	Luglio
4	5	6	7	8	9	10	
11	12	13	14	15	16	17	
18	19	20	21	22	23	24	
25	26	27	28	29	30	31	
1	2	3	4	5	6	7	Agosto
8	9	10	11	12	13	14	
15	16	17	18	19	20	21	
22	23	24	25	26	27	28	
29	30	31					
			1	2	3	4	Settembre
5	6	7	8	9	10	11	
12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	
26	27	28	29	30			
					1	2	Ottobre
3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	
17	18	19	20	21	22	23	
24	25	26	27	28	29	30	
31							
	1	2	3	4	5	6	Novembre
7	8	9	10	11	12	13	
14	15	16	17	18	19	20	
21	22	23	24	25	26	27	
28	29	30					
			1	2	3	4	Dicembre
5	6	7	8	9	10	11	
12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	
26	27	28	29	30	31		

Legenda	
	Feriale
	Sabato
	Domenica e Festività

RESIDENZIALE – APPARTAMENTO OVER 65: E.1 (1)																	
Generale					Carichi interni					Set-points							
Ora di INIZIO del giorno		1		h		Densità occupanti		0,035		pers/m ²		Temperatura di set-point riscaldamento/inverno		20		°C	
Ora di FINE del giorno		24		h		Carico occupanti		(Eq. 5.5)		W/m ²		Temperatura di set-point raffrescamento/estate		26		°C	
Profilo annuale		Numero giorni profili			Carico elettrico		3		W/m ²		Tasso di ventilazione persona		11		l/s·pers		
A	A		253			Carico da illuminazione		6		W/m ²		Tasso di ventilazione area		-		l/h·m ²	
	B		48			Carico di vapore		(Eq. 5.8)		g/m ² ·h							
	C		63			CO ₂ prodotta		(Eq. 5.9)		l/m ² ·h							

Profilo giornaliero A	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Feriali								
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	
	Occupanti	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0,9	0,9	1
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	
Elettrico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6			

Profilo giornaliero B	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Sabato								
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	
	Occupanti	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	
Elettrico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6			

Profilo giornaliero C	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Domenica e Festivi								
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	
	Occupanti	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	
Elettrico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6			

RESIDENZIALE – APPARTAMENTO STUDENTI/LAVORATORI: E.1 (1)																										
Generale			Carichi interni					Set-points																		
Orario di INIZIO del giorno	1	h	Densità occupanti	0,035	pers/m ²	Temperatura di <i>set-point</i> riscaldamento/inverno		20	°C																	
Orario di FINE del giorno	24	h	Carico occupanti	(Eq. 5.5)	W/m ²	Temperatura di <i>set-point</i> raffreddamento/estate		26	°C																	
Profilo annuale	Numero giorni profili		Carico elettrico	3	W/m ²	Tasso di ventilazione		11	l/s·pers																	
B	A	223	Carico da illuminazione	6	W/m ²	Tasso di ventilazione area		-	l/h·m ²																	
	B	48	Carico di vapore	(Eq. 5.8)	g/m ² ·h																					
	C	93	CO ₂ prodotta	(Eq. 5.9)	l/m ² ·h																					
Profilo giornaliero A	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Feriali							
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24
	Occupanti	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Elettrico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6		
Profilo giornaliero B	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Sabato							
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24
	Occupanti	1	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Elettrico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6		
Profilo giornaliero C	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Domenica e Festivi							
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24
	Occupanti	1	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Elettrico	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6		

NON RESIDENZIALE – BAR: E.4																										
Generale						Carichi interni						Set-points														
Ora di INIZIO del giorno		1	h			Densità occupanti		0,2	pers/m ²		Temperatura di <i>set-point</i> riscaldamento/inverno		20	°C												
Ora di FINE del giorno		24	h			Carico occupanti		(Eq. 5.5)	W/m ²		Temperatura di <i>set-point</i> raffrescamento/estate		26	°C												
Profilo annuale		Numero giorni profili				Carico elettrico		4	W/m ²		Tasso di ventilazione persona		11	l/s·pers												
D	A		253			Carico da illuminazione		15	W/m ²		Tasso di ventilazione area		-	l/h·m ²												
	B		48			Carico di vapore		(Eq. 5.8)	g/m ² ·h																	
	C		63			CO ₂ prodotta		(Eq. 5.9)	l/m ² ·h																	
Profilo giornaliero A	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Feriali							
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24
	Occupanti	0	0	0	0	0	0,3	0,8	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,2	0,2	0,2		0,5	0,8	0,8	0,5	0,2	0,2	0
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	0	0	0
Elettrico	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,8	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0	0	0	
Profilo giornaliero B	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Sabato							
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24
	Occupanti	0	0	0	0	0	0,3	0,8	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,2	0,2	0,2		0,5	0,8	0,8	0,5	0,2	0,2	0
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	0	0	0
Elettrico	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0	0	0	
Profilo giornaliero C	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Domenica e Festivi							
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24
	Occupanti	0	0	0	0	0	0,3	0,8	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,2	0,2	0,2		0,5	0,8	0,8	0,5	0,2	0,2	0
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	0	0	0
Elettrico	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0	0	0	

NON RESIDENZIALE – NEGOZIO SINGOLO: E.5																											
Generale						Carichi interni						Set-points															
Ora di INIZIO del giorno		1	h			Densità occupanti		0,2	pers/m ²		Temperatura di <i>set-point</i> riscaldamento/inverno		20	°C													
Ora di FINE del giorno		24	h			Carico occupanti		(Eq. 5.5)	W/m ²		Temperatura di <i>set-point</i> raffrescamento/estate		26	°C													
Profilo annuale		Numero giorni profili				Carico elettrico		4	W/m ²		Tasso di ventilazione persona		11	l/s·pers													
E	A		253			Carico da illuminazione		15	W/m ²		Tasso di ventilazione area		-	l/h·m ²													
	B		48			Carico di vapore		(Eq. 5.8)	g/m ² ·h																		
	C		63			CO ₂ prodotta		(Eq. 5.9)	l/m ² ·h																		
Profilo giornaliero A	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Feriali								
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	
	Occupanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,8	0,8	0	0	0	0	0
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0	0	0
Elettrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0		
Profilo giornaliero B	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Sabato								
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	
	Occupanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0	0
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0	0	0
Elettrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0		
Profilo giornaliero C	CTE orario occupanti						CTE orario illuminazione						CTE orario elettrico						Domenica e Festivi								
	ORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		18	19	20	21	22	23	24	
	Occupanti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0	0
	Illuminazione	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	0	0	0
Elettrico	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0		

5.5.4. Intensità carichi

5.5.4.1. Apporto termico dovuto agli occupanti

Il calcolo degli apporti dovuti agli occupanti, proposto di seguito è volto alla determinazione delle quote: convettive, radiative e latenti:

$$q_{int,oc,con} = O_C \times Q_{sens,cv} \quad (5.5)$$

$$q_{int,oc,rad} = O_C \times Q_{sens,rd} \quad (5.6)$$

$$q_{int,oc,lat} = O_C \times Q_{lat} \quad (5.7)$$

Ove:

- $q_{int,oc,con}$ = apporto termico convettivo dovuto agli occupanti, espresso in $[W/m^2]$;
- O_C = occupazione espresso in $[pers/m^2]$;
- $Q_{sens,cv}$ = apporto termico convettivo rilasciato da una persona, espresso in $[W]$;
- $q_{int,oc,rad}$ = apporto termico radiativo dovuto agli occupanti, espresso in $[W/m^2]$;
- $Q_{sens,rd}$ = apporto termico radiativo rilasciato da una persona, espresso in $[W]$;
- $q_{int,oc,lat}$ = apporto termico latente dovuto agli occupanti, espresso in $[W/m^2]$;
- Q_{lat} = apporto termico latente rilasciato da una persona, espresso in $[W]$.

Il valore O_C , ricavato dalla *EN 16798-1* e dalla *ISO 18523-1*, è funzione della destinazione d'uso del fabbricato, nello specifico:

- $0,035 \text{ pers./m}^2$, per destinazioni d'uso residenziale (profili A, B, C);
- $0,8 \text{ pers./m}^2$, valido per i bar (profilo D);
- $0,2 \text{ pers./m}^2$, valido per i negozi al dettaglio (profilo E).

Per quanto concerne le quote convettive, radiative e latenti, invece, queste sono funzione del tipo di spazio considerato e dell'attività metabolica svolta dagli occupanti, nello specifico:

- $1,2 \text{ Met}$ con le quote sopracitate rispettivamente pari a: 41 W , 39 W e 38 W , per destinazioni d'uso residenziale (profili A, B, C);
- $1,2 \text{ Met}$ con le quote sopracitate rispettivamente pari a: 41 W , 39 W e 38 W , per l'esercizio adibito a bar (profilo D);
- $1,6 \text{ Met}$ con le quote sopracitate rispettivamente pari a: 39 W , 37 W e 82 W , per l'esercizio di vendita al dettaglio (profilo E).

Inoltre, di seguito si riportano anche le equazioni relative al calcolo della produzione di vapore dovuta alla traspirazione e sudorazione degli individui e l'anidride carbonica originata dagli occupanti:

$$G_{w,v,oc} = (q_{int,oc,lat}/h_{vap}) \times 3600 \quad (5.8)$$

Ove:

- $G_{w,v,oc}$ = vapore prodotto dalla traspirazione/sudorazione degli occupanti, espresso in $[g/(m^2 \cdot h)]$;
- $q_{int,oc,lat}$ = apporto termico latente dovuto agli occupanti, espresso in $[W/m^2]$;

- h_{vap} = entalpia specifica del vapor d'acqua, pari a 2300 kJ/kg.

$$G_{CO2,oc} = O_c \times (58,2 \times M \times A_{Du}) / [5,88 \times (0,23 \times RQ + 0,77)] \quad (5.9)$$

Ove:

- $G_{CO2,oc}$ = anidride carbonica prodotta dagli occupanti calcolata di concerto con la *EN ISO 8996*, espressa in $[l/(m^2 \cdot h)]$;
- O_c = occupazione espresso in $[pers/m^2]$;
- M = potenza metabolica, espressa in $[Met]$;
- A_{Du} = superficie corporea, espressa in $[m^2]$;
- RQ = quoziente respiratorio, posto pari a 0,85.

5.5.4.2. Apporto termico dovuto ai dispositivi illuminanti

Il calcolo dei carichi termici proveniente dai dispositivi illuminanti sarà di tipo parametrico, moltiplicando il valore contenuto nelle norme per la superficie utile di pavimento. Nello specifico:

- $6 W/m^2$ per le destinazioni d'uso residenziali (profili A, B, C);
- $15 W/m^2$ per le destinazioni d'uso non residenziali (profili D, E).

Bisogna specificare che il calcolo dettagliato per pervenire al consumo degli apparecchi illuminanti si ottiene applicando i contenuti della norma *EN 15193-1:2017*. Tuttavia, si è deciso di non percorrere questa via per due principali motivazioni: non è una simulazione energetica sull'edificio e secondo, poiché la complessità di tale metodologia ammette numerosi parametri di input, fra cui la geometria dei locali interni, assolutamente sconosciuta nel presente lavoro. Con riferimento alla destinazione d'uso non residenziale, i valori della *ISO 18523* sono stati diminuiti, in quanto ritenuti troppo elevati.

5.5.4.3. Apporto termico dovuto agli apparecchi elettrici

Il calcolo dei carichi termici provenienti dagli apparecchi elettrici sarà di tipo parametrico, moltiplicando il valore contenuto nella norma per la superficie utile di pavimento. Nello specifico:

- $3 W/m^2$ per le destinazioni d'uso residenziali (profili A, B);
- $2,4 W/m^2$ per le destinazioni d'uso residenziali (profili C);
- $4 W/m^2$ per le destinazioni d'uso non residenziali (profili D, E).

L'apporto termico radiativo e convettivo dei dispositivi elettrici è stato imposto pari a, rispettivamente: $(0,65 \div 0,70)$ e $(0,30 \div 0,35)$. Con riferimento alla destinazione d'uso non residenziale, i valori della *ISO 18523* sono stati diminuiti, in quanto ritenuti troppo elevati.

5.6. IMPIANTO TERMICO

La definizione dei parametri impiantistici sarà completata da quanto contenuto nel progetto TABULA e dai dati presenti negli attestati di prestazione energetica, depositati presso il SIPEE. Nel caso di assenza di quest'ultimo saranno formulati dei ragionamenti, a partire dall'osservazione di quanto già analizzato. Come descritto nelle pagine precedenti, all'interno di una modellazione energetica a scala urbana la definizione dell'impianto è da ricondurre solamente all'identificazione del sottosistema di generazione. Da ciò si deriva che le perdite di calore degli altri sottosistemi (emissione, regolazione, distribuzione e immagazzinamento) vengano trascurate o trattate in maniera semplificata. Si ricorda

inoltre che i due *software* esaminati considerano in maniera differente il comportamento dell'impianto: da un lato CitySim Pro prevede la definizione analitica di una serie di generatori e dall'altro UMI garantisce la presenza di un sistema ideale, che non possiede precisi riscontri con la realtà.

In presenza dell'APE, la maggior parte delle informazioni potranno essere ricavate dalla consultazione di tale documento. Dall'analisi di questo, infatti, si potranno estrarre parametri, quali: la tipologia impiantistica installata (centralizzato o autonomo); il rendimento dei vari sottosistemi, la potenza nominale del sistema di generazione e la tipologia di vettori energetici consumati. Dal progetto TABULA, invece, potranno essere estratti: la massima portata di flusso riscaldante e, anche in questo caso, i rendimenti dei sottosistemi.

Nel calcolo, per ciascun manufatto, si considererà solamente la ventilazione naturale, quindi la totale assenza di un impianto *ad hoc*, realizzato per gestire i ricambi d'aria all'interno degli ambienti di progetto. Con riferimento al sistema raffrescante, invece, all'interno degli *Attestati di Prestazione Energetica* si conferma la totale assenza di informazioni in merito, quindi nel caso in cui si assumessero delle efficienze e delle potenze dei sistemi di generazione comunque in fase di validazione si dovrebbe fare i conti con la totale assenza di un riscontro col calcolo *standard*. Per tale motivo il raffrescamento non è stato oggetto di tale analisi.

5.6.1. Riscaldamento

I parametri fondamentali da determinare in tale sede sono il rendimento e la potenza del sistema. In generale, non può essere enunciata una precisa e definita strada perseguita per la definizione dei dati sopracitati, poiché la metodologia è stata adattata al numero e alla qualità dei valori estraibili dagli APE. In assenza di dati concernenti i rendimenti, si è fatto riferimento a quanto contenuto in TABULA. Per le potenze, invece, il discorso è più complesso. In prima analisi, si è determinato, in maniera semplificata, la taglia del sistema di generazione necessaria per coprire il fabbisogno richiesto per il riscaldamento, secondo la seguente relazione:

$$\Phi_p^* = \Phi_C + \Phi_A = [U_m \cdot A_{tot} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e^*) + 0,35 \cdot n \cdot V \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e^*)] \cdot f_{mag} \quad (5.10)$$

$$U_m = \frac{\sum_i (U_i \cdot A_i)}{\sum_i A_i} \quad (5.11)$$

Ove:

- Φ_p^* = potenza del sistema di generazione, espressa in [W];
- Φ_C = flusso termico disperso per trasmissione attraverso l'involucro, espresso in [W];
- Φ_A = flusso termico perso per ventilazione, espresso in [W];
- U_m = trasmittanza media dei componenti di involucro, data dalla media ponderata della trasmittanza U_i rispetto alla superficie disperdente a cui si riferisce A_i , espressa in [W/m²K];
- A_{tot} = Area totale disperdente, espressa in [m²];
- ϑ_i = temperatura interna di *set-point*, imposta pari a 20°C;
- ϑ_e^* = temperatura di progetto per stagione invernale comune di Alessandria, pari a -8°C;
- 0,35 = costante data dal prodotto della densità dell'aria 1,20 kg/m³ per il suo calore specifico 1004 J/(kg·K);
- n = numero di ricambi d'ora, imposti pari a 0,35 h⁻¹;

- V = volume climatizzato, espresso in $[m^3]$;
- f_{mag} = fattore di maggiorazione per tenere conto del calcolo semplificato, posto pari a 1,1.

Successivamente, si è valutato se la potenza dei generatori proposti negli APE fosse sufficiente a coprire la quota necessaria. In caso negativo la potenza da soddisfare è stata ricavata come differenza a partire da quella stimata. Per quanto concerne la tipologia di impianto (autonomo o centralizzato), nel caso di totale assenza di dati in merito, i parametri necessari per formulare delle ipotesi sono stati: il numero di appartamenti serviti e la taglia della caldaia. Per i vettori energetici, invece, laddove non debitamente specificati, per le ipotesi formulate ci si è riferiti prevalentemente al consumo del combustibile maggiormente impiegato, cioè il gas naturale. Inoltre, un parametro fondamentale per comprendere, per lo stesso fabbricato multipiano, il numero e la potenza dei generatori presenti è stata la lettura e il confronto del codice del bollino della caldaia, poiché in alcuni casi lo stesso generatore presenta caratteristiche di poco diverse se confrontati con gli altri documenti.

Come detto, essendo all'interno di una modellazione energetica urbana, come impianto ci si riferirà soprattutto al sottosistema di generazione. Tuttavia, per tenere in conto dell'influenza anche dell'emissione, della regolazione e della distribuzione, si è deciso di considerare, all'interno del calcolo, il rendimento termico medio globale, così definito:

$$\eta_{H;gl} = \eta_{H;e} \times \eta_{H;rg} \times \eta_{H;d} \times \eta_{H;g} \quad (5.12)$$

Ove:

- $\eta_{H;gl}$ = Rendimento medio globale del sistema di riscaldamento;
- $\eta_{H;e}$ = Rendimento del sottosistema di emissione;
- $\eta_{H;rg}$ = Rendimento del sottosistema di controllo;
- $\eta_{H;d}$ = Rendimento del sottosistema di distribuzione;
- $\eta_{H;g}$ = Rendimento del sottosistema di generazione.

In tal modo, ci si può riferire alle prestazioni energetiche effettive del sistema, studiandolo nel suo complesso. Da questo punto di vista, non si è considerato il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico, parametro facilmente estraibile dagli APE, definito come il rapporto fra l'energia termica fornita dal sistema e il relativo fabbisogno di energia primaria, poiché tale dato ha lo scopo di verificare il rispetto di certi limiti legislativi ed è inoltre influenzato dai fattori di conversione dell'energia. Per avere una visione completa e precisa dei ragionamenti eseguiti per i sistemi di riscaldamento per ciascun manufatto di seguito vengono proposti i valori dei rendimenti e delle potenze considerate e le strategie perseguite per ricavarle.

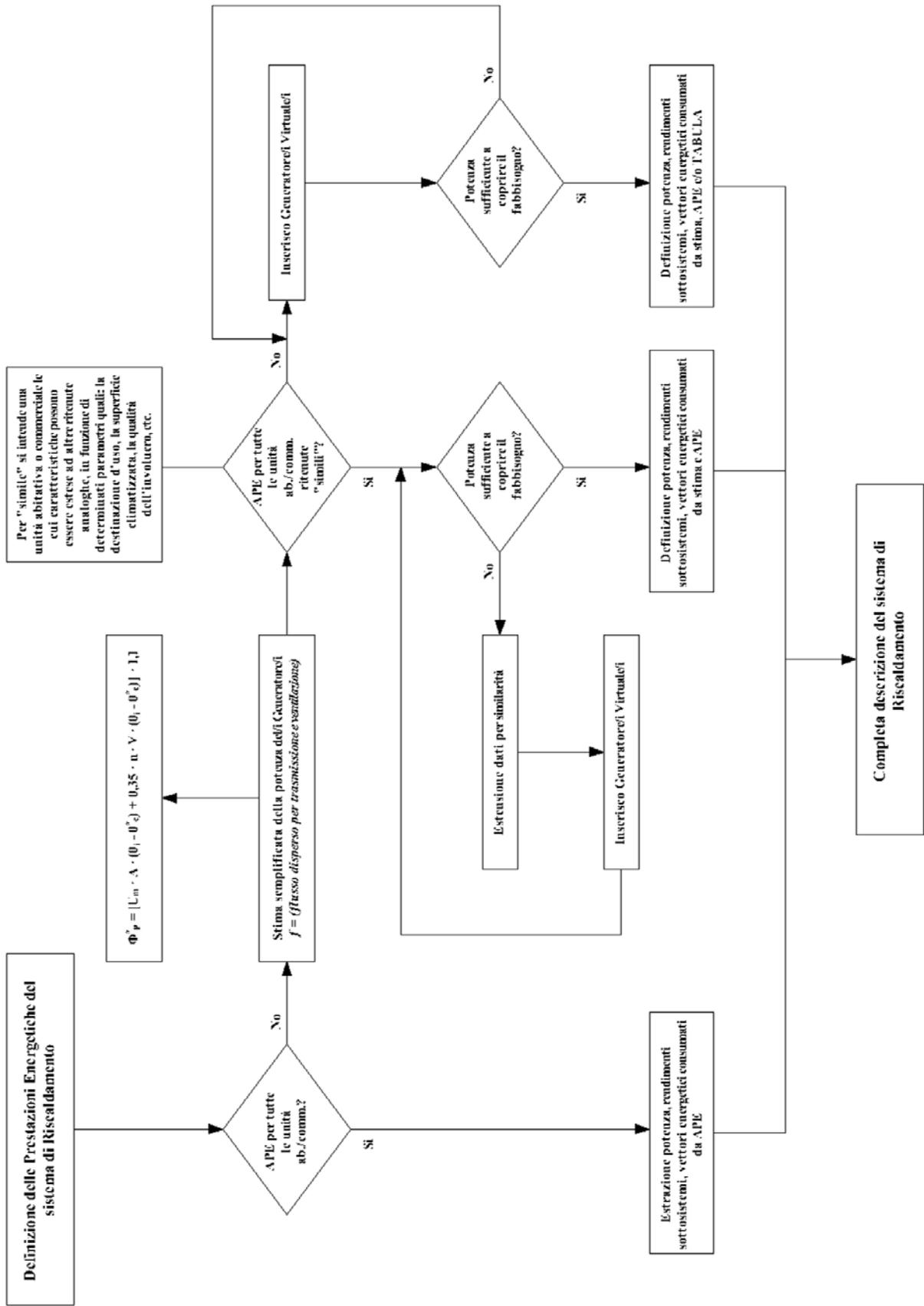


Fig. 27 - Albero decisionale per la definizione dell'impianto di riscaldamento.

ED_A1, ED_A2, ED_B1, ED_B2

Per gli edifici *ED_A1*, *ED_A2*, *ED_B1*, *ED_B2*, essendo fabbricati fra loro assimilabili architettonicamente e tecnologicamente e non avendo un completo quadro di ciò che avviene in ogni singola unità abitativa, si è deciso di trattarli alla stessa maniera, estraendo le informazioni dal manufatto contraddistinto dal maggior numero di dati: l'edificio *ED_B1*. Questa operazione è stata favorita anche dal fatto che per *ED_A1*, *ED_A2*, *ED_B2*, sono consultabili solamente gli APE di unità abitative servite da una caldaia autonoma. Tali edifici quindi saranno allacciati ad un unico generatore, alimentato da gas naturale, della potenza di 180 kW. Per il generatore si è calcolato il rendimento termico a partire dai dati delle efficienze dei sottosistemi contenute nell'APE

Pertanto, il rendimento termico del generatore da 180 kW, pari a $\eta_{H;gl} = 0,784$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H,e} = 0,900$;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$;
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,936$;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,960$.

ED_A3

Nell'*ED_A3*, vi è la presenza di un unico generatore. Questo, della potenza di 190 kW alimentato a gasolio serve una serie di appartamenti in maniera centralizzata. Dall'analisi degli APE si evince che, per la caldaia analizzata, l'anno di installazione è da ricondurre al 1978. Quest'ultimo parametro è stato di notevole importanza per poter desumere i valori delle efficienze dei sottosistemi dal progetto TABULA. Pertanto, il rendimento termico del generatore alimentato a gasolio, pari a $\eta_{H;gl} = 0,731$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H,e} = 0,945$, avendo considerato dei radiatori installati fra il 1976-1990;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$, avendo considerato una regolazione climatica e di ambiente di tipo ON/OFF (parametro ricavato dalla *UNI/TS 11300-2* ^[E-9]);
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,938$, avendo considerato un sistema di distribuzione centralizzata per più di quattro piani, posato fra il 1977-1993, a colonne montanti verticali e collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,850$, avendo considerato un generatore installato dopo il 1995, in un ambiente non climatizzato con bruciatore ad aria soffiata.

ED_A4

Nell'*ED_A4*, vi è la presenza di tre diversi generatori, operanti tutti in maniera autonoma. Questi, della potenza di 24 kW, alimentati tutti a gas naturale, servono un appartamento ciascuno. Dall'analisi degli APE si evince che, per uno dei sopraccitati generatori, l'anno di installazione è da ricondurre al 2005 e per questo, vengono proposti anche i rendimenti dei vari sottosistemi. Le informazioni impiantistiche incognite degli altri due saranno poste uguali a quella della caldaia nota, poiché la superficie da climatizzare è la medesima: 69 m².

Pertanto, il rendimento termico dei generatori operanti in maniera centralizzata, pari a $\eta_{H;gl} = 0,798$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H,e} = 0,903$;

- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$;
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,990$;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,920$.

In UMI e CitySim Pro, come rendimento sarà inserito, quindi, $\eta_{H;gl} = 0,798$ e come potenza la somma delle tre, uguale a 72 kW.

ED_A5, ED_A6, ED_B3, ED_B4

Per gli edifici *ED_A5, ED_A6, ED_B3, ED_B4*, come è ormai noto non si è in possesso degli *Attestati di Prestazione Energetica*. Pertanto, la taglia delle caldaie, assunte operanti in maniera autonoma e alimentate da gas naturale, è stata stimata in maniera semplificata, di concerto con l'Eq. 5.10 e di seguito proposta:

- *ED_A5*: tre caldaie ciascuna di potenza pari a 21,7 kW;
- *ED_A6*: due caldaie ciascuna di potenza pari a 26,75 kW;
- *ED_B3*: due caldaie ciascuna di potenza pari a 22,1 kW;
- *ED_B4*: due caldaie ciascuna di potenza pari a 22,65 kW.

La potenza delle caldaie è la medesima, poiché uguale è la superficie abitata da climatizzare. L'efficienza dei sottosistemi impiantistici, invece, è stata desunta da TABULA. Pertanto, il rendimento termico dei generatori, valido uguale per tutti, pari a $\eta_{H;gl} = 0,648$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H;e} = 0,945$, avendo considerato dei radiatori installati fra il 1976-1990;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$, avendo considerato una regolazione climatica e di ambiente di tipo ON/OFF (parametro ricavato dalla *UNI/TS 11300-2*);
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,969$, avendo considerato un sistema di distribuzione centralizzata orizzontale, agente su un solo piano, posato fra il 1977-1993, in ambienti non riscaldati;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,730$, avendo considerato un generatore installato dopo il 1995, in un ambiente non climatizzato con bruciatore atmosferico e camino inferiore a 10 m.

In UMI e CitySim Pro, come rendimento del sistema sarà inserito, quindi, $\eta_{H;gl} = 0,648$ e come potenza la somma di quelle considerate per ciascun fabbricato.

ED_B5

Nell'*ED_B5*, vi è la presenza di un unico generatore, operante in maniera centralizzata. Questo, della potenza di 86 kW, alimentato a gas naturale, serve una serie di appartamenti. Dall'analisi degli APE si evince che, l'anno di installazione della caldaia è da ricondurre al 2010 e per questo, vengono proposti anche i rendimenti dei vari sottosistemi.

Pertanto, il rendimento termico dei generatori operanti in maniera centralizzata, pari a $\eta_{H;gl} = 0,882$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H;e} = 0,900$;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,980$;
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 1,0$;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 1,0$.

ED_C1

Nell'*ED_C1*, vi è la presenza di sei diversi generatori, operanti tutti in maniera autonoma. Questi della potenza di 23,7 kW, alimentati tutti a gas naturale, servono una unità abitativa o commerciale con una superficie utile da climatizzare pari a circa 75 m².

L'efficienza dei sottosistemi impiantistici è stata desunta da TABULA. Pertanto, il rendimento termico dei generatori, valido uguale per tutti, pari a $\eta_{H;gl} = 0,703$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H;e} = 0,960$, avendo considerato dei radiatori installati fra il 1991-2005;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$, avendo considerato una regolazione climatica e di ambiente di tipo ON/OFF (parametro ricavato dalla *UNI/TS 11300-2*);
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,980$, avendo considerato un sistema di distribuzione centralizzata orizzontale, agente su un solo piano, posato fra il 1994-2005, in ambienti non riscaldati;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,770$, avendo considerato un generatore installato dopo il 1996, in un ambiente non climatizzato con bruciatore atmosferico e camino inferiore a 10 m.

In UMI e CitySim Pro, come rendimento sarà inserito la media dei due rendimenti termici pari a $\eta_{H;gl} = 0,703$ e come potenza la somma delle sei, uguale a 142,2 kW.

ED_C2

Nell'*ED_C2*, vi è la presenza di un unico generatore, operante in maniera centralizzata. Questo, della potenza di 114,8 kW, alimentato a gas naturale, serve una serie di appartamenti. Dall'analisi degli APE si evince che il sopracitato generatore è stato installato nel 2000 e per questo vengono proposti anche i rendimenti dei vari sottosistemi.

Pertanto, il rendimento termico del generatore operante in maniera centralizzata, pari a $\eta_{H;gl} = 0,888$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H;e} = 0,950$;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$;
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,980$;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,983$.

ED_C3

Nell'*ED_C3*, vi è la presenza di un unico generatore. Questo, della potenza di 176,7 kW, alimentato a gas naturale, serve una serie di appartamenti in maniera centralizzata. Dall'analisi degli APE si evince che il sopracitato generatore è stato installato nel 2000 e per questo vengono proposti anche i rendimenti dei vari sottosistemi.

Pertanto, il rendimento termico del generatore operante in maniera centralizzata, pari a $\eta_{H;gl} = 0,731$, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H;e} = 0,880$;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,940$;
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,850$;

- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 1,040$.

ED_C4

Nell'ED_C4, vi è la presenza di un unico generatore, installato nell'anno 2000. Questo, della potenza di 176,7 kW, alimentato a gas naturale, serve una serie di appartamenti in maniera centralizzata.

I valori dei rendimenti dei sottosistemi sono stati desunti da TABULA, in assenza di relative documentazioni in merito. Pertanto, il rendimento termico del generatore operante in maniera centralizzata, pari a $\eta_{H;gl} = 0,765$, avente una potenza di 176,7 kW, è stato così calcolato:

- Sottosistema di emissione: $\eta_{H;e} = 0,960$, avendo considerato dei radiatori installati fra il 1991-2005;
- Sottosistema di regolazione: $\eta_{H;rg} = 0,970$, avendo considerato una regolazione climatica e di ambiente di tipo ON/OFF (parametro ricavato dalla UNI/TS 11300-2);
- Sottosistema di distribuzione: $\eta_{H;d} = 0,955$, avendo considerato un sistema di distribuzione centralizzata per più di cinque piani, posato fra il 1994-2005, a colonne montanti verticali e collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati;
- Sottosistema di generazione: $\eta_{H;g} = 0,860$, avendo considerato un generatore installato dopo il 1996, in un ambiente non climatizzato con bruciatore atmosferico e camino superiore a 10 m.

Riepilogo

Di seguito vengono riassunte le potenze, i rendimenti ed il numero dei sistemi di generazione dell'impianto riscaldante, installati presso i manufatti.

Tab. 66 - Riepilogo potenze generatori.

cod. edificio	Potenza Generatore 1 [kW]	Potenza Generatore 2 [kW]	Potenza Generatore 3 [kW]	Potenza Generatore 4 [kW]	Potenza Generatore 5 [kW]	Potenza Generatore 6 [kW]
ED_A1	180	-	-	-	-	-
ED_A2	180	-	-	-	-	-
ED_A3	190	-	-	-	-	-
ED_A4	24	24	24	-	-	-
ED_A5	21,70	21,70	21,70	-	-	-
ED_A6	26,75	26,75	-	-	-	-
ED_B1	180	-	-	-	-	-
ED_B2	180	-	-	-	-	-
ED_B3	22,10	22,10	-	-	-	-
ED_B4	22,65	22,65	-	-	-	-
ED_B5	86	-	-	-	-	-
ED_C1	23,70	23,70	23,70	23,70	23,70	23,70
ED_C2	114,8	-	-	-	-	-
ED_C3	176,7	-	-	-	-	-
ED_C4	176,7	-	-	-	-	-

Tab. 67 - Riepilogo rendimenti generatori.

cod. edificio	Rendimento Globale Sistema 1	Rendimento Globale Sistema 2	Rendimento Globale Sistema 3	Rendimento Globale Sistema 4	Rendimento Globale Sistema 5	Rendimento Globale Sistema 6
ED_A1	0,784	-	-	-	-	-
ED_A2	0,784	-	-	-	-	-
ED_A3	0,731	-	-	-	-	-
ED_A4	0,798	0,798	0,798	-	-	-
ED_A5	0,648	0,648	0,648	-	-	-
ED_A6	0,648	0,648	-	-	-	-
ED_B1	0,784	-	-	-	-	-
ED_B2	0,784	-	-	-	-	-
ED_B3	0,648	0,648	-	-	-	-
ED_B4	0,648	0,648	-	-	-	-
ED_B5	0,882	-	-	-	-	-
ED_C1	0,703	0,703	0,703	0,703	0,703	0,703
ED_C2	0,888	-	-	-	-	-
ED_C3	0,731	-	-	-	-	-
ED_C4	0,765	-	-	-	-	-

5.6.2. Produzione di Acqua Calda Sanitaria

Il calcolo del fabbisogno energetico dovuto alla produzione di ACS verrà eseguito solamente su UMI (per un maggiore approfondimento si rimanda al *paragrafo 6.2.*). Nel *software*, per stimare tale valore è necessario specificare oltre al volume d'acqua giornaliero consumato, la quota oraria ad esso associato. Questi profili, ottenuti di concerto con la *EN 16798* e la *ISO 18523*, vengono presentati anch'essi con riferimento a tre tipologie di giornate: feriale, sabato e domenica o festivo, per tutte le cinque categorie di sfruttamento degli spazi abitati proposte. Riassumendole:

- Profilo A: unità abitativa occupata da una coppia di anziani (*over 65*);
- Profilo B: unità abitativa occupata da una giovane coppia, studenti o lavoratori;
- Profilo C: unità abitativa occupata da una famiglia tipo;
- Profilo D: unità commerciale assimilabile ad un bar;
- Profilo E: unità commerciale atta alla vendita al dettaglio.

Per quanto concerne i consumi di volumi d'acqua, invece, con riferimento ai profili menzionati, si registra:

- Profilo A, B, C: $100 \frac{l}{(m^2 \cdot anno)}$, pari a $0,274 \frac{l}{(m^2 \cdot giorno)}$;
- Profilo D: $32 \frac{l}{(m^2 \cdot giorno)}$;
- Profilo E: $3,8 \frac{l}{(pers \cdot giorno)}$.

Anche in questo caso, in presenza di condomini con doppia destinazione d'uso (residenziale e non) il profilo orario sarà dato dalla media ponderata delle unità coinvolte. Di seguito vengono proposti i profili orari individuati.

