

Valutazione dell'influenza del comportamento dell'occupante sui consumi energetici degli edifici attraverso modelli di simulazione alla scala del distretto

Evaluating the influence of occupant behaviour
on building energy consumptions
through district energy modeling



POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città

Classe LM-4 (D.M.270)

A.a. 2018-2019

Relatore:

Stefano Paolo Corgnati

Co-relatori:

Cristina Becchio

Valentina Fabi

Candidata:

Giulia Schiari

matricola 240183

Alla mia famiglia

“Che tu possa avere sempre il vento in poppa, che il sole ti risplenda in viso e che il vento del destino ti porti in alto a danzare con le stelle”

George Jung in Blow

INDICE

ABSTRACT 	• vii •
ABSTRACT 	• ix •
INTRODUZIONE	• x •
Lo scopo della ricerca	• x •
La strategia della ricerca	• xii •
Roadmap	• xiii •
1. IL CONTESTO DELLA RICERCA	• 16 •
1.1 Il cambiamento climatico	• 17 •
1.2 Le cause del cambiamento	• 19 •
1.3 Le conseguenze del cambiamento	• 20 •
1.4 Andamento delle emissioni di CO ₂	• 26 •
1.5 Il quadro normativo internazionale	• 28 •
1.6 Le politiche energetiche in Europa	• 30 •
1.7 Il contesto italiano	• 31 •
2. LA CITTA'	• 36 •
2.1 Il ruolo delle città	• 37 •
2.2 Decarbonizzazione	• 38 •
2.3 I consumi energetici negli edifici	• 40 •
2.4 Gli occupanti	• 43 •
2.4.1 La variabilità del comportamento	• 45 •
2.5 Annex 53	• 47 •
2.6 Annex 66	• 49 •
2.7 Gli approcci di modellazione degli occupanti	• 51 •

3.	UBEM	• 56 •
3.1	La scelta del programma	• 57 •
3.2	CITYSIM PRO	• 58 •
4.	CASO STUDIO	• 64 •
4.1	Il Quartiere di San Salvario	• 65 •
4.2	La costruzione del modello energetico	• 66 •
4.3	I parametri di input	• 68 •
5.	RISULTATI	• 100 •
5.1	Introduzione	• 101 •
5.2	Validazione del modello	• 103 •
5.3	Scenario Standard	• 108 •
5.4	Confronto tra gli scenari	• 112 •
5.3	Approccio di modellazione	• 116 •
	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	• 118 •
	BIBLIOGRAFIA	• 120 •
	ALLEGATI	• 126 •
	RINGRAZIAMENTI	• 147 •

ABSTRACT

Il cambiamento climatico è una delle maggiori minacce che l'uomo sta affrontando attualmente. Tale cambiamento è causato in gran parte dall'attività dell'uomo stesso, dal ventesimo secolo fino ad oggi, e procede ad un ritmo in costante aumento. Il piano europeo per mitigare il cambiamento climatico prevede, entro il 2020, una riduzione del 20% delle emissioni di gas effetto serra, un incremento del 20% di produzione di energia da fonti rinnovabili e un miglioramento del 20% in termini di prestazioni energetiche; lo scopo è raggiungere una totale decarbonizzazione entro il 2050. In quest'ottica la città gioca dunque un ruolo fondamentale, in quanto il settore edilizio è uno dei maggiori responsabili di questa tendenza, essendo causa del 40% del consumo energetico totale in Europa. Uno dei principali fattori che influenza il consumo di energia in questo settore è l'occupante poiché interagisce direttamente con l'edificio per raggiungere il livello di comfort desiderato. Numerosi studi hanno dimostrato che il comportamento degli occupanti è una delle cause principali di incertezza nella previsione del consumo di energia, provocando notevoli differenze tra quello reale e quello simulato anche tra edifici con le stesse condizioni climatiche e caratteristiche simili.

A tale scopo l'uso di un software adatto, nella visione di una Post-Carbon City, diventa sempre più importante nelle valutazioni energetiche. L'obiettivo di questa tesi è di valutare quanto l'occupante e la variabilità del suo comportamento incidano sui fabbisogni e sui consumi energetici degli edifici, attraverso l'uso del programma CITYSIM PRO.

Per verificare quanto specificato precedentemente è stato preso in esame un distretto del quartiere di San Salvario a Torino. Il progetto è diviso in due parti. La prima parte è incentrata sulla validazione degli edifici usando come riferimento il progetto europeo TABULA. La seconda parte tratta nel dettaglio l'impatto dell'occupante sui fabbisogni e sui consumi energetici, studiando nello specifico tre tipologie di atteggiamento degli occupanti: Low Energy, EcoFriendly e High Energy.

ABSTRACT

Climate change is one of the major threats that people are currently facing. This change is caused largely by human activity, from the twentieth century to the present, and it is proceeding at a steadily increasing pace. By 2020, the European plan to mitigate climate change involves a 20% reduction in greenhouse gas emissions, a 20% increase in energy production from renewable sources and a 20% improvement in terms of energy performance; the aim is to achieve total decarbonisation by 2050. From this point of view, the city therefore plays a fundamental role, as the building sector is one of the main responsible for this trend, being the cause of 40% of total energy consumption in Europe. One of the main factors influencing energy consumption in this sector is the occupant as it interacts directly with the building to reach the desired level of comfort. Numerous studies have shown that the behavior of the occupants is one of the main causes of uncertainty in the prediction of energy consumption, causing considerable differences between the real and the simulated even between buildings with the same climatic conditions and similar characteristics.

For this purpose the use of a suitable software, in the vision of a Post-Carbon City, becomes increasingly important in energy assessments. The objective of this thesis is to assess how much the occupant and the variability of his behavior affect the needs and energy consumption of buildings, through the use of the CITYSIM PRO program.

To verify what was specified above, a district of the San Salvario in Turin was examined. The project is divided into two parts. The first part focuses on building validation using the European TABULA project as a reference. The second part deals in detail with the occupant's impact on energy needs and consumption, specifically studying three types of occupants' attitude: Low Energy, EcoFriendly and High Energy.

INTRODUZIONE

Ci troviamo in un momento della storia in cui è necessario compiere delle azioni per contenere l'effetto del cambiamento climatico, limitando la concentrazione di gas ad effetto serra. In Europa ci sono state diverse iniziative politiche per contrastare il cambiamento con l'obiettivo di ambire ad una totale de-carbonizzazione entro il 2050.

Uno degli aspetti che maggiormente influenza questo ambito è il consumo di energia negli edifici. Il settore delle costruzioni ha un forte potenziale considerando che la maggior parte degli edifici su suolo europeo sono stati costruiti quando i regolamenti energetici erano molto limitati.

Per rispondere a questo problema, oggi giorno si stanno sviluppando diversi software di simulazione energetica che possano prendere in esame non solo più l'edificio ma la città intera. Tali programmi, chiamati UBEM, vengono utilizzati da diversi ricercatori e professionisti durante la fase progettuale per definire i fabbisogni ed i consumi energetici degli edifici; tuttavia, vi è una notevole discrepanza tra quelli previsti e quelli reali.

Il consumo di energia negli edifici è fortemente influenzato da diversi fattori che riguardano sia aspetti interni, come le proprietà fisico-tecniche dell'edificio stesso, sia da aspetti esterni ad esso, come il clima e l'occupante. Al fine di migliorare la previsione e l'attendibilità dei risultati delle analisi energetiche, è necessario comprendere al meglio il ruolo e l'influenza dell'occupante.

LO SCOPO DELLA RICERCA

Nel mio percorso universitario mi sono avvicinata per la prima volta all'ambito energetico durante il primo anno di magistrale nel corso di *"Building physics and energy system in architecture"*. Da quel momento ho sviluppato sempre più interesse verso il tema, che giorno dopo giorno diventa sempre più attuale.

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è di valutare quanto l'occupante ed il suo comportamento incidano sui consumi finali degli edifici attraverso modelli di

valutazione a scala distrettuale.

Al fine di ottenere dei risultati reali ed affidabili, sono state condotte ricerche approfondite e analisi bibliografiche. In primis sul tema delle politiche internazionali, europee e nazionali e sul consumo di energia, partendo dalla città fino ad arrivare all'occupante. Questa indagine di articoli scientifici e ricerca bibliografica ha portato alla luce vari argomenti come: il concetto di de-carbonizzazione della città; l'influenza degli occupanti, del loro comportamento ed i differenti approcci di modellazione; i software di simulazione energetica a livello urbano. Questa ricerca è stata condotta su diversi motori di ricerca di articoli scientifici come "Science Direct", "Research Gate" o "Mendeley", ma anche per consultazione di tesi che si sono occupate dei temi sopra citati; lo studio ha riguardato anche l'approfondimento di progetti e organismi internazionali, europei e nazionali al fine di ottenere dati e numeri precisi. In particolare, oltre alla Commissione europea, sono da citare la NASA (National Aeronautics and Space Administration), la IEA (International Energy Agency), l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), la BPIE (Buildings Performance Institute Europe), la EEA (European Environment Agency) e l'Eurostat (Ufficio statistico dell'Unione europea).

A seguito di questa analisi è emerso che l'occupante può influire fino al 300% sul consumo di energia in abitazioni con caratteristiche costruttive identiche. Questo dato suggerisce che le abitudini degli occupanti dovrebbero essere prese in seria considerazione durante la progettazione.

Grazie ad un caso studio è stato possibile definire il ruolo e gli impatti dell'utente, concentrando l'attenzione sui consumi finali degli edifici a scala distrettuale. Il software di supporto ha consentito di individuare l'impatto dell'occupante attraverso analisi sia deterministiche che probabilistiche.

La domanda principale alla quale desidera rispondere questo lavoro di tesi è: *in che misura l'occupante ed il suo comportamento influenzano il consumo di energia degli edifici?*

LA STRATEGIA DELLA RICERCA

Il tema della ricerca verrà affrontato quanto segue.

Il primo capitolo tratta del tema del cambiamento climatico e delle conseguenze, alcune anche già in atto, a cui andiamo incontro in caso di una immobilità di azione. Inoltre si definiscono gli andamenti delle emissioni di CO₂ a livello mondiale ed europeo, e in particolare vengono mostrate le emissioni di gas a effetto serra nell'UE suddivise per settori principali. Viene successivamente presentato il contesto normativo internazionale, europeo ed italiano, ponendo particolare attenzione alle direttive che si interessano al tema.