Tab. 68 - Profili orari A, B, C di consumo ACS.

h	Profilo A			Profilo B			Profilo C		
	Fer.	Sabato	Fest.	Fer.	Sabato	Fest.	Fer.	Sabato	Fest.
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02
6	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04
7	0,16	0,02	0,02	0,16	0,02	0,02	0,10	0,06	0,06
8	0,20	0,16	0,16	0,20	0,16	0,16	0,10	0,10	0,10
9	0,08	0,20	0,20	0,08	0,20	0,20	0,08	0,10	0,10
10	0,02	0,08	0,08	0,02	0,08	0,08	0,04	0,06	0,06
11	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
12	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
13	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
14	0,04	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
15	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
16	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
17	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02
18	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
19	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06
20	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08
21	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
22	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,08
23	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06
24	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tab. 69 - Profili orari D, E di consumo ACS.

h	Profilo D			Profilo E		
	Fer.	Sabato	Fest.	Fer.	Sabato	Fest.
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
7	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
8	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00

9	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
10	0,02	0,02	0,02	0,06	0,13	0,13
11	0,02	0,02	0,02	0,13	0,13	0,13
12	0,05	0,05	0,05	0,13	0,13	0,13
13	0,10	0,10	0,10	0,13	0,06	0,06
14	0,10	0,10	0,10	0,13	0,06	0,06
15	0,05	0,05	0,05	0,60	0,13	0,13
16	0,02	0,02	0,02	0,60	0,19	0,19
17	0,02	0,02	0,02	0,60	0,19	0,19
18	0,03	0,03	0,03	0,13	0,19	0,19
19	0,10	0,10	0,10	0,13	0,13	0,13
20	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
21	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00
22	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
23	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

5.7. GENERALIZZAZIONE APPROCCIO METODOLOGICO

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa, contenente i ragionamenti effettuati e da effettuare nel caso in cui ci si approcciasse ad una simulazione energetica con riferimento ad una scala urbana, laddove parte o la totalità dei parametri necessari, atti alla corretta costituzione del modello, siano incerti o assenti.

Tab. 70 - *Approccio metodologico simulazione energetica urbana.*

Caratteristiche	Reperimento dati
Impronta areale edificio	L'impronta areale dell'edificio è desumibile da documentazioni regionali o comunali. Per possedere un maggior grado di dettaglio, nell'estrazione di tali informazioni, solitamente, si consiglia di rifarsi a quelle comunali.
Informazione altimetrica e aperture in facciata	L'altezza dei fabbricati, oggetto di analisi, può essere ricavata da banche dati comunali e/o regionali, oppure, in assenza di queste informazioni, la si può desumere in maniera semplificata percorrendo due possibili strade. La prima banalmente riguarda l'imposizione delle altezze di piano pari a 3 metri (2,7 metri di interpiano, completato da un pacchetto di solaio dello spessore di 30 cm). La seconda, invece, si basa su dei rapporti proporzionali realizzabili su supporti fotografici, scalati in funzione dei lati dell'edificio, la cui dimensione reale è rilevabile dalle carte comunali o regionali. Per migliorare le sopracitate misurazioni si consiglia di porre il più possibile, in sede di sopralluogo, l'asse focale della camera perpendicolare alla facciata dell'edificio. Oppure in post-produzione si potrà ricorrere all'ausilio del foto-raddrizzamento, aumentando la precisione ma anche i tempi di elaborazione ed estrazione delle informazioni. Le osservazioni proposte sono valide anche per la determinazione dell'estensione

Caratteristiche	Reperimento dati
	<p>delle aperture in facciata. Nel caso di riproposizione dei medesimi componenti vetrati, sarà sufficiente conoscere le dimensioni di una finestra e di una porta finestra, per coprire una buona parte di dati incogniti. Tuttavia, nel caso in cui il progetto prevedesse la simulazione di isolati cosiddetti “chiusi”, tale condizione implicherà che l’osservatore esterno sia impossibilitato a visionare ciò che avviene nella porzione di area affacciata verso la corte interna. In questa circostanza, conoscendo nella migliore delle ipotesi il 50% della frazione vetrata totale, si potrà riproporre, nelle facciate nascoste, ciò che si riscontra in quelle visibili, tenendo in considerazione, come limite inferiore, il R.A.I. (Rapporto Aero-Illuminante). Poiché, di concerto con il <i>D.M. 5/7/1975</i>, la superficie complessiva delle finestre di un fabbricato deve essere pari ad almeno 1/8 della superficie totale di pavimento. In alcuni casi può accadere che il <i>Regolamento Edilizio</i> del comune interessato possa essere più restrittivo per alcune di queste condizioni. Bisogna porre comunque attenzione a quei fabbricati il cui anno di costruzione sia precedente all’entrata in vigore del sopracitato decreto.</p>
Dati climatici	<p>La conformazione dei dati climatici dipende dalla metodologia di calcolo adottata e, in fase di validazione, dal termine di paragone con cui si dovranno instaurare i confronti. Ad esempio, se i dati sono desunti dagli APE, sarà necessario allineare i dati climatici inseriti nel <i>software</i> con quelli con cui viene svolto il calcolo <i>standard</i>. Altrimenti, nel caso in cui si possedessero i consumi reali, con riferimento ad uno specifico anno, sarà necessario importare nei programmi di simulazione, delle informazioni metereologiche reali riferite al medesimo anno e località.</p>
n. unità abitative e/o commerciali	<p>La determinazione della superficie climatizzata avviene a partire dalla definizione del numero di unità commerciali e/o abitative, presenti all’interno di uno stesso fabbricato multipiano. Per conteggiare le prime, in assenza di informazioni in merito, a causa della mancanza di insegne pubblicitarie o perché sfitte, al pian terreno, si può verificare il possibile riscontro di ampie vetrate protette da serrande metalliche. Tendenzialmente tale conformazione architettonica indica la presenza, in origine, di un certo esercizio commerciale. Nel caso in cui fossero sfitte, l’ipotesi formulabile, laddove possibile, per caratterizzare tali unità, potrebbe riguardare l’attribuzione della destinazione d’uso precedente (tale condizione è percorribile ricercando online l’indirizzo o consultando la visione stradale di Google, non sempre aggiornata). Per le unità abitative, invece, per poterle definire, si possono percorrere tre diversi approcci metodologici. Il primo riguarda il conteggio dei nominativi presenti sui campanelli, laddove posti su pubblica via. Invece, nel caso in cui si possedesse un fotogramma aereo di notevole qualità, il numero delle unità edilizie, approssimativamente, può essere posto pari alla quantità di comignoli presenti in copertura. Infine, l’ultimo approccio “banalmente” si basa sull’osservazione del manufatto e</p>

Caratteristiche	Reperimento dati
	<p>sull'esperienza dell'osservatore stesso. Poiché la finalità sarà quella di cercare di immaginarsi la distribuzione interna del fabbricato. Un punto di partenza per l'applicazione di tale metodo, riguarda l'individuazione, laddove fosse previsto, delle aperture in facciata illuminanti il vano scala. Osservando questo e ciò che avviene nei lati ad esso adiacenti, si può comprendere una prima suddivisione delle unità edilizie per ciascun piano. Partendo da questo dato e osservando le aperture sulle altre facciate si potranno confutare o ricostruire il numero totale di unità edilizie presenti. Tenuto conto delle sopracitate informazioni preliminari, ciò che migliora l'affidabilità e la robustezza del dato riguarda la consultazione degli APE, riferiti a quei manufatti. Poiché, anche senza un quadro informativo completo, in caso di edifici architettonicamente poco elaborati, focalizzandosi su un determinato piano, in cui si riscontri la maggior presenza di informazioni reperibili e confrontando queste con: l'ingombro delle murature, del vano scala e dell'impronta areale dell'edificio, si può valutare la possibile presenza o meno di ulteriori unità abitative o commerciali. Determinate queste e valutato se ciò che si è osservato sia possibilmente riscontrabile anche ai piani successivi, si potrà procedere ad estendere i risultati ricavati per similarità. L'informazione sul numero di queste è importante poiché, preliminarmente, i ragionamenti dovranno essere focalizzati sul singolo e poi estesi all'intero fabbricato. Ad esempio, la conoscenza della superficie climatizzata riferita a quella determinata unità edilizia è importante poiché la tipologia e l'intensità dei carichi termici endogeni, sarà ad essa riferita. Ovviamente da tale approccio metodologico è impossibile prevedere successive modifiche architettoniche volte ad inglobare più unità edilizie.</p>
Superfici climatizzate	<p>La definizione della superficie climatizzata dell'intero edificio è un parametro fondamentale poiché sulla base di questo si calcolerà l'intensità dei carichi termici endogeni, e in funzione di tale dato si potrebbero effettuare delle ponderazioni di altre variabili, in fase di calcolo o validazione. Partendo dalla superficie lorda di pavimento del fabbricato è necessario sottrarre a questa l'ingombro del vano scala. Escludendo a priori scale monumentali o di particolare pregio architettonico, l'incidenza percentuale dell'area del vano scala sul totale della superficie lorda di pavimento può essere posta pari ad un valore compreso fra il 5 ed il 15%. Ovviamente tale parametro sarà influenzato: dall'altezza di interpiano, dall'alzata e dalla pedata dello scalino (formula di Blondel) e dall'estensione areale dell'edificio. Laddove quest'ultima aumentasse (> 500 m²) e/o incrementasse l'altezza di interpiano si consiglia di avvicinarsi al limite superiore proposto. Sottratta la superficie del blocco scala si può passare alla definizione dell'area climatizzata. La <i>UNI/TS 11300-2</i>, fornisce dei fattori correttivi per passare dal volume lordo a quello utile climatizzato, sottraendo quindi l'ingombro derivante</p>

Caratteristiche	Reperimento dati
	<p>dalle murature. A titolo di esempio, vengono proposti i seguenti dati estratti dalla sopracitata norma:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $f = 0,7$ per E.1 per pareti fino a 45 cm; - $f = 0,8$ per E.4 e E.4 in presenza di partizioni verticali.
Involucro	<p>Per la caratterizzazione dei componenti di involucro, un parametro fondamentale da ricavare o stimare, riguarda l'anno di costruzione dell'edificio. Attraverso la conoscenza di questo, si potrà stabilire uno studio sulle tipologie costruttive adottate in quel determinato periodo storico, risalendo così alle proprietà termofisiche dei componenti di involucro. Tale dato, può essere ricavato dagli APE, nel caso in cui fossero stati resi disponibili. Con riferimento a quest'ultimo documento sarà possibile estrarre la trasmittanza media dei componenti opachi e vetrati, che quindi potrà essere considerata come ordine di grandezza finale, seppur ponderata rispetto all'area disperdente. Tuttavia, nel caso in cui l'anno di costruzione del fabbricato fosse precedente all'entrata in vigore della <i>Legge del 30/4/1976, n. 373</i> e nella circostanza in cui non si registrassero successivi interventi di riqualificazione sull'involucro, nella definizione delle stratigrafie delle chiusure si potrà assumere, con buona approssimazione, la totale assenza di isolamento termico. Per comprendere le caratteristiche del serramento, invece, si potrà provvedere ad un'osservazione diretta su di esso (materiale costituente il telaio, numero di componenti vetrati, presenza di sistemi oscuranti esterni). In entrambi i casi, in totale assenza di informazioni in merito, si consiglia la consultazione di quanto contenuto nel progetto TABULA e nella <i>UNI/TR 11552</i>.</p>
Carichi termici endogeni	<p>Nel caso di destinazione d'uso mista (residenziale e commerciale), per tenere conto delle diverse condizioni d'uso delle unità edilizie, facenti parte del medesimo fabbricato, è utile riferire l'intensità ed il profilo di utilizzo dei carichi termici, alla tipologia di unità edilizie. Conseguentemente a ciò, si dovrà generare un profilo, in funzione degli apporti energetici coinvolti, valido per l'intero edificio. Quest'ultimo sarà originato a partire dalle osservazioni sulle singole unità abitative e/o commerciali. Ponderando, quindi, i valori finali in funzione del numero di abitazioni ritenute simili, nel caso in cui la superficie climatizzata di queste sia pressoché la medesima, oppure ponderando direttamente rispetto all'area riscaldata. In caso di totale assenza di informazioni in merito si consiglia la consultazione della <i>EN 16798</i> e della <i>ISO 18523</i>.</p>
Sistema di generazione	<p>Il punto di partenza per la corretta definizione del vettore energetico consumato, della tipologia, della taglia e del numero di generatori installati, ha origine dall'estrazione delle informazioni dagli <i>Attestati di Prestazione Energetica</i>. Attraverso la consultazione di tali documenti, confrontando il numero identificativo di caldaia, per le varie unità edilizie comprese nello stesso fabbricato, si potrà avere una visione univoca del numero e della tipologia di generatori installati. Questo poiché, in alcuni casi, essendo gli APE redatti da certificatori differenti in epoche diverse, i dati riferiti alle</p>

Caratteristiche	Reperimento dati
	prestazioni energetiche del sistema potrebbero essere diseguali. Generando così nell'osservatore il dubbio sulla molteplice presenza di più generatori quando invece si è di fronte ad un unico sistema di produzione di calore. Per ovviare a questo inconveniente si consiglia, quindi, di riferirsi al codice identificativo di caldaia. Per comprendere appieno le azioni da perseguire, per la completa definizione dei parametri impiantistici, si rimanda alla visione dell'albero decisionale proposto nella Fig. 27. Inoltre, per tenere conto del fatto che a livello urbano la modellazione dell'impianto avviene riferendosi al sistema di generazione, ma animati dalla volontà di considerare comunque nel calcolo l'influenza fisica dei vari sottosistemi, si consiglia di immettere come parametro di input il rendimento termico globale, dato dal prodotto dei rendimenti dei singoli sottosistemi impiantistici coinvolti. Con riferimento ad uno specifico generatore, in totale assenza di informazioni sui rendimenti dei vari sottosistemi, si consiglia la consultazione dei contenuti proposti nel progetto TABULA.
Interventi di riqualificazione e successive modifiche	La conoscenza dei successivi interventi di riqualificazione o di modifiche architettoniche sul fabbricato edilizio risulta essere un'informazione complessa da reperire. Una prima analisi potrebbe riguardare la consultazione degli APE, laddove debitamente compilati in questi campi. Attraverso l'osservazione dei manufatti, invece, si può registrare la sostituzione dei serramenti originali, confrontandoli con alcuni vetusti, non ancora rimpiazzati o tenendo in conto dell'anno di costruzione del manufatto edilizio.
Validazione	La validazione del modello simulato dovrà avvenire rispetto a valori <i>standard</i> o a parametri reali, in funzione della tipologia di termini di paragone posseduti. Tuttavia, l'attendibilità dei dati ottenuti avverrà parametrizzando i risultati per una certa caratteristica, ad esempio la superficie climatizzata. Poiché alla fine il confronto, per ogni edificio, avverrà con riferimento ad un unico parametro.

5.8. ANALISI DI IMPATTO AMBIENTALE

Il LCA (*Life Cycle Assessment*) è una metodologia standardizzata a livello internazionale originata per valutare i carichi ambientali, nei confronti della salute umana, a partire dal consumo di risorse e dalle emissioni climalteranti, di un certo sistema o prodotto, durante il suo intero ciclo di vita. Tale analisi, all'interno di un contesto urbano, è necessaria per conoscere quali siano i manufatti edilizi considerabili maggiormente energivori e con l'impatto ambientale più gravoso.

L'analisi di LCA è stata eseguita solamente sul *software* UMI, principalmente per due motivazioni. La prima è che su CitySim Pro, come parametri di output, vengono forniti i valori di NRE (*Non-Renewable Energy*) e GWP (*Global Warming Potential*) dell'intera scena simulata, pertanto l'utente è impossibilitato a comprendere l'impatto ambientale di ciascun manufatto. Secondariamente, in UMI la caratterizzazione dei dati di input è da considerarsi più dettagliata, rispetto alle attività coinvolte. Nel senso che l'utente ha un maggior grado di libertà nella gestione dei consumi propri delle fasi interessate. Tuttavia, la procedura di calcolo proposta da UMI è focalizzata sull'analisi dell'impatto ambientale in termini di chilogrammi di anidride carbonica e non di gas serra emessi. I processi

coinvolti, coincidenti con le fasi del ciclo di vita degli edifici, sono funzione dei confini definiti nell'analisi. A tal fine, si è deciso di considerare l'impronta energetico-ambientale dei materiali da costruzione valutando: la produzione, il trasporto e i cicli di manutenzione e rimpiazzo, non studiando, quindi, le fasi di assemblaggio e disassemblaggio dei materiali in opera. Per ciascun materiale da costruzione, saranno definiti:

- l'energia grigia, espressa in MJ/kg, e l'anidride carbonica emessa in atmosfera, espressa in kgCO₂/kg;
- la vita utile e il tasso di sostituzione o rimpiazzo del componente di involucro (numero intero compreso fra 0 e 1);
- la distanza, l'energia e l'anidride carbonica emessa durante la fase di trasporto del materiale dal centro di produzione o stoccaggio al cantiere.

I valori di energia grigia e di anidride carbonica emessa, per tipologia di materiale considerato, sono stati estratti dall'*Inventory of Carbon & Energy* (ICB), prodotto dall'Università di Bath (Hammond e Jones [E-5]). La vita utile e il tasso di sostituzione, compreso nel *time step* considerato, sono stati posti pari rispettivamente a 50 anni, valore coincidente con la vita utile dell'edificio in cui sono installati, e 0,2. Per quanto concerne la fase di trasporto, invece, per tutti i materiali coinvolti, sono stati assunti in maniera semplificata, per ottemperare all'assenza di informazioni in merito, i seguenti parametri: emissione di anidride carbonica pari a 0,067 kgCO₂/(kg·km); distanza fra sito di stoccaggio e cantiere uguale a 500 km e l'energia spesa durante il trasporto pari a 0,94 MJ/(kg·km). Inoltre, dal punto di vista dell'edificio e non dei singoli materiali costituenti, si è assunta una vita media dei fabbricati pari a 50 anni. Gli output proposti, forniti su base annua, definiranno l'energia grigia di ciascun manufatto, definita come la quota consumata durante le fasi considerate nel ciclo di vita dei fabbricati e i chilogrammi di CO₂ emessi in atmosfera. I risultati saranno accompagnati da una visualizzazione grafica, su diverse scale cromatiche, proposta dal *software*.

Nella tabella presentata di seguito, per i materiali da costruzione richiamati nelle stratigrafie coinvolte, dall'*Inventory of Carbon & Energy* (ICB), si sono estratti i valori di energia grigia e i chilogrammi di anidride carbonica emessi in atmosfera. In generale è notevole come i due carichi ambientali mantengano fra di loro un certo rapporto proporzionale. Inoltre, l'identificazione di questi è fondamentale per poter procedere alla consultazione dei dati. Come si evince dalla tabella presentata, i materiali che determinano un carico ambientale maggiore risultano essere in prima analisi: i serramenti, seguiti dalla lavorazione della ceramica e dalla produzione delle tegole in argilla. Per i primi, al netto del medesimo componente vetrato, esiste un sensibile scostamento fra i sistemi vetrati aventi un telaio metallico, rispetto a quelli che ne possiedono uno ligneo. Infatti, la produzione e la lavorazione della lega di alluminio implica un consumo energetico ed un'emissione climalterante di circa sei volte superiore. Infine, nella presente analisi, la ceramica e l'argilla divengono ad essere i materiali da finitura con i carichi ambientali più gravosi, con riferimento agli altri prodotti atti alla costruzione.

Tab. 71 - Dati di input LCA per singolo materiale, UMI.

Gruppo	Materiale	Energia Grigia [MJ/kg]	CO ₂ emessa [kgCO ₂ /kg]	Tasso di Sostituzione [-]	Intervallo di sostituzione [anni]
Laterizi	Laterizio pieno	3,00	0,230	0,2	50
	Laterizio forato	3,00	0,230	0,2	50
	Pignatta	3,00	0,230	0,2	50
CLS e Cementi	CLS armato	1,82	0,178	0,2	50
	CLS alleggerito	0,78	0,106	0,2	50
	Massetto	0,70	0,104	0,2	50
	Malta di cemento	0,78	0,106	0,2	50
Finiture	Tegole in argilla	6,50	0,450	0,2	50
	Intonaco	1,80	0,120	0,2	50
	Pavimentazione in grès	12,00	0,740	0,5	20
Serramenti	S_01; S_03 - Serramento (vetro sodico-calcico/telaio in legno)	35,00	1,535	0,2	50
	S_02 - Serramento (vetro sodico-calcico/telaio in alluminio)	181,50	9,650	0,2	50
Altri materiali	Ghiaione - ciottoli di fiume	0,45	0,023	1,0	100

Per quanto concerne gli edifici *ED_A5*, *ED_A6*, *ED_B3*, *ED_B4*, il loro carico ambientale è da imputare soprattutto alla presenza di ampie aperture in facciata, laddove è prevista l'installazione di serramenti aventi un telaio metallico in alluminio. Come detto, nella pagina precedente, la fabbricazione e la lavorazione di questo materiale determina un notevole dispendio energetico, accompagnato da una rilevabile emissione di anidride carbonica in ambiente. L'eccessivo valore descritto dall'*ED_A4*, le cui tecnologie edilizie risultano essere pressoché le medesime degli altri fabbricati, è il risultato non tanto di speciali materiali da costruzione adoperati, ma è frutto dell'operazione matematica di normalizzazione. Cioè, avendo la presente costruzione delle altezze di interpiano che si attestano intorno ai 4,5 m, fattore da rivedere soprattutto nel suo anno di costruzione 1930, e rapportando i carichi ambientali rispetto alla superficie climatizzata e non rispetto all'area disperdente, ciò determinerà l'amplificazione di tale dato.

Tab. 72 - Energia grigia e CO₂ emessa da edifici durante il loro periodo di vita.

Anni	Energia grigia [kWh/m ²]			CO ₂ emessa [kgCO ₂ /m ²]		
	1-20	21-40	41-50	1-20	21-40	41-50
ED_A1	987,70	1031,90	1076,10	79,37	82,11	84,86
ED_A2	987,70	1031,90	1076,10	79,37	82,11	84,86
ED_A3	821,61	854,76	887,90	65,41	67,46	69,52
ED_A4	2044,63	2088,74	2132,84	158,96	161,70	164,43
ED_A5	1306,33	1350,36	1394,40	101,38	104,11	106,85
ED_A6	1367,53	1411,77	1456,02	105,67	108,41	111,15

ED_B1	993,95	1038,50	1083,05	79,89	82,66	85,42
ED_B2	993,95	1038,50	1083,05	79,89	82,66	85,42
ED_B3	1373,66	1417,97	1462,28	106,84	109,59	112,33
ED_B4	1286,14	1330,24	1374,34	101,25	103,98	106,72
ED_B5	1100,37	1144,56	1188,76	87,77	90,51	93,25
ED_C1	1034,72	1078,87	1123,02	82,53	85,27	88,00
ED_C2	968,14	1012,34	1056,55	78,42	81,16	83,90
ED_C3	1064,08	1108,60	1153,13	85,68	88,44	91,20
ED_C4	1032,43	1076,62	1120,81	83,33	86,07	88,81

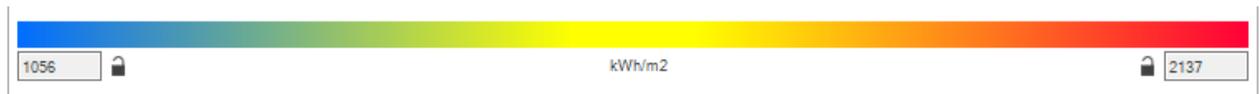
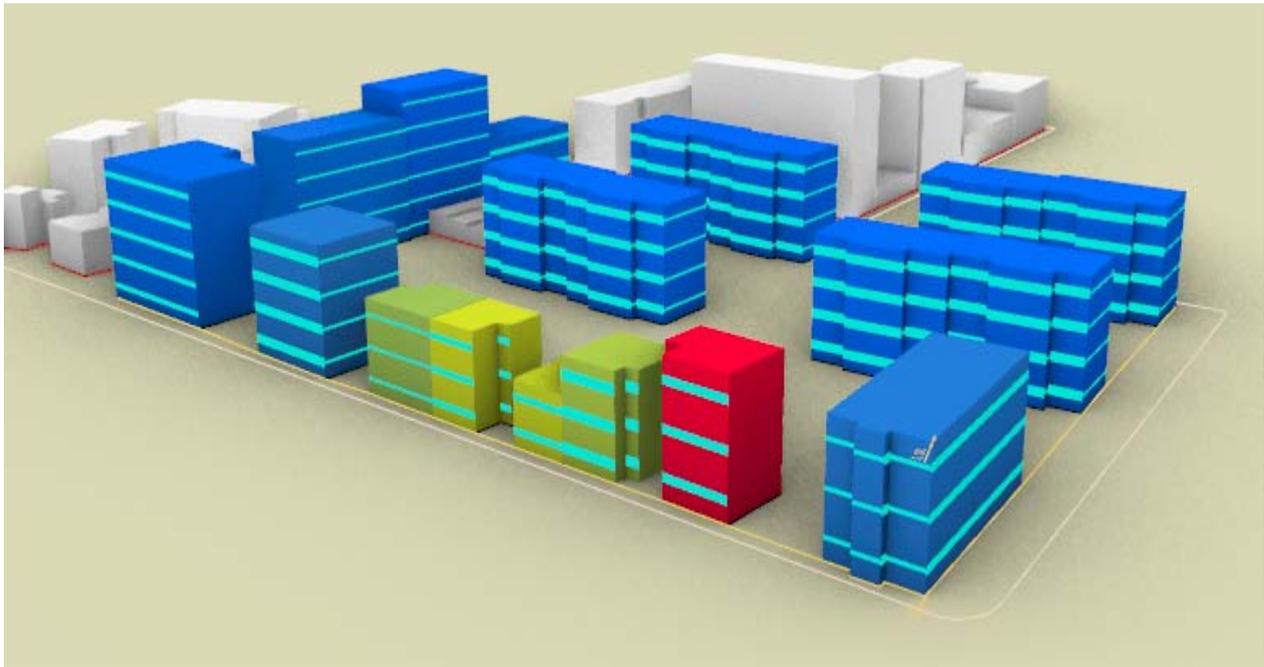


Fig. 28 - Rappresentazione cromatica energia grigia, espressa in $[kWh/m^2]$, UMI.

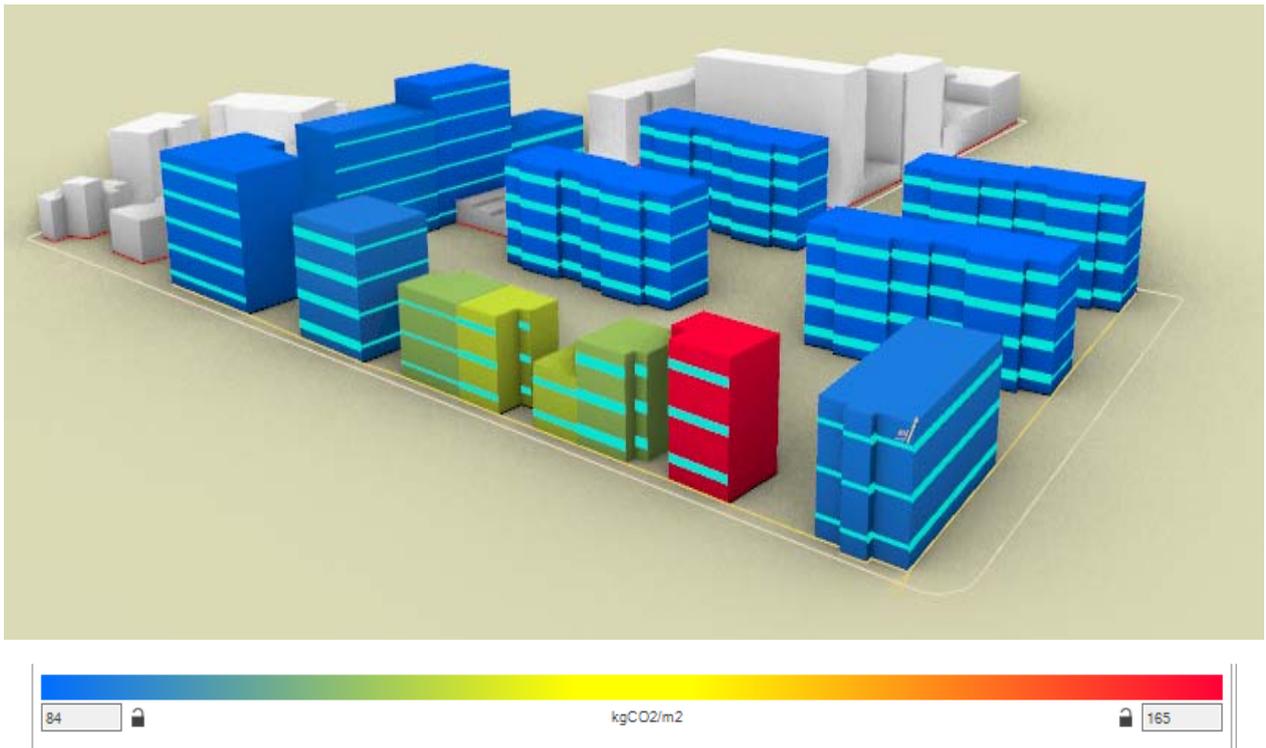
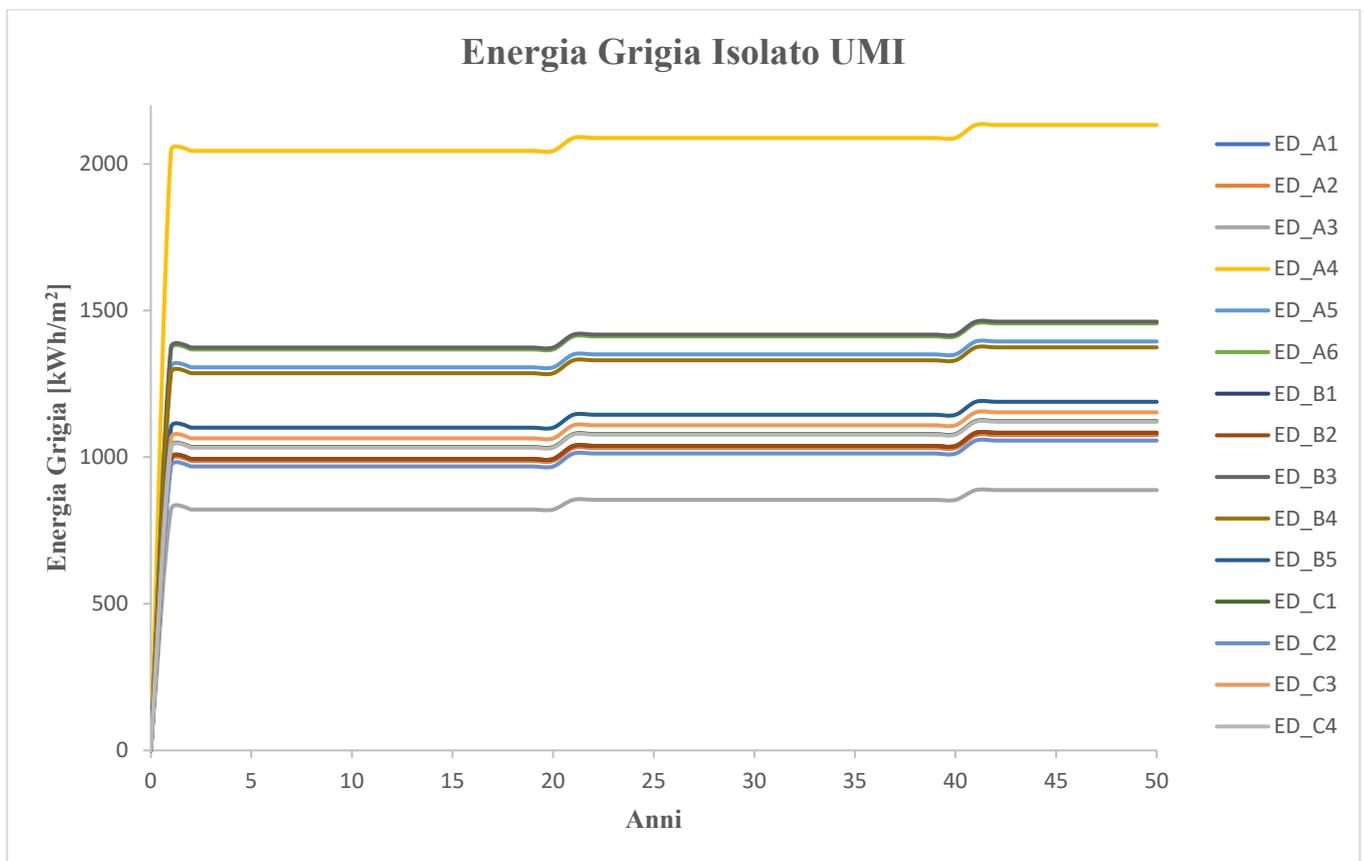
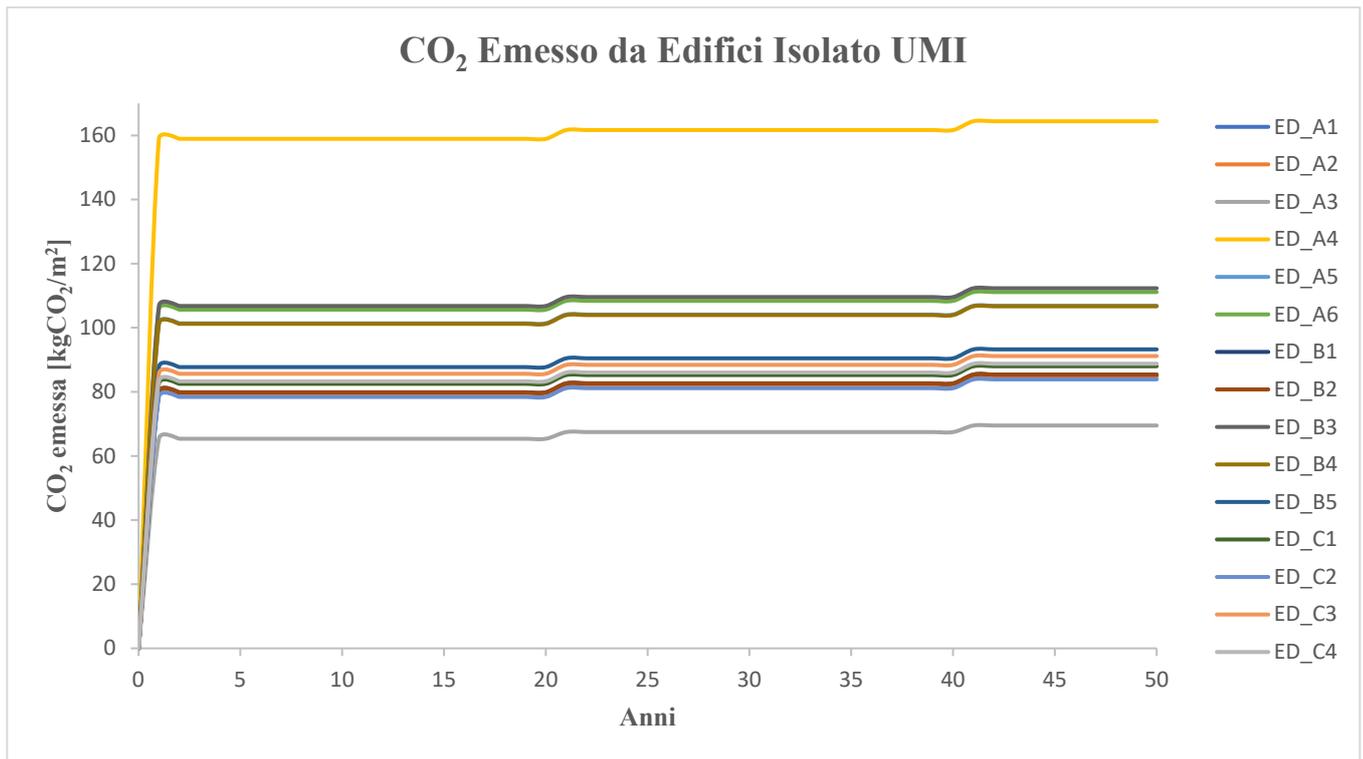


Fig. 29 - Rappresentazione cromatica anidride carbonica emessa, espressa in [kgCO₂/m²], UMI.





5.9. PROPOSTA DI INTEROPERABILITÀ

L'interoperabilità è definita come la capacità di scambio dei dati fra due ambienti di simulazione differenti, favorendo il flusso di lavoro, l'automazione e privando il modello di incongruenze, errori o perdite informative che possano comprometterne la lettura o la qualità dei parametri trasferiti. A tal fine, per non limitarsi all'utilizzo di una cerchia ristretta di *software* e per migliorare la collaborazione fra le varie discipline, si è introdotto il formato aperto IFC (*Industry Foundation Classes*), affinché si possa lavorare con un'estensione standardizzata a livello internazionale nella codifica e nell'interscambio delle informazioni.

Pertanto, tale paragrafo si prefigge di valutare la possibilità di rendere interoperabile il processo che porta alla definizione del modello energetico con riferimento ad un ambiente urbano, all'interno dei programmi CitySim Pro e UMI, partendo da un oggetto digitale BIM, contraddistinto cioè da un certo livello informativo. Essendo la simulazione energetica urbana, tutt'ora un ambito di ricerca e in deciso mutamento, attualmente l'obiettivo principale degli sviluppatori è quello di fornire uno strumento di calcolo che gestisca i complessi scambi energetici che si verificano all'interno di un contesto urbano. Sovente ci si imbatte in codici di calcolo frammentati, in cui alcune parti siano assenti, in sviluppo o limitati a certe condizioni al contorno. In altri casi, al codice non si affianca la presenza di un'interfaccia grafica, ma la risoluzione avviene eseguendo degli *script* in linguaggio Python o Java. Inoltre, come presentato nella maggior parte dei programmi proposti nelle sezioni precedenti, i *software* vengono sviluppati all'interno di dipartimenti universitari, in cui si preferisce la sostanza alla forma, poiché il fine ultimo è l'utilizzo e non la vendita. Le premesse precedentemente elencate sono essenziali per comprendere il contesto in cui si vuole perseguire la finalità sopracitata.

L'obiettivo, come anticipato, è quello di trovare una possibile soluzione, man mano raffinata e dettagliabile, che metta in diretta comunicazione un modello BIM, in questo caso gestito su Revit, con i programmi scelti: CitySim e UMI. Il punto di partenza, in entrambi i casi, è stata la creazione di un modello elementare, debolmente informatizzato dal punto di vista energetico, creato all'interno

di Revit, per valutare in prima analisi l'interscambio informativo. A questo sono state associate delle stratigrafie con un predefinito numero di strati, laddove per ogni materiale costituente sono stati attribuiti parametri fondamentali, quali: lo spessore, la conducibilità termica, la densità ed altri. Al completamento del modello si è passati alla generazione di quello energetico, sempre su Revit, in modo tale che si potessero esportare i dati in formato gbXML. Durante questa fase sono state definite: informazioni di tipo geografico; la tipologia di impianto di riscaldamento, ventilazione ed aria condizionata e dati riguardanti l'utilizzo dell'edificio. Avendo generato il file, si è pronti all'importazione nei due ambienti di calcolo.

In CitySim Pro, una volta importato un qualsivoglia modello, di natura puramente geometrica, in formato DXF 2000 o CityGML 2.0, si procede con la generazione di un file XML, contraddistinto da una codifica del tipo *ISO-8859-1*, che possenga le coordinate spaziali precedentemente lette. La caratterizzazione del modello avviene principalmente completando il codice con un lettore, simile a NotePad. All'interno del *software*, invece, sarà possibile inserire solo un limitato numero di informazioni. Pertanto, la maggior parte delle operazioni di compilazione avverrà bypassando l'interfaccia grafica.

In UMI, invece, essendo un *plug-in* di Rhino, non è necessario eseguire il passaggio precedentemente descritto per CitySim, in quanto le geometrie vengono modellate all'interno dello stesso ambiente, al più importate da un altro modellatore tridimensionale. Dunque, si procederà all'informatizzazione delle proprietà energetiche, compilando direttamente il codice oppure accedendo ad un eseguibile fornito dagli sviluppatori. Quest'ultimo file si presenterà con un'estensione di tipo JSON, cioè in JAVASCRIPT.

```

</Composite>
<Composite id="4" name="CV_01" category="Wall">
<Layer name="intonaco ext." Thickness="0.0150" Conductivity="0.3000" Cp="840"
Density="1300" abs="0.5" em="0.9"/>
<Layer name="isolante" Thickness="0.0500" Conductivity="0.0400" Cp="1030" Density="30"
abs="0.5" em="0.9"/>
<Layer name="muratura" Thickness="0.2500" Conductivity="0.5000" Cp="1000"
Density="1400" abs="0.5" em="0.9"/>
<Layer name="intonaco int." Thickness="0.0150" Conductivity="0.8000" Cp="1000"
Density="1600" abs="0.5" em="0.9"/>
</Composite>

</Construction>
<Construction id="aim0014">
<U-value unit="WPerSquareMeterK">0.50</U-value>
<Absorptance unit="Fraction" type="ExtIR">0.7</Absorptance>
<Roughness value="Rough" />
<LayerId layerIdRef="aim0018" />
<Name>CV_01</Name>
</Construction>

```

Fig. 30 - Confronto definizione termofisica parete: CitySim sopra, gbXML (Revit) sotto.

Ciò che accomuna i due programmi è il fatto che i linguaggi, che stanno alla base della compilazione, sono fini a sé stessi, con precise sintassi e sequenze di codice preimpostate. Pertanto, se si volesse mutare uno dei fondamentali, precedentemente descritti, il lettore sarebbe impossibilitato alla corretta decifrazione, sfociando quindi in una serie di errori. La nascita di incongruenze è amplificata dalla differente estensione, in quanto il file madre in gbXML è di per sé differente dagli altri due. Pertanto,

la conclusione che ne consegue è che l'interoperabilità fra un modello BIM, CitySim e UMI non è possibile.

Tuttavia, per ricercare una risoluzione al sopracitato problema, si sono individuate due possibili soluzioni alternative:

- La prima consiste nello sviluppo di un algoritmo informatico capace di gestire i dati nei due contesti da gbXML a XML o JSON, confezionando *ad hoc* un file, con una sintassi corretta e leggibile dal programma considerato. Ovviamente si dovrà procedere alla creazione di due differenti algoritmi: uno valido per CitySim e uno per UMI;
- La seconda opzione, invece, prevede la costituzione di un modello BIM, adeguatamente informatizzato, magari con la costituzione di una serie di abachi per ciascun edificio, utilizzabile come piattaforma digitale dedicata alla condivisione, alla raccolta e alla gestione di tutti i dati, così da velocizzare le fasi di creazione del modello energetico.

Si precisa ancora una volta che le soluzioni proposte non sono in nessun modo interoperabili, ma sono solo un modo alternativo per mettere in comunicazione il prodotto dei due *software* e per velocizzare le successive fasi concernenti la costituzione del modello energetico a scala urbana.

5.10. RIFERIMENTI

5.10.1. Riferimenti Bibliografici e Sitografici

[E-1] Ballarini I., Corgnati S. P. e Corrado V., *Building Typology Brochure – Italy, Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*, Luglio 2014, 2014.

[E-2] Ballarini I., Corgnati S. P. e Corrado V., *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project*, Institut Wohnen und Umwelt, 2012, pp. 81-89, 2012.

[E-3] Dogan T. e Reinhart C.F., *Automated multi-zone building energy model generation for schema design and urban massing studies*, IPBSA eSIM Conference, January 2014, 2014.

[E-4] Fonseca J. A., Happle G. e Schlueter A., *A review on occupant behavior in urban building energy models*, *Energy & Buildings* 174 (2018) 276-292, 2018.

[E-5] Hammond G. e Jones C., *Inventory of Carbon & Energy (ICE) – Version 2.0*, 2011.

[E-6] MIT Sustainable Design Lab, *umidocs Documentation*, Release 2.3a4.

[E-7] Neves-Silva R. e Virote J., *Stochastic models for building energy prediction based on occupant behavior assessment*, *Energy & Buildings* 53 (2012) 183-193, 2012.

Comitato Termotecnico Italiano, consultato nel febbraio 2020, <https://www.cti2000.it/>

Comune di Alessandria, consultato nel dicembre 2019, <https://www.comune.alessandria.it>

ISTAT, consultato nel dicembre 2019, <https://www.istat.it>

GeoPortale Regione Piemonte, consultato nel gennaio 2020, <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/>

Google Maps, consultato nel gennaio 2020, <https://www.google.com/maps>

SIPEE, consultato nel gennaio 2020, <http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/ambiente-e-energia/servizi/856-sistema-informativo-per-le-prestazioni-energetiche-degli-edifici-sipee>

5.10.2. Normativa Tecnica

[E-8] EN ISO 6946, *Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method (ISO 6946:2007)*, 2007.

[E-9] UNI/TS 11300-2, *Prestazioni energetiche degli edifici – 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.

[E-10] UNI/TR 11552:2014, *Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici – Parametri termofisici*, 2014.

[E-11] UNI 10349-3:2016, *Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici – Parte 3: Differenze di temperature cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici*, 2016.

[E-12] ISO 18523-1:2016, *Energy performance of buildings. Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation. Non-residential buildings*, 2016.

[E-13] prEN 16798-1:2019, *Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, 2019.

6. VALIDAZIONE DEL MODELLO ENERGETICO

Nel presente capitolo si analizzerà la fondatezza o meno dei risultati fuoriusciti dall'analisi energetica, con riferimento ad una simulazione di quartiere. Inizialmente bisogna precisare che nelle pagine successive non si descriverà di “calibrazione” ma di “validazione”, poiché la prima definisce tutte quelle operazioni di affinamento dei parametri di input, atte a far tendere la condizione simulata prossima a quella reale. Nella presente circostanza, tale strada non è resa percorribile, in quanto in partenza si lavora con deduzioni e ragionamenti il più possibile verosimili, ma che non hanno un riscontro preciso con la realtà. Ciò vorrebbe dire formulare delle ipotesi sostitutive a quelle già previste, che però potrebbero essere attendibili, facendo crollare il *modus operandi* stabilito e non ottenendo, in alcuni casi, il risultato sperato. Questo non implica che gli output, di seguito presentati, siano il frutto della prima simulazione, ma il cambiamento di alcuni valori o parametri deve essere accompagnato, come si vedrà ad esempio per il calcolo dell'acqua calda sanitaria, dalla presenza di un'ulteriore fonte ritenuta autorevole, da cui sia possibile estrarre il dato mancante.

Validare il modello, pertanto, implica stabilire la robustezza della metodologia di calcolo adottata, in parte o nella sua interezza. Poiché, si ricorda, che tutti i dati di input necessari alla corretta definizione del comportamento termo-fisico dei manufatti coinvolti, sono stati desunti da informazioni “aperte”, cioè accessibili alla collettività e quindi anche da parte di un'amministrazione comunale. Certamente le informazioni inserite sono desunte da normative, pubblicazioni e/o banche dati, ma questo non impone che quanto descritto sia riconducibile alla realtà. Non potendo quindi avere un riscontro analitico reale, in alcuni casi, i fabbisogni stimati virtualmente non coincideranno con quelli letti sulle relative documentazioni, laddove rese reperibili. Inoltre, per il medesimo edificio, si potrà registrare uno scostamento anche fra i risultati generati dai due *software* di simulazione, a causa del differente calcolo perseguito e delle condizioni al contorno imposte. Tutto ciò è amplificato dal fatto che gli *Attestati di Prestazione Energetica* a volte presentano dei valori degli indici di prestazione ampiamente sottodimensionati o sovradimensionati.

Ciò detto, il cuore del presente calcolo è stabilire qual è l'incertezza che lo sviluppatore è costretto a governare, in un caso a questo simile. Ovviamente nella circostanza in cui ci fossero un maggior numero di informazioni, il calcolo diverrebbe sempre più corretto e preciso, diminuendo l'errore sul singolo edificio e sull'intero isolato. Un primo passo per precisare quanto descritto, riguarderebbe consultare interamente gli APE di tutte le unità abitative e/o commerciali, in quanto come si è visto, in alcuni casi, si è in possesso di un solo documento su sedici. Ed è quindi palese che i valori ivi contenuti non siano rappresentativi di tutte le abitazioni, facenti parte dello stesso manufatto, però, laddove possibile, si è cercato di generalizzare l'osservazione, avendo di contro un valore simulato che tenga conto delle diverse circostanze. In ultima analisi quindi, tale modello deve essere osservato e studiato come frutto di uno stadio preliminare, a cui seguiranno successive precisazioni.

6.1. FABBISOGNO ENERGETICO PER RISCALDAMENTO

6.1.1. Presentazione risultati

Il calcolo del fabbisogno energetico necessario al riscaldamento verrà condotto su due *software* di simulazione: UMI e CitySim Pro. In tale paragrafo, quindi, si analizzeranno i valori ottenuti, la loro rappresentazione ed il confronto con i dati letti negli *Attestati di Prestazione Energetica*.

I parametri presentanti di seguito verranno espressi in termini di indice di prestazione energetica non rinnovabile, attribuibile al sistema di riscaldamento, di concerto con la seguente formulazione:

$$EP_{H;nren;k} = \frac{\sum_j Q_{H;gen;in;j;k} \cdot f_{j;nren}}{A_{sup}} \quad (6.1)$$

Ove:

- $EP_{H;nren;k}$ = indice di prestazione energetica non rinnovabile del sistema di riscaldamento, riferita al *k-esimo software*: CitySim Pro o UMI, in assenza dei precedenti pedici, ci si riferirà ad un valore contenuto nell'APE; dato espresso in [kWh/(m²·anno)];
- $Q_{H;gen;in;j;k}$ = energia termica consegnata al generatore, con riferimento al *j-esimo* vettore energetico consumato e al *k-esimo software*, valore espresso in [kWh/anno];
- $f_{j;nren}$ = fattore di conversione dell'energia primaria non rinnovabile, in funzione del *j-esimo* vettore energetico consumato, parametro desunto dal *D.M. 26 giugno 2015* ^[F-1];
- A_{sup} = superficie utile climatizzata, espressa in [m²].

Come si evince dalla formulazione soprariportata si è trascurato la quota consumata dai sistemi ausiliari elettrici, con il relativo fattore di conversione. Per quanto concerne i valori letti dagli APE, invece, dal momento in cui il confronto avverrà per l'intero edificio e non per singola unità abitativa o commerciale, allora, per la definizione dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento, si è proceduto ad identificare la media ponderata dei valori energetici rispetto alla superficie climatizzata, così descritta:

$$EP_{H;nren} = \frac{\sum_i (EP_{H;nren;i} \cdot A_i)}{\sum_i A_i} \quad (6.2)$$

Ove:

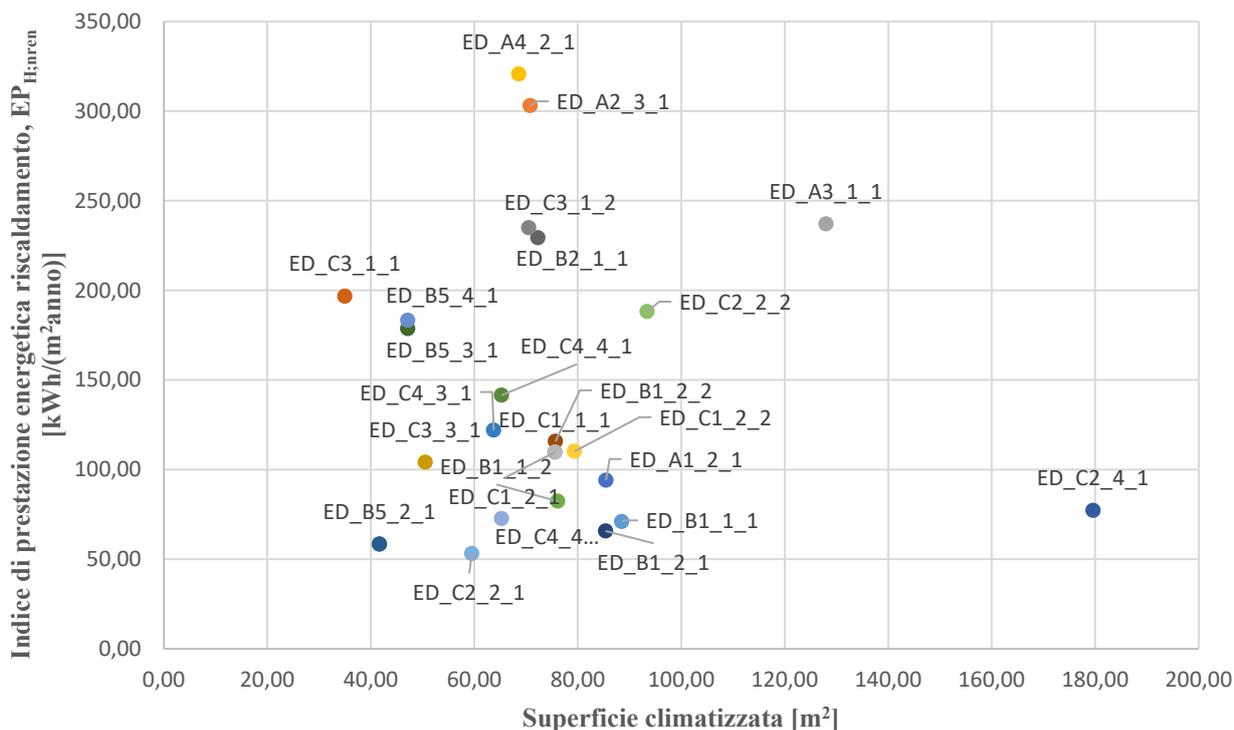
- $EP_{H;nren}$ = indice di prestazione energetica non rinnovabile del sistema di riscaldamento valida per l'intero edificio, espressa in [kWh/(m²·anno)];
- $EP_{H;nren;i}$ = indice di prestazione energetica non rinnovabile del sistema di riscaldamento valida per l'*i-esima* unità abitativa o commerciale, espressa in [kWh/(m²·anno)];
- A_i = superficie utile climatizzata dell'*i-esima* unità abitativa o commerciale, espressa in [m²].

Di seguito, in funzione della tipologia di edificio e del piano a cui si riferiscono, si riportano i valori di EP_H non rinnovabile, desumibili dagli APE, depositati presso il SIPEE. Pertanto, applicando la formulazione descritta di sopra ai valori contenuti nella tabella posta inferiormente, si otterrà l'indice di prestazione energetica per il riscaldamento, valido per gli edifici compresi nell'isolato. Inoltre, si ricorda che per i fabbricati: *ED_A5*, *ED_A6*, *ED_B3*, *ED_B4*, non è stato possibile consultare nessun valore, a causa dell'assenza della relativa documentazione. Tuttavia, tali manufatti sono stati comunque simulati energeticamente e i loro valori vengono riportati nelle tabelle che seguono, non potendo però avere un riscontro circa la loro validità.

Tab. 73 - Indici di prestazione energetica sistema di riscaldamento estratti da APE.

cod. edificio	n. piano	Superficie climatizzata [m ²]		EP _{H; nren} [kWh/(m ² ·anno)]	
		Unità edilizia 1	Unità edilizia 2	Unità edilizia 1	Unità edilizia 2
ED_A1	2	85,44	-	94,02	-
ED_A2	3	70,81	-	303,08	-
ED_A3	1	127,99	-	237,11	-
ED_A4	2	68,60	-	320,69	-
ED_B1	1	88,51	76,14	70,95	82,40
	2	85,40	75,68	65,73	115,81
ED_B2	1	72,30	-	229,35	-
ED_B5	2	41,66	41,66	58,42	58,42
	3	47,15	-	178,63	-
	4	47,15	-	183,25	-
ED_C1	1	75,60	-	109,75	-
	2	75,60	79,37	109,76	110,17
ED_C2	2	59,53	93,40	53,19	188,17
	4	179,59	-	77,22	-
ED_C3	1	35,00	70,54	196,73	234,96
	3	50,52	-	104,12	-
ED_C4	3	63,75	-	122,01	-
	4	65,28	65,28	141,52	72,66

Indice di Prestazione Energetica Riscaldamento da APE



Per quanto concerne la presentazione e la discussione dei risultati fuoriusciti dall'analisi energetica, ciò avverrà raggruppando gli edifici aventi la medesima destinazione d'uso: residenziale e mista (unità commerciali ubicate al pian terreno e abitazioni ai livelli superiori). Così facendo, si potrà stabilire la replicabilità del modello, in funzione di determinate classi di utilizzo. Questo poiché, considerando congiuntamente fabbricati con differenti destinazioni d'uso, la forbice dell'incertezza tende ad ampliarsi, perché vengono a coesistere contemporaneamente diversi profili di occupazione e diversi profili di utilizzo e di consumo di apparecchi elettrici e dispositivi illuminanti. Tale condizione verrebbe meno nel caso in cui si possedesse un quadro informativo completo riguardo agli indici di prestazione di tutte le unità edilizie coinvolte. Poiché avendo un valore mediato su tutto l'edificio, desunto dai programmi di simulazione, come termine di paragone, tenente conto dei diversi utilizzi, presenterà inevitabilmente uno scarto inferiore, a causa della medesima natura dei dati.

Si ricorda che, per la costituzione dei due modelli energetici si è partiti dalle medesime assunzioni, le quali in alcuni casi, sono state plasmate per ottemperare alle limitatezze imposte dai due *software*. Analizzando quindi gli output ottenuti, presentati nella tabella successiva, si evince come, in prima battuta, i dati desunti da CitySim Pro tendano a sovrastimare l'indice di prestazione energetica, avendo di contro un'informazione da UMI che tenda ad avvicinarsi maggiormente al valore *standard* (si rimanda al paragrafo successivo, in cui viene proposto un approfondimento per giustificare tali differenze). In seconda battuta, bisogna asserire che i confronti avvengono con dei valori calcolati con una metodologia differente, con dati di input necessariamente diversi e con analisi *standard* eseguite sulle singole unità edilizie e quindi non a livello di singolo edificio ed isolato, come avviene nella presente analisi. La generalizzazione dei fenomeni quindi, a partire dalla singola unità edilizia, nei riguardi della caratterizzazione dell'intero manufatto, determinerà inevitabilmente l'insorgenza di un certo grado di errore, che si assocerà agli altri.

Tab. 74 – Confronto indici di prestazione energetica riscaldamento estratti da: APE, UMI, CSPro.

Cod. edificio	$EP_{H;nren}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$EP_{H;nren;UMI}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$\Delta_{UMI-APE}$	$EP_{H;nren;CSPro}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$\Delta_{CSPro-APE}$
ED_A1	131,72	127,00	-3,58%	163,20	23,90%
ED_A2	131,72	121,42	-7,81%	161,01	22,24%
ED_A3	237,11	128,05	-46,00%	185,83	-21,63%
ED_A4	320,69	249,95	-22,06%	459,82	43,38%
ED_A5	-	205,24	-	274,71	-
ED_A6	-	209,07	-	350,76	-
ED_B1	131,72	128,50	-2,44%	170,62	29,54%
ED_B2	131,72	124,36	-5,58%	171,00	29,83%
ED_B3	-	162,60	-	280,91	-
ED_B4	-	98,70	-	161,67	-
ED_B5	123,47	141,75	14,81%	221,29	79,23%
ED_C1	109,90	186,24	69,46%	197,88	80,06%
ED_C2	104,08	101,17	-2,80%	141,64	36,09%
ED_C3	184,03	112,42	-38,91%	184,20	0,10%
ED_C4	111,99	96,10	-14,18%	135,16	20,70%

Come riportato anche nelle righe sopra, per i fabbricati: ED_A5, ED_A6, ED_B3, ED_B4, il confronto non avverrà a causa dell'assenza delle relative documentazioni da cui estrarre i valori *standard*.

Inoltre, si ricorda, che i fabbricati *ED_A3*, *ED_C1* ed *ED_C4*, presentano una destinazione d'uso combinata: residenziale e terziario-commerciale. Gli altri invece sono tutti a carattere residenziale.

In ordine: per i manufatti di edilizia popolare (*ED_A1*, *ED_A2*, *ED_B1*, *ED_B2*), che presentano le medesime caratteristiche: architettoniche, volumetriche e tecnologiche, in cui l'indice di prestazione medio *standard*, analogo per tutti e quattro gli edifici, prodotto di ciò che si registra dagli APE di tutte le unità abitative coinvolte, presenta uno scarto contenuto in entrambi i programmi (al massimo dell'ordine del 30% per *ED_B1*, *ED_B2* in CitySim Pro), a favore ovviamente di UMI. Questa condizione è da imputare su tutte alla singola destinazione d'uso e alla possibilità di poter attingere da più fonti informative. La strada che si è percorsa, quindi, è stata quella di aggregare tutti i dati di questi quattro manufatti, perché, in alternativa, per i fabbricati *ED_A1*, *ED_A2* e *ED_B1*, che possiedono sedici unità abitative ciascuno, sono resi disponibili solamente un *Attestato di Prestazione Energetica* ognuno. I quali rispettivamente presentano un indice di prestazione non rinnovabile, pari a: 94, 303 e 229 kWh/(m²-anno), valori sensibilmente diversi, riferiti ad abitazioni con pressoché la medesima superficie climatizzata: (75-80) m². L'errore quindi è stato contenuto associando ai valori dei tre documenti quelli di altri quattro presenti per l'*ED_B1*. La prima considerazione che viene da proporre è quella di comprendere la limitatezza delle informazioni reperibili. Da un'ipotesi ideale di 64 APE disponibili, si sono potuti estrarre i dati solamente da 7 documenti.

Per il fabbricato *ED_A3*, invece, al piano terreno sono presenti tre attività commerciali: una libreria, un tabacchino e un rivenditore di biciclette. Con riferimento a questo, lato APE, si può solamente estrarre un valore energetico riferito ad una dei tre esercizi atti alla vendita, presumibilmente al tabacchino. Pertanto, nel caso in cui ci fossero stati degli indici di prestazione energetica *standard* delle unità abitative ubicate ai tre piani superiori, tale valore sarebbe diminuito, conseguentemente all'esecuzione della media ponderata. Per tale manufatto, con riferimento ad entrambi i *software* si registra un sottodimensionamento dell'indice di prestazione. Nel caso di UMI, si riporta la presenza di un errore, ritenuto non accettabile, che si attesta sopra la soglia del 30%. Il sovradimensionamento di CitySim Pro, frequentemente registrato per tutte le osservazioni, fa sì che lo scarto sia dell'ordine di -22%.

L'edificio *ED_A4*, invece, presenta il maggior valore di indice di prestazione energetica medio *standard*, con riferimento ai fabbricati compresi nell'isolato. Tale condizione è da rivedersi soprattutto nel suo anno di costruzione: 1930, il più antico. In sede di estrazione dati è stato possibile solamente attingere al valore di un'abitazione rispetto alle tre previste. L'eccessiva prestazione energetica è imputare soprattutto alle potenze disperse attraverso l'involucro a fronte di carichi termici endogeni modesti. In entrambi i modelli di calcolo quindi, in presenza di fonti informative più dettagliate e per limitare l'eccessiva quota sottodimensionata (-22,06% in UMI) o sovradimensionata (addirittura di circa il 44% in più in CitySim Pro), si dovrebbe intervenire sulla prestazione termo-fisica dell'involucro. Con riferimento a questo edificio, ciò che crea maggior controversia nell'analisi dei dati provenienti dai due *software*, riguarda non tanto il cambio di segno dei dati, quanto la relativa differenza che sussiste fra ciò che è letto in UMI e ciò che è letto in CitySim Pro. Poiché, con riferimento ad un manufatto, la presenza di un valore negativo e di uno positivo, rispettivamente riferiti ai due programmi di calcolo, è una condizione, in alcuni casi, reputata accettabile, ciò che lo è meno riguarda i risultati, in termini assoluti, così diversi fra loro.

L'edificio *ED_B5*, anch'esso a destinazione d'uso completamente residenziale, presenta un indice di prestazione energetica in linea con le altre abitazioni. Anche in tal caso, UMI tende ad originare un risultato che si avvicina maggiormente a quello *standard*. Da questa considerazione si può formulare un ragionamento che sarà trattato in maniera più approfondita successivamente, con l'analisi delle devianze e delle medie: UMI diviene ad essere un utile strumento per il calcolo di manufatti aventi

un'unica destinazione d'uso, al contrario, CitySim Pro, tendendo a sovrastimare la domanda energetica, rappresenta un programma più affidabile per il calcolo di manufatti con diverse condizioni di utilizzo. Infatti, anche in tal caso, con riferimento a quest'ultimo *software* si registra un errore ritenuto assolutamente non accettabile, pari al 79,23%.

Il fabbricato *ED_C1*, al pian terreno presenta un'attività commerciale, momentaneamente sfitta, che originariamente era un bar. Pertanto, anche nella presente analisi, data la posizione strategica, sorgente nei pressi dello stadio comunale, si è attribuita la medesima destinazione d'uso. Con riferimento ai valori *standard* e di quelli letti dai due programmi di simulazione, si evince come vengano ad instaurarsi delle differenze percentuali, ritenute le più gravose dell'analisi: dell'ordine del 70% per UMI e dell'80% in più, per CitySim Pro. Tuttavia, diviene ad essere la circostanza in cui l'errore relativo fra i due programmi di simulazione tende ad assottigliarsi. Il sovradimensionamento dei risultati si verifica fondamentalmente per due motivazioni. La prima è che i 109 kWh/(m²·anno) di indice di prestazione energetica media *standard* è influenzato solamente dagli APE delle unità abitative, il cui parametro sarà confrontato con quello fuoriuscito dai due simulatori energetici, laddove si tiene conto delle diverse condizioni d'uso. La seconda condizione che si verifica, è data dall'intensità dei carichi termici endogeni estratti dalla *ISO 18523* ^[F-4], rapportati alla destinazione d'uso a bar. Poiché, tali valori, dovendo essere validi per tutte le attività commerciali di questa tipologia, sono di molto superiori a ciò che si registrerebbe in una caffetteria ubicata nel Quartiere degli Orti di Alessandria. Pertanto, per contenere l'errore le uniche vie percorribili sarebbero quella di: correggere tali parametri in base all'esperienza, modificare la destinazione d'uso o possedere documentazioni relative a quest'ultima. Quindi, nella circostanza ideale, secondo cui si potesse estrarre l'informazione *standard* anche per l'attività commerciale, il valor medio tenderebbe ad aumentare, in virtù della misura superiore dei carichi termici endogeni, diminuendo quindi la forbice fra valori letti e simulati.

Per l'edificio *ED_C2*, completamente residenziale, si posseggono tre APE su dieci unità abitative stimate. Anche in tal caso, l'errore letto su CitySim Pro è reputato non accettabile e pari al 36%, a fronte di un valore sottostimato su UMI di -2,80%.

Invece, per l'edificio *ED_C3*, completamente residenziale, si ribalta la situazione, osservata in generale. In quanto la migliore affidabilità, in tal caso, si registra in UMI, invece che in CitySim Pro. Questo è da rivedersi poiché l'indice di prestazione energetica medio *standard* è il secondo valore più alto per i fabbricati aventi la destinazione d'uso a residenza.

Infine, per il fabbricato *ED_C4*, ultimo a detenere una destinazione d'uso mista, si riporta la presenza di un esercizio commerciale momentaneamente sfitto. Su questo, non si è in possesso di informazioni più specifiche, come verificatosi per l'*ED_C1*, ma questo si presenta con una conformazione architettonica (ampie superfici vetrate al pian terreno, protette da serrande metalliche esterne) riconducibile a quella di una unità atta alla vendita, nello specifico, si è imposto, di prodotti al dettaglio. Entrambi gli scostamenti percentuali rilevati fra i due programmi di simulazione e il valore *standard* mediato, sono reputati accettabili, poiché inferiori al 30%. La nota interessante riguarda il -14,18% letto da UMI, in quanto dalle altre rilevazioni su manufatti aventi una destinazione d'uso mista, nello specifico per gli edifici *ED_A3* e *ED_C1*, l'errore era pari, rispettivamente al 46 e al 70%. Quindi il presente fabbricato, di concerto col *software* sopracitato, risulta essere quello con la migliore affidabilità, in relazione alla doppia condizione d'uso.