La seconda parte si concentra sul ruolo della città come elemento fondamentale per il raggiungimento della de-carbonizzazione. Vengono definiti i consumi energetici degli edifici e i vari fattori che li determinano tra cui l'influenza del comportamento dell'occupante attraverso uno studio letterario. Vengono confrontati gli approcci di calcolo che tengono conto dell'occupante nella simulazione energetica.

Il terzo capitolo affronta il tema dei software che consentono di effettuare una simulazione energetica non solo a livello di edificio ma anche di città. Tra i software descritti, si dedica particolare attenzione al programma che verrà usato come supporto alla tesi: CITYSIM PRO.

Nel quarto capitolo si introduce il caso studio. Viene inizialmente descritta la realizzazione del modello, dalla suddivisione degli edifici alla creazione del modello energetico. Vengono definiti e descritti nello specifico i parametri di input (dati climatici, stratigrafie, apporti interni).

Infine, i risultati delle simulazioni energetiche vengono presentati nel quinto capitolo. Vengono inizialmente validate con il progetto TABULA e successivamente vengono presentati gli scenari caratterizzati più nello specifico per soddisfare l'obiettivo della tesi. Gli output vengono confrontati in termini di fabbisogni di riscaldamento - consumi finali - emissione di CO₂eq - energia primaria. Le simulazioni sono state eseguite con approccio deterministico e vengono poi confrontate con quello probabilistico per valutare l'impatto dell'occupante.

Lo studio della tesi termina con le conclusioni e gli eventuali sviluppi futuri.

ROADMAP







IL CONTESTO DELLA RICERCA

“ Climate change” means a change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods”¹

1.1 IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il clima della Terra è in continuo cambiamento. Questo fenomeno sta interessando ogni continente, sconvolgendo le economie nazionali e influenzando le persone, le comunità e i paesi oggi e ancor più domani. Il livello del mare sta aumentando, gli eventi meteorologici stanno diventando sempre più estremi e le emissioni di gas serra (GHG) hanno raggiunto i più alti livelli nella storia. In assenza di interventi tempestivi la temperatura superficiale media mondiale dovrebbe aumentare di 3 °C questo secolo.²

Il Summary for Policymakers of the 4th report³ dell' IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), pubblicato nel 2008 afferma che: *“ Warming of the climate system is unequivocal, as is now evident from observations of increases in global average air and ocean temperatures, widespread melting of snow and ice and rising global average sea level ”* ovvero *“Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, come è ora evidente dalle osservazioni sull'aumento delle temperature medie globali dell'aria e degli oceani, sullo scioglimento diffuso di neve e ghiaccio e sull'innalzamento del livello medio globale del mare”*

L'IPCC sostiene che l'influenza umana sul cambiamento climatico sia evidente e le recenti emissioni di gas a effetto serra di origine antropica sono le più alte mai registrate.

Gli scienziati hanno constatato il continuo cambiamento attraverso il supporto dei satelliti, che orbitano intorno alla Terra, e grazie ad altri strumenti altamente tecnologici, che hanno permesso di raccogliere diversi tipi di informazioni sul nostro pianeta e il suo clima su scala globale.



A sinistra, una fotografia del Muir Glacier in Alaska, scattata il 13 agosto 1941 del glaciologo William O. Field; a destra, una fotografia del geologo Bruce F. Molnia, dallo stesso punto di osservazione, il 31 agosto 2004.

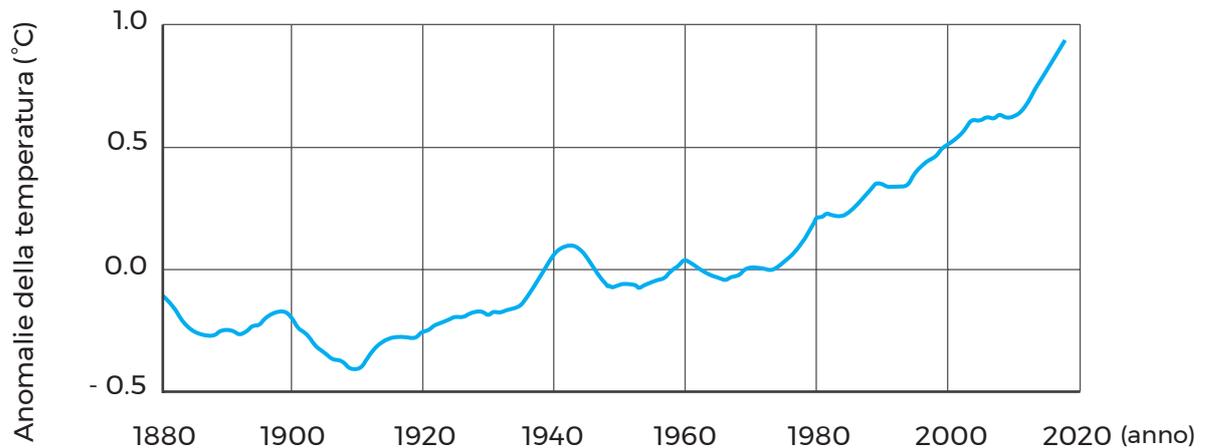


Figura 1: Rielaborazione personale delle anomalie della temperatura dal 1880 fino ai giorni nostri. Fonte climate.nasa.com

Nella prima immagine (Figura 1) si riporta un grafico realizzato dalla NASA nel quale si osserva l'evoluzione delle anomalie delle temperature dal 1880 ad oggi. Il 2016 è stato l'anno con le temperature superficiali medie globali più alte da quando sono iniziate le registrazioni moderne nel 1880.⁴

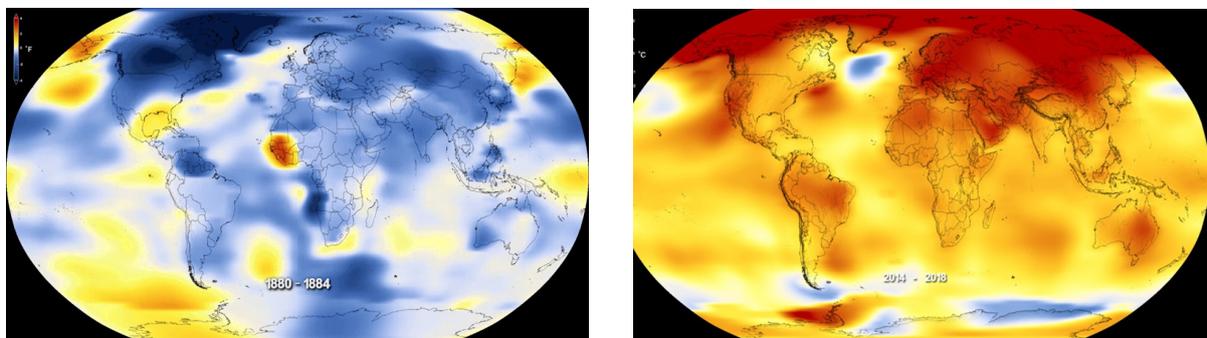


Figura 2: Confronto anomalie della temperatura superficiale terrestre tra le annate 1880-1884 e 2014 e 2018. Fonte climate.nasa.com

Secondo una parallela analisi del Japan Meteorological Agency (JMA), il 2018 è stato il 4° anno più caldo e l'anomalia della temperatura superficiale media globale è stata di 0,31 °C più alta rispetto alla media del periodo 1981-2010. Su una scala temporale più ampia, le temperature superficiali medie globali sono aumentate di circa 0,73 °C per secolo.⁵

1.2 LE CAUSE DEL CAMBIAMENTO

La temperatura media annua della Terra si aggira intorno ai 15 °C. Questa condizione del nostro pianeta, ottimale per la sopravvivenza, è dovuta al fatto che è circondato dall'atmosfera, un sottile strato di gas, composto per il 78% di azoto, per il 21% di ossigeno ed il restante 1% è costituito da altri gas in bassa concentrazione.

La Terra è irradiata costantemente dall'energia solare, che arriva nell'atmosfera terrestre sotto forma di radiazione. La radiazione solare viene per un quarto riflessa nello spazio dalle nubi, un quarto viene assorbita dall'atmosfera e successivamente trasformata in calore, e la restante parte raggiunge la superficie terrestre. Di quest'ultima quota il 90 % viene assorbita e riscalda la Terra mentre il restante 10 % viene ulteriormente riflessa e rimandata verso la Terra sotto forma di calore.

L'effetto serra è la capacità dell'atmosfera di trattenere più o meno calore: i gas serra (GHG) intrappolano parte della radiazione ed le impediscono di fuggire nello spazio, di conseguenza sono indispensabili per la vita sulla Terra grazie alla loro capacità di agire come un rivestimento. I gas serra, come il protossido di azoto (N₂O), il metano (CH₄) e l'anidride carbonica (CO₂), sono quindi fondamentali per mantenere una temperatura abitabile sulla Terra: se non ci fossero il nostro pianeta sarebbe semplicemente troppo freddo. È stato stimato che senza questi gas, la temperatura media superficiale della Terra sarebbe di circa -18 °C.⁶

A causa dell'attività umana però questo strato di gas serra è diventato sempre più spesso, di conseguenza questo effetto naturale si è acuito alterando l'equilibrio termico del pianeta.

Come affermato precedentemente, l'IPCC dichiara nel Summary for Policymakers of the 5th report⁷ pubblicato nel 2014: *“Anthropogenic greenhouse gas emissions have increased since the pre-industrial era, driven largely by economic and population growth, and are now higher than ever. [...] Their effects, together with those of other anthropogenic drivers, have been detected throughout the climate system and are extremely likely to have been the dominant cause of the observed warming since the mid-20th century”* ossia *“Le emissioni di gas serra antropogeniche sono aumentate dall'era preindustriale, trainate in gran parte dalla crescita economica e demografica, e ora sono più alte che mai. [...] I loro effetti, insieme a quelli di altri conducenti antropogenici, sono stati rilevati in tutto il sistema climatico ed*

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

è estremamente probabile che siano stati la causa principale del riscaldamento osservato dalla metà del 20° secolo.”