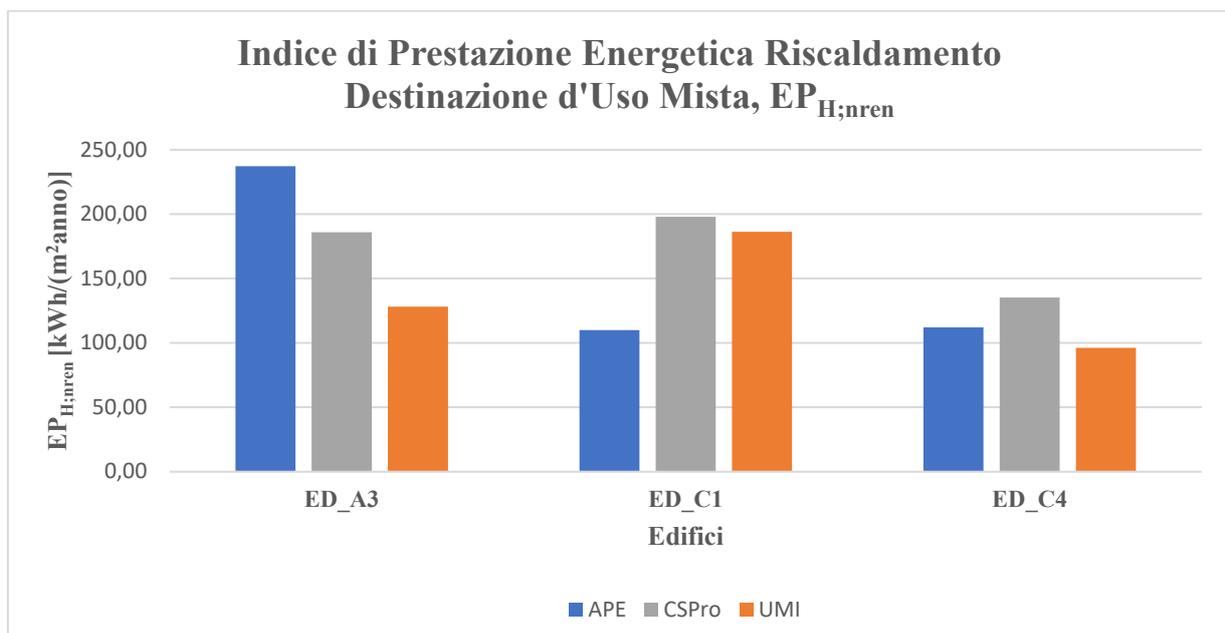
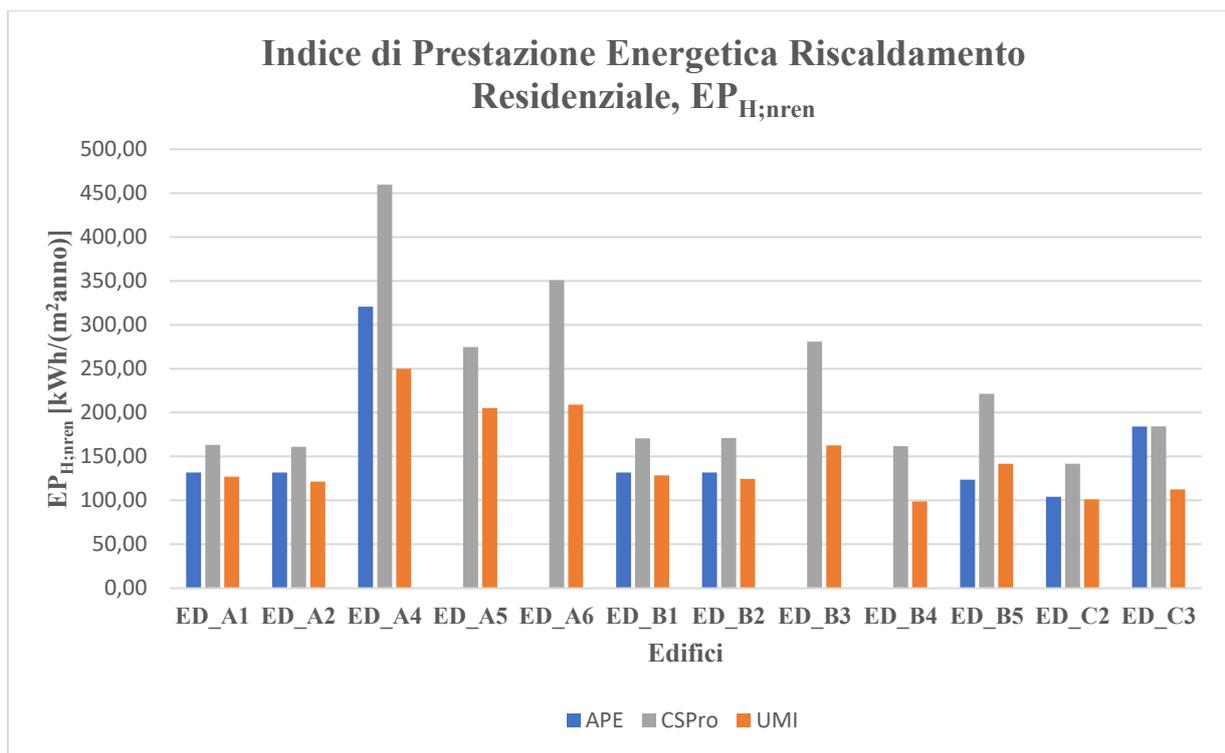
Con riferimento alla tabella che segue, vengono presentati i valori di prestazione energetica media non rinnovabile, ponderati rispetto alla superficie climatizzata, e lo scarto quadratico medio, fra valori *standard* e simulati, in relazione: all'intero isolato, ai soli manufatti residenziali e ai singoli edifici aventi una destinazione d'uso mista. Tale aggregazione dei dati è necessaria per comprendere in quali

termini il modello possa essere riprodotto e analizzato. Prima di addentrarsi nei valori letti, bisogna asserire che l'utilizzo a residenza, nel caso studio proposto, è assolutamente preponderante rispetto all'altra condizione di utilizzo (tredici fabbricati su quindici). Tuttavia, questa circostanza, non implica necessariamente che in presenza di soli manufatti unicamente terziario-commerciali, i risultati non possano essere ritenuti accettabili. Questa ipotesi non è stato possibile confutarla a causa della totale assenza di edifici di questa tipologia nel presente caso studio, ma la più che completa conoscenza di queste costruzioni, determinerà incertezze contenute fra risultati simulati e quelli *standard* o reali, dipendentemente dalla natura dei termini di confronto. Addentrandosi maggiormente nei risultati proposti, con riferimento alle medie, è notevole, rispetto alla prima colonna e alle prime tre righe della tabella, come il valore residenziale di 139 kWh/(m²·anno) sia inferiore a quello desunto da fabbricati aventi una destinazione d'uso mista. Con riferimento alle medie lette per i due *software* di simulazione, è notevole il sottodimensionamento dei valori da parte di UMI da un lato, a cui si affianca il sovradimensionamento ad opera di CitySim Pro. Il valor medio dell'isolato rispettivamente è pari a circa -14% in UMI e 21% in CitySim Pro. Dato relativamente contenuto e interessante, se si volesse ragionare come indice complessivo. Invece, in relazione alle diverse destinazioni d'uso è notevole come l'indice di prestazione energetica media per i fabbricati residenziali sia più affidabile nel caso di UMI (-9,88%), al contrario di quello che si registra per i manufatti con doppio utilizzo in CitySim Pro (2,93%). In generale, di concerto coi valori medi proposti, l'errore è compreso fra ±30%.

Tab. 75 - Confronto $EP_{H;nren}$ raggruppati.

	$EP_{H;nren}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$EP_{H;nren;UMI}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$\Delta_{UMI-APE}$	$EP_{H;nren;CSPro}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$\Delta_{CSPro-APE}$
<i>Media ponderata su sup. climat. TOT isolato</i>	144,46	124,70	-13,68%	174,08	20,50%
<i>Media ponderata su sup. climat. residenziale</i>	139,24	125,49	-9,88%	177,39	27,40%
<i>Media ponderata su sup. climat. misto</i>	159,72	122,42	-23,36%	164,39	2,93%
<i>s.q.m. TOT isolato</i>	-	51,03	-	64,77	-
<i>s.q.m. residenziale</i>	-	36,52	-	66,37	-
<i>s.q.m. misto</i>	-	77,40	-	60,30	-

Per quanto concerne gli scarti quadratici medi, calcolati rispetto ai valori *standard*, si registra ovviamente la medesima tendenza di quella verificatasi per i valori medi. Con riferimento a quelli ritenuti più favorevoli si avrà una devianza standard pari a: 51,03 kWh/(m²·anno) per l'intero isolato, 36,52 kWh/(m²·anno) per l'agglomerato di fabbricati residenziali e 64,08 kWh/(m²·anno), per i fabbricati misti, in relazione a quanto estratto da CitySim Pro. Di seguito verranno proposti due grafici rappresentanti i risultati dell'andamento annuo dell'indice di prestazione energetica, estratto da UMI e CitySim Pro, confrontato con quello annuo estraibile dagli APE, raggruppati per destinazioni d'uso residenziale e mista. Successivamente verranno presentati i medesimi valori, durante i mesi di riscaldamento, divisi per condizione di utilizzo e per i due simulatori (il prefisso "C" sta ad indicare il risultato fuoriuscito da CitySim Pro e "U" quello per UMI).



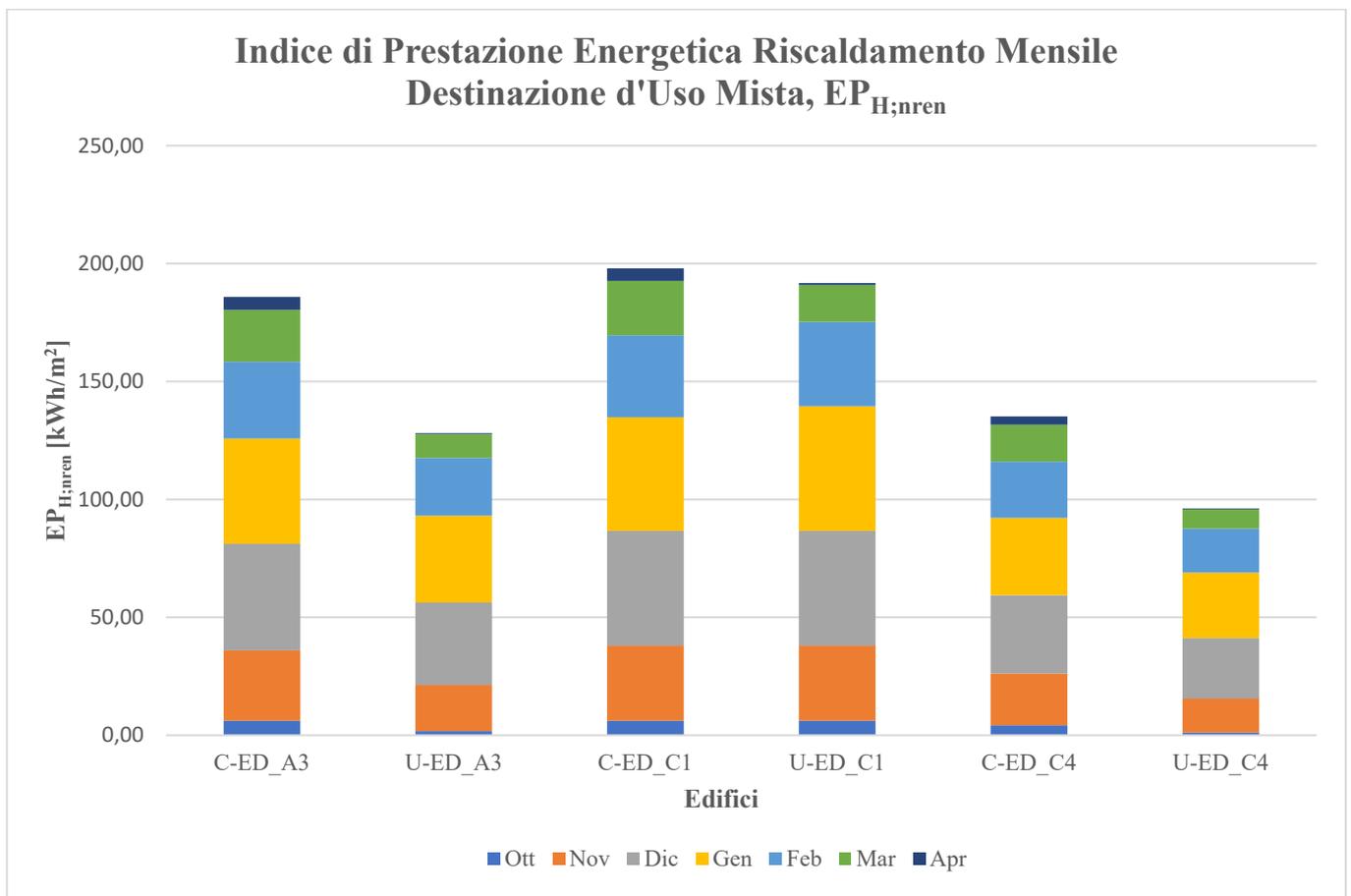
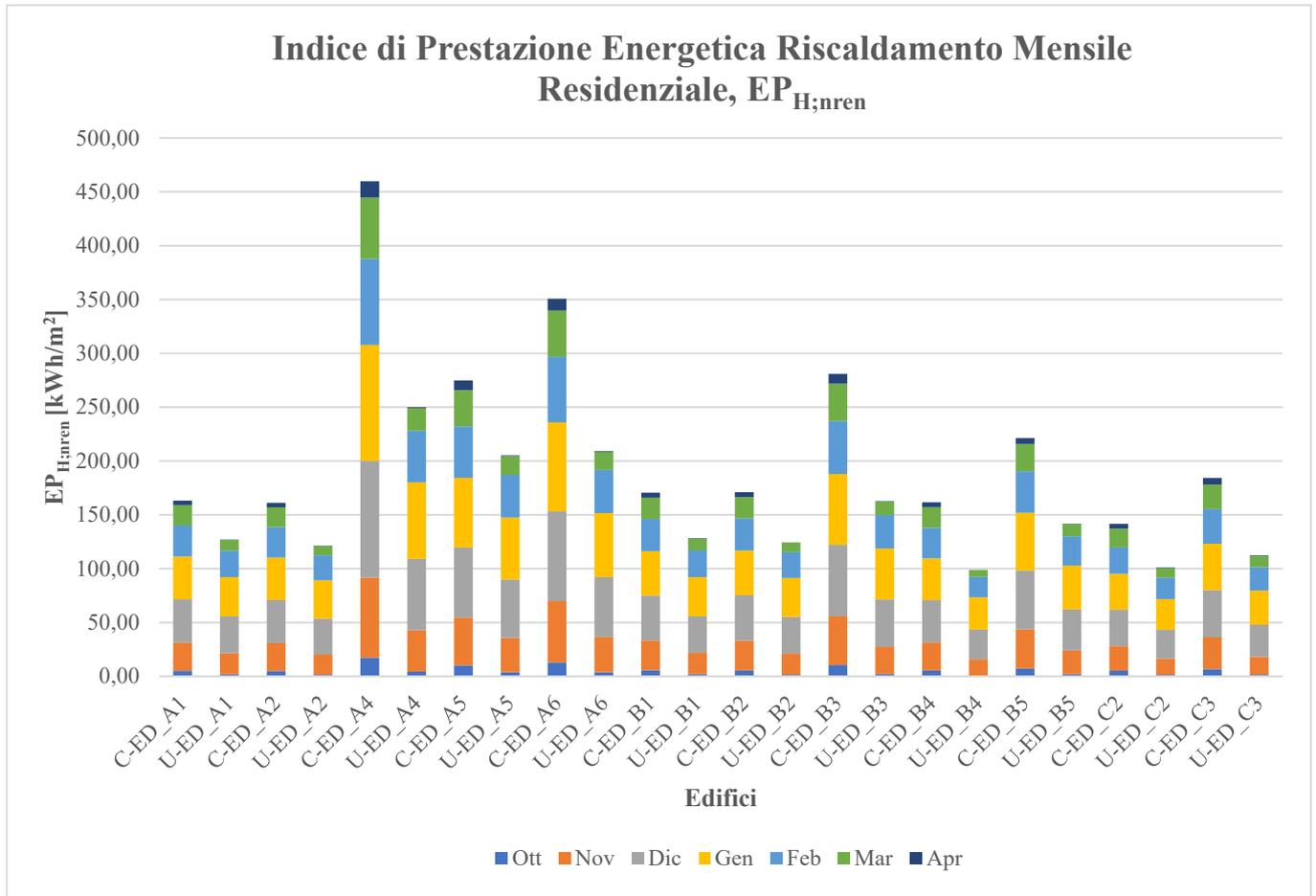




Fig. 31 – Rappresentazione cromatica fabbisogno termico annuo in $[kWh/m^2]$, UMI.

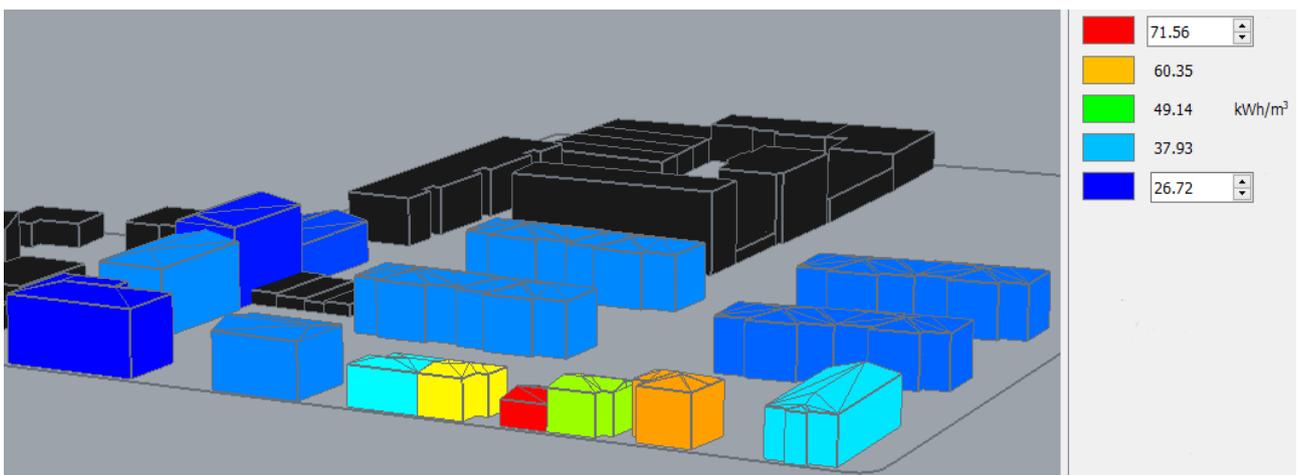


Fig. 32 - Rappresentazione cromatica fabbisogno termico annuo in $[kWh/m^3]$, CitySim Pro.

Dall'analisi presentata si evince come l'errore sia sufficientemente contenuto nel caso in cui si considerino delle destinazioni d'uso unicamente residenziali. Laddove a queste si aggiungessero delle unità commerciali, ecco che la forbice fra valori *standard* e dati simulati tenderebbe ad ampliarsi. Comunque, non è da escludere la circostanza in cui i manufatti costituenti il parco edilizio siano occupati da sole attività terziario-commerciali, circostanza non riscontrabile nel presente studio. Tuttavia, se si ragionasse in termini di isolato, quindi di comportamento complessivo di tutti i fabbricati, come nell'analisi proposta, in cui la presenza di attività commerciali sia limitata ed in minoranza rispetto al residenziale, l'incertezza registrata si può comunque ritenere accettabile. Come detto quindi, essendo la presente, una modellazione energetica a scala urbana, diviene ad essere uno strumento utile per le amministrazioni comunali, fin dalle prime fasi di pianificazione e con un buon grado di affidabilità. Si potrebbe, ad esempio, applicare la presente metodologia nel caso in cui la volontà sia quella di individuare quali siano gli isolati maggiormente energivori in un ambito di quartiere, conducendo successivamente delle diagnosi energetiche *ad hoc* sui singoli edifici, così da

poter determinare con puntualità i migliori interventi volti ad una riqualificazione energetica del parco edilizio.

6.1.2. Approfondimento differenze CitySim Pro e UMI

Nel presente paragrafo si analizzeranno i motivi per i quali nei risultati proposti per il calcolo del fabbisogno riscaldante, esista un'incertezza fra i valori proposti da CitySim Pro e da UMI. In prima analisi, si precisa che la volontà è sempre stata quella di inserire valori uguali, però in alcuni casi, per limitatezze imposte dai *software*, si è stati costretti ad immettere nel modello dei parametri simili e non identici. Le ragioni per le quali esista un certo grado di incertezza variabile, è da rivedere, con buona probabilità: nella metodologia con cui viene originato il modello termico, nella definizione delle zone termiche, nell'identificazione dei carichi elettrici e derivanti da dispositivi illuminanti e nella descrizione del serramento e dei componenti vetriati.

Di seguito viene presentata una tabella all'interno della quale, in maniera più approfondita rispetto alla matrice di confronto presentata nell'*Allegato A*, si raggruppano le differenze, fra i due programmi di calcolo, che generano delle incertezze nei risultati proposti. In prima analisi non è dato conoscere l'incidenza percentuale con la quale ciascuna variabile grava sul totale. Secondariamente si può asserire che ovviamente l'errore complessivo è dato dalla somma dei singoli errori, più o meno amplificati in funzione del caso considerato. Alcune differenze sono già state enunciate nelle pagine precedenti, pertanto in questa sede si riporterà una breve descrizione con un rimando al paragrafo in cui il concetto viene spiegato con miglior dettaglio. Conseguentemente si analizzeranno le differenze ritenute maggiormente gravose, presentate secondo un ordine gerarchico:

- La zona termica su UMI per ciascun piano viene suddivisa automaticamente dal *software* in *perimeter* e *core zones*. Laddove per la prima si riferisce alla ripartizione dello spazio lungo la facciata in funzione del diverso orientamento, mentre l'area rimanente sarà detta di "nucleo". L'introduzione dei partizionamenti interni verticali e orizzontali renderà più accurato il confinamento e la valutazione dei carichi termici solari, endogeni e il calcolo della capacità termica. In CitySim, invece, la definizione della zona termica coinciderà con l'intero fabbricato, non suddividendola quindi né per piano né per zone di "perimetro" o di "nucleo" (per approfondimenti si rimanda alla lettura del *paragrafo 5.5.*);
- Il modello dinamico termico a nodi e resistenze di CitySim Pro risulta essere semplificato rispetto a quello gestito da EnergyPlus in UMI ((per approfondimenti si rimanda rispettivamente alla lettura dei *paragrafi 3.1.2.1. e 3.2.2.1.*);
- I carichi termici elettrici e derivanti dall'utilizzo di dispositivi illuminanti su CitySim Pro verranno inseriti attraverso le stringhe di codice *DeviceType* e *ActivityType*. Ciò determinerà una valutazione stocastica dei carichi, i cui profili verranno determinati solamente su base giornaliera. In UMI invece, questi verranno gestiti in maniera univoca e parametrica (per approfondimenti si rimanda alla lettura del *paragrafo 5.5.*);
- I serramenti su CitySim Pro intelligentemente vengono inseriti individuando la trasmittanza termica del sistema e il fattore solare del vetro. In UMI, invece, la modellazione del serramento avviene identificando le proprietà termofisiche del vetro, il numero di componenti vetriati e la tipologia di gas inserito, non potendo specificare parametri riguardanti le caratteristiche del telaio. Inoltre, con riferimento alla frazione vetrata, in CitySim Pro tale valore può essere inserito introducendo qualsiasi numero razionale compreso fra 0 e 1, anche questo è vero in UMI, però ad intervalli regolari di 0,1 (0,1 - 0,2 - 0,3, etc.). Per la posizione del serramento, invece, per entrambi i *software* vale l'ubicazione baricentrale in facciata, però

in UMI tale frazione sarà suddivisa e distribuita ugualmente per ciascun piano, in CitySim Pro, invece, ciò non avverrà;

- Seppur il volume definito in entrambi i software sia il medesimo, le geometrie immesse risultano essere differenti: entità planari e piane in UMI, fabbricati con a falde inclinate in CitySim Pro.

Tab. 76 - Confronto fra i modelli generati su CitySim Pro e su UMI.

Caratteristica	CitySim Pro	UMI
Modello geometrico	- Superfici piane e oblique ammesse	- Solamente superfici piane e planari ammesse
Modello termico	- Calcolo dinamico semplificato	- Calcolo dinamico eseguito da EnergyPlus
Frazione vetrata	- Qualsiasi numero razionale compreso fra 0-1	- Numero razionale compreso fra 0-1 ad intervalli regolari di 0,1
Serramento	- Trasmissione termica serramento; - Fattore solare del componente vetrato; - Posizione baricentrale in facciata	- Proprietà termofisiche del vetro; - Tipologia di gas; - Numero di componenti trasparenti; - Nessuna caratteristica sul telaio inseribile; - Posizione baricentrale in facciata per l' <i>i-esimo</i> piano
Schermature esterne	- Fattore semplificato funzione della transizione con e senza dispositivo oscurante; - <i>Set-point</i> radiativo di chiusura	- Profilo di apertura/chiusura orario, definibile per tutto l'arco dell'anno; - Trasmissione termica dispositivo oscurante; - <i>Set-point</i> radiativo di chiusura
CTE elettrici e da illuminazione	- Profilo giornaliero su base oraria di utilizzo, valido per tutto l'arco dell'anno; - Inserimento potenza media erogata dagli apparecchi; - Probabilità stocastica riguardante l'utilizzo degli apparecchi elettrici e dei dispositivi illuminanti; - Inserimento quota radiativa e convettiva	- Profilo orario, definibile per tutto l'arco dell'anno; - Potenza totale per metri quadrati di superficie; - Impossibilità di inserimento quota radiativa e convettiva

CTE occupanti	<ul style="list-style-type: none"> - Profilo orario, definibile per tutto l'arco dell'anno; - Densità di occupazione; - Inserimento frazione radiativa e potenza sensibile e latente 	<ul style="list-style-type: none"> - Profilo orario, definibile per tutto l'arco dell'anno; - Densità di occupazione; - Potenza totale per metri quadrati di superficie
Riscaldamento	<ul style="list-style-type: none"> - Generatore reale; - Impossibilità di definire la stagione di riscaldamento; - Impossibilità di inserimento di più generatori operanti in maniera combinata 	<ul style="list-style-type: none"> - Generatore fittizio; - Profilo orario di utilizzo definibile per tutto l'arco dell'anno; - Definizione stagione di riscaldamento; - Impossibilità di inserimento di più generatori operanti in maniera combinata
ACS	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo totale isolato; - Profilo orario di consumo, definibile per tutto l'arco dell'anno 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabbisogno per singolo edificio in funzione della temperatura di erogazione, della temperatura dell'acqua fredda, del profilo di utilizzo e dei volumi giornalieri consumati; - Profilo orario di consumo, definibile per tutto l'arco dell'anno
Ventilazione	<ul style="list-style-type: none"> - Tasso di infiltrazione 	<ul style="list-style-type: none"> - Tasso di infiltrazione; - Profilo orario ventilazione naturale
Zona termica	<ul style="list-style-type: none"> - Coincidente con l'intero edificio 	<ul style="list-style-type: none"> - Coincidente con il piano; - Suddivisione automatica in <i>core e perimeter zones</i> per ciascun piano
Partizioni interne	<ul style="list-style-type: none"> - Non specificabili 	<ul style="list-style-type: none"> - Definizione partizioni interne verticali e orizzontali; - Solaio di interpiano automaticamente generato e univocamente definito; - Partizionamento orizzontale definito da altezza di interpiano; - Tasso di presenza partizioni interne verticali, attraverso l'inserimento di un numero razionale;

		- Maggiore precisione nel calcolo della capacità termica dell'area di progetto
--	--	--

6.2. FABBISOGNO ENERGETICO PER ACQUA CALDA SANITARIA

6.2.1. Presentazione risultati

Il calcolo del fabbisogno energetico necessario al soddisfacimento della richiesta di acqua calda sanitaria verrà eseguito solamente su UMI. Questo poiché su CitySim Pro, è consultabile unicamente il consumo totale dell'intero isolato, non potendo quindi esaminare quello dei singoli manufatti costituenti e la loro incidenza. Il calcolo del fabbisogno su UMI verrà eseguito, al netto delle dispersioni registrabili da ciascun sottosistema e di concerto con la nomenclatura delle variabili contenuta nella UNI/TS 11300-2 ^[F-3], con una relazione simile rispetto a quanto contenuto nella precedente normativa, del tipo:

$$Q_w = \rho_w \times c_w \times \sum_i [V_{w,i} \times (\theta_{er,i} - \theta_0)] \times G \times f_{ACS} \quad (6.3)$$

Ove:

- Q_w = energia termica richiesta per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria, al netto delle dispersioni, espressa in [kWh];
- ρ_w = densità dell'acqua, pari a 1000 kg/m³;
- c_w = calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 x 10⁻³ kWh/(kg·K);
- $V_{w,i}$ = volume d'acqua giornaliero per l'*i-esima* attività o servizio, espressa in [m³/giorno];
- $\theta_{er,i}$ = temperatura di erogazione dell'acqua per l'*i-esima* attività o servizio, posta pari a 40°C;
- θ_0 = temperatura dell'acqua fredda in ingresso, data dalla media delle temperature esterne mensili registrate per il comune di Alessandria, pari a 12,4°C;
- G = numero dei giorni considerati nel calcolo, espresso in [giorni];
- f_{ACS} = fattore di consumo dell'acqua calda sanitaria su base giornaliera, frutto della somma dei valori orari rispetto alla tipologia di giorno considerato (feriale, sabato, domenica o festivo).

Per il confronto dei dati, così come avviene per il riscaldamento, allo stesso modo per l'ACS, il paragone avverrà fra gli indici di prestazione energetica, così calcolati:

$$EP_{DHW;nren;k} = \frac{\sum_j Q_{H;gen;in;j;k} \cdot f_{j;nren}}{A_{sup}} \quad (6.4)$$

Ove:

- $EP_{H;nren;k}$ = indice di prestazione energetica non rinnovabile del sistema di produzione di ACS, riferita al *k-esimo software*: CitySim Pro o UMI, in assenza del precedente pedice, ci si riferirà ad un valore contenuto nell'APE; valore espresso in [kWh/(m²·anno)];
- $Q_{H;gen;in;j;k}$ = energia termica consegnata al generatore, con riferimento al *j-esimo* vettore energetico consumato e al *k-esimo software*, valore espresso in [kWh/anno];
- $f_{j;nren}$ = fattore di conversione dell'energia primaria non rinnovabile, in funzione del *j-esimo* vettore energetico consumato, parametro desunto dal *D.M. 26 giugno 2015*;

- A_{sup} = superficie utile climatizzata, espressa in [m²].

Successivamente, l'indice di prestazione energetica dell'intero edificio sarà dato dalla media ponderata dei valori letti per le singole unità abitative e/o commerciali, rispetto alla superficie utile climatizzata:

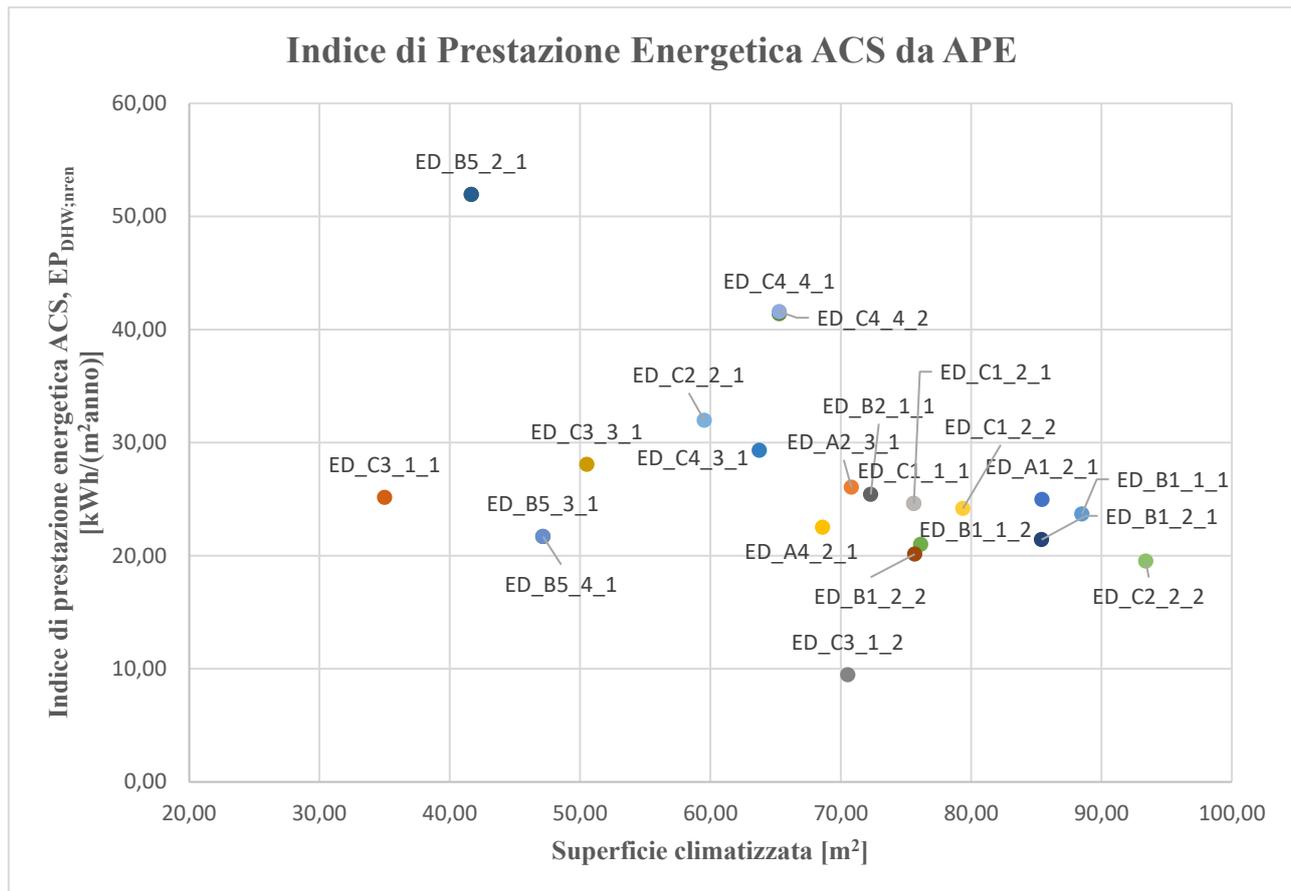
$$EP_{DHW;nren} = \frac{\sum_i (EP_{DHW;nren;i} \cdot A_i)}{\sum_i A_i} \quad (6.5)$$

Ove:

- $EP_{DHW;nren}$ = indice di prestazione energetica non rinnovabile del sistema di produzione di ACS valida per l'intero edificio, espressa in [kWh/(m²·anno)];
- $EP_{H;nren;i}$ = indice di prestazione energetica non rinnovabile del sistema di produzione di ACS valida per l'*i-esima* unità abitativa o commerciale, espressa in [kWh/(m²·anno)];
- A_i = superficie utile climatizzata dell'*i-esima* unità abitativa o commerciale, espressa in [m²].

Tab. 77 - Indici di prestazione energetica ACS estratti da APE.

cod. edificio	n. piano	Superficie climatizzata [m ²]		EP _{DHW;nren} [kWh/(m ² ·anno)]	
		Unità edilizia 1	Unità edilizia 2	Unità edilizia 1	Unità edilizia 2
ED_A1	2	85,44	-	24,97	-
ED_A2	3	70,81	-	26,06	-
ED_A3	1	127,99	-	-	-
ED_A4	2	68,60	-	22,51	-
ED_B1	1	88,51	76,14	23,68	21,00
	2	85,40	75,68	21,43	20,14
ED_B2	1	72,30	-	25,42	-
ED_B5	2	41,66	41,66	51,94	51,94
	3	47,15	-	21,70	-
	4	47,15	-	21,70	-
ED_C1	1	75,6	-	24,61	-
	2	75,60	79,37	24,62	24,18
ED_C2	2	59,53	93,40	31,97	19,52
	3	-	-	-	-
	4	179,59	-	27,96	-
ED_C3	1	35,00	70,54	25,15	9,47
	3	50,52	-	28,08	-
ED_C4	3	63,75	-	29,32	-
	4	65,28	65,28	41,40	41,58



Al netto della sopracitata formulazione e considerando, come precedentemente presentato, i volumi di acqua giornalieri, estratti rispettivamente dalla *EN 16798* ^[F-5] nel primo caso e dalla *ISO 18523* nel secondo e nel terzo, proposti di seguito:

- Profilo A, B, C: $100 \frac{l}{(m^2 \cdot anno)}$, pari a $0,274 \frac{l}{(m^2 \cdot giorno)}$;
- Profilo D: $32 \frac{l}{(m^2 \cdot giorno)}$;
- Profilo E: $3,8 \frac{l}{(pers \cdot giorno)}$;

si è sfociati nei risultati presentati nella tabella seguente. Come si evince dall'osservazione di questi, l'errore che si origina fra l'indice di prestazione energetica simulato e letto dall'*Attestato di Prestazione Energetica*, nel migliore dei casi è dell'ordine dell'85% con un picco del 220% per l'*ED_C1*, con un errore sull'isolato pari al 54%. Ovviamente tali dati non sono stati reputati accettabili. Queste imprecisioni sono da attribuire soprattutto al valore dei volumi giornalieri di acqua calda sanitaria consumati, poiché, essendo registrazioni annue, nel caso dell'edilizia residenziale, integrati rispetto alle ventiquattro ore tendono al sottodimensionare il fabbisogno richiesto. Come si evince dalla tabella per gli edifici *ED_A3*, *ED_A5*, *ED_A6*, *ED_B3* e *ED_B4*, non si è potuto instaurare un confronto fra i valori simulati e reali, a causa dell'assenza di quest'ultimi. Nello specifico, con riferimento all'*ED_A3*, tenuto conto che, come unico termine di paragone esiste solamente un APE di un'unità commerciale su tre e non possedendo dati concernenti le abitazioni ubicate ai piani superiori, in relazione a tale documento, non compare nessun riferimento riguardo il valore dell'indice di prestazione energetica per la produzione di ACS.

Tab. 78 – Primo confronto indice di prestazione energetica per ACS simulato e letto da APE.

cod. edificio	EP _{DHW;nren} [kWh/m ²]	EP _{DHW;nren;UMI} [kWh/m ²]	Δ _{UMI-APE}
ED_A1	23,21	3,35	-85,57%
ED_A2	23,21	3,35	-85,57%
ED_A3	-	6,03	-
ED_A4	22,51	3,35	-85,12%
ED_A5	-	3,35	-
ED_A6	-	3,35	-
ED_B1	23,21	3,35	-85,57%
ED_B2	23,21	3,35	-85,57%
ED_B3	-	3,35	-
ED_B4	-	3,35	-
ED_B5	35,89	6,22	-82,67%
ED_C1	24,47	78,64	221,44%
ED_C2	26,31	3,35	-87,27%
ED_C3	19,01	3,35	-82,38%
ED_C4	37,50	4,78	-87,25%

Al netto delle considerazioni effettuate, per stimare con maggior precisione il fabbisogno energetico richiesto per la produzione di ACS, si è deciso di mantenere i profili orari di consumo di acqua, ma variando il valore dei volumi giornalieri effettivamente erogati. Quest'ultimo calcolo è stato condotto in relazione a quanto contenuto nella *UNI/TS 11300-2*, a cui ci si riferirà a destinazioni d'uso residenziali per la prima formulazione e terziario o commerciale per la seconda:

$$V_w = a \times S_u + b \quad (6.6)$$

Ove:

- V_w = volume d'acqua giornaliero per edifici residenziali, espresso in [l/giorno];
- a = parametro in litri/(m²·giorno), ricavabile dal *Prospetto 30* della *UNI/TS 11300-2*;
- S_u = superficie utile dell'abitazione, espressa in [m²];
- b = parametro in litri/giorno, ricavabile dal *Prospetto 30* della *UNI/TS 11300-2*.

$$V_w = a \times N_u \quad (6.7)$$

Ove:

- V_w = volume d'acqua giornaliero per edifici non residenziali, espresso in [l/giorno];
- a = fabbisogno specifico giornaliero, ricavabile dal *Prospetto 31* della *UNI/TS 11300-2*, espresso in [litri/(giorno·N_u)];
- N_u = parametro variabile in funzione del tipo di edificio, ricavabile dal *Prospetto 31* della *UNI/TS 11300-2*.

In entrambi i profili non residenziali (D ed E), il parametro N_u è stato posto pari alla superficie climatizzata e a uguale a 0,2, di concerto con quanto contenuto nella norma, in presenza di unità commerciali atte alla vendita di prodotti di ogni genere. Ignorando quindi nel caso dell'*ED_C1*, la possibile destinazione d'uso a bar, poiché avrebbe aumentato l'incertezza fra i parametri. Applicando quindi le tre formulazioni proposte pocanzi, si sfocia in un confronto più verosimile fra ciò che è stato letto è ciò che è stato simulato. Lo scostamento percentuale rimanente è sicuramente da attribuire alla non specifica presenza all'interno del calcolo condotto, delle dispersioni termiche rilevabili da ciascun sottosistema e alla considerazione dell'impianto come entità unica e fittizia, non indicando cioè le caratteristiche del generatore e degli altri componenti costituenti. Inizialmente bisogna precisare che le incertezze riportate di seguito sono a favore di sicurezza, cioè l'errore presentato, in termini assoluti, sarà il loro limite superiore, poiché aggiungendo alle stime le dispersioni termiche il fabbisogno inevitabilmente aumenterà. Nella maggior parte dei casi, comunque, si ha a che fare con un errore percentuale, sotto la soglia del 20%, eccetto per due casi: per l'*ED_C2* e per l'*ED_C4*. Nel primo caso la stima risulta essere in linea con le altre, ma al contrario si registra un aumento del valore reale. Per il secondo invece bisogna fare i conti con una destinazione d'uso combinata: residenziale e commerciale, avendo come termine di paragone solamente unità abitative. Nel complesso comunque l'indice di prestazione energetica per l'ACS, valido per l'intero isolato, è sottostimato di circa il 19%, valore da ritenersi ampiamente accettabile.

Tab. 79 – Secondo confronto indice di prestazione energetica per ACS simulato e letto da APE.

cod. edificio	$EP_{DHW;nren}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$EP_{DHW;nren;UMI}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$\Delta_{UMI-APE}$
ED_A1	23,21	18,92	-18,48%
ED_A2	23,21	18,92	-18,48%
ED_A3	-	19,95	-
ED_A4	22,51	19,58	-13,01%
ED_A5	-	19,38	-
ED_A6	-	20,71	-
ED_B1	23,21	18,92	-18,48%
ED_B2	23,21	18,92	-18,48%
ED_B3	-	20,16	-
ED_B4	-	17,31	-
ED_B5	35,89	37,13	3,48%
ED_C1	24,47	23,55	-3,73%
ED_C2	26,31	18,11	-31,16%
ED_C3	19,01	20,43	7,46%
ED_C4	37,50	15,88	-57,64%

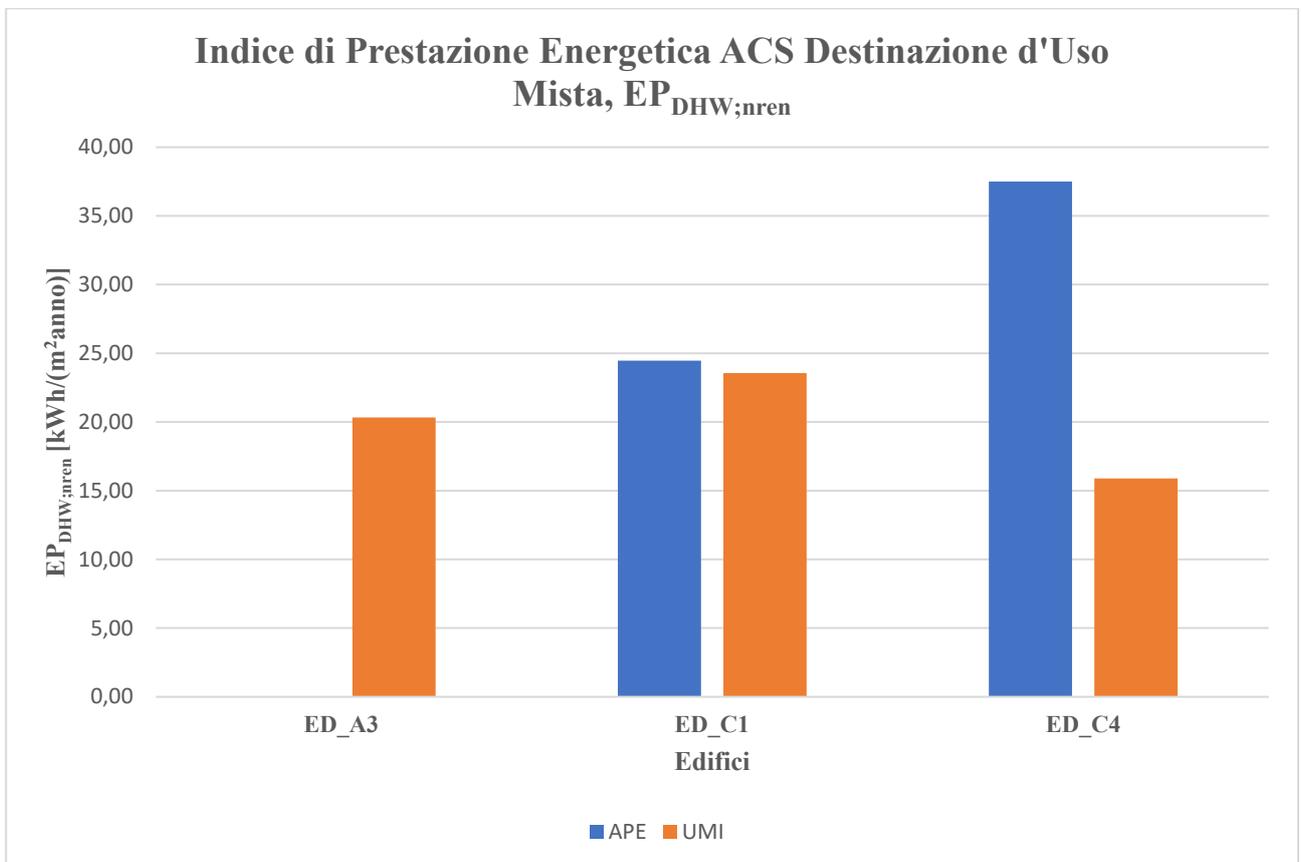
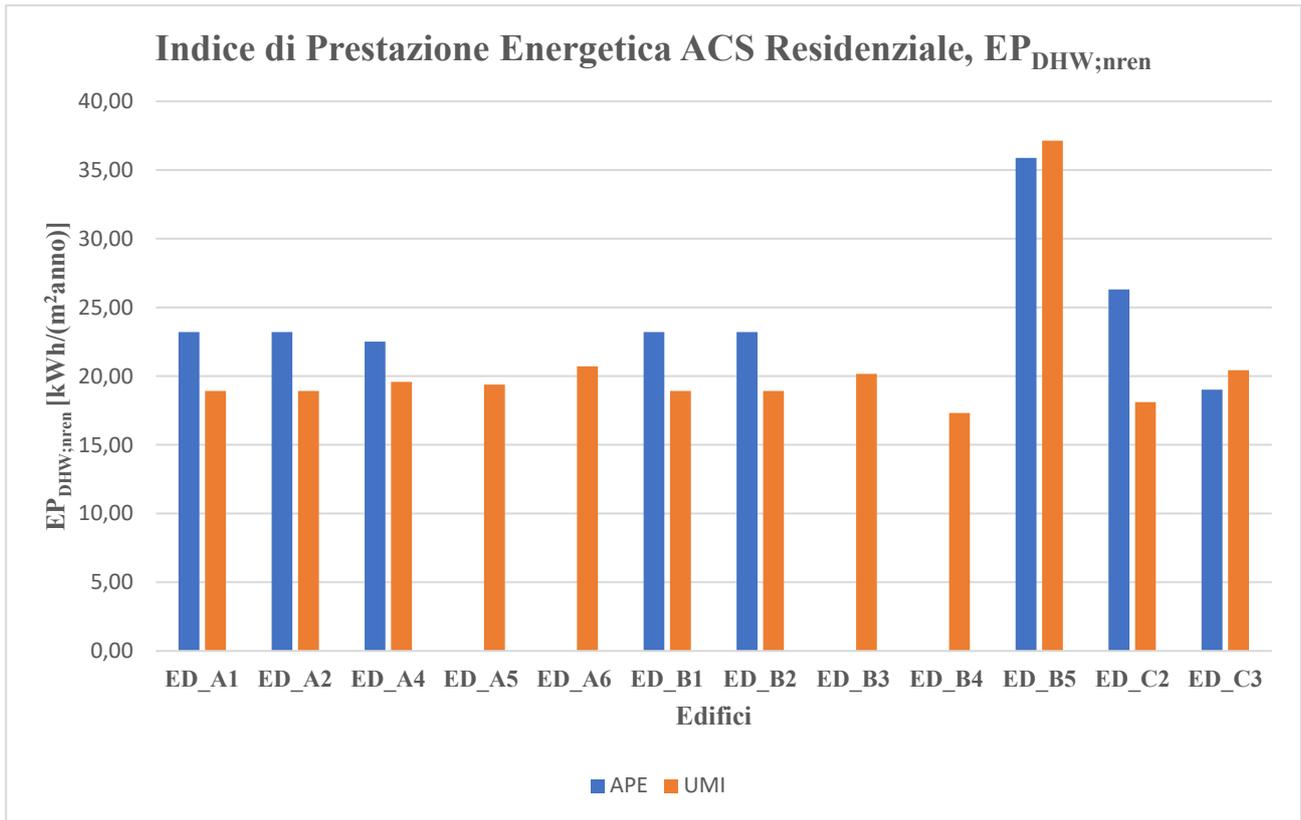
Nella tabella proposta di seguito, invece, vengono presentati i valori medi di indice di prestazione energetica validi per l'acqua calda sanitaria e i valori di devianza standard, raggruppati per l'intero isolato e per i fabbricati con destinazione d'uso residenziale e mista (*ED_C1*, *ED_C4*). Osservando i dati è notevole come, i parametri medi simulati per l'isolato e per gli edifici residenziali, risultano essere sottostimati, a causa dell'assenza nel calcolo delle dispersioni termiche associate ai vari sottosistemi. Comunque, tali valori sono da ritenersi accettabili e sono pari rispettivamente a: -22,97% e -15,46%. Tuttavia, così come visto per il calcolo del fabbisogno riscaldante, all'aumentare del numero di manufatti con una destinazione d'uso combinata e a parità di edifici residenziali, il primo valore proposto tenderebbe ad aumentare. Tale circostanza è già registrabile osservando i valori medi

dei due sottoinsiemi e dell'isolato nel suo complesso (-44,88%, -15,46% e -22,97%, rispettivamente). Con buona affidabilità si è anche stimato lo scarto quadratico medio dell'indice di prestazione energetica, valido per il sottoinsieme residenziale, il quale dato risulta essere pari a 4,37 kWh/(m²·anno).

Tab. 80 - Confronto $EP_{DHW;nren}$ raggruppati.

cod. edificio	$EP_{DHW;nren}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$EP_{DHW;nren;UMI}$ [kWh/(m ² ·anno)]	$\Delta_{UMI-APE}$
<i>Media ponderata su sup. climat. TOT isolato</i>	25,70	19,80	-22,97%
<i>Media ponderata su sup. climat. residenziale</i>	23,91	20,22	-15,46%
<i>Media ponderata su sup. climat. misto</i>	34,20	17,82	-47,88%
<i>s.q.m. TOT isolato</i>	-	7,88	-
<i>s.q.m. residenziale</i>	-	4,37	-
<i>s.q.m. misto</i>	-	15,30	-

Di seguito invece vengono proposti due grafici riassuntivi rappresentanti il fabbisogno energetico per la produzione di ACS, raggruppati per destinazione d'uso residenziale e mista. Con riferimento al primo L'aumento dell'indice di prestazione energetica dell' ED_{B5} , rispetto all'andamento medio, è determinato dal differente vettore energetico consumato per la produzione di ACS. Infatti, in quest'ultimo caso ci si riferisce a dei boiler elettrici con un $f_{p;nren;el} = 1,95$, rispetto alle caldaie a gas naturale installate negli altri edifici, ove $f_{p;nren;gas} = 1,05$. Con riferimento al secondo, invece, è possibile notare un consumo dell' ED_{C1} , in termini di fabbisogno superiore agli altri.



6.3. RIFERIMENTI

6.3.1. Legislazione vigente

[F-1] Decreto interministeriale 26 giugno 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, conosciuto come Decreto Requisiti Minimi.

6.3.2. Normativa Tecnica

[F-2] UNI/TS 11300-1, *Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*, 2014.

[F-3] UNI/TS 11300-2, *Prestazioni energetiche degli edifici – 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.

[F-4] ISO 18523-1:2016, *Energy performance of buildings. Schedule and condition of building, zone and space usage for energy calculation. Non-residential buildings*, 2016.

[F-5] prEN 16798-1:2019, *Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*, 2019.

7. CONCLUSIONI

Come è ormai noto, il 40% dell'energia consumata all'interno dell'Unione Europea deriva dal funzionamento degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, laddove l'80% di tale quota proviene direttamente dal parco edilizio. Pertanto, tenuto conto di questo fatto, non è più sufficiente orientare il *target* della simulazione al singolo edificio ma è necessario indirizzarlo verso un gruppo di questi, ritenuti più o meno simili fra di loro. In quanto all'interno di un ambiente densamente edificato, costellato di manufatti altamente energivori, il microclima che viene a generarsi nel suo intorno, origina degli squilibri termici, che tendono a considerare meno efficiente un edificio che effettivamente lo è. Ad esempio se, durante il periodo estivo, nei pressi dell'ambiente abitato, si registrano delle temperature superiori a quelle che si misurerebbero qualche chilometro più lontano, ciò implicherebbe che, assunto il medesimo sistema di raffrescamento, identiche caratteristiche per l'edificio e le stesse condizioni di comfort *indoor*, il funzionamento correlato all'impianto, e quindi il consumo ad esso associato, sarebbe differente, in relazione all'ubicazione considerata. Pertanto, un manufatto performante, circondato da altri che lo sono meno, è paragonabile ad una cattedrale nel deserto: infrastruttura tecnologicamente adatta, sorgente all'interno di un'ambiente inadeguato. Da quest'ultimo pensiero si sviluppa la volontà di svolgere la presente tesi.

Il 65% del parco edilizio italiano risulta essere costruito in periodi antecedenti alla prima prescrizione in materia energetica: L. 373/76. Pertanto, ammessa la presenza di un immobile, altamente disperdente, a cui è associato il funzionamento di sistemi di generazione vetusti e poco efficienti, la domanda che viene da porsi è come possono comportarsi gli occupanti all'interno di tale ambiente. Perché alla fine è la loro interazione ad influenzare un ulteriore sbilanciamento energetico, ritenuto non necessario e quindi evitabile. Dunque, uno degli scopi delle campagne di sensibilizzazione della popolazione, all'uso razionale dell'energia, instauratesi all'interno di una società sempre più consumistica, in tutti i settori, deve essere volta a far comprendere all'individuo che le sue azioni, seppur isolate, vanno a sommarsi a quelle di altri utenti parsimoniosi, a lui invisibili. La soluzione più adatta, per raggiungere questo traguardo insperato, potrebbe essere rappresentata dal ruolo educativo delle scuole. Se all'interno di queste istituzioni, fin dalla tenera età, si insegnassero gli effetti e le ricadute dei consumi energetici sull'ambiente prima e sulla popolazione poi, i giovani studenti crescerebbero con una cultura del risparmio, via via tendente a rafforzarsi con gli anni a seguire, ovviamente se alimentata o coltivata.

Con riferimento alla presente tesi, i risultati ottenuti possono essere raggruppati in funzione di tre macro-argomenti: la classificazione dei modelli inversi, raggruppati secondo il metodo *top-down* e *bottom-up*, utilizzabili per stimare il fabbisogno energetico di un parco edilizio; l'analisi di una serie di *software* di simulazione, adoperabili come simulatori energetici a scala urbana, che ha portato alla definizione di una matrice di confronto fra tre di questi (CitySim Pro, UMI e IES <VE>), ma ha posto le basi per definire le approssimazioni o semplificazioni adottate in una modellazione a scala distrettuale o urbana, rispetto a quella verificatasi sul singolo edificio; in ultimo, ma non per importanza, l'analisi sull'isolato alessandrino, è stato l'oggetto su cui si sono potuti formulare dei ragionamenti generici, come supporto a futuri sviluppatori, replicabili in condizioni e con finalità similari. Inoltre, grazie al confronto su un caso reale si è potuto esaminare la validità di quanto descritto. Pertanto, ciò che deve saltare all'occhio, è la volontà, concluso ogni macro-argomento, di proporre una visione generale o un modo generico di operare, in relazione al fenomeno osservato.

Per quanto concerne i modelli inversi, adoperabili per stimare il fabbisogno energetico di un parco edilizio, sono un utile strumento per comprendere le possibili vie alternative allo svolgimento delle

equazioni di bilancio. Alcuni degli strumenti proposti, nella maggior parte dei casi, concepiti all'interno di contesti accademici, risultano dei mezzi interessanti dal punto di vista didattico, ma di difficile applicabilità nella realtà e con riferimento al caso urbano. Questi, acquisiscono un maggiore interesse, laddove la condizione di replicabilità fra manufatti edilizi, parametri di input e condizioni al contorno non implichi l'insorgenza di un notevole grado di errore, nella lettura dei risultati.

Con riferimento al secondo macro-argomento, la ricerca e lo studio delle potenzialità, delle metodologie di calcolo adottate e degli output ottenibili dai programmi di simulazione, atti alla modellazione energetica di un contesto urbano, sono stati la condizione necessaria per concepire la matrice di confronto, proposta nell'*Allegato B*, fra modello BEM e UBEM. Da tale tabella, in via preliminare e generale, il futuro sviluppatore potrà comprendere, le semplificazioni che influenzeranno la simulazione urbana. Per quanto concerne l'*Allegato A*, invece, in cui viene proposto il paragone fra gli input e le metodologie di calcolo di tre differenti simulatori, in partenza, la volontà era quella di eseguire un confronto fra un numero superiore di programmi, rispetto a quelli presentati. Tuttavia, tale condizione non è stata resa percorribile, fondamentalmente a causa dell'impossibilità di avere un riscontro diretto con la maggior parte di questi, per le specifiche ragioni descritte alcune pagine fa.

Infine, per quanto concerne l'analisi proposta, questa parte dall'assunzione di porsi in una condizione a priori complessa e sfavorevole, così da poter confutare la validità del modello. Con questo si intende che volutamente si è scelto di partire da dei riferimenti assolutamente accessibili alla collettività, non completi in tutte le loro parti, con materiali di supporto privi di qualsivoglia autorizzazione o rilasciati da particolari enti o istituzioni. In tal modo, il futuro sviluppatore, il quale si auspica possa attingere in maniera preliminare ad un maggior numero di fonti informative, aventi una connotazione verosimile e non generale, già dalle prime fasi progettuali è cosciente della soglia limite dell'errore, derivante dalla percorribilità della metodologia adottata. La complessità si è ricercata anche andando a considerare come caso studio un isolato in cui si riscontrasse la presenza di manufatti sia residenziali sia con una destinazione d'uso mista, per poter valutare la combinazione dei diversi eventi, sui risultati finali. Pertanto, è lecito ipotizzare che all'aumentare di informazioni reali, l'incertezza derivante dai modelli di calcolo tenda ad assottigliarsi, divenendo sempre più affidabili. I risultati fuoriusciti dall'analisi proposta hanno evidenziato, in prima battuta, un'attendibilità migliore nel calcolo da parte di UMI, al contrario del sovradimensionamento registrato per CitySim Pro, attraverso cui, grazie alla sopracitata condizione, si tenda a stimare con maggior precisione, pari a circa il 3%, gli edifici aventi una destinazione d'uso mista. Inoltre, nel caso in cui si volesse orientare lo studio dal punto di vista dell'isolato o del quartiere, dall'analisi proposta si è registrata la possibilità di percorrere tale via nel caso in cui esistesse la maggioranza dei fabbricati con un'unica destinazione d'uso, rispetto a quelli con una di tipo combinata. Con riferimento ai dati fuoriusciti dall'analisi, per l'agglomerato di manufatti edilizi, è registrabile uno scostamento percentuale, rispetto ai dati estratti dall'APE, pari a -14% per UMI e di circa il 21% per CitySim Pro. Altrimenti, riproponendo i ragionamenti perseguiti, ad un parco edilizio, con un'unica condizione di utilizzo, lo sviluppatore fin dalle prime fasi, è in grado di comprendere i manufatti maggiormente energivori all'interno di un certo isolato o quartiere. Anche in questo caso, l'incertezza letta fra i valori medi dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento è pari a circa il -10%. E solo allora sarà possibile dare inizio ad una campagna di studi energetici mirati sugli edifici, ritenuti maggiormente impattanti. A questi, si dovranno affiancare delle politiche di incentivazione nazionale, riprese dai comuni interessati, volte ad incoraggiare azioni di riqualificazione energetica del parco edificato. L'analisi di quartiere detiene anche la caratteristica di poter essere uno strumento di sensibilizzazione nei confronti della popolazione. Così facendo gli abitanti dei manufatti edilizi, potranno essere coscienti

della loro impronta energetica, raffrontata con il contesto a loro limitrofo. I proprietari degli immobili, tenuto conto di tali concetti, invece, investendo sul proprio edificio, ne faranno aumentare il loro valore e prestigio.

Fra gli sviluppi futuri sicuramente implementabili, esiste l'opportunità di estendere la metodologia proposta ad un parco edilizio sempre più esteso, su cui, possibilmente, si possano effettuare degli interventi di riqualificazione energetica, escludendo preliminarmente quindi manufatti di particolare pregio storico e/o architettonico. In tal modo, l'amministrazione comunale alessandrina, ma più in generale, quella di qualsiasi città virtuosa e ambiziosa, conoscendo i punti nevralgici ed energivori del proprio patrimonio edificato, potrà destinare in maniera mirata e puntuale le risorse pubbliche, sovente limitate. Così facendo, in una visione si spera non troppo utopica, ogni comune possiederebbe una banca dati di notevole importanza per ogni edificio coinvolto, con un livello di dettaglio più specifico rispetto a quello leggibile dagli *Attestati di Prestazione Energetica* oppure dalle rilevazioni estraibili dal catasto impianti, le quali fonti informative rappresentano comunque due punti cardine, all'interno del panorama regionale. La mole di questi dati, con riferimento ad ogni singolo edificio, potrebbe essere incasellata all'interno di schede riepilogative (similari a quelle proposte nell'*Allegato D*), archiviate all'interno di uno spazio virtuale associato ad un oggetto digitale tridimensionale dell'ambiente edificato: un modello BIM. Quest'ultimo, consultabile da parte della collettività, secondo precise restrizioni riguardo all'accessibilità di determinate informazioni ritenute sensibili, può essere un utile strumento per sensibilizzare la popolazione residente, non necessariamente a riqualificare il proprio immobile ma anche a comprendere l'uso razionale che si dovrebbe avere nei confronti dell'energia, evitando quindi inutili sprechi.

(ALLEGATO A)

MATRICE DI CONFRONTO SOFTWARE

		Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>
INFORMAZIONI GENERALI	DATI DIMENSIONALI	Modellatore 3D	SketchUp, Rhino	Rhino 6.0 (o superiore)	ModellIT, SketchUp, Revit
		Altezza dell'edificio	X	X	X
		Altezza d'interpiano	X	X	X
		Area dell'edificio	X	X	X
		Volume dell'edificio	X	X	X
		Numero di piani	X	X	X
		Temperatura di comfort invernale	X	X	X
	COMFORT	Temperatura di comfort estiva	X	X	X
		Tasso di ricambio d'aria	X	X	X
		Metodologia per valutare la domanda energetica	Modello ingegneristico	Modello ingegneristico	Modello ingegneristico
	VARIE	Modellazione della domanda energetica	Endogeno	Endogeno	Endogeno
		min <i>time step</i> di simulazione	1 ora	1 ora	1 minuto
		max <i>time step</i> di simulazione	1 anno	1 anno	1 anno
		Output <i>time step range</i>	Orario, giornaliero, mensile o annuo	Orario, giornaliero, mensile o annuo	6, 10, 30 o 60 minuti
		Periodo di "precondizionamento"	-	-	Da 0 a 365 giorni
		Dati climatici	Necessari dati orari importabili da database metereologici in .CLI e .HOR	Necessari dati orari importabili da database in .EPW, dati microclimatici gestibili da UWG	Necessari dati orari importabili da database in .EPW o .FWT
		Integrazione GIS	-	-	X
		Disponibilità	Necessaria autorizzazione	Libera	Necessaria licenza
		Riferimenti	[R]; [RR]; [KA]	[W]; [WW]	[AP]
MODELLO DI CALCOLO	MODELLO TERMICO	Procedura di calcolo	Il calcolo del modello termico, reiterativamente quantificato ora per ora, avverrà in maniera dinamica semplificata. Ogni zona termica verrà discretizzato in due nodi capacitivi, in cui uno racchiude le prestazioni energetiche dei componenti massivi (pareti, pavimenti, soffitti) e l'altro quella dei materiali leggeri (arredamenti e volume d'aria interno). La resistenza termica dei componenti di involucro sarà valutata complessivamente e sarà contenuta in due resistenze cosiddette di "parete"	EnergyPlus, motore energetico di UMI, effettuerà il calcolo in maniera reiterata con riferimento ad una simulazione termica dinamica	ApacheSim è un software di simulazione termica dinamica, in cui la convergenza iterata del bilancio termico avverrà mediante funzioni lineari
		Conduzione	Calcolata attraverso le funzioni di trasferimento	Uni-dimensionale a differenze finite	Uni-dimensionale a differenze finite

		Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>
		Capacità termica interna	La capacità termica interna sarà data dal volume d'aria del sistema termodinamico e dagli arredi	La capacità termica interna è funzione dei materiali da costruzione adoperati e dell'area di massa interna compresa nello spazio	La capacità termica interna è funzione dei materiali da costruzione adoperati e dell'area di massa interna compresa nello spazio
		Convezione interna	Il coefficiente liminare interno convettivo $h_{c,i}$ è specificato dall'utente	Il coefficiente liminare interno convettivo $h_{c,i}$ è specificato dall'utente	Valutabile con coefficienti convettivi predefiniti oppure variabili in funzione di: orientamento della superficie, velocità media dell'aria interna e temperatura superficiale interna
		Convezione esterna	Il coefficiente liminare esterno convettivo $h_{c,e}$, stimato ora per ora, è calcolato in funzione della velocità e della direzione del vento e del valore di temperatura esterna	Il coefficiente liminare esterno convettivo $h_{c,e}$ è funzione della velocità del vento e della scabrezza superficiale	Funzione di un coefficiente di scambio di calore dipendente dalla velocità del vento, valutato per ogni <i>time step</i>
		Radiazione ad alta lunghezza d'onda interna	Non valutata	Lo scambio radiativo delle superfici interne, a cui parteciperanno anche i gas contenuti nell'ambiente, avviene attraverso un fattore di forma F_{ij}	Lo scambio radiativo delle superfici interne, a cui parteciperanno anche i gas contenuti nell'ambiente, avviene attraverso un fattore di forma F_{ij}
		Radiazione ad alta lunghezza d'onda esterna	Calcolata per ogni <i>time step</i>	Calcolata per ogni <i>time step</i>	Calcolata per ogni <i>time step</i>
		Radiazione a bassa lunghezza d'onda	La radiazione solare diretta e diffusa, calcolata con riferimento a ciascun <i>time step</i> , viene suddivisa in due contributi: quella scambiata dalla parete e quella entrante nella zona termica	La radiazione solare diretta e diffusa, calcolata con riferimento a ciascun <i>time step</i> , viene suddivisa in due contributi: quella scambiata dalla parete e quella entrante nella zona termica	La radiazione solare diretta e diffusa, calcolata con riferimento a ciascun <i>time step</i> , viene suddivisa in due contributi: quella scambiata dalla parete e quella entrante nella zona termica
		Modello del cielo	Isotropo	Anisotropo	Isotropo o anisotropo
		MODELLO IMPIANTO	Descrizione	L'interazione edificio/impianto, trattata in maniera dinamica e iterativa, si rifà alla presenza di un sistema analitico basato su equazioni di regressione, introdotte per stimare la curva delle prestazioni del generatore considerato	L'interazione edificio/impianto, trattata in maniera dinamica e iterativa, si rifà alla presenza di un sistema ideale con la possibilità di inserire un limite sulla capacità termica, sulla portata oppure su nessuno dei due
INVOLUCRO	COMPONENTE OPACO	Spessore del componente opaco	X	X	X
		Conducibilità termica	X	X	X
		Densità	X	X	X
		Scabrezza	-	X	X
		Calore specifico	X	X	X
		Resistenza termica liminare interna/esterna	-	-	X
		Coefficiente di assorbimento visibile	-	X	-
		Coefficiente di assorbimento solare	X	X	-

	Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>	
	Coefficiente di assorbimento solare frontale/posteriore	-	-	X	
	Emittanza termica	-	X	-	
	Emissività ad alta lunghezza d'onda	X	-	-	
	Emissività della superficie interna/esterna	-	-	X	
	Resistenza alla diffusione dell'umidità	-	X	X	
	Energia grigia (produzione, trasporto, smaltimento)	X	-	-	
	Carbonio impiegato (produzione, trasporto, smaltimento)	X	-	-	
	Tasso di sostituzione	-	X	-	
	Intervallo di sostituzione	-	X	-	
	Carbonio emesso per il trasporto	-	X	-	
	Distanza di trasporto	-	X	-	
	Energia utilizzata per il trasporto	-	X	-	
	COMPONENTE VETRATO	Descrizione	L'inserimento dei componenti vetrati avviene a partire dalla posizione baricentrale della facciata del piano. La dimensione delle finestre è funzione della frazione vetrata, identifica per ciascuna facciata	L'inserimento dei componenti vetrati avviene a partire dalla posizione baricentrale della facciata del piano. La dimensione delle finestre è funzione della frazione vetrata, identifica per ciascuna facciata	L'ubicazione dei componenti vetrati è univocamente definita nello spazio. La dimensione delle finestre può avvenire considerando la frazione vetrata oppure per via analitica
		Spessore della superficie vetrata	-	X	X
		Conducibilità termica	-	X	X
		Trasmittanza termica del serramento	X	-	-
		Fattore solare della finestra	X	-	-
		Densità	-	X	-
		Resistenza termica liminare interna/esterna	-	-	X
		Proprietà ottiche vetro	-	X	X
		Coefficiente di riflessione solare frontale/posteriore	-	X	X

		Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>
		Coefficiente di trasmissione visibile	-	X	X
		Coefficiente di riflessione visibile frontale/posteriore	-	X	X
		Coefficiente di trasmissione infrarosso	-	X	-
		Indice di rifrazione	-	-	X
		Emissività frontale/posteriore infrarossa	-	X	X
		Fattore di sporcizia	-	X	-
		Frazione vetrata (N, S, E, O, copertura)	X	X	X
		Posizione precisa componenti vetrati	-	-	X
		Frazione apribile	X	X	-
		Frazione area di telaio	-	-	X
		Coefficiente di assorbimento solare telaio	-	-	X
		Resistenza termica telaio	-	-	X
	DISPOSITIVO OSCURANTE	Profilo di utilizzo orario	-	X	X
		Set-point di radiazione solare del sistema oscurante	X	X	-
		Coefficiente di trasmissione solare	-	X	X
		Fattore correttivo del dispositivo oscurante	X	-	-
		Fattore correttivo resistenza termica notte/giorno	-	-	X
Fattore di trasmissione di diffusione cielo/suolo	-	-	X		
CARICHI TERMICI ENDOGENI	OCCUPANTI	Numero di occupanti	X	-	X
		Occupanti per metro quadrato	X	X	X
		Profilo occupazionale orario	X	X	X
		Frazione sensibile	X	-	X
		Frazione latente	X	-	X
		Frazione radiativa	X	-	-

		Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>	
	DISPOSITIVO ELETTRICO	Potenza installata per dispositivo	X	-	X	
		Potenza installata per metro quadrato	-	X	X	
		Profilo orario di utilizzo	X	-	X	
		Frazione sensibile	-	-	X	
		Frazione radiativa	X	-	X	
		Frazione convettiva	X	-	-	
	APPARECCHIO ILLUMINANTE	Potenza installata per apparecchio	X	-	X	
		Potenza installata per metro quadrato	-	X	X	
		Densità di potenza installata	-	-	X	
		Profilo orario di utilizzo	X	-	X	
		Frazione sensibile	-	-	X	
		Frazione radiativa	X	-	X	
		Frazione convettiva	X	-	-	
		<i>Target</i> di illuminamento	-	X	X	
		Profilo orario di attenuazione luminosa	-	X	X	
	IMPIANTO	CLIMATIZZAZIONE	Profilo orario di utilizzo impianto di riscaldamento	-	X	-
			Massima capacità riscaldante	-	X	X
			Limitazione capacità termica per riscaldamento	-	-	X
Massima portata di fluido riscaldante			-	X	-	
Efficienza stagionale generatore			-	-	X	
COP			-	X	X	
Frazione radiativa dovuta al riscaldamento			-	-	X	
Profilo orario di utilizzo impianto di raffrescamento			-	X	-	
Massima capacità raffrescante			-	X	X	
Limitazione capacità termica per raffrescante			-	-	X	

	Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>	
	VENTILAZIONE	Massima portata di fluido raffrescante	-	X	-
		EER nominale	-	X	X
		EER stagionale	-	-	X
		SSEER	-	-	X
		Frazione radiativa dovuta al raffrescamento	-	-	X
		Profilo orario di utilizzo impianto di ventilazione meccanica	-	X	-
		Minima portata di aria pulita per area	-	X	-
		Minima portata di aria pulita per persona	-	X	-
		Tipologia di economizzatore	-	X	-
		Tipologia di recuperatore di calore	-	X	-
		Efficienza recuperatore di calore latente	-	X	X
		Efficienza recuperatore di calore sensibile	-	X	X
		Temperatura aria di ritorno recuperatore di calore	-	-	X
	ACS	Profilo orario di utilizzo	-	X	X
		Efficienza di erogazione	-	-	X
		Temperatura fluido in mandata	-	X	X
		Temperatura in ingresso acqua fredda	-	X	X
		Volumi orari per metro quadrato di superficie	-	X	-
		Volumi orari per persona	-	-	X
	VENTILAZIONE	Presenza del sistema di ventilazione naturale	-	X	X
		Minima temperatura esterna ventilazione naturale	-	X	-
		Max temperatura esterna ventilazione naturale	-	X	-
		Massima umidità relativa ventilazione naturale	-	X	-
		Profilo orario di utilizzo del sistema di ventilazione naturale	-	X	X
		Temperatura di <i>set-point</i> zona ventilata naturalmente	-	X	-

	Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>	
	ENERGIA AUX.	Profilo orario di temperatura	-	-	X
		Presenza del sistema di ventilazione meccanica	-	X	X
		Ricambi orari ventilazione meccanica	-	X	X
		Profilo orario di utilizzo del sistema di ventilazione meccanica	-	X	X
		Temperatura di <i>set-point</i> dell'aria immessa meccanicamente in ambiente	-	X	-
	CALDAIA	Valore di energia ausiliaria	-	-	X
		Energia ausiliaria stand-by	-	-	X
		Energia ausiliaria consumata da ventilatori	-	-	X
	SERBATOIO DI ACCUMULO	Massima potenza termica erogabile	X	-	-
		Efficienza termica	X	-	-
		Combustibile utilizzato dal generatore	X	-	-
	TELERISCALDAMENTO	Calore specifico	X	-	-
		Volume	X	-	X
		Perdite energetiche dell'accumulatore	X	-	X
		Densità fluido	X	-	-
		Temperatura di ritorno del fluido	X	-	-
		Temperatura in mandata del fluido	X	-	-
	TELERISCALDAMENTO	Temperatura di mandata da centrale di quartiere	X	-	-
		Efficienza della pompa di circolazione della rete	X	-	-
		Rapporto fra le perdite di carico locali e di attrito	X	-	-
		Approfondimento della tubazione di mandata	X	-	-
		Approfondimento della tubazione di mandata	X	-	-
		Distanza orizzontale fra due tubazioni parallele	X	-	-
		Conduttività termica del terreno	X	-	-
		Temperatura media annuale del terreno	X	-	-

		Variabile	CITYSIMPRO	UMI	IES <VE>
		Lunghezza <i>i-esimo</i> tratto di tubazione	X	-	-
		Spessore <i>i-esimo</i> tratto di tubazione	X	-	-
		Conducibilità termica <i>i-esimo</i> strato isolante	X	-	-
	PANNELLO SOLARE	Azimuth	X	-	X
		Inclinazione rispetto all'orizzontale	X	-	X
		Area del collettore	X	-	X
		Efficienza pannello solare	X	-	X
		Comportamento termico con il circuito aperto	X	-	-
		Dipendenza dalla temperatura del coefficiente di perdita di calore	X	-	-
		Fattore di ombreggiamento	-	-	X
		Fattore di degrado	-	-	X
		Coeff. perdite di calore del primo ordine, a_1	-	-	X
		Coeff. perdite di calore del primo ordine, a_2	-	-	X
		Portata	-	-	X
		Potenza della pompa	-	-	X
	PANNELLO FOTOVOLTAICO	Potenza nominale del pannello fotovoltaico	X	-	-
		Tensione d'esercizio ottimale	X	-	-
		Comportamento termico con il circuito aperto	X	-	-
Temperatura dell'efficienza relativa		X	-	-	
Temperatura di riferimento per l'utilizzo		X	-	-	
Area delle celle		X	-	-	

(ALLEGATO B)

**LINEE GUIDA MODELLAZIONE ENERGETICA PARCO
EDILIZIO**

	Variabile	BEM	UBEM
INFORMAZIONI GENERALI	Geometrie	Geometrie complesse vengono modellate in funzione dei limiti imposti dal <i>software</i> considerato	Le geometrie tridimensionali risultano maggiormente semplificate, pertanto, all'interno di un contesto urbano, si è più prossimi ad una modellazione di masse, cioè l'estrusione in altezza di un'impronta areale
	Dati climatici	La struttura e la caratterizzazione dei dati climatici è funzione della tipologia di <i>software</i> da cui verranno letti	Ai dati climatici normalmente inseriti in un programma di simulazione energetica (temperatura, radiazione globale, diretta, diffusa, ecc.), possono essere associate informazioni concernenti le isole di calore urbano. Queste, frutto dell'azione antropica, implicheranno l'insorgenza di microclimi differenti all'interno dell'ambiente cittadino
INVOLUCRO	Componente opaco	La modellazione dei componenti opachi di involucro è univocamente definita nello spazio. Le caratteristiche termofisiche si adeguano al numero e alla tipologia di materiali utilizzati	La definizione degli elementi tecnici (chiusura verticale, orizzontale superiore ed inferiore) può avvenire in funzione dell'orientamento della facciata oppure per l'intero edificio. Nel primo caso, ciò implicherà che, fissato un determinato prospetto, se la stratigrafia del componente di involucro variasse lungo l'asse verticale od orizzontale della stessa, lo sviluppatore, per ovviare a questo, dovrebbe frammentare la zona termica in funzione del numero di configurazioni possibili, le cui operazioni sfocerebbero inevitabilmente in un processo privo di senso logico ed energetico. Nel secondo caso, invece, si potrà attribuire, per ciascun manufatto, solamente un pacchetto stratigrafico per ogni elemento tecnico. In entrambe le situazioni questo provocherà delle semplificazioni all'interno del modello termico, poiché si dovrà assumere che la stratigrafia di certe porzioni di facciata sia uguale alla frazione preponderante, anche se questo non corrisponderà completamente al vero
	Componente vetrato	L'ubicazione e la dimensione dei serramenti è univocamente definita nello spazio. Le caratteristiche termofisiche si adeguano alla tipologia di vetratura e di telaio installato	L'inserimento dei componenti vetrati avviene a partire dalla posizione baricentrale della facciata del piano o dell'edificio. L'apertura delle finestre è funzione della frazione vetrata (percentuale trasparente rispetto al totale della parete), identica o variabile per ciascuna facciata. Ciò implica che l'utente non potrà gestire né la posizione spaziale dei serramenti all'interno della facciata, né l'effettiva dimensione relativa a quel punto. Tale approssimazione, induce delle inesattezze nella considerazione della sorgente solare e nel calcolo delle ombre portate. La compilazione delle caratteristiche termofisiche del componente vetrato generalmente non considera la presenza del telaio, che potrà essere tenuto in conto, solamente laddove è possibile specificare la trasmittanza termica del serramento
	Dispositivi oscuranti	La trattazione dei dispositivi oscuranti interni od esterni avviene in funzione della conformazione dell'apparecchio offuscante: superficie uniforme (tendaggi, serrande) oppure a lamelle (persiana, tenda veneziana). Per entrambi saranno definite le proprietà termiche e radiative di ciascun sistema, a cui si aggiungeranno, nel secondo caso, le caratteristiche dimensionali, l'inclinazione e la posizione delle lamelle. Il profilo di apertura e chiusura del dispositivo oscurante è funzione del <i>time step</i> considerato per il calcolo	La definizione del dispositivo oscurante avviene in maniera semplificata introducendo il <i>set-point</i> irraggiante oltre il quale il meccanismo entra in funzione e la resistenza termica dello stesso, oppure introducendo un fattore correttivo che valuti gli effetti derivanti dalla presenza o dall'assenza del dispositivo. Il profilo di attivazione, in alcuni casi, può essere definito dall'utente oppure viene implicitamente considerato in funzione dei dati climatici del sito di interesse

	Variabile	BEM	UBEM
	Ponti termici	Il calcolo della trasmittanza termica lineica può avvenire considerando un calcolo numerico, agli elementi finiti oppure adoperando l'atlante dei ponti termici, in funzione della discontinuità geometrica e/o materica valutata	I ponti termici generalmente non vengono tenuti in considerazione; tutt'al più, per tenerne conto, può essere introdotto un fattore correttivo agente sulla trasmittanza termica dei componenti di involucro
CARICHI TERMICI ENDOGENI	Apporti termici interni	La valutazione degli apporti termici interni, definibili in maniera puntuale o parametrica, la cui complessità è funzione della finalità progettuale da perseguire, avviene definendo il valore, il profilo temporale e le caratteristiche termofisiche di: occupanti, apparecchi e motori elettrici, dispositivi luminosi e tutte le altre fonti endogene che garantiscano all'interno della zona termica un certo <i>heat gain</i>	L'analisi dei carichi endogeni, riferiti alla zona termica, non avverrà in maniera puntuale (considerando, ad esempio, l'interazione dell' <i>i-esima</i> lampadina all'interno dell'ambiente), ma tale stima dovrà essere effettuata su base parametrica (valutando, per esempio, la quota termica proveniente dagli apparecchi elettrici in funzione dei metri quadrati di superficie)
	Occupanti	La definizione del comportamento umano può essere considerata in funzione di due modelli differenti: deterministico o stocastico. Per ognuno di questi è individuabile un modello basato sullo spazio o sulla persona	Il comportamento degli occupanti all'interno dell'ambiente urbano può essere considerato in maniera stocastica o deterministica in funzione dello spazio considerato. In questo senso, quindi, non è possibile considerare in modo olistico l'interazione del singolo individuo all'interno del contesto urbano
IMPIANTO	Impianto	La definizione dell'impianto avviene considerando, in via analitica o ideale, tutti i sottosistemi tecnologici: generazione, accumulo, distribuzione, controllo ed emissione. La trattazione completa di ogni componente avverrà valutando l'interazione di questo con l'ambiente in cui è installato, iterando il calcolo in modo tale che le perdite di calore vengano compensate in funzione delle richieste della zona termica	La trattazione dell'impianto si rifà alla presenza di un sistema analitico o ideale, laddove in quest'ultimo caso si porranno dei limiti di funzionamento (capacità termica o massima portata riscaldante/raffrescante erogabile). In entrambi i casi, il <i>focus</i> del calcolo sarà rivolto soprattutto alla tipologia e alle caratteristiche principali del generatore adoperato (potenza, efficienza, vettore energetico, ecc.). La definizione dell'impianto è indirizzata soprattutto a valutare in maniera approssimata i consumi energetici, considerando in maniera semplificata oppure trascurando, le perdite di calore in ambiente, causate dal funzionamento dei sottosistemi impiantistici (emissione, regolazione, distribuzione e accumulo)
ZONA TERMICA	Partizioni	Le proprietà termofisiche e la posizione delle partizioni orizzontali e verticali è univocamente definita all'interno del modello energetico	La suddivisione dello spazio interno mediante l'utilizzo di partizioni verticali e/o orizzontali è limitata. Sovente la caratterizzazione stratigrafica di quelle verticali, individuabile attraverso un fattore correttivo, è volta al mero calcolo della capacità termica dell'ambiente di progetto. Per quelle orizzontali, invece, meglio gestibili da parte dell'utente e dell'algoritmo, fissato un certo interpiano, è volta all'identificazione degli spazi elementari, suddivisi per piano, appartenenti alla medesima zona termica. In altri casi, i presenti elementi tecnici, soprattutto quelli verticali, non possono essere resi definibili
	Zona termica	L'individuazione delle zone termiche avverrà di concerto con: le differenti condizioni d'uso, la complessità dell'edificio, del sistema impiantistico oppure di concerto con i confini legislativi prestabiliti per quell'unità edilizia	L'individuazione delle zone termiche, in alcuni casi, è influenzata dalla non esplicita modellazione di tramezzi o partizioni interne che vadano a confinare le diverse aree. In questo senso, l'utente non è agevolato ad un eccessivo partizionamento del modello. Ciò detto, la zona termica coinciderà con l'intero edificio. Tale fatto inesorabilmente avrà delle ricadute anche nella definizione delle zone termiche non climatizzate, nella valutazione dell'impianto e nella considerazione dei carichi termici endogeni, in quanto questi ultimi due saranno attribuiti all'area individuata. In certi casi, la zona termica verrà automaticamente partizionata in cinque aree da un algoritmo. Questo individuerà le quattro zone di "perimetro" e quella di "nucleo", per limitare il sottodimensionamento della domanda energetica simulata. In presenza di edifici a torre di grandi dimensioni, in cui esista la volontà di partizionare termicamente gli spazi, la via meno insidiosa, risulta essere la creazione di volumi, magari suddivisi per piano, posti in adiacenza verticale fra di loro, ai quali si attribuiranno diverse zone termiche

(ALLEGATO C)

STRALCIO PLANIMETRICO ISOLATO – SCALA 1:500

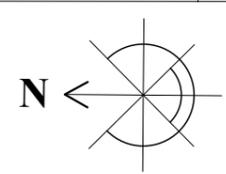
STRALCIO PLANIMETRICO ISOLATO - SCALA 1:500

viale Teresa Michel

via Gaetano Donizetti

via Santorre di Santarosa

via Gioacchino Rossini



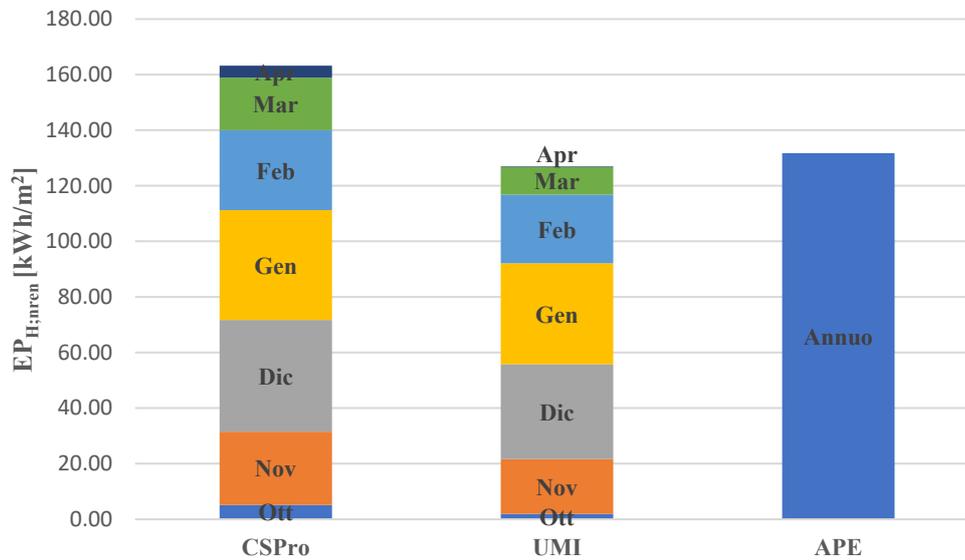
(ALLEGATO D)

SCHEDE RIEPILOGATIVE EDIFICI

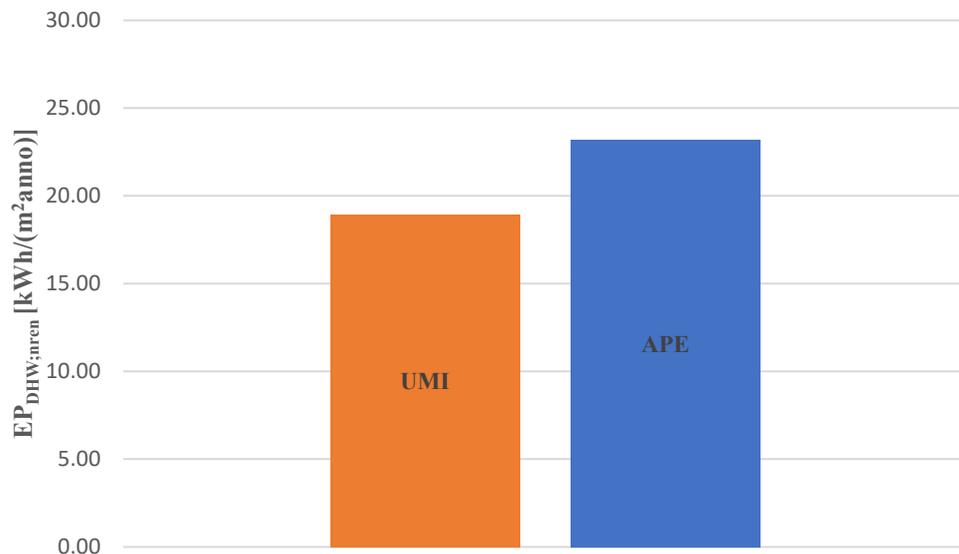
cod. ED_A1																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti		n. piani 4																							
Destinazione d'uso Residenziale		n. unità abitative 16																							
Ubicazione via Teresa Michel, 4		Superficie totale climatizzata 1220 m²																							
Anno di costruzione 1957		Volume lordo, V 6169 m³																							
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio		Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																							
																									
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																			
IV_02		IOCT_02		IOS_03		S_03																			
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																		
II	Laterizio forato, sp. 8 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	6 %																		
III	Intercapedine d'aria, sp. 6 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																		
IV	Laterizio forato, sp. 12 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 3 cm	-	22 %																		
V	Intonaco interno, sp. 2 cm	V	-	V	Pignatta, sp. 20 cm	O	S-E																		
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	29 %																		
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																		
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	9 %																		
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,750																			
<i>sp. totale 30 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 40 cm</i>																					
U = 1,166 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,634 W/m²K		U_w = 2,8 W/m²K																			
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico							
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		2540 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²												
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²												
Set-points				Riscaldamento				ACS																	
Temperatura di <i>set-point</i> invernale		20 °C		Potenza generatore		180 kW		Consumo annuo ACS		0,56 m³/(m²·anno)															
Temperatura di <i>set-point</i> estiva		26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,784		Vettore energetico		Gas naturale															
				Vettore energetico		Gas naturale																			

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento			ACS	
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	39,56	36,28	1,62		
Febbraio	28,77	24,73	1,46		
Marzo	18,92	9,93	1,62		
Aprile	4,26	0,26	1,56		
Maggio	0,00	0,00	1,62		
Giugno	0,00	0,00	1,56		
Luglio	0,00	0,00	1,62		
Agosto	0,00	0,00	1,62		
Settembre	0,00	0,00	1,56		
Ottobre	5,12	1,91	1,51		
Novembre	26,38	19,67	1,56		
Dicembre	40,18	34,22	1,62		
<i>Tot.</i>	<i>163,20</i>	<i>127,00</i>	<i>18,92</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	163,20	127,00	131,72	18,92	23,21
△%	23,90 %	-3,58 %	-	-18,48 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



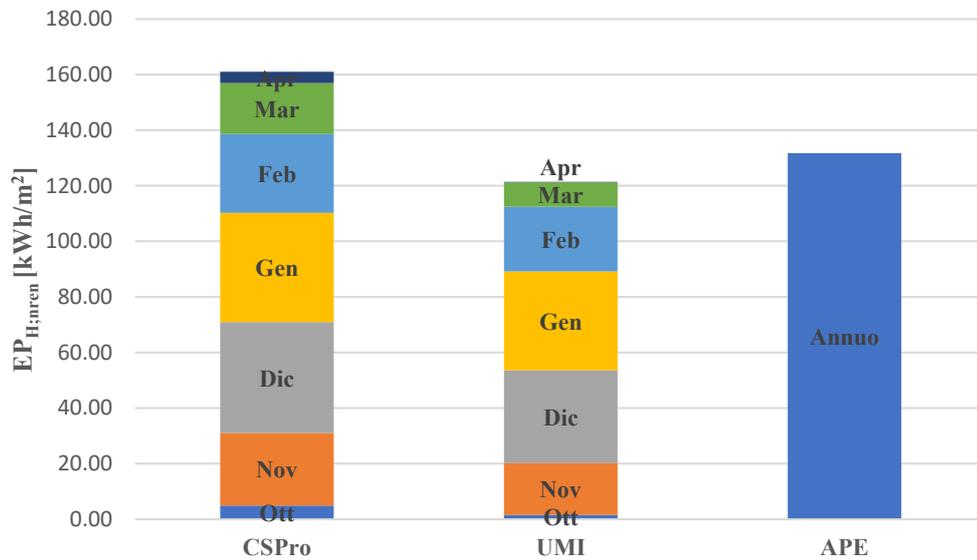
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



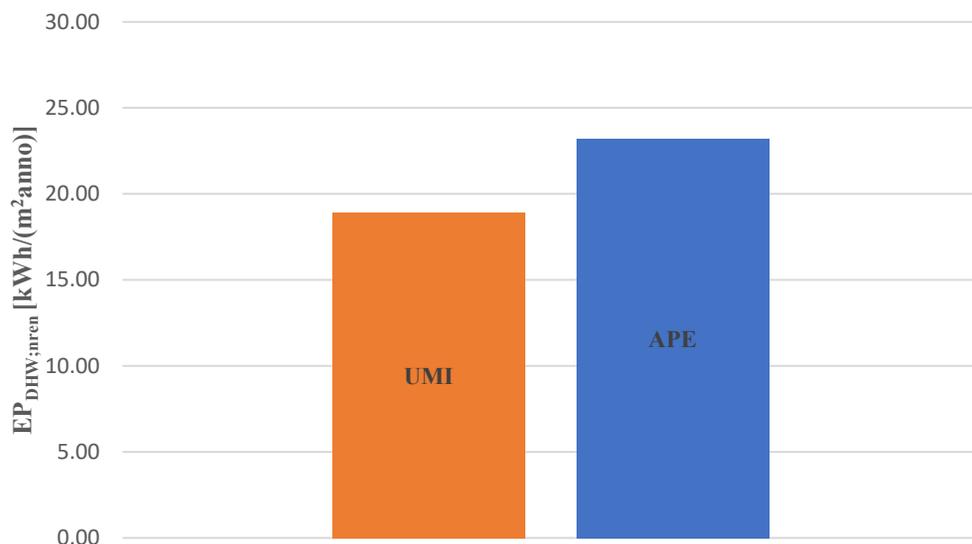
cod. ED_A2																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 4																								
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 16																								
Ubicazione viale Teresa Michel, 6	Superficie totale climatizzata 1220 m²																								
Anno di costruzione 1957	Volume lordo, V 6169 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																								
Involucro verticale	Involucro orizzontale inf.	Involucro orizzontale sup.	Serramenti																						
IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03																						
I Intonaco esterno, sp. 2 cm	I Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I Tegole in argilla, sp. 3 cm	N N-E																						
II Laterizio forato, sp. 8 cm	II CLS alleggerito, sp. 10 cm	II Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	- 6 %																						
III Intercapedine d'aria, sp. 6 cm	III Massetto, sp. 3 cm	III Massetto, sp. 2 cm	E N-O																						
IV Laterizio forato, sp. 12 cm	IV Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV CLS armato, sp. 3 cm	- 22 %																						
V Intonaco interno, sp. 2 cm	V -	V Pignatta, sp. 20 cm	O S-E																						
VI -	VI -	VI Intonaco interno, sp. 2 cm	- 29 %																						
VII -	VII -	VII -	S S-O																						
VIII -	VIII -	VIII -	- 9 %																						
IX -	IX -	IX -																							
<i>sp. totale 30 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>																							
<i>sp. totale 40 cm</i>		g_{gl,n} = 0,750																							
U = 1,166 W/m²K	U = 1,258 W/m²K	U = 1,634 W/m²K	U_w = 2,8 W/m²K																						
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico							
Densità occupanti	0,035 pers./m²	Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		2540 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²													
Apporto convettivo	41 W/pers.	Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²													
Set-points				Riscaldamento				ACS																	
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		180 kW		Consumo annuo ACS		0,56 m³/(m²·anno)																
Temperatura di set-point estiva	26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,784		Vettore energetico		Gas naturale																

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento			ACS	
	EP _{H;aren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;aren;UMI} [kWh/m ²]		EP _{DHW;aren;UMI} [kWh/m ²]	
Gennaio	39,31	35,59		1,62	
Febbraio	28,35	23,28		1,46	
Marzo	18,35	8,76		1,62	
Aprile	4,06	0,20		1,56	
Maggio	0,00	0,00		1,62	
Giugno	0,00	0,00		1,56	
Luglio	0,00	0,00		1,62	
Agosto	0,00	0,00		1,62	
Settembre	0,00	0,00		1,56	
Ottobre	4,91	1,50		1,51	
Novembre	26,10	18,75		1,56	
Dicembre	39,94	33,35		1,62	
<i>Tot.</i>	<i>161,01</i>	<i>121,42</i>		<i>18,92</i>	
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	161,01	121,42	131,72	18,92	23,21
Δ%	22,24 %	-7,81 %	-	-18,48 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]

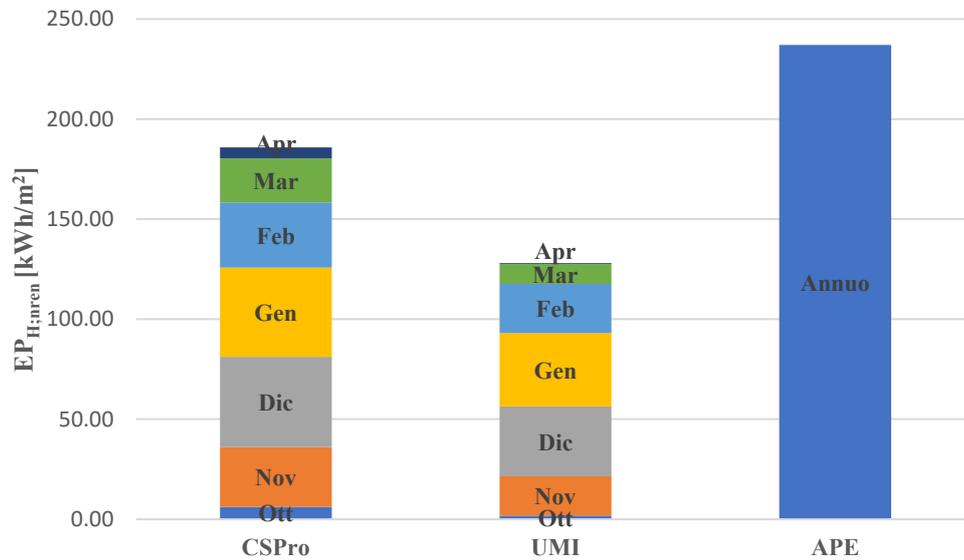


cod. ED_A3																										
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti		n. piani 4																								
Destinazione d'uso Mista		n. unità abitative/commerciali 15																								
Ubicazione viale Teresa Michel, 8 - 18/A		Superficie totale climatizzata 960 m²																								
Anno di costruzione 1964		Volume lordo, V 4599 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio		Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																								
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.	Involucro orizzontale sup.																							
IV_02		IOCT_02	IOS_01																							
Serramenti		S_01																								
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm																							
II	Laterizio forato, sp. 8 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm																							
III	Intercapedine d'aria, sp. 6 cm	III	Massetto, sp. 3 cm																							
IV	Laterizio forato, sp. 12 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm																							
V	Intonaco interno, sp. 2 cm	V	-																							
VI	-	VI	-																							
VII	-	VII	-																							
VIII	-	VIII	-																							
IX	-	IX	-																							
sp. totale 30 cm		sp. totale 44,5 cm																								
U = 1,166 W/m²K		U = 1,258 W/m²K																								
		U = 1,605 W/m²K																								
		U_w = 4,9 W/m²K																								
		g_{gl,n} = 0,850																								
Profili orari CTE e ACS																										
		ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,51	0,51	0,51	0,37	0,37	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,61	0,67	0,67	0,68	0,68	0,66	0,78	0,80
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,22	0,32	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,16	0,12	0,12
	CTE elettrico	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,56	0,66	0,60	0,60	0,68	0,68	0,68	0,68	0,60	0,60	0,76	0,76	0,84	0,84	0,64	0,48	0,48
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,15	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,14	0,12	0,14	0,04	0,07	0,06	0,08	0,08	0,03	0,02
Profilo B	CTE occupanti	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,80	0,68	0,68	0,68	0,84	0,84	0,84	0,78	0,78	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,68	0,68	0,66	0,78	0,78
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,22	0,32	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,16	0,12	0,12
	CTE elettrico	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,56	0,66	0,60	0,60	0,68	0,68	0,68	0,68	0,60	0,60	0,76	0,76	0,84	0,84	0,64	0,48	0,48	
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,12	0,15	0,09	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,08	0,08	0,03	0,03	0,02
Profilo C	CTE occupanti	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,80	0,68	0,68	0,68	0,84	0,84	0,84	0,78	0,78	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,68	0,68	0,66	0,78	0,78
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,12	0,22	0,32	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,16	0,12	0,12
	CTE elettrico	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,47	0,57	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,65	0,71	0,71	0,75	0,75	0,55	0,48	0,48	
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,12	0,15	0,09	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05	0,08	0,08	0,03	0,02	
CTE occupanti												CTE illuminazione ed elettrico														
Densità occupanti	0,076 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		4357 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		8,25 W/m²													
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		1,69 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,98 W/m²													
Set-points				Riscaldamento				ACS																		
Temperatura di set-point invernale		20 °C		Potenza generatore		190 kW		Consumo annuo ACS		0,48 m³/(m²·anno)																
Temperatura di set-point estiva		26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,731		Vettore energetico		Gasolio																

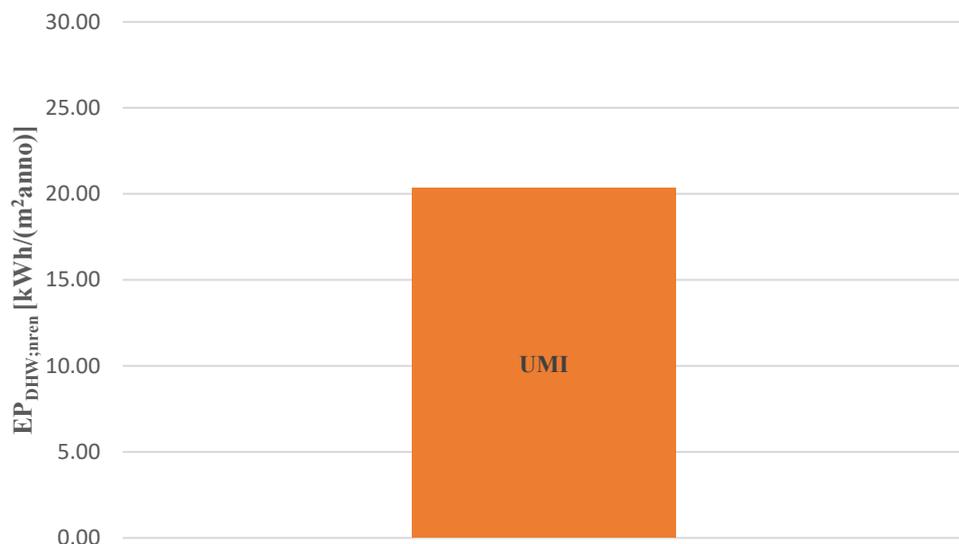


Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento			ACS	
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	44,58	36,74	1,72		
Febbraio	32,60	24,58	1,58		
Marzo	21,98	10,04	1,74		
Aprile	5,51	0,39	1,66		
Maggio	0,00	0,00	1,74		
Giugno	0,00	0,00	1,68		
Luglio	0,00	0,00	1,73		
Agosto	0,00	0,00	1,74		
Settembre	0,00	0,00	1,70		
Ottobre	6,18	1,77	1,64		
Novembre	29,81	19,58	1,67		
Dicembre	45,18	34,95	1,72		
<i>Tot.</i>	<i>185,83</i>	<i>128,05</i>	<i>20,33</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	185,83	128,05	237,11	20,33	-
Δ%	-21,63 %	-46,00 %	-	-	-

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



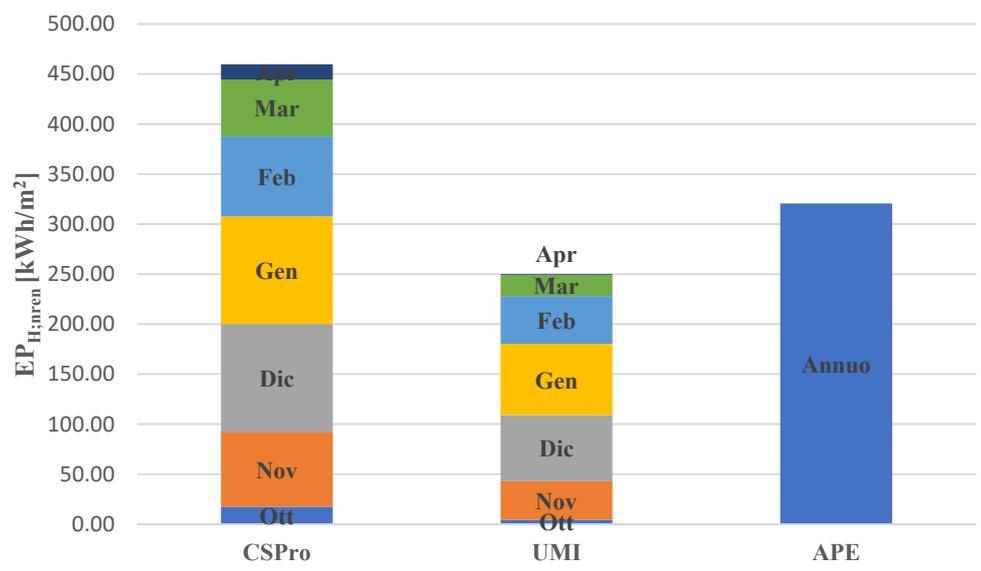
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