Sin dall'era preindustriale, le emissioni di gas serra di origine antropogenica hanno determinato un notevole aumento delle concentrazioni nell'atmosfera di anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O). Tra il 1750 e il 2011, le emissioni antropogeniche di CO₂ nell'atmosfera sono state pari a 2040 ± 310 GtCO₂. Circa il 40% di queste emissioni è rimasto nell'atmosfera mentre la restante parte è stata rimossa e conservata nelle piante, nei terreni e nell'oceano. Solo quest'ultimo ha assorbito circa il 30% della CO₂.

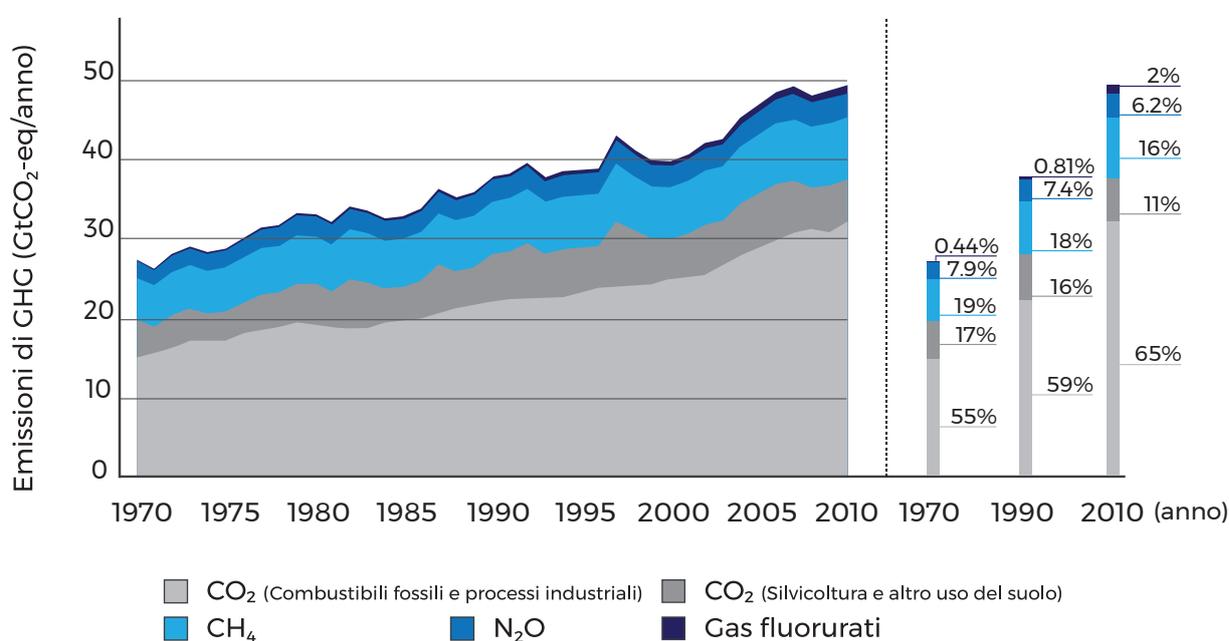


Figura 3: Rielaborazione personale delle emissioni di gas ad effetto serra di origine antropica dal 1970 al 2010. Fonte climate.nasa.com

1.3 GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO

Uno dei principali effetti del cambiamento climatico è l'aumento della temperatura media superficiale globale che ha come diretta conseguenza lo scioglimento dei ghiacciai.

Secondo un'analisi della Nasa, il ghiaccio si riduce del 12,8 % per decennio, rispetto alla media del 1981-2010.⁸

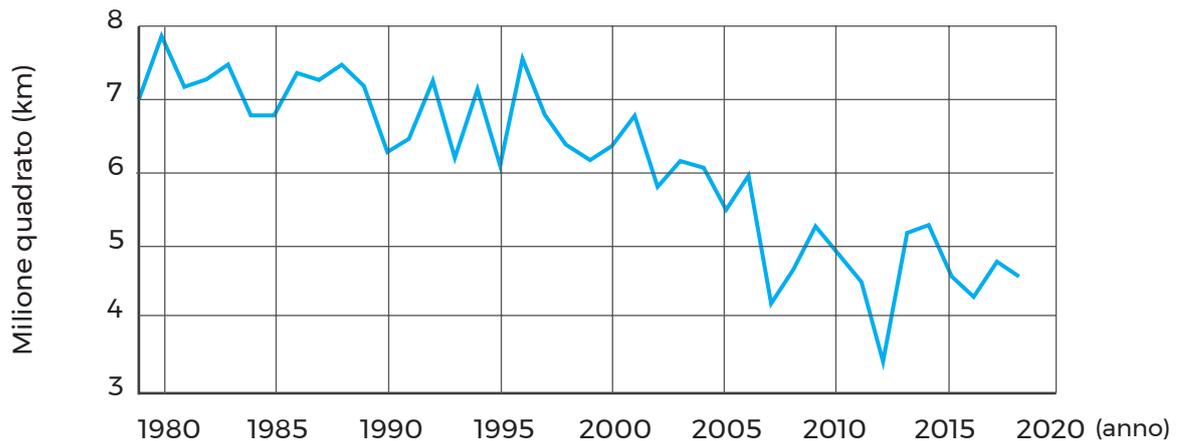


Figura 4: Rielaborazione personale dell'andamento dell'estensione del ghiaccio artico da quando sono iniziate le registrazioni fino ai giorni nostri. Fonte climate.nasa.com

Come si può vedere nel grafico sopra riportato (Figura 4) l'estensione minima del ghiaccio artico, che si verifica all'inizio di metà settembre (in quanto si espande durante l'autunno e l'inverno grazie alle temperature più basse), è diminuita di oltre il 40% e la riduzione del volume e dello spessore del ghiaccio è ancora maggiore. La percentuale della copertura di marzo composta da ghiaccio più spesso (poiché è il ghiaccio sopravvissuto allo scioglimento estivo) è diminuita dal 75% nella metà del 1980 al 45% nel 2011. Questo calo è considerato un record storico.

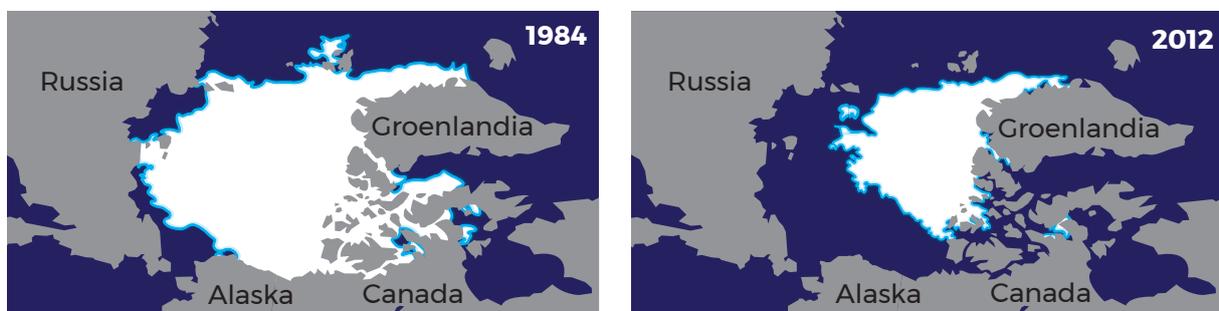


Figura 5: Confronto della superficie del ghiaccio Artico da Settembre 1984 a Settembre 2012
Fonte: nca2014.globalchange.gov

Lo scioglimento dei ghiacciai comporta l'innalzamento del livello dei mari ed una delle principali conseguenze è il danneggiamento di numerose zone costiere per erosione ed inondazione.

L'impatto sul ciclo dell'acqua è un'altra conseguenza del fenomeno climatico. Tutto ciò comporterebbe una maggiore disponibilità di acqua nelle zone dove le risorse idriche sono già abbondanti, come ad esempio nell'emisfero Nord, e viceversa ad una minore disponibilità dove già c'è carenza come in Africa e Asia.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il cambiamento delle precipitazioni porterà ad un deterioramento del suolo e di conseguenza l'agricoltura verrà danneggiata: nei paesi a rischio di denutrizione questo impatto comporterà ad un'ulteriore riduzione della poca disponibilità di cibo.

Queste variazioni nei fenomeni climatici incidono enormemente sugli equilibri degli ecosistemi naturali quali foreste, praterie, deserti, sistemi montani, laghi ed oceani e si teme che animali ed habitat non riescano ad adattarsi tanto velocemente quanto il cambiamento climatico richiederebbe. Questi fenomeni, oltre a mettere a rischio la natura, mettono a repentaglio anche settori quali la pesca ed il turismo.

La riduzione della capacità delle foreste di assorbire l'anidride carbonica comporta un aumento dell'inquinamento.

Gli effetti della siccità sono già ben visibili in alcune zone della Terra, ad esempio in Africa il Lago Chad sta scomparendo: negli ultimi 50 anni ha perso il 90% della sua superficie e, con la mancanza di acqua, il deserto si sta continuando ad espandere di circa 600 metri ogni anno mettendo a rischio la possibilità di un'agricoltura e di una pastorizia di sussistenza.⁹

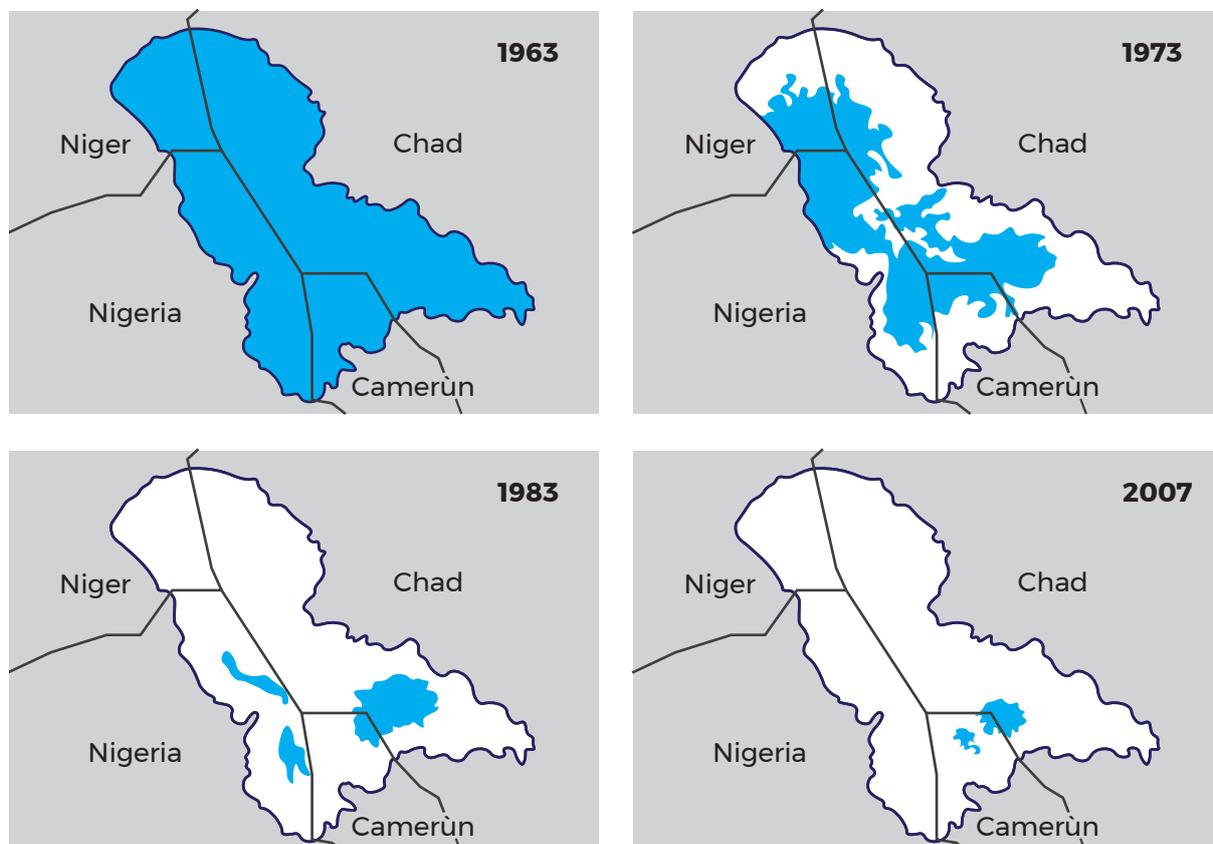


Figura 6: Rielaborazione personale dell'evoluzione del prosciugamento del Lago Chad. Fonte: PNUD 2006

Diverse gravi conseguenze si ripercuotono anche sulla salute umana: non solo la diffusione di malattie infettive come malaria e febbre gialla, ma anche l'aumento dei decessi dovuti al clima, soprattutto tra la popolazione più anziana, come ad esempio per l'ondata di calore del 2003 in Europa che causò 70.000 morti.¹⁰

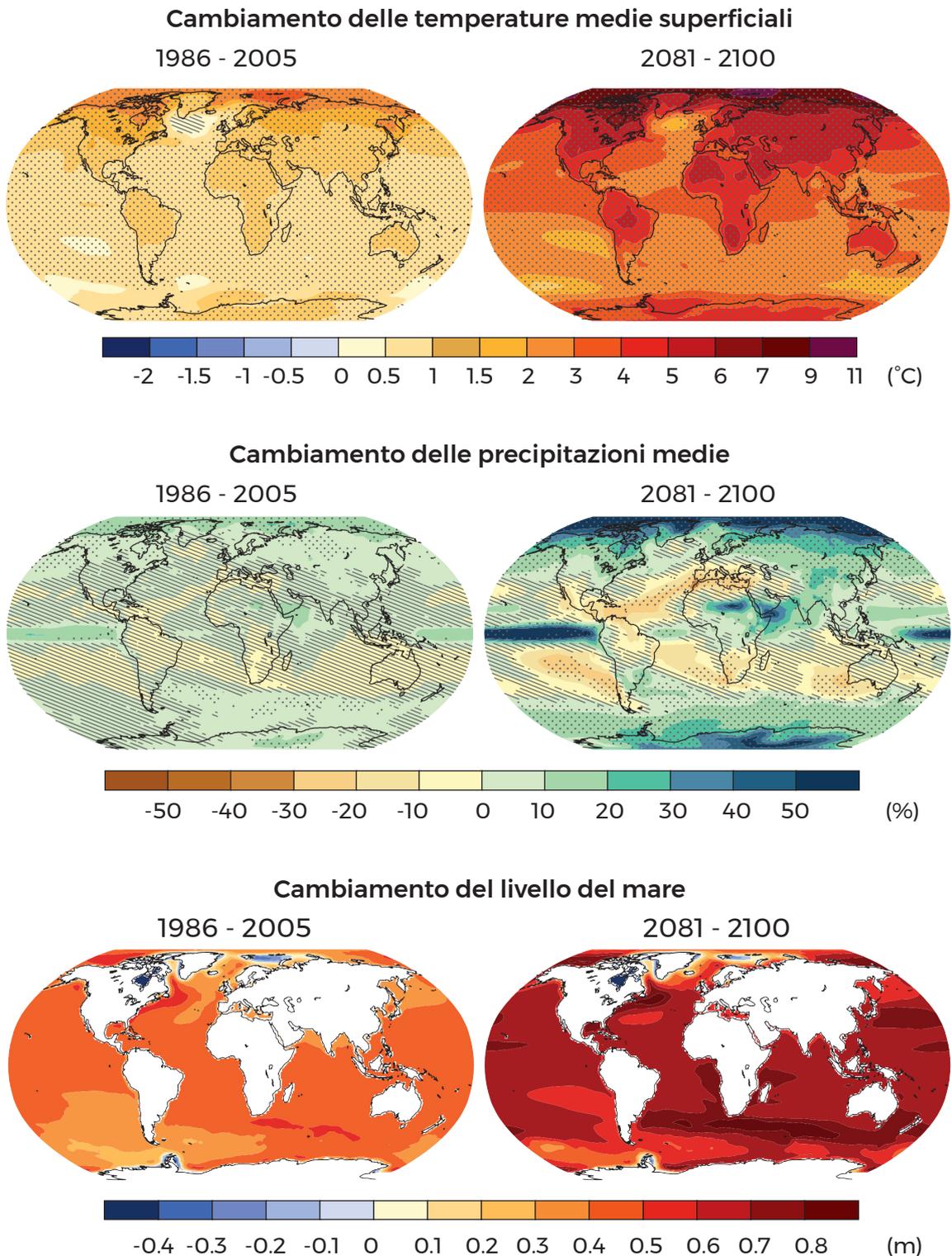


Figura 7: Fonte: IPCC



• **ALASKA** •

Dopo il 2016, il 2018 è stato il secondo anno più caldo

• **HAWAII** •

Ad Aprile, le forti piogge hanno provocato inondazioni e frane. Un pluviometro situato a Kauai ha registrato 1261,13 mm di pioggia in 24 ore, un nuovo record nazionale degli Stati Uniti

• **STATI UNITI** •

Il 2018 è stato il terzo anno più piovoso mai registrato. Gli anni 1973 e 1983 furono più umidi.

• **URAGANO MICHAEL** •
(7 - 12 Ottobre)

Venti massimi - 250 km / ora. Michael è stato il terzo uragano più intenso in base alla pressione centrale ed il quarto più intenso in base alla velocità del vento.

• **EUROPA** •

Molto più calde delle condizioni medie hanno inghiottito gran parte dell'Europa per la maggior parte del 2018, con il risultato di un anno in bianco. Diversi paesi confinanti hanno un record, come Francia, Germania e Svizzera, o anno caldo quasi record.

• **ALGERIA** •

Il 5 Luglio, la città Ouargla ha registrato una temperatura di 51.3 °C, la temperatura più alta registrata in Algeria

• **ARGENTINA** •

L'Argentina ha avuto il suo nono anno più caldo da quando sono nati i record nazionali nel 1961

Figura 8: Rielaborazione personale degli eventi metereologici più disastrosi del 2018. Fonte: IPCC

• **ESTENSIONE DEL GHIACCIO ARTICO** •

Durante la sua stagione di crescita, l'Artico aveva il suo secondo più piccolo massimo annuale. Durante la sua stagione invernale, l'Artico ha raggiunto il suo sesto minimo minimo storico

• **ASIA** •

IRAQ, Emirati arabi, Qatar, Turmenistan, Pakistan, Uzbekistan e Tajikistan hanno stabilito nuovi record di temperatura a marzo. L'Asia ha stabilito un nuovo record massimo di temperature continentali per marzo, quando la temperatura attraverso il Pakistan è salita a 45,5 °C

• **TIFONE YUTU** •

(21 Ottobre - 2 Novembre)

Venti massimi - 285 km / ora.

• **CICLONE MEKUNU** •

(21 - 27 Maggio)

Venti massimi - 185 km / ora. Il quarto ciclone più forte nel Mar Arabico.

• **ESTENSIONE DEL GHIACCIO ANTARTICO** •

Durante la sua stagione di crescita, l'Antartico aveva il suo quarto massimo massimo annuale. Durante la sua stagione invernale, l'Antartico ha raggiunto il suo secondo minimo minimo storico

• **AUSTRALIA** •

L'Australia ha avuto il suo terzo anno più caldo da quando sono nati i record nazionali nel 1910

• **NUOVA ZELANDA** •

Dopo il 2016, il 2018 è stato il secondo anno più caldo assieme al 1998

1.4 ANDAMENTO DELLE EMISSIONI DI CO₂

Le emissioni globali di GHG sono in continua crescita, quando sarebbe invece necessaria una loro diminuzione per combattere il cambiamento climatico.

Le emissioni di GHG di un Paese dipendono da numerosi fattori riconducibili principalmente alle attività produttive dei vari settori economici.