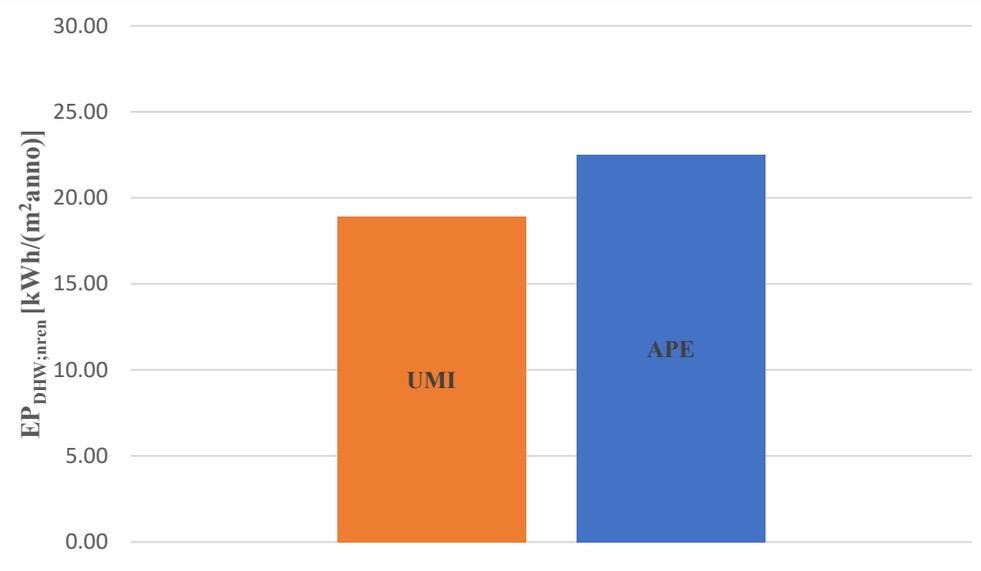
cod. ED_A4																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 3																								
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 3																								
Ubicazione via G. Donizetti, 52	Superficie totale climatizzata 206 m²																								
Anno di costruzione 1930	Volume lordo, V 1595 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,51 m⁻¹																								
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																			
IV_01		IOCT_01		IOS_03		S_01																			
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 20 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																		
II	Laterizio pieno, sp. 36 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	0 %																		
III	Intonaco interno, sp. 2 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																		
IV	-	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 3 cm	-	24 %																		
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 20 cm	O	S-E																		
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	17 %																		
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																		
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	0 %																		
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																			
<i>sp. totale 40 cm</i>		<i>sp. totale 34,5 cm</i>		<i>sp. totale 40 cm</i>																					
U = 1,387 W/m²K		U = 1,406 W/m²K		U = 1,634 W/m²K		U_w = 4,9 W/m²K																			
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,67	0,67	0,67	0,41	0,41	0,41	0,41	0,47	0,47	0,47	0,67	0,67	0,67	0,87	0,87	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,06	0,08	0,10	0,10	0,04	0,02
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,63	0,63	0,67	0,67	0,67	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico							
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		428 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²												
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²												
Set-points				Riscaldamento				ACS																	
Temperatura di <i>set-point</i> invernale		20 °C		Potenza generatore		72 kW		Consumo annuo ACS		0,58 m³/(m²·anno)															
				Rendimento globale, η _{gl}		0,798																			
Temperatura di <i>set-point</i> estiva		26 °C		Vettore energetico		Gas naturale		Vettore energetico		Gas naturale															

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	107,68	71,09	1,67		
Febbraio	79,92	47,87	1,51		
Marzo	56,91	20,98	1,67		
Aprile	15,23	0,92	1,62		
Maggio	0,00	0,00	1,67		
Giugno	0,00	0,00	1,62		
Luglio	0,00	0,00	1,67		
Agosto	0,00	0,00	1,67		
Settembre	0,00	0,00	1,62		
Ottobre	17,38	4,39	1,56		
Novembre	74,28	38,54	1,62		
Dicembre	108,43	66,15	1,67		
<i>Tot.</i>	<i>459,82</i>	<i>249,95</i>	<i>19,58</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	459,82	249,95	320,69	19,58	22,51
Δ%	43,38 %	-22,06 %	-	-13,01 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



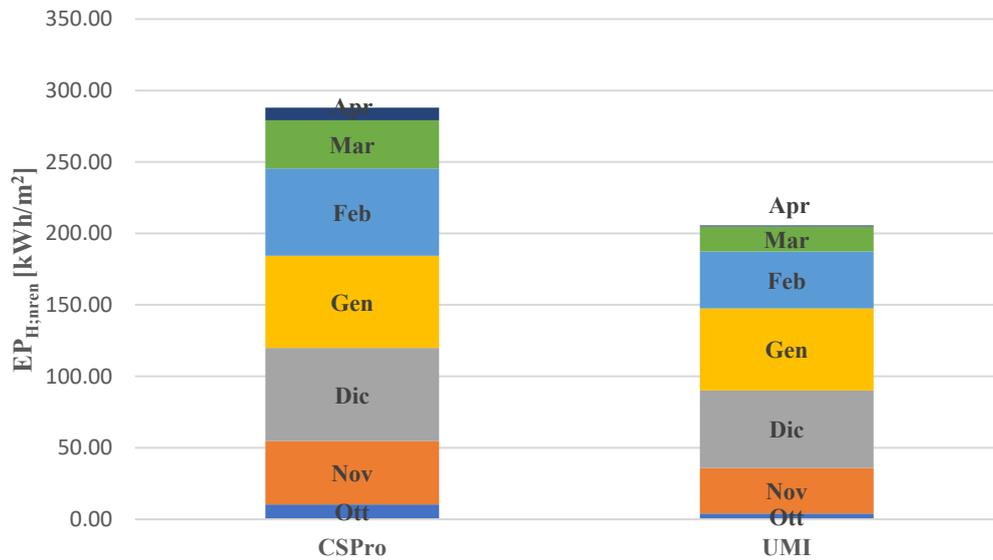
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



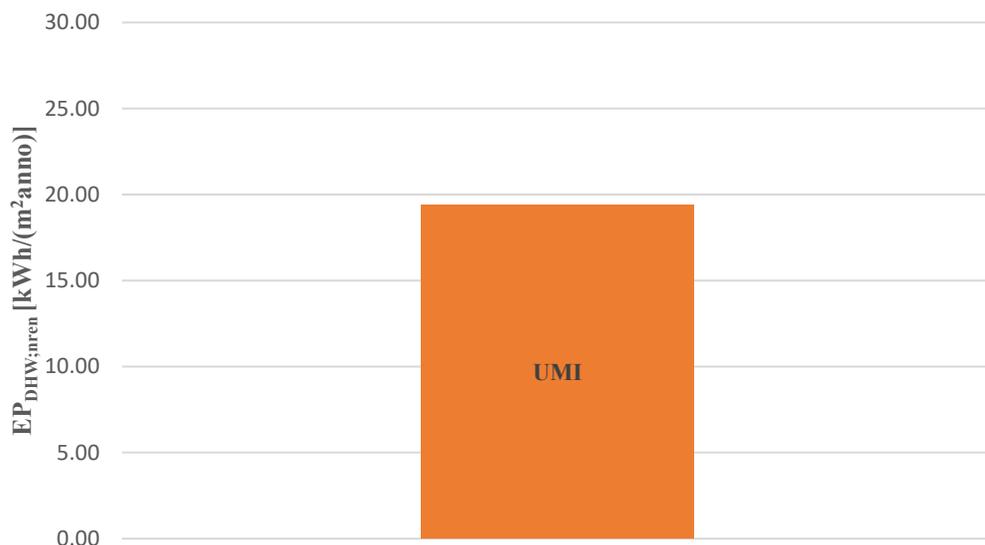
cod. ED_A5																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 3																								
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 3																								
Ubicazione via G. Donizetti, 48	Superficie totale climatizzata 212 m²																								
Anno di costruzione 1960 - 1970	Volume lordo, V 1135 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,56 m⁻¹																								
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																			
IV_04		IOCT_02		IOS_01		S_02																			
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																		
II	Laterizio forato, sp. 15 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Interapedine d'aria, sp. 10 cm	-	0 %																		
III	Laterizio forato, sp. 16 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																		
IV	Intonaco interno, sp. 2 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	18 %																		
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 16 cm	O	S-E																		
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	26 %																		
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																		
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	0 %																		
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																			
<i>sp. totale 35 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 37 cm</i>																					
U = 0,979 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,605 W/m²K		U_w = 5,7 W/m²K																			
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,67	0,67	0,67	0,41	0,41	0,41	0,41	0,47	0,47	0,47	0,67	0,67	0,67	0,87	0,87	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,06	0,08	0,10	0,10	0,04	0,02
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,63	0,63	0,67	0,67	0,67	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02
CTE occupanti												CTE illuminazione ed elettrico													
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		442 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²												
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²												
Set-points				Riscaldamento				ACS																	
Temperatura di <i>set-point</i> invernale		20 °C		Potenza generatore		65 kW		Consumo annuo ACS		0,58 m³/(m²·anno)															
Temperatura di <i>set-point</i> estiva		26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,648		Vettore energetico		Gas naturale															
				Vettore energetico		Gas naturale																			

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;aren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;aren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;aren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	64,48	57,43	1,66		
Febbraio	47,81	39,59	1,50		
Marzo	33,78	17,40	1,66		
Aprile	8,82	0,78	1,60		
Maggio	0,00	0,00	1,66		
Giugno	0,00	0,00	1,60		
Luglio	0,00	0,00	1,66		
Agosto	0,00	0,00	1,66		
Settembre	0,00	0,00	1,60		
Ottobre	10,26	3,89	1,55		
Novembre	44,37	31,85	1,60		
Dicembre	65,19	54,29	1,66		
<i>Tot.</i>	<i>274,71</i>	<i>205,24</i>	<i>19,38</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	274,71	205,24	-	19,38	-
Δ%	-	-	-	-	-

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



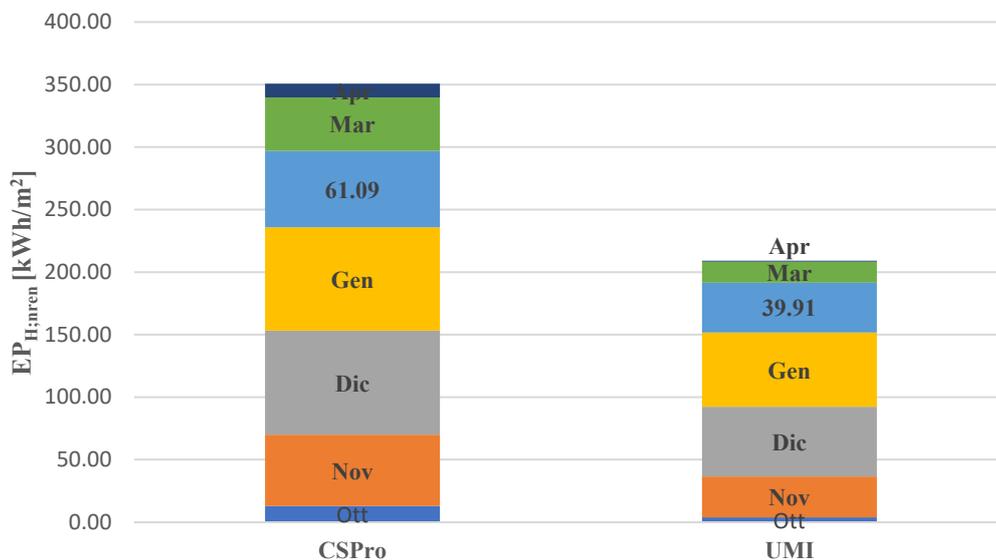
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



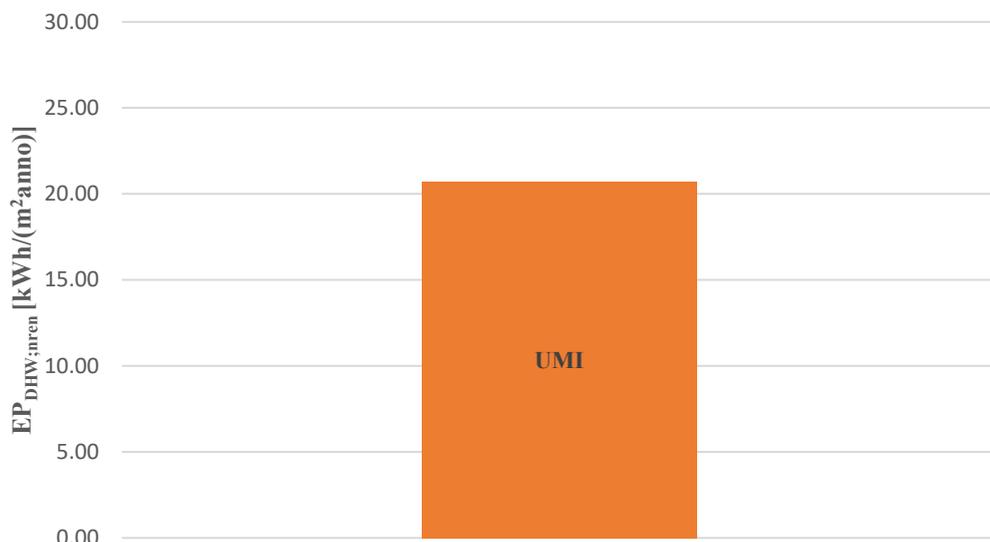
cod. ED_A6																													
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 2																												
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 2																												
Ubicazione via G. Donizetti, 44	Superficie totale climatizzata 117 m²																												
Anno di costruzione 1960 - 1970	Volume lordo, V 597 m³																												
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,67 m⁻¹																												
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																							
IV_04		IOCT_02		IOS_01		S_02																							
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																						
II	Laterizio forato, sp. 15 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Interapedine d'aria, sp. 10 cm	-	0 %																						
III	Laterizio forato, sp. 16 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																						
IV	Intonaco interno, sp. 2 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	17 %																						
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 16 cm	O	S-E																						
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	16 %																						
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																						
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	4 %																						
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																							
<i>sp. totale 35 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 37 cm</i>																									
U = 0,979 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,605 W/m²K		U_w = 5,7 W/m²K																							
Profili orari CTE e ACS																													
		ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,67	0,67	0,67	0,41	0,41	0,41	0,41	0,47	0,47	0,47	0,67	0,67	0,67	0,87	0,87	0,83	0,97	1,00	Feriale			
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15				
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60				
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,06	0,08	0,10	0,10	0,04			0,02	
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97	Sabato		
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15				
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60				
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02				
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97	Domenica Festivi		
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15				
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,63	0,63	0,67	0,67	0,67	0,60	0,60				
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02				
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico											
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		244 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²																
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²																
Set-points				Riscaldamento				ACS																					
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		54 kW		Consumo annuo ACS		0,62 m³/(m²·anno)																				
			Rendimento globale, η _{gl}		0,648																								
Temperatura di set-point estiva	26 °C		Vettore energetico		Gas naturale		Vettore energetico		Gas naturale																				

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	82,56	59,36	1,77		
Febbraio	61,09	39,91	1,60		
Marzo	42,85	16,87	1,77		
Aprile	10,99	0,67	1,71		
Maggio	0,00	0,00	1,77		
Giugno	0,00	0,00	1,71		
Luglio	0,00	0,00	1,77		
Agosto	0,00	0,00	1,77		
Settembre	0,00	0,00	1,71		
Ottobre	12,89	3,88	1,65		
Novembre	57,03	32,61	1,71		
Dicembre	83,36	55,78	1,77		
<i>Tot.</i>	<i>350,76</i>	<i>209,07</i>	<i>20,71</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	350,76	209,07	-	20,71	-
Δ%	-	-	-	-	-

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



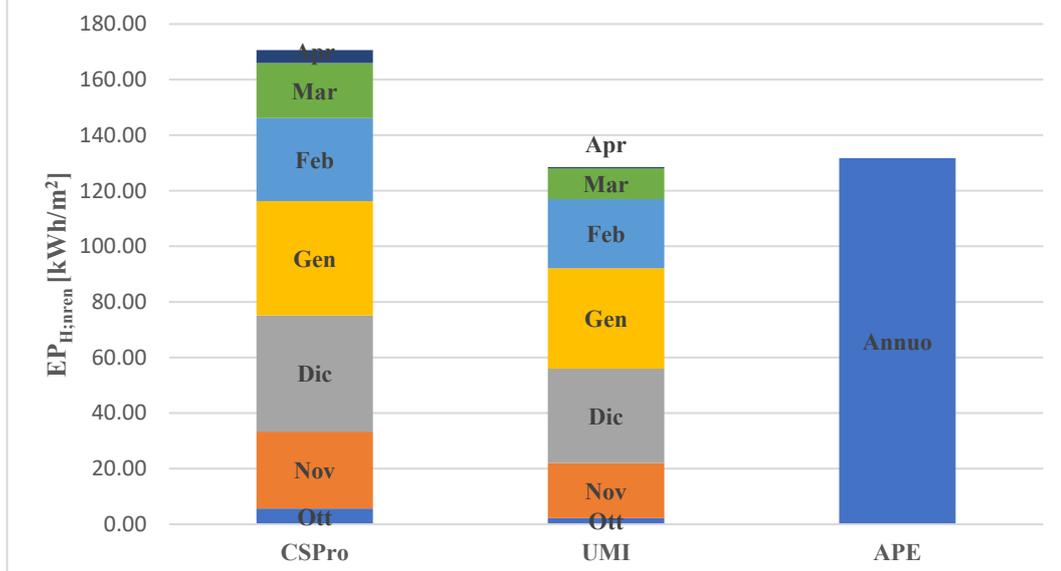
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



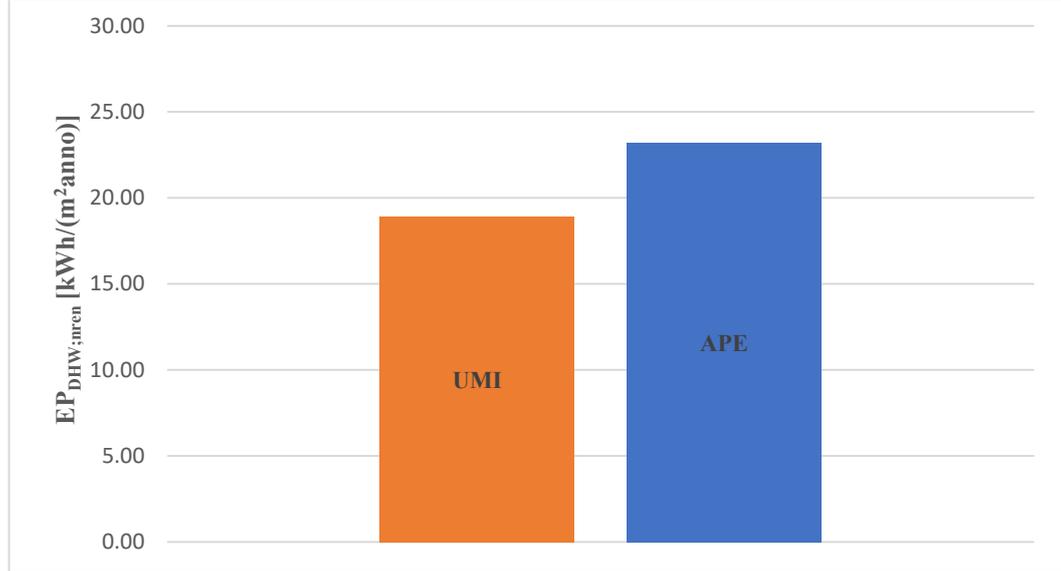
cod. ED_B1																											
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 4																										
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 16																										
Ubicazione via G. Rossini, 27	Superficie totale climatizzata 1220 m²																										
Anno di costruzione 1957	Volume lordo, V 6169 m³																										
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																										
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																					
IV_02		IOCT_02		IOS_03		S_03																					
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																				
II	Laterizio forato, sp. 8 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercedine d'aria, sp. 10 cm	-	9 %																				
III	Intercedine d'aria, sp. 6 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																				
IV	Laterizio forato, sp. 12 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 3 cm	-	22 %																				
V	Intonaco interno, sp. 2 cm	V	-	V	Pignatta, sp. 20 cm	O	S-E																				
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	29 %																				
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																				
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	6 %																				
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,750																					
<i>sp. totale 30 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 40 cm</i>																							
U = 1,166 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,634 W/m²K		U_w = 2,8 W/m²K																					
Profili orari CTE e ACS																											
		ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00	Feriale	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	Sabato	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	Domenica Festivi	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00			
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico									
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		2540 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²														
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²														
Set-points					Riscaldamento					ACS																	
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		180 kW		Consumo annuo ACS		0,56 m³/(m²·anno)																		
	Temperatura di set-point estiva	26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,784			Vettore energetico		Gas naturale																
		Vettore energetico		Gas naturale																							

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	41,17	36,16	1,62		
Febbraio	29,87	24,86	1,46		
Marzo	19,79	11,07	1,62		
Aprile	4,67	0,45	1,56		
Maggio	0,00	0,00	1,62		
Giugno	0,00	0,00	1,56		
Luglio	0,00	0,00	1,62		
Agosto	0,00	0,00	1,62		
Settembre	0,00	0,00	1,56		
Ottobre	5,61	2,18	1,51		
Novembre	27,70	19,84	1,56		
Dicembre	41,82	33,94	1,62		
<i>Tot.</i>	<i>170,62</i>	<i>128,50</i>	<i>18,92</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	170,62	128,50	131,72	18,92	23,21
Δ%	29,54 %	-2,44 %	-	-18,48 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



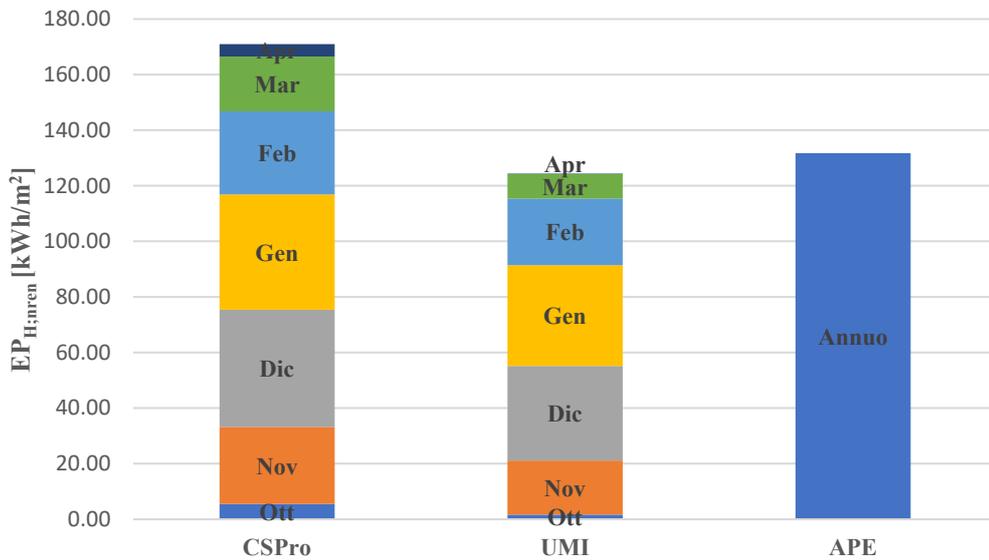
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



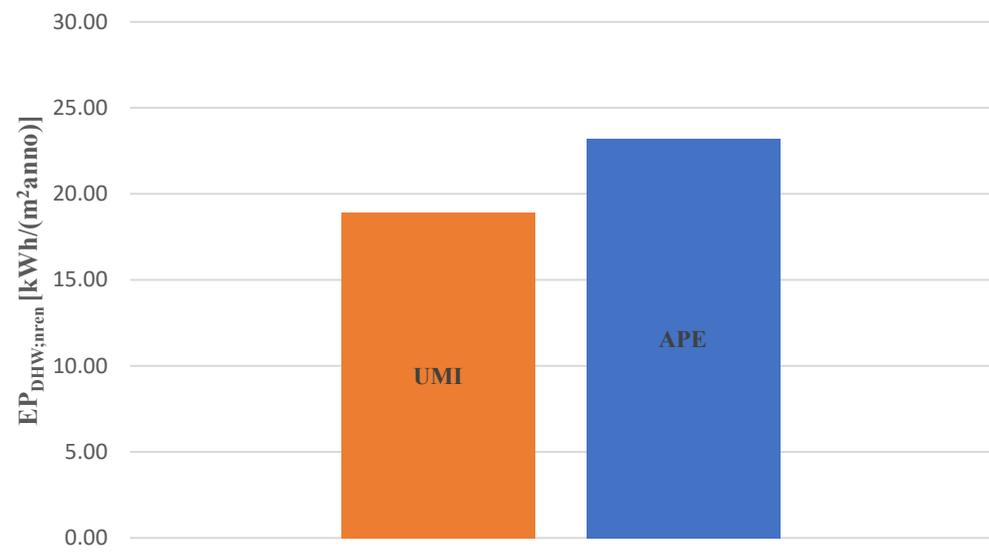
cod. ED_B2																											
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti		n. piani 4																									
Destinazione d'uso Residenziale		n. unità abitative 16																									
Ubicazione via G. Rossini, 29		Superficie totale climatizzata 1220 m²																									
Anno di costruzione 1957		Volume lordo, V 6169 m³																									
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio		Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																									
																											
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																					
IV_02		IOCT_02		IOS_03		S_03																					
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																				
II	Laterizio forato, sp. 8 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	9 %																				
III	Intercapedine d'aria, sp. 6 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																				
IV	Laterizio forato, sp. 12 cm	IV	Pavimentazione in grés, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 3 cm	-	22 %																				
V	Intonaco interno, sp. 2 cm	V	-	V	Pignatta, sp. 20 cm	O	S-E																				
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	29 %																				
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																				
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	6 %																				
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,750																					
<i>sp. totale 30 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 40 cm</i>																							
U = 1,166 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,634 W/m²K		U_w = 2,8 W/m²K																					
Profili orari CTE e ACS																											
		ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00	Feriale	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	Sabato	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	Domenica Festivi	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico									
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		2540 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²														
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²														
Set-points				Riscaldamento				ACS																			
Temperatura di set-point invernale		20 °C		Potenza generatore		180 kW		Consumo annuo ACS		0,56 m³/(m²·anno)																	
				Rendimento globale, η _{gl}		0,784																					
Temperatura di set-point estiva		26 °C		Vettore energetico		Gas naturale		Vettore energetico		Gas naturale																	

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	41,47	36,26	1,62		
Febbraio	29,95	23,96	1,46		
Marzo	19,67	8,80	1,62		
Aprile	4,53	0,17	1,56		
Maggio	0,00	0,00	1,62		
Giugno	0,00	0,00	1,56		
Luglio	0,00	0,00	1,62		
Agosto	0,00	0,00	1,62		
Settembre	0,00	0,00	1,56		
Ottobre	5,46	1,59	1,51		
Novembre	27,76	19,52	1,56		
Dicembre	42,16	34,05	1,62		
<i>Tot.</i>	<i>171,00</i>	<i>124,36</i>	<i>18,92</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	171,00	124,36	131,72	18,92	23,21
Δ%	29,83 %	-5,58 %	-	-18,48 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



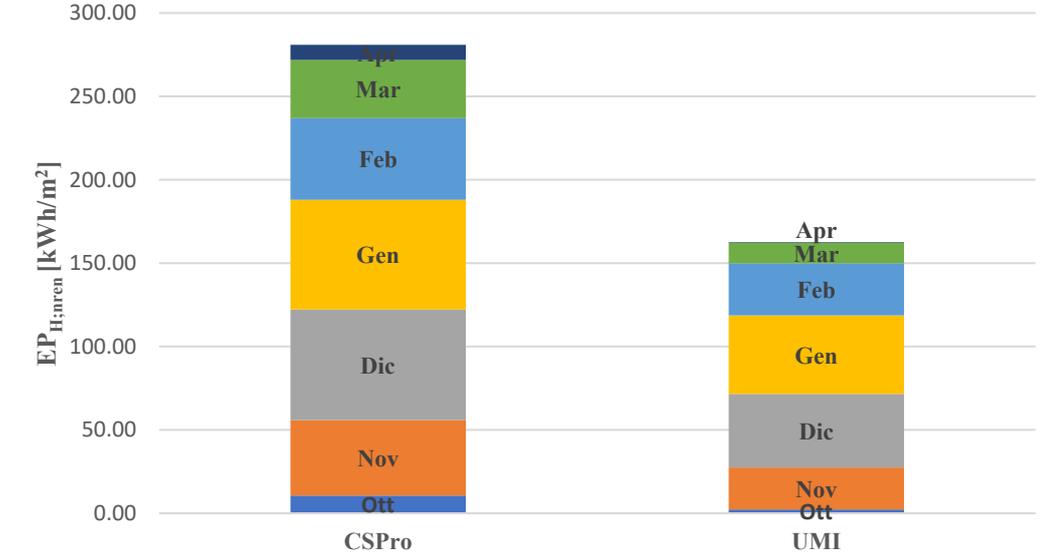
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



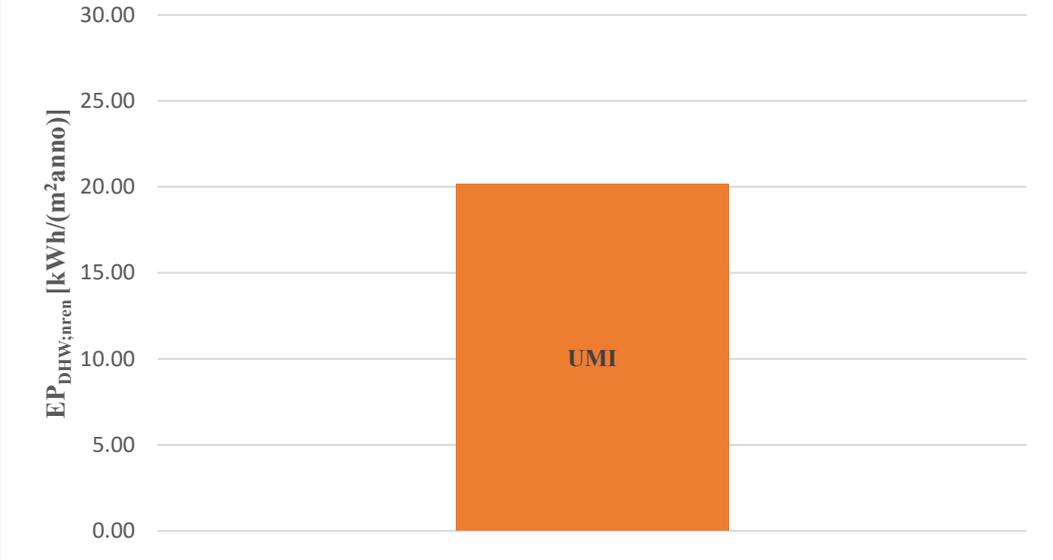
cod. ED_B3																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 3																								
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 3																								
Ubicazione via G. Donizetti, 38	Superficie totale climatizzata 189 m²																								
Anno di costruzione 1960 - 1970	Volume lordo, V 973 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,60 m⁻¹																								
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																			
IV_03		IOCT_02		IOS_01		S_02																			
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																		
II	Laterizio forato, sp. 16 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	0 %																		
III	Laterizio forato, sp. 20 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																		
IV	Intonaco interno, sp. 2 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	18 %																		
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 16 cm	O	S-E																		
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	19 %																		
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																		
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	0 %																		
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																			
<i>sp. totale 40 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 37 cm</i>																					
U = 0,869 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,605 W/m²K		U_w = 5,7 W/m²K																			
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,67	0,67	0,67	0,41	0,41	0,41	0,41	0,47	0,47	0,47	0,67	0,67	0,67	0,87	0,87	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,06	0,08	0,10	0,10	0,04	0,02
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,63	0,63	0,67	0,67	0,67	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico							
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		393 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²												
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²												
Set-points						Riscaldamento						ACS													
Temperatura di set-point invernale		20 °C		Potenza generatore		45 kW		Consumo annuo ACS		0,60 m³/(m²·anno)															
Temperatura di set-point estiva		26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,648		Vettore energetico		Gas naturale															

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;aren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;aren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;aren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	65,79	47,09	1,72		
Febbraio	49,06	31,21	1,55		
Marzo	34,82	12,41	1,72		
Aprile	9,07	0,37	1,67		
Maggio	0,00	0,00	1,72		
Giugno	0,00	0,00	1,67		
Luglio	0,00	0,00	1,72		
Agosto	0,00	0,00	1,72		
Settembre	0,00	0,00	1,67		
Ottobre	10,53	2,24	1,61		
Novembre	45,26	25,15	1,67		
Dicembre	66,38	44,13	1,72		
<i>Tot.</i>	<i>280,91</i>	<i>162,60</i>	<i>20,16</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	280,91	162,60	-	20,16	-
Δ%	-	-	-	-	-

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



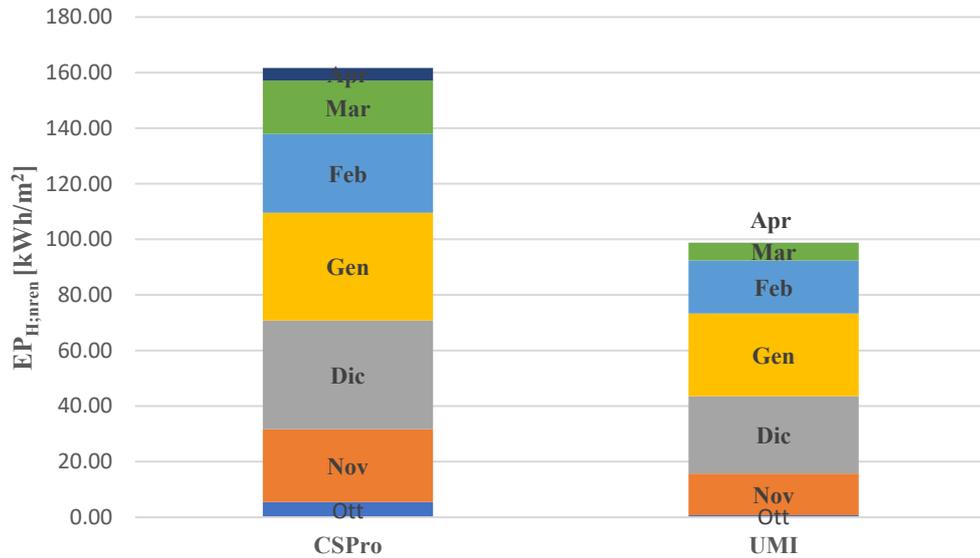
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



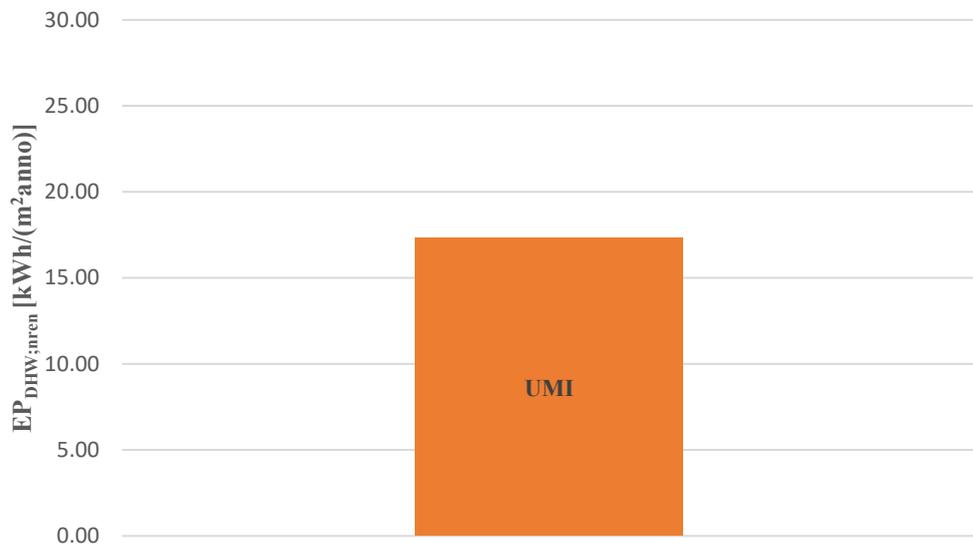
cod. ED_B4																											
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 3																										
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 3																										
Ubicazione via G. Donizetti, 36	Superficie totale climatizzata 315 m²																										
Anno di costruzione 1960 - 1970	Volume lordo, V 1261 m³																										
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,55 m⁻¹																										
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																					
IV_03		IOCT_02		IOS_01		S_02																					
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																				
II	Laterizio forato, sp. 16 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	0 %																				
III	Laterizio forato, sp. 20 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																				
IV	Intonaco interno, sp. 2 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	9 %																				
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 16 cm	O	S-E																				
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	11 %																				
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																				
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	0 %																				
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																					
<i>sp. totale 40 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 37 cm</i>																							
U = 0,869 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,605 W/m²K		U_w = 5,7 W/m²K																					
Profili orari CTE e ACS																											
		ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,67	0,67	0,67	0,41	0,41	0,41	0,41	0,47	0,47	0,47	0,67	0,67	0,67	0,87	0,87	0,83	0,97	1,00	Feriale	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,06	0,08	0,10	0,10	0,04	0,02		
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97	Sabato	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02		
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,83	0,97	0,97	Domenica Festivi	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,63	0,63	0,67	0,67	0,67	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,20	0,08	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10	0,04	0,02		
CTE occupanti																			CTE illuminazione ed elettrico								
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		656 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²														
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²														
Set-points					Riscaldamento					ACS																	
Temperatura di set-point invernale		20 °C		Potenza generatore		45 kW		Consumo annuo ACS		0,52 m³/(m²·anno)																	
				Rendimento globale, η _{gl}		0,648																					
Temperatura di set-point estiva		26 °C		Vettore energetico		Gas naturale		Vettore energetico		Gas naturale																	