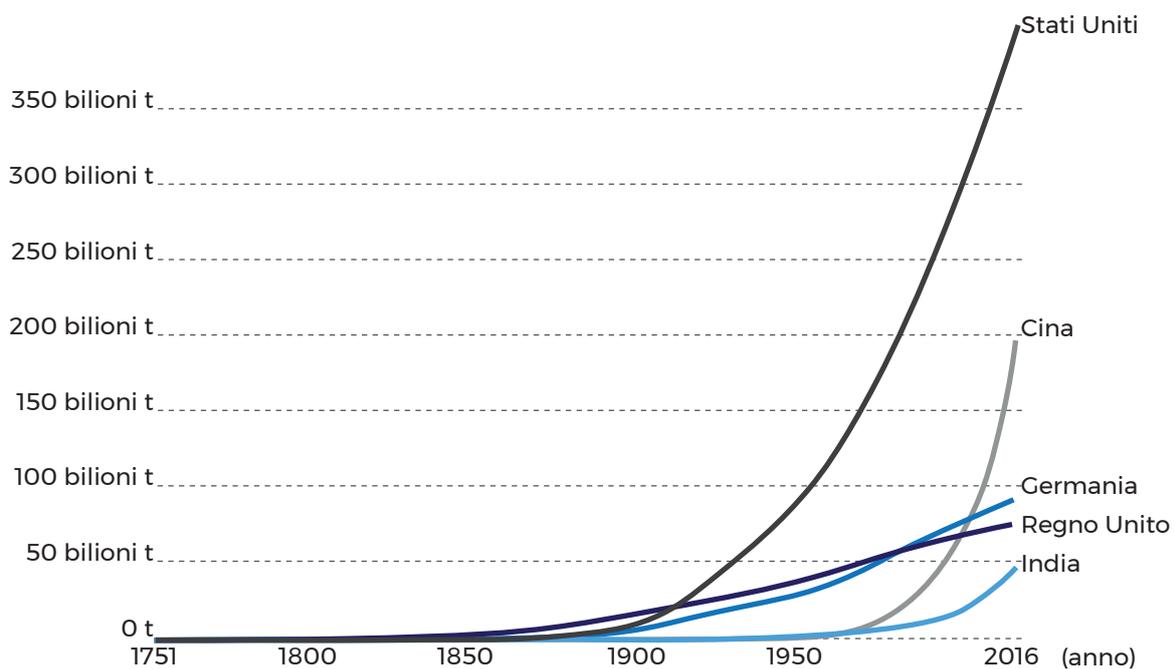


Figura 9: Rielaborazione personale dell'evoluzione delle emissioni di CO₂ dall'epoca pre industriale fino al 2016. Fonte: Global Carbon Project (GCP); ourworldindata.org

Nella figura sopra riportata sono evidenziate le emissioni di dei paesi più produttori di CO₂ dalla rivoluzione industriale al 2016. Il Regno Unito è stato il primo emettitore di CO₂ su scala industriale del mondo. Altre regioni - America Latina, Asia e Africa - hanno iniziato a contribuire alle emissioni globali di CO₂ molto più tardi, in gran parte contenute nel XX e nel XXI secolo.

Attualmente gli Stati Uniti e l'Europa dominano in termini di emissioni cumulative. La rapida crescita delle emissioni della Cina negli ultimi decenni la rende ora il secondo più grande emettitore del mondo, sebbene sia al di sotto di circa il 50% del totale degli Stati Uniti.

Secondo un rapporto pubblicato nel 2017 dal Carbon Disclosure Project (CDP), un'organizzazione no profit che si occupa di ambiente, il 71% delle emissioni globali di CO₂, dal 1988 al 2015, è causato da 100 società. L'industria del carbone cinese è responsabile del 14% delle emissioni, a seguire la Saudi Aramco Oil Company (4,5%), la russa Gazprom, (3,9%), la National Iranian Oil Company (2,3%), ExxonMobil Corp (2%), Coal India (1,9%), Petroleos Mexicanos (1,9%), Russia Coal (1,9%)¹¹.

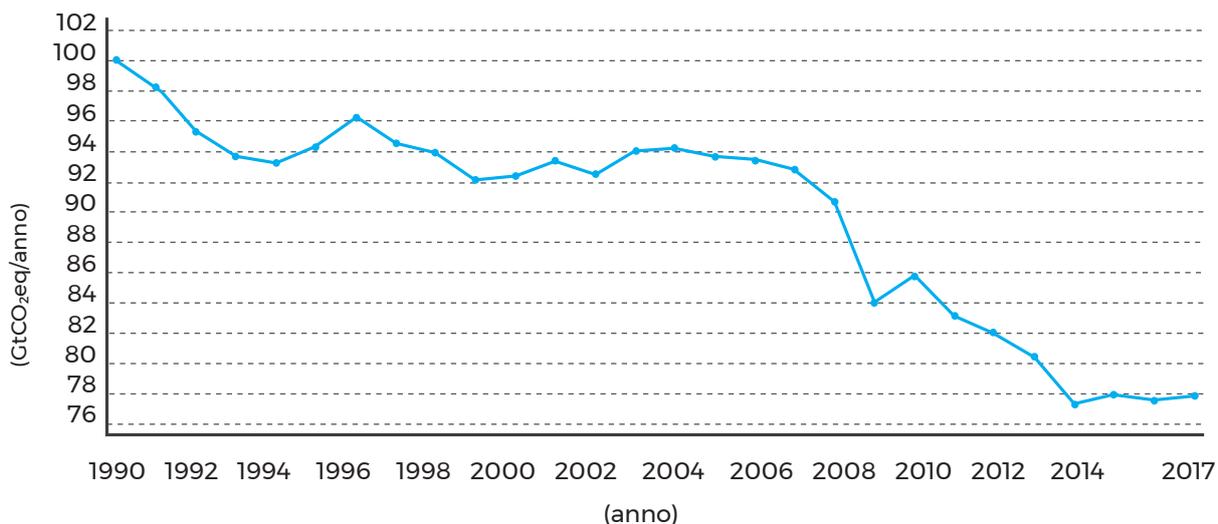


Figura 10: Rielaborazione personale dell'evoluzione delle emissioni di CO₂ all'interno dell'Unione Europea dal 1990 al 2017. Fonte: Eurostat (env_air_gge), European Environment Agency

La figura 10 mostra che vi è stata una diminuzione di emissioni durante il periodo 1990-1994, seguita da un picco nel 1996 a causa di un inverno molto freddo che ha portato ad un aumento di fabbisogni di riscaldamento. Il 2009 ha assistito ad un forte calo a causa della crisi finanziaria ed economica globale e la conseguente ridotta attività industriale. Nel 2016 le emissioni sono diminuite del 22% rispetto ai livelli del 1990, con una riduzione di 1279 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente, ma sono aumentate dello 0,7% (30 milioni di tonnellate di CO₂ equivalenti) tra il 2016 e il 2017.

Tra gli Stati membri dell'UE nel 2017, le emissioni di gas a effetto serra sono state le più elevate in Germania (21% del totale), seguita da Regno Unito e Francia.

Le maggiori diminuzioni rispetto ai livelli del 1990 appartengono alla Lituania (-57%), Lettonia (-56%), Romania (-54%) ed Estonia (-48%), mentre i maggiori aumenti sono stati calcolati per Cipro (+56%), Portogallo (+23%) e Spagna (+22%).¹²

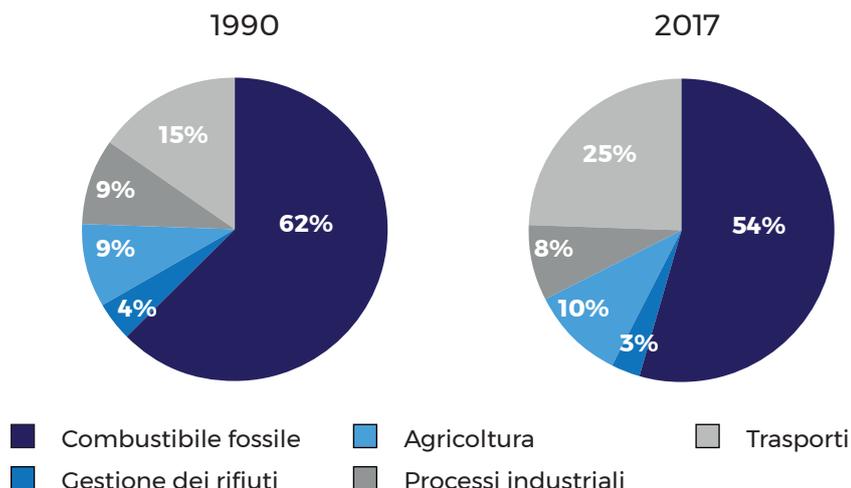
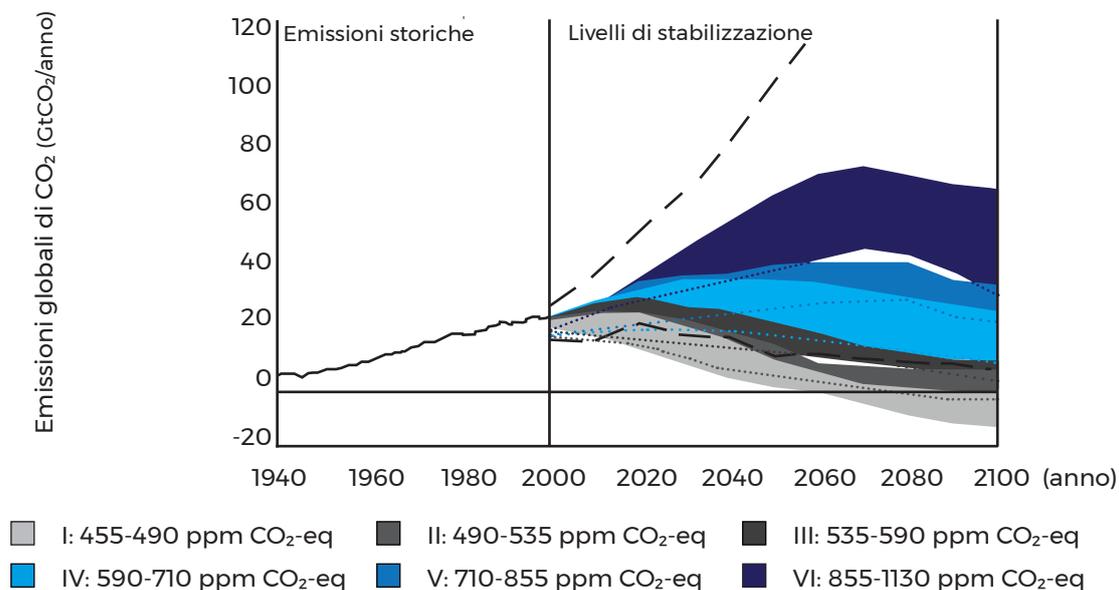


Figura 11: Rielaborazione personale del confronto tra il 1990 ed il 2017 per settore delle emissioni di GHG all'interno dell'Unione Europea. Fonte: Eurostat (env_air_gge), European Environment Agency

1.5 IL CONTESTO INTERNAZIONALE

Un importante passo verso la consapevolezza dei rischi legati al cambiamento climatico globale vi è stato quando l'IPCC pubblicò il Fourth Assessment Report nel 2008. Il report sostiene che un aumento della temperatura media globale superiore ai 2 °C, rispetto ai livelli preindustriali, potrebbe comportare importanti conseguenze sull'ecosistema, sulla biodiversità, sulla salute, sull'agricoltura e sugli altri sistemi umani e naturali.

Limiti di emissioni di CO₂ per i livelli di stabilizzazione



L'aumento della temperatura di equilibrio per i livelli di stabilizzazione

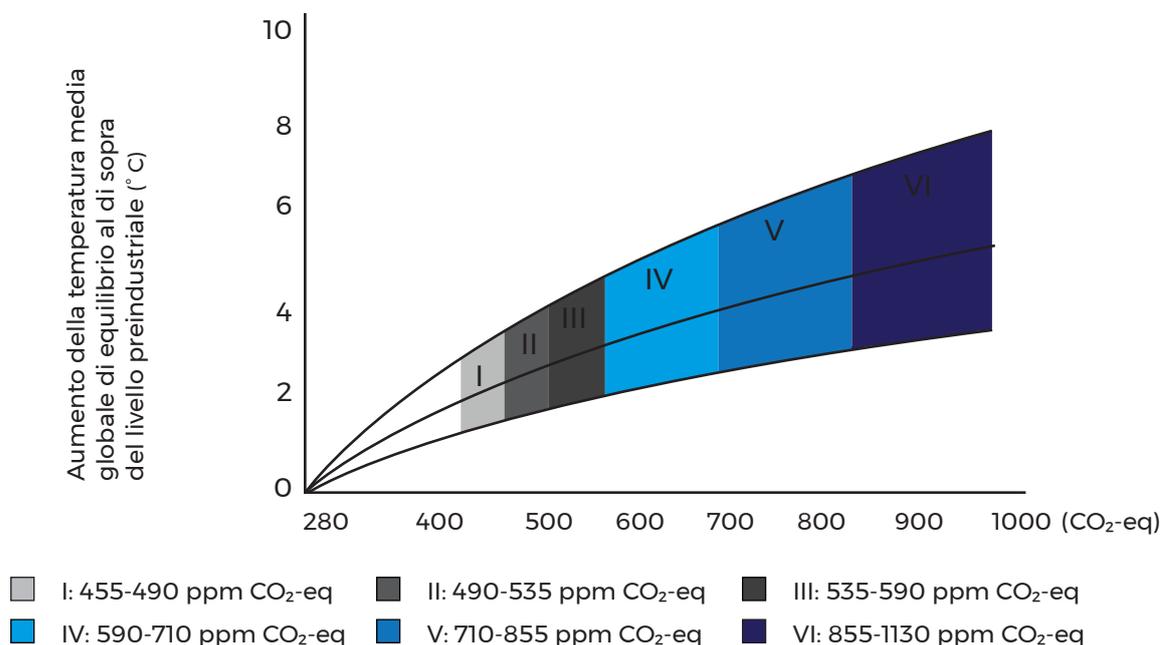


Figura 12: Rielaborazione personale del grafico limiti di emissioni di CO₂ e l'aumento della temperatura di equilibrio per i livelli di stabilizzazione Fonte: IPCC, Fourth Assessment Report

L'immagine in figura 12 mostra la riduzione di emissioni di GHG necessaria per raggiungere il target di stabilizzazione. Raggiungere l'equilibrio può richiedere diversi secoli, in particolar modo per gli scenari con livelli più alti di stabilizzazione.

Il report dell'IPCC sostiene che la mitigazione di emissioni di gas serra e l'adattamento al cambiamento climatico dovrebbero essere integrati nelle politiche economiche anche perché il cambiamento climatico è fortemente legato allo sviluppo economico.

Al fine di rafforzare la lotta contro il surriscaldamento globale, è stata approvata nel 1992 la Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), ossia il principale trattato internazionale sul tema della lotta contro i cambiamenti climatici ed il suo organo decisionale è la Conferenza delle parti (COP) che viene tenuta ogni anno. Il suo obiettivo è di impedire all'attività umana di stravolgere il sistema climatico mondiale ma, allo stesso tempo, non vengono posti dei limiti obbligatori per le emissioni di gas serra alle singole nazioni, di conseguenza non è legalmente vincolante. Esso però dà la possibilità alle parti firmatarie di adottare ulteriori atti, chiamati protocolli, che ponevano dei limiti obbligatori di emissioni.

IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Nella Conferenza delle Parti (COP) del 1997 è stato compilato il Protocollo di Kyoto, entrato successivamente in vigore nel 2005. Il trattato di valenza internazionale aveva l'obiettivo di far ridurre le emissioni di gas serra dei paesi firmatari del 5,2 % rispetto ai propri livelli di emissione del 1990 entro il 2012, in percentuale diversa da Stato a Stato. Nello specifico per l'Italia, la quota da raggiungere era pari al 6.5% rispetto al 1990.

L'accordo di Parigi, adottato alla COP21 del 2015 ed entrato in vigore nel 2016, è il primo accordo universale legalmente vincolante sul clima a livello mondiale. In questo accordo, i paesi hanno concordato sull'obiettivo a lungo termine di mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali e di puntare a limitare l'aumento a 1,5°C, in quanto ridurrebbe significativamente i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici. A partire da aprile 2018, 175 parti hanno ratificato l'accordo e 10 paesi in via di sviluppo - tra cui il Burundi, la Liberia e l'Uzbekistan - hanno presentato i piani nazionali di adattamento per rispondere ai cambiamenti climatici.

Nel 2018 si è tenuta in Polonia la COP24, dove è stato redatto il 'Rulebook', ovvero il regolamento che rende operativo l'accordo di Parigi.

1.6 LE POLITICHE ENERGETICHE IN EUROPA

L'Unione Europea (UE) è stata in prima linea negli sforzi internazionali al fine di raggiungere un accordo globale sul clima. In seguito alla stipulazione del Protocollo di Kyoto, le politiche della UE sono state dirette verso la promozione di un'economia a basso consumo energetico e più sostenibile.

Gli obiettivi fondamentali in materia di clima e di energia sono stabiliti nel Pacchetto 20-20-20 e nel Quadro per le politiche dell'energia e del clima 2030.

Il "Pacchetto 20-20-20" o "Pacchetto Clima-Energia" definisce l'impegno dell'UE in una riduzione delle emissioni di CO₂ per il 2020 del 20% rispetto ai livelli del 1990, di soddisfare il 20% del fabbisogno energetico da fonti rinnovabili ed con un miglioramento del 20% dell'efficienza energetica¹³.

Il quadro per il clima e l'energia 2030, per il periodo dal 2021 al 2030, prevede una riduzione di almeno il 40% delle emissioni di CO₂, l'uso di almeno il 32% di energia

rinnovabile ed un miglioramento di almeno il 32,5% dell'efficienza energetica¹⁴. Il quadro è stato adottato dai leader dell'UE nell'ottobre 2014 ed è legato alla prospettiva a lungo termine per passare a un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio entro il 2050¹⁵.

Il Parlamento Europeo ha emanato nel 2002 la Direttiva Europea 2002/91/CE¹⁶, anche nota come Direttiva EPBD ("Energy Performance of Buildings Directive"), che dettava le prime misure volte a promuovere il rendimento energetico degli edifici e stabiliva i requisiti minimi di efficienza cui dovevano sottostare gli edifici nuovi, indicando le caratteristiche della metodologia di calcolo dei requisiti. Da questa direttiva sono derivate tutte le normative successive riguardanti l'efficienza energetica. Nel 2008 è stato imposto il rafforzamento delle disposizioni della Direttiva 2002/91/CE, affinché l'obiettivo del 20% di efficientamento energetico potesse essere raggiunto nel 2020.

La Direttiva 2010/31/UE (EPBD recast - Energy Performance of Buildings Directive) abroga la precedente 2002/91/CE e offre un quadro per le prestazioni energetiche degli edifici utile come regolamento e per i calcoli energetici.

All'articolo 2 vengono definiti gli Edifici a Energia Quasi Zero (Near Zero Energy Building) come "Edifici ad altissima prestazione energetica. Il fabbisogno energetico molto basso dovrà essere coperto in maniera significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa quella prodotta in loco o nelle vicinanze".

La Gazzetta ufficiale dell'Unione europea ha pubblicato il 19 Giugno 2018 la direttiva UE 2018/844 che sostituisce le esistenti direttive a tema della prestazione ed efficienza energetica. Tra i nuovi obiettivi della direttiva vi è quello di proseguire "lo sviluppo di un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato", favorendo strategie a lungo termine al fine di sostenere l'efficientamento di edifici sia residenziali che non, partendo dal presupposto che circa il 36 % di tutte le emissioni di CO₂ nell'Unione Europea è riconducibile agli edifici¹⁷.

1.7 IL CONTESTO ITALIANO

Come descritto nel paragrafo precedente, l'EPBD introduce il tema della certificazione energetica degli edifici in Europa e richiede agli Stati membri il suo recepimento, Italia compresa.

Lo Stato italiano ha infatti recepito la direttiva europea 2002/91/CE nel 2005, con il Decreto Legislativo n° 192 del 19 agosto, successivamente modificato dal Decreto Legislativo n° 311 del 29 dicembre 2006: “Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005 n.192 recante attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”.