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;aren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;aren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;aren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	38,78	29,77	1,48		
Febbraio	28,42	19,04	1,34		
Marzo	19,18	6,31	1,48		
Aprile	4,53	0,02	1,43		
Maggio	0,00	0,00	1,48		
Giugno	0,00	0,00	1,43		
Luglio	0,00	0,00	1,48		
Agosto	0,00	0,00	1,48		
Settembre	0,00	0,00	1,43		
Ottobre	5,44	0,67	1,38		
Novembre	26,21	15,03	1,43		
Dicembre	39,12	27,87	1,48		
<i>Tot.</i>	<i>161,67</i>	<i>98,70</i>	<i>17,31</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	161,67	98,70	-	17,31	-
Δ%	-	-	-	-	-

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



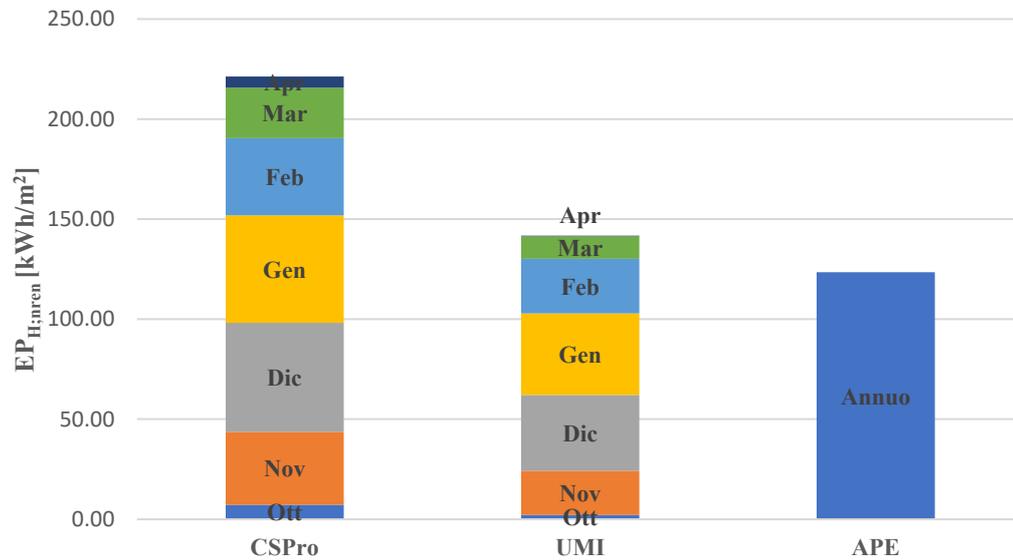
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



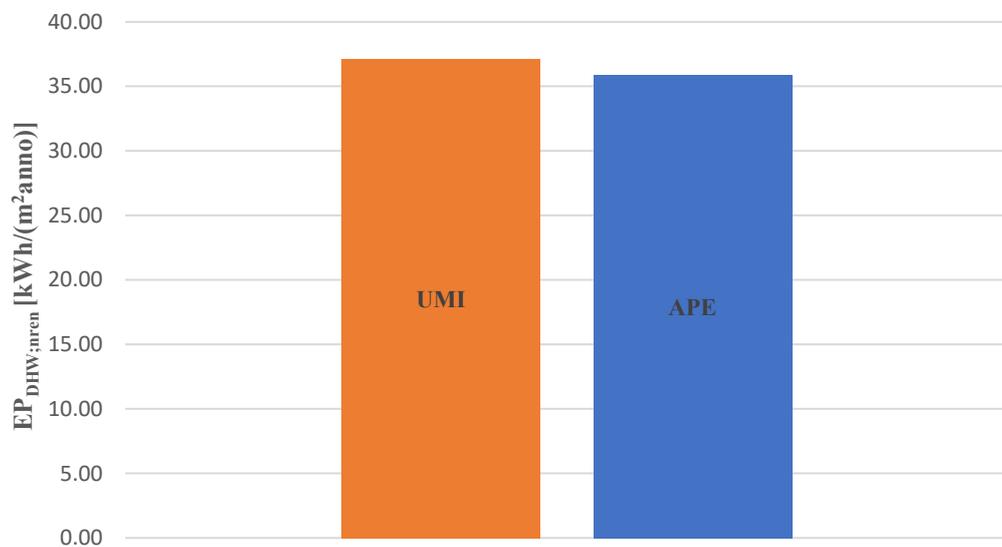
cod. ED_B5																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 4																								
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 10																								
Ubicazione via G. Donizetti, 30 - 32	Superficie totale climatizzata 480 m²																								
Anno di costruzione 1960	Volume lordo, V 3158 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,39 m⁻¹																								
Involucro verticale	Involucro orizzontale inf.	Involucro orizzontale sup.	Serramenti																						
IV_04	IOCT_03	IOS_01	S_03																						
I Intonaco esterno, sp. 2 cm	I Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 40 cm	I Tegole in argilla, sp. 3 cm	N N-E																						
II Laterizio forato, sp. 15 cm	II CLS alleggerito, sp. 10 cm	II Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	- 10 %																						
III Laterizio forato, sp. 16 cm	III Massetto, sp. 3 cm	III Massetto, sp. 2 cm	E N-O																						
IV Intonaco interno, sp. 2 cm	IV Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV CLS armato, sp. 4 cm	- 19 %																						
V -	V -	V Pignatta, sp. 16 cm	O S-E																						
VI -	VI -	VI Intonaco interno, sp. 2 cm	- 29 %																						
VII -	VII -	VII -	S S-O																						
VIII -	VIII -	VIII -	- 0 %																						
IX -	IX -	IX -																							
<i>sp. totale 35 cm</i>		<i>sp. totale 54,5 cm</i>																							
<i>sp. totale 37 cm</i>		g_{gl,n} = 0,750																							
U = 0,979 W/m²K	U = 1,139 W/m²K	U = 1,605 W/m²K	U_w = 2,8 W/m²K																						
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico							
Densità occupanti	0,035 pers./m²	Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		1000 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²													
Apporto convettivo	41 W/pers.	Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²													
Set-points				Riscaldamento				ACS																	
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		86 kW		Consumo annuo ACS		0,60 m³/(m²·anno)																
Temperatura di set-point estiva	26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,882		Vettore energetico		Elettricità																
			Vettore energetico		Gas naturale																				

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	53,66	40,72	3,17		
Febbraio	38,66	27,32	2,86		
Marzo	25,19	11,27	3,17		
Aprile	5,60	0,34	3,07		
Maggio	0,00	0,00	3,17		
Giugno	0,00	0,00	3,07		
Luglio	0,00	0,00	3,17		
Agosto	0,00	0,00	3,17		
Settembre	0,00	0,00	3,07		
Ottobre	7,20	2,12	2,97		
Novembre	36,46	22,06	3,07		
Dicembre	54,52	37,93	3,17		
<i>Tot.</i>	<i>221,29</i>	<i>141,75</i>	<i>37,13</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	221,29	141,75	123,47	37,13	35,89
Δ%	79,23 %	14,81 %	-	3,48 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



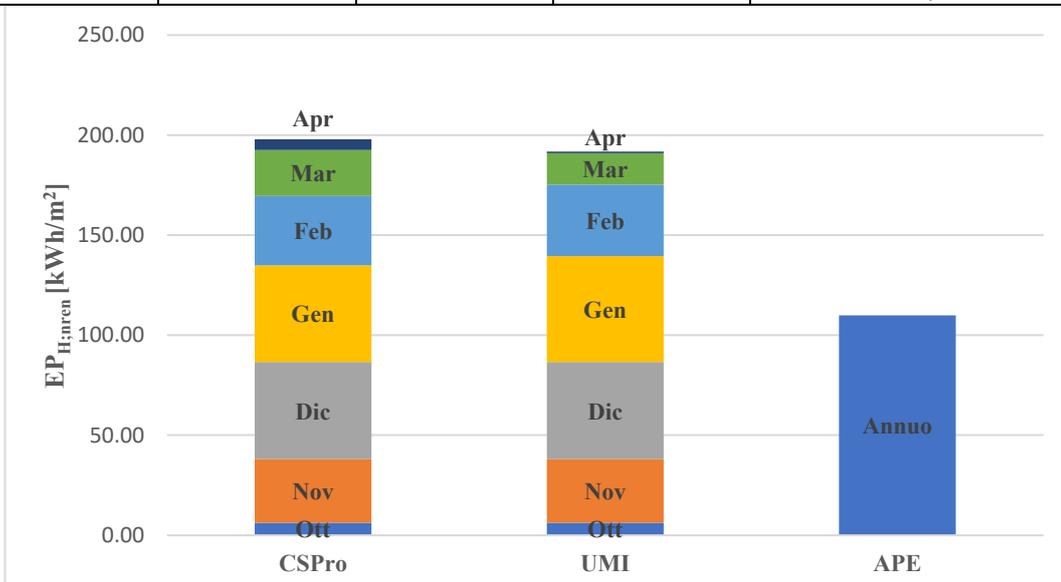
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



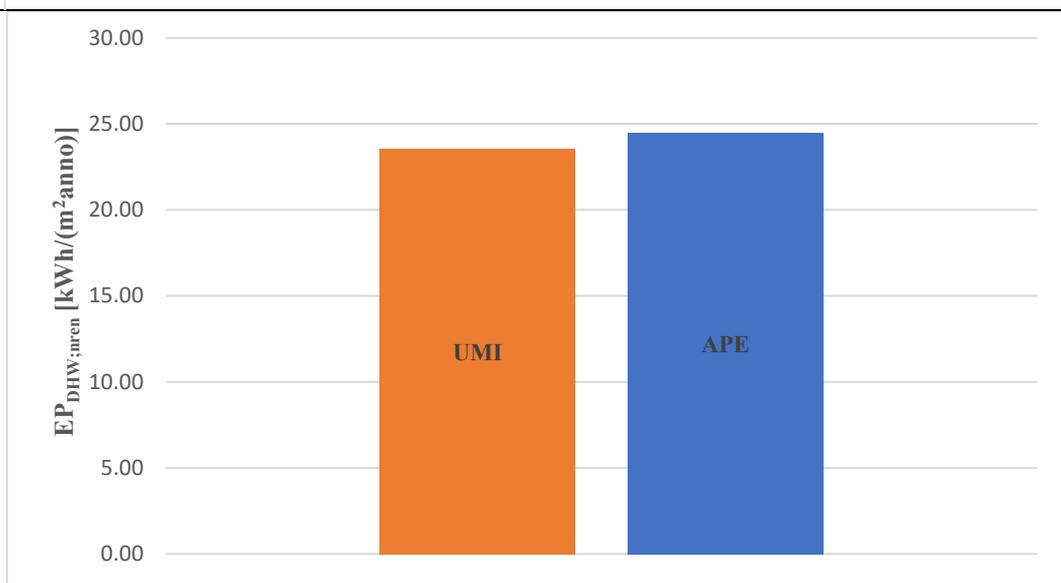
cod. ED_C1																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 3																								
Destinazione d'uso Mista	n. unità abitative/commerciali 6																								
Ubicazione via S. Santarosa, 19 - 21	Superficie totale climatizzata 389 m²																								
Anno di costruzione 1950	Volume lordo, V 2583 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,43 m⁻¹																								
Involucro verticale	Involucro orizzontale inf.	Involucro orizzontale sup.	Serramenti																						
IV_02	IOCT_02	IOS_03	S_03																						
I Intonaco esterno, sp. 2 cm	I Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I Tegole in argilla, sp. 3 cm	N N-E																						
II Laterizio forato, sp. 8 cm	II CLS alleggerito, sp. 10 cm	II Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	- 17 %																						
III Intercapedine d'aria, sp. 6 cm	III Massetto, sp. 3 cm	III Massetto, sp. 2 cm	E N-O																						
IV Laterizio forato, sp. 12 cm	IV Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV CLS armato, sp. 3 cm	- 19 %																						
V Intonaco interno, sp. 2 cm	V -	V Pignatta, sp. 20 cm	O S-E																						
VI -	VI -	VI Intonaco interno, sp. 2 cm	- 0 %																						
VII -	VII -	VII -	S S-O																						
VIII -	VIII -	VIII -	- 16 %																						
IX -	IX -	IX -																							
<i>sp. totale 30 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 40 cm</i>		g_{gl,n} = 0,750																			
U = 1,166 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,634 W/m²K		U_w = 2,8 W/m²K																			
Profili orari CTE e ACS																									
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,88	0,66	0,70	0,70	0,37	0,37	0,37	0,37	0,43	0,48	0,38	0,56	0,61	0,66	0,85	0,80	0,72	0,84	0,83
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,17	0,13	0,13
	CTE elettrico	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,72	0,72	0,50	0,50	0,67	0,58	0,58	0,58	0,50	0,55	0,72	0,67	0,75	0,75	0,67	0,50	0,50
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,17	0,06	0,02	0,01	0,01	0,04	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	0,07	0,08	0,09	0,08	0,04	0,02
Profilo B	CTE occupanti	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,88	0,85	0,88	0,88	0,80	0,80	0,80	0,80	0,85	0,75	0,75	0,75	0,80	0,85	0,85	0,80	0,72	0,84	0,81
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,17	0,13	0,13
	CTE elettrico	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,67	0,67	0,50	0,50	0,67	0,63	0,63	0,63	0,55	0,55	0,72	0,67	0,75	0,75	0,67	0,50	0,50
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,14	0,16	0,07	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,05	0,07	0,09	0,08	0,04	0,02
Profilo C	CTE occupanti	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,88	0,85	0,88	0,88	0,80	0,80	0,80	0,80	0,85	0,75	0,75	0,75	0,80	0,85	0,85	0,80	0,72	0,84	0,81
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,29	0,29	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,17	0,13	0,13
	CTE elettrico	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,57	0,57	0,50	0,50	0,60	0,56	0,56	0,56	0,55	0,60	0,67	0,62	0,65	0,65	0,57	0,50	0,50
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,14	0,16	0,07	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	0,01	0,02	0,05	0,07	0,09	0,08	0,04	0,02
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico							
Densità occupanti	0,067 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		1552 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		7,75 W/m²												
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		1,48 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,91 W/m²												
Set-points						Riscaldamento						ACS													
Temperatura di set-point invernale		20 °C		Potenza generatore		142 kW		Consumo annuo ACS		0,70 m³/(m²·anno)															
Temperatura di set-point estiva		26 °C		Rendimento globale, η _{gl}		0,703		Vettore energetico		Gas naturale															

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento			ACS	
	EP _{H;aren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;aren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;aren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	48,20	52,84	2,01		
Febbraio	34,74	35,76	1,82		
Marzo	23,02	15,73	2,01		
Aprile	5,30	0,76	1,95		
Maggio	0,00	0,00	2,01		
Giugno	0,00	0,00	1,95		
Luglio	0,00	0,00	2,01		
Agosto	0,00	0,00	2,01		
Settembre	0,00	0,00	1,95		
Ottobre	6,15	3,02	1,88		
Novembre	31,83	28,07	1,95		
Dicembre	48,64	50,06	2,01		
<i>Tot.</i>	<i>197,88</i>	<i>186,24</i>	<i>23,55</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	197,88	186,24	109,90	23,55	24,47
Δ%	80,06 %	69,46 %	-	-3,73 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



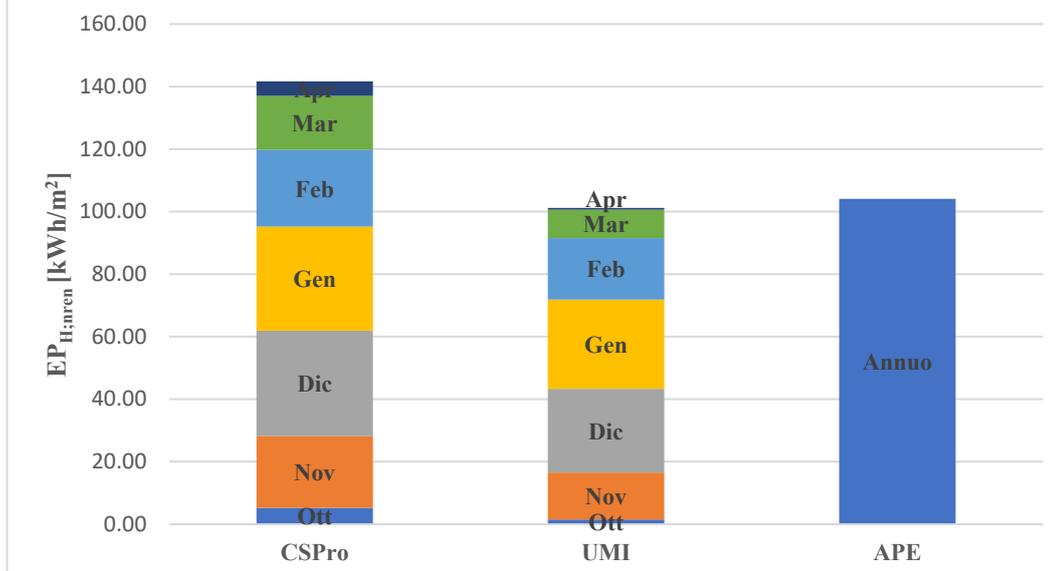
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



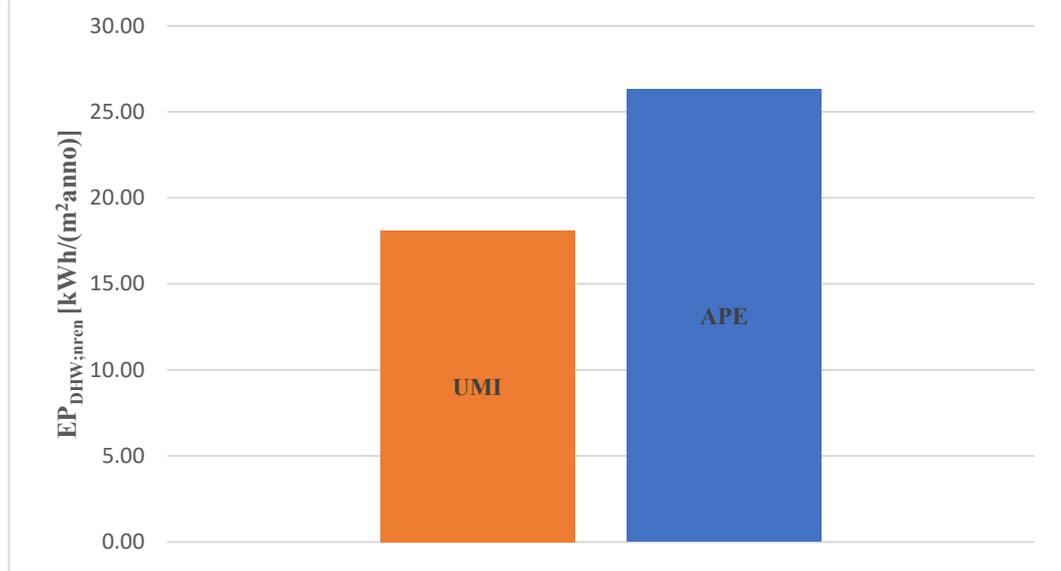
cod. ED_C2																									
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 6																								
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 10																								
Ubicazione via S. Santarosa, 9 - 15	Superficie totale climatizzata 885 m²																								
Anno di costruzione 1964	Volume lordo, V 4700 m³																								
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																								
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																			
IV_02		IOCT_03		IOS_01		S_01																			
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 40 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																		
II	Laterizio forato, sp. 8 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	7 %																		
III	Intercapedine d'aria, sp. 6 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																		
IV	Laterizio forato, sp. 12 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	0 %																		
V	Intonaco interno, sp. 2 cm	V	-	V	Pignatta, sp. 16 cm	O	S-E																		
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	0 %																		
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																		
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	19 %																		
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																			
<i>sp. totale 30 cm</i>		<i>sp. totale 54,5 cm</i>		<i>sp. totale 37 cm</i>																					
U = 1,166 W/m²K		U = 1,139 W/m²K		U = 1,605 W/m²K		U_w = 4,9 W/m²K																			
Profili orari CTE e ACS																									
ora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
CTE occupanti												CTE illuminazione ed elettrico													
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		1842 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²												
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²												
Set-points				Riscaldamento				ACS																	
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		115 kW		Consumo annuo ACS		0,54 m³/(m²·anno)																
			Rendimento globale, η _{gl}		0,888		Vettore energetico		Gas naturale																
Temperatura di set-point estiva	26 °C		Vettore energetico		Gas naturale																				

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H:ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H:ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW:ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	33,29	28,54	1,55		
Febbraio	24,55	19,66	1,40		
Marzo	17,30	9,07	1,55		
Aprile	4,61	0,57	1,50		
Maggio	0,00	0,00	1,55		
Giugno	0,00	0,00	1,50		
Luglio	0,00	0,00	1,55		
Agosto	0,00	0,00	1,55		
Settembre	0,00	0,00	1,50		
Ottobre	5,22	1,49	1,45		
Novembre	22,93	15,02	1,50		
Dicembre	33,74	26,82	1,55		
<i>Tot.</i>	<i>141,64</i>	<i>101,17</i>	<i>18,11</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	141,64	101,17	104,08	18,11	26,31
Δ%	36,09 %	-2,80 %	-	-31,16 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



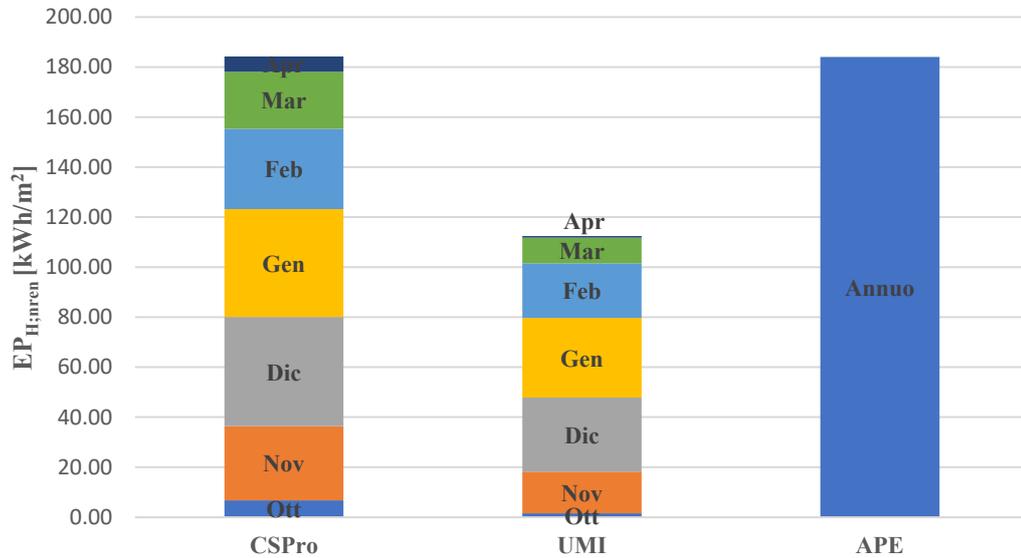
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



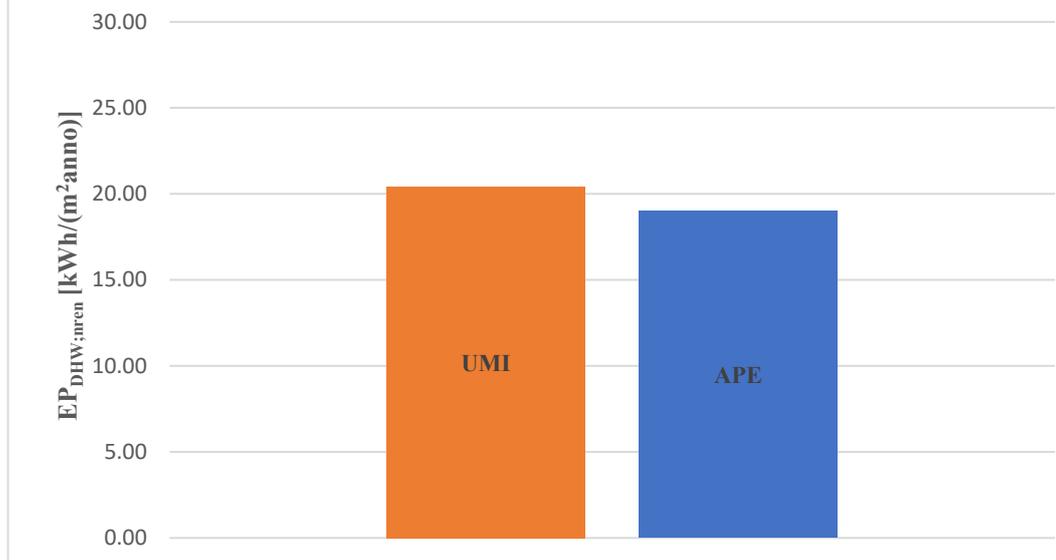
cod. ED_C3																											
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 5																										
Destinazione d'uso Residenziale	n. unità abitative 15																										
Ubicazione via S. Santarosa, 7	Superficie totale climatizzata 850 m²																										
Anno di costruzione 1970	Volume lordo, V 4692 m³																										
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,37 m⁻¹																										
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																					
IV_04		IOCT_03		IOS_02		S_01																					
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 40 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																				
II	Laterizio forato, sp. 15 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Intercapedine d'aria, sp. 10 cm	-	10 %																				
III	Laterizio forato, sp. 16 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																				
IV	Intonaco interno, sp. 2 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	0 %																				
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 24 cm	O	S-E																				
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	1 %																				
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																				
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	14 %																				
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																					
<i>sp. totale 35 cm</i>		<i>sp. totale 54,5 cm</i>		<i>sp. totale 45 cm</i>																							
U = 0,979 W/m²K		U = 1,139 W/m²K		U = 1,486 W/m²K		U_w = 4,9 W/m²K																					
Profili orari CTE e ACS																											
		ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Profilo A	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,64	0,64	0,64	0,34	0,34	0,34	0,34	0,42	0,42	0,42	0,64	0,64	0,64	0,85	0,85	0,83	0,97	1,00	Feriale	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
Profilo B	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	Sabato	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,70	0,70	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
Profilo C	CTE occupanti	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,83	0,97	0,97	Domenica Festivi	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
	CTE elettrico	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60		
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00		
CTE occupanti																		CTE illuminazione ed elettrico									
Densità occupanti	0,035 pers./m²		Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		1769 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		6 W/m²														
Apporto convettivo	41 W/pers.		Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		0,78 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,65 W/m²														
Set-points				Riscaldamento				ACS																			
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		177 kW		Consumo annuo ACS		0,61 m³/(m²·anno)																		
			Rendimento globale, η _{gl}		0,731																						
Temperatura di set-point estiva	26 °C		Vettore energetico		Gas naturale		Vettore energetico		Gas naturale																		

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;aren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;aren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;aren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	31,82	31,82	1,74		
Febbraio	21,88	21,88	1,58		
Marzo	10,25	10,25	1,74		
Aprile	0,63	0,63	1,69		
Maggio	0,00	0,00	1,74		
Giugno	0,00	0,00	1,69		
Luglio	0,00	0,00	1,74		
Agosto	0,00	0,00	1,74		
Settembre	0,00	0,00	1,69		
Ottobre	1,55	6,74	1,63		
Novembre	16,63	29,64	1,69		
Dicembre	29,66	43,67	1,74		
<i>Tot.</i>	<i>184,20</i>	<i>112,42</i>	<i>20,43</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	184,20	112,42	184,03	20,43	19,01
Δ%	0,10 %	-38,91 %	-	7,46 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



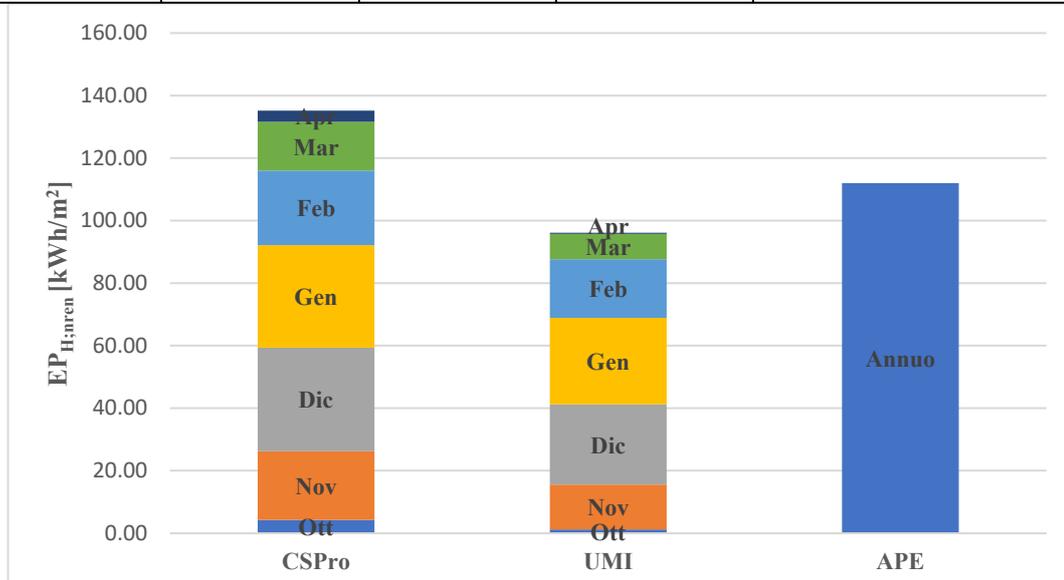
INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]



cod. ED_C4																										
Classe di dimensione edilizia Blocco di appartamenti	n. piani 5																									
Destinazione d'uso Mista	n. unità abitative/commerciali 9																									
Ubicazione via S. Santarosa, 1 - 5	Superficie totale climatizzata 1150 m²																									
Anno di costruzione 1971	Volume lordo, V 5946 m³																									
Tipologia costruttiva CLS con murature in laterizio	Fattore di forma, S/V 0,33 m⁻¹																									
Involucro verticale		Involucro orizzontale inf.		Involucro orizzontale sup.		Serramenti																				
IV_04		IOCT_02		IOS_02		S_01																				
I	Intonaco esterno, sp. 2 cm	I	Ghiaione - ciottoli di fiume, sp. 30 cm	I	Tegole in argilla, sp. 3 cm	N	N-E																			
II	Laterizio forato, sp. 15 cm	II	CLS alleggerito, sp. 10 cm	II	Interpedine d'aria, sp. 10 cm	-	3 %																			
III	Laterizio forato, sp. 16 cm	III	Massetto, sp. 3 cm	III	Massetto, sp. 2 cm	E	N-O																			
IV	Intonaco interno, sp. 2 cm	IV	Pavimentazione in grès, sp. 1,5 cm	IV	CLS armato, sp. 4 cm	-	1 %																			
V	-	V	-	V	Pignatta, sp. 24 cm	O	S-E																			
VI	-	VI	-	VI	Intonaco interno, sp. 2 cm	-	17 %																			
VII	-	VII	-	VII	-	S	S-O																			
VIII	-	VIII	-	VIII	-	-	12 %																			
IX	-	IX	-	IX	-	g_{gl,n} = 0,850																				
<i>sp. totale 35 cm</i>		<i>sp. totale 44,5 cm</i>		<i>sp. totale 45 cm</i>																						
U = 0,979 W/m²K		U = 1,258 W/m²K		U = 1,486 W/m²K		U_w = 4,9 W/m²K																				
Profili orari CTE e ACS																										
	ora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Profilo A	CTE occupanti	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,89	0,56	0,56	0,56	0,36	0,36	0,39	0,39	0,43	0,43	0,43	0,62	0,65	0,65	0,76	0,76	0,74	0,86	0,89	
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,19	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,18	0,13	0,13	
	CTE elettrico	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,62	0,68	0,56	0,56	0,64	0,64	0,64	0,64	0,56	0,56	0,73	0,73	0,82	0,82	0,71	0,53	0,53	
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,17	0,07	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,08	0,07	0,08	0,03	0,07	0,07	0,09	0,09	0,04	0,02	
Profilo B	CTE occupanti	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,89	0,76	0,76	0,76	0,85	0,85	0,85	0,81	0,81	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,76	0,76	0,74	0,86	0,89
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,19	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,18	0,13	0,13	
	CTE elettrico	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,62	0,68	0,56	0,56	0,64	0,64	0,64	0,64	0,56	0,56	0,73	0,73	0,82	0,82	0,71	0,53	0,53	
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,17	0,08	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,06	0,09	0,09	0,04	0,02	
Profilo C	CTE occupanti	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,89	0,76	0,76	0,76	0,85	0,85	0,85	0,81	0,81	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,76	0,76	0,74	0,86	0,86
	CTE illuminazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,19	0,24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,18	0,13	0,13	
	CTE elettrico	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,52	0,57	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,61	0,68	0,68	0,72	0,72	0,61	0,53	0,53	
	ACS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,17	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,06	0,09	0,09	0,04	0,02	
CTE occupanti												CTE illuminazione ed elettrico														
Densità occupanti	0,059 pers./m²	Apporto radiativo		39 W/pers.		Carico di vapore		4008 g/(m²·h)		Potenza CTE ill.		7,29 W/m²														
Apporto convettivo	41 W/pers.	Quota latente		38 W/pers.		CO ₂ prodotta		1,30 l/(m²·h)		Potenza CTE elettr.		2,84 W/m²														
Set-points				Riscaldamento				ACS																		
Temperatura di set-point invernale	20 °C		Potenza generatore		177 kW		Consumo annuo ACS		0,42 m³/(m²·anno)																	
			Rendimento globale, η _{gl}		0,765																					
Temperatura di set-point estiva	26 °C		Vettore energetico		Gas naturale		Vettore energetico		Gas naturale																	

Mese	Indice di Prestazione Energetica non Rinnovabile [kWh/m ²]				
	Riscaldamento		ACS		
	EP _{H;ren;CSPro} [kWh/m ²]	EP _{H;ren;UMI} [kWh/m ²]	EP _{DHW;ren;UMI} [kWh/m ²]		
Gennaio	32,79	27,70	1,35		
Febbraio	23,85	18,72	1,23		
Marzo	15,63	8,12	1,36		
Aprile	3,55	0,35	1,30		
Maggio	0,00	0,00	1,36		
Giugno	0,00	0,00	1,32		
Luglio	0,00	0,00	1,35		
Agosto	0,00	0,00	1,36		
Settembre	0,00	0,00	1,32		
Ottobre	4,26	1,20	1,28		
Novembre	21,94	14,32	1,31		
Dicembre	33,15	25,70	1,35		
<i>Tot.</i>	<i>135,16</i>	<i>96,10</i>	<i>15,88</i>		
Validazione	Riscaldamento			ACS	
	CSPPro	UMI	APE	UMI	APE
EP _{nren} [kWh/m ² ·anno]	135,16	96,10	111,99	15,88	37,50
Δ%	20,70 %	-14,18 %	-	-57,64 %	

INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN RISCALDAMENTO [kWh/m²]



INDICE DI PRESTAZIONE ENERGETICA N-REN ACS [kWh/m²]