Il D.Lgs. 192/2005 sanciva la temporanea sostituzione del certificato con un attestato di qualificazione, senza tuttavia dar maggiori informazioni a riguardo¹⁸.

Il 26 giugno 2009 furono emanate le “Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”.

Ogni Regione ha avuto il compito di recepire singolarmente le direttive europee poiché alcune avevano già definito dei valori di efficienza energetica più restrittivi rispetto alla normativa nazionale, e nel caso in cui una Regione non fosse interessata a farlo, avrebbe dovuto utilizzare la normativa nazionale. Infatti, molte regioni italiane (Piemonte compreso) avevano già adottato provvedimenti in materia energetica prima dell’emanazione del D.M. del 26 giugno 2009, generando così una situazione fortemente frammentata nel territorio nazionale.

La norma UNI TS 11300¹⁹

Nonostante le linee guida tardive e la disomogeneità riscontrata a livello regionale, grazie alla norma UNI TS 11300, considerata una delle migliori a livello europeo, si sono ottenuti risultati molto importanti a livello nazionale.

La Norma, redatta dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano) è nata con l’obiettivo di definire una metodologia di calcolo nazionale per determinare le prestazioni energetiche degli edifici ed è suddivisa in quattro parti:

- UNI TS 11300-Parte 1 (del maggio 2008 - aggiornata 2014)²⁰:

“Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”.

La norma tecnica specifica le modalità di attuamento della UNI EN ISO 13790 del 2008, facendo riferimento al metodo di calcolo mensile per il fabbisogno di riscaldamento e di raffrescamento. Nello specifico presenta le modalità di calcolo da effettuare per le diverse applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790, ossia il calcolo di progetto

(design rating), la valutazione energetica in condizioni standard (asset rating) o in particolari condizioni climatiche e d'esercizio (tailored rating).

• UNI TS 11300-Parte 2 (del maggio 2008 - aggiornata 2014)²¹:

“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”.

La seconda parte fornisce i dati e i metodi legati a tre principali aspetti:

- la determinazione del fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria (ACS)
- la definizione dei rendimenti e dei fabbisogni di energia elettrica degli ausiliari dei sistemi sia di riscaldamento che di produzione di ACS
- il calcolo dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la produzione dell'ACS.

E' applicabile sia su edifici esistenti, ristrutturati o di nuova progettazione.

• UNI TS 11300-Parte 3 (del marzo 2010):

“Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”.

La norma tecnica specifica i dati e i metodi necessari per la definizione dei rendimenti e dei fabbisogni energetici dei sistemi di climatizzazione estiva e per definirne i fabbisogni di energia primaria.

• UNI TS 11300-Parte 4 (del maggio 2012):

“Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”.

La quarta parte tratta del calcolo per il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di ACS nel caso vi siano sottosistemi di generazione che contribuiscono con energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi da quelli trattati nella UNI TS 11300-2.





LA CITTA'

Dire “città dell’uomo a misura d’uomo”, è subito porre l’uomo al suo posto e si può su di esso fissare l’attenzione come su colui dal quale la città prende vita e verso il quale la città è volta come a proprio fine.

Giuseppe Lazzati ²²

2.1 IL RUOLO DELLA CITTA'

Il ruolo delle città nel mitigare i cambiamenti climatici è importante per molteplici ragioni.

Le città occupano solo il 3% della superficie terrestre ma consumano circa il 60-80% dell'energia mondiale e sono responsabili del 75% delle emissioni di carbonio²³. Metà dell'umanità - 3,5 miliardi di persone - vive nelle città e nel 2030 se ne prevedono 5 miliardi²⁴. Nel 2007, per la prima volta nella storia dell'umanità, la popolazione insediata nelle città ha superato quella che vive in zone rurali²⁵.

Diversi studi di limitazione della temperatura globale, come l'Energy Technology Perspectives (ETP) dell'AIE, confermano il ruolo sempre più importante per le città nella riduzione delle emissioni nei prossimi decenni rispetto alle aree non urbanizzate. A livello globale, le riduzioni di emissioni di CO₂ necessarie entro il 2050 (rispetto ai livelli del 2013) ammontano a oltre il 60% per le aree urbane e circa il 40% per le aree non urbane distribuite tra le diverse fonti di emissione, come riportato in figura 13.

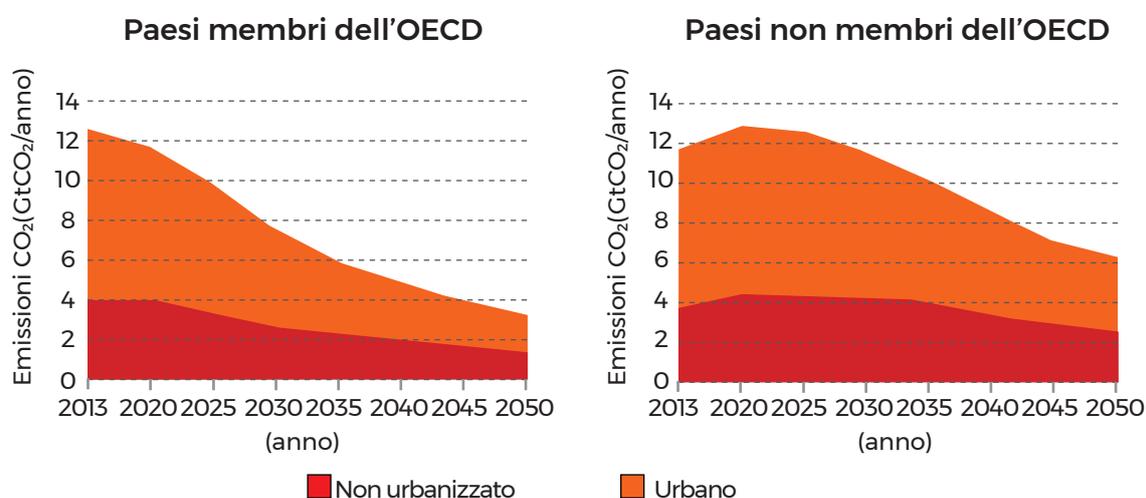


Figura 13: Confronto della riduzione necessaria delle emissioni di CO₂ entro il 2050 tra i paesi appartenenti all' Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) e quelli non appartenenti. Fonte: ETP

Inoltre l'ETP suggerisce che entro il 2050 dovrà essere raggiunta una diminuzione del 90% delle emissioni date dal settore energetico, come riportato in figura 14. Soprattutto per raggiungere gli obiettivi posti contro il cambiamento climatico è necessario che siano modificati i modelli di consumo energetico negli edifici, trasporto e industria a livello globale.

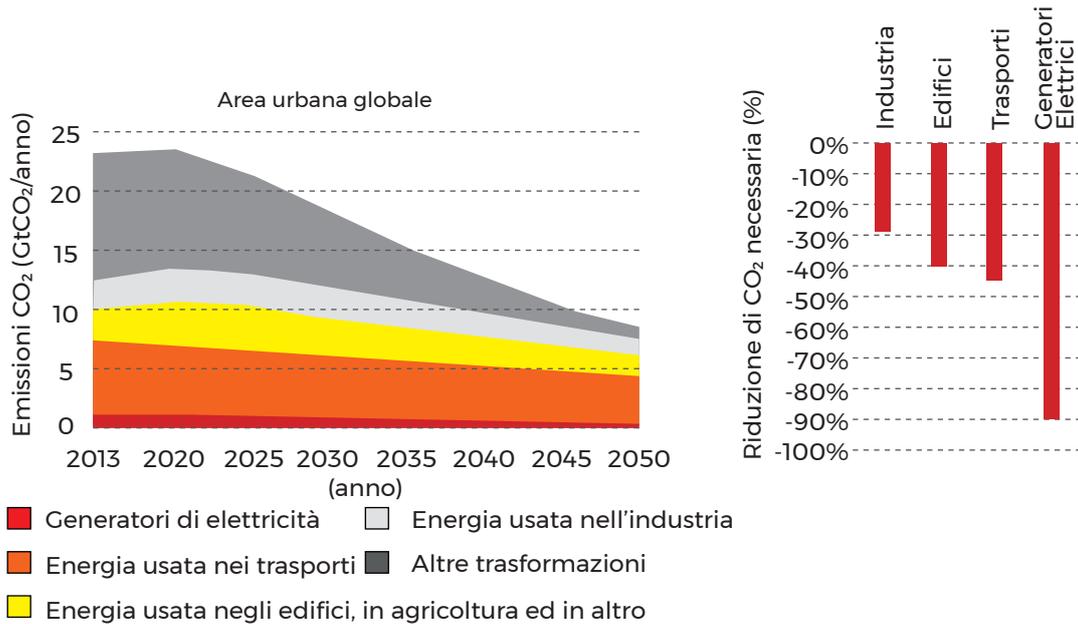


Figura 14: (a sinistra) Riduzione di emissioni di CO₂ necessaria per raggiungere gli obiettivi globali contro i cambiamenti climatici. (a destra) Riduzione in percentuale di emissioni di CO₂ necessaria entro il 2050 in comparazione al 2013. Fonte: ETP

L'energia utilizzata negli edifici per il riscaldamento, il raffrescamento e l'illuminazione è decisiva nel sistema energetico globale. Se nei paesi industrializzati il patrimonio edilizio è dominato da edifici già esistenti, la prospettiva globale è differente. Infatti, la maggior parte degli edifici nei paesi in via di sviluppo verranno costruiti nel futuro. Di conseguenza l'urbanizzazione e la crescita economica aumenteranno l'utilizzo di energia, per questo motivo è fondamentale una maggiore attenzione all'efficienza energetica.

Il settore dell'edilizia globale ricopre il 20% del consumo finale totale di energia²⁶.

2.2 LA DECARBONIZZAZIONE

Come scritto nel paragrafo precedente, le città costituiscono l'opportunità chiave per raggiungere gli ambiziosi obiettivi che ci si è prefissati a livello internazionale, visto il potenziale risparmio ottenibile. Vengono viste come punto di partenza per ottenere risultati concreti a livello globale, grazie alla concentrazione di persone, servizi ed emissioni generate.

Le azioni necessarie, secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA)²⁷, devono riguardare sia il contenimento dei consumi tramite una maggiore efficienza, che la de-carbonizzazione del settore della produzione dell'energia.

Anche in questo gli edifici hanno un alto potenziale, in quanto consumano più del 50% dell'elettricità prodotta nel mondo. Una riduzione di questa domanda porrebbe le condizioni per un rinnovamento nei sistemi di produzione di energia verso forme sostenibili e pulite, dove gli edifici stessi potrebbero diventare produttori di energia. Secondo un report della Building Performance Institute Europe (BPIE) nella transizione da un sistema centralizzato, basato su fonti fossili ed energivoro ad un sistema decentrato, basato sulle fonti energetiche rinnovabili ed efficiente, gli edifici possiedono un ruolo chiave, poiché sono "l'infrastruttura" più diffusa che esista sul territorio²⁸. Essi hanno, secondo la BPIE, il potenziale per diventare produttori, accumulatori e fornitori, oltre che consumatori, di energia assumendo un ruolo attivo nel sistema energetico. Questo è sicuramente vero per la realtà europea, dove le costruzioni sono numerosissime e diffuse e dove gli edifici, nel sistema attuale, sono responsabili del 40% dei consumi finali (per il 68% a causa di quelli residenziali) e del 36% delle emissioni. E' stato stimato che l'intervento sullo stock edilizio europeo porterebbe ad una riduzione al 2030 del 46% nel consumo di combustibili e del 60% nelle emissioni rispetto ai livelli del 2005²⁹.

Poste queste premesse, appare evidente che gli edifici possano essere sia direttamente, grazie un miglioramento della loro efficienza, che indirettamente, mediante la de-carbonizzazione della produzione dell'energia ad essi consegnata, un settore fondamentale sul quale intervenire. Sempre secondo la IEA, nello scenario di mantenimento del surriscaldamento globale entro i 2°C, tramite la maggior efficienza energetica negli edifici e la de-carbonizzazione nel sistema di produzione dell'energia, le emissioni da loro generate diminuirebbero di più dell'80%, e le fonti fossili impiegate sarebbero la metà, con importanti benefici anche in termini di salute pubblica, benessere e qualità dell'aria.

Vista l'emergenza energetico-ambientale e riconosciuta la responsabilità dell'uomo su di essa, si è iniziato a parlare di "transizione", "società/economia low-carbon", "Post Carbon Cities". Il concetto di Post Carbon Cities (PCC) indica una *"rottura del sistema urbano dipendente dal carbonio, che ha portato all'emissione di quantità significative di gas a effetto serra e alla creazione di nuovi tipi di città a basse emissioni di carbonio e ambientali, socialmente ed economicamente sostenibili"*³⁰. Le PCC implicano un cambio di legame tra città ed energia. Il termine "Post-Carbon", ossia "post-carbonio", evidenzia il processo di trasformazione necessario per contrastare la minaccia dei cambiamenti climatici, verso la salute degli ecosistemi e un'economia dell'energia pulita.

LA CITTA'

Come detto precedentemente, l'UE si è impegnata con un programma per promuovere un'economia low-carbon entro il 2050, con la riduzione complessiva dell'80% delle emissioni di GHG rispetto al 1990. Gli scenari ai quali ci si riferisce parlando di sostenibilità sono molteplici, tra cui l'ambito economico, sociale, culturale ed ambientale. La consapevolezza del problema ha portato anche alla nascita di movimenti volontari, come il movimento di Transizione, nato in Gran Bretagna ed attivo anche in Italia, che tentano di cambiare il sistema nel quale viviamo, abbandonando il vecchio modello di crescita indefinita e di sfruttamento delle fonti fossili.

2.3 I CONSUMI ENERGETICI NEGLI EDIFICI

Gli edifici occupano un posto chiave nelle nostre vite e nella nostra società. Tuttavia, le prestazioni energetiche sono così scarse che i livelli di energia consumati fanno posizionare il settore edilizio tra le più significative fonti di emissioni di CO₂ in Europa. Secondo Eurostat, gli edifici rappresentano il 41,7% (27,2% residenziale e 14,5% servizi) del consumo di energia nell'Unione europea, più di ogni altro settore, compresi i trasporti e l'industria.

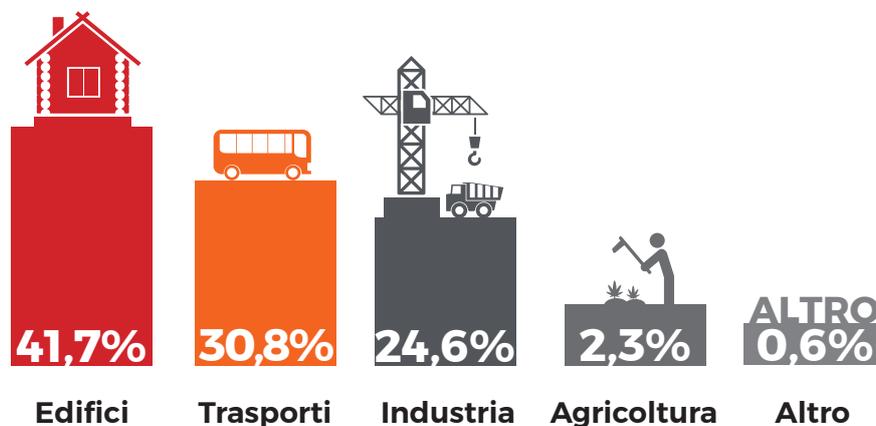


Figura 15: Grafico del consumo energetico finale per settore all'interno dell'UE nel 2017. Fonte: Eurostat

L'ampia quota di energia consumata negli edifici si traduce in un'altra alta percentuale: circa il 36% delle emissioni totali di GHG dell'UE può essere attribuito a questa fonte. Una quota considerevole degli edifici in Europa è di oltre 50 anni fa mentre molti altri hanno più di centinaia di anni. Più del 40% degli edifici residenziali europei sono stati costruiti prima degli anni '60, quando i regolamenti energetici erano molto limitati.

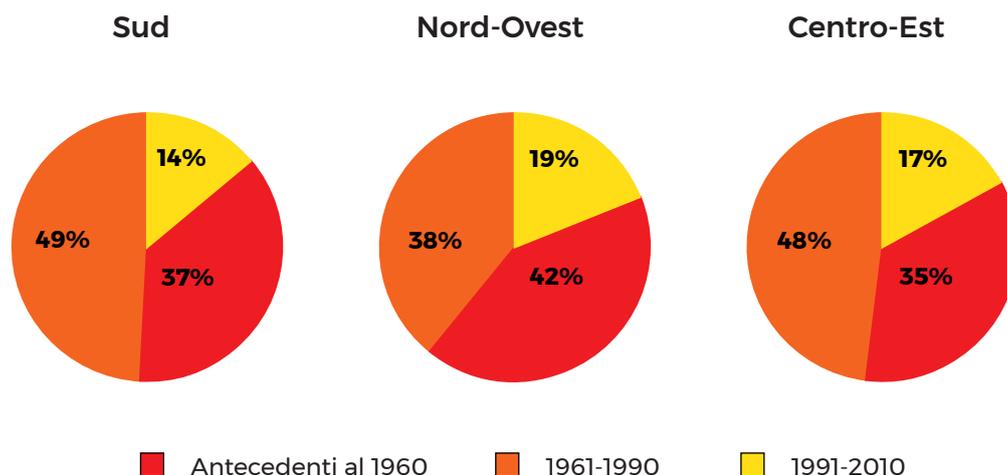


Figura 16: Rielaborazione personale del grafico di comparazione tra gli anni di costruzione del patrimonio edilizio in Europa. Fonte: BPIE

Il report “Deadline 2020” evidenzia che il miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici è uno dei metodi più veloci ed economici per ridurre le emissioni di CO₂ e migliorare localmente lo sviluppo economico, la qualità dell’aria e la salute pubblica³¹. Raggiungere il risparmio energetico negli edifici è un processo complesso, dove il processo decisionale richiede una corretta comprensione del patrimonio edilizio.

Le statistiche hanno confermato che gli edifici sono colossali consumatori di energia. Come pubblicato nell’International Energy Outlook dal U.S. Energy Information Administration²³, il 20% dell’energia totale consumata in tutto il mondo è all’interno del settore dell’edilizia, includendo sia residenziale che commerciale. Un altro studio³² ha dimostrato che dal 1970 al 2014 solo il settore domestico utilizzava tra il 24% e il 27% del consumo totale di energia in Europa. Allo stesso modo, uno studio dell’Agenzia europea dell’ambiente (AEA) ha presentato risultati simili³³. Nel 2015, le statistiche dell’UE hanno riferito che gli edifici (compresi servizi e famiglie) consumavano circa il 40% del consumo totale di energia di quell’anno³⁴.

Il consumo energetico degli edifici è legato a svariati fattori, quali le proprietà termo-fisiche degli elementi dell’edificio, le caratteristiche climatiche, la qualità e la manutenzione dell’edificio stesso, il comportamento degli occupanti verso l’uso dell’energia³⁵.

Le famiglie usano l’energia per differenti scopi: riscaldamento sia degli ambienti che dell’acqua calda sanitaria (ACS), raffrescamento, cucina, illuminazione e apparecchi elettrici e altri usi finali.

Secondo il rapporto dell'Eurostat³⁶, l'elettricità copre il 100 % del fabbisogno energetico sia per l'illuminazione che per il raffreddamento degli ambienti, ma anche l'84,7 % degli altri usi finali e il 48,8 % per la cottura. Il gas svolge un ruolo essenziale in termini di riscaldamento di ACS e di ambienti, rispettivamente 47,7 % e 43 % di energia, e in cucina con un 33,6 %. Le energie rinnovabili coprono il 23,4% del fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'ambiente, il 9,9 % per il riscaldamento dell'ACS e il 7,4 % per altri usi. I prodotti petroliferi coprono il 14 % per il riscaldamento dell'ambiente, l'11,8 % per la cottura ed il 10,8 % per il riscaldamento dell'ACS.

Per soddisfare gli obiettivi dell'UE in materia di clima ed energia, il settore del riscaldamento e del raffreddamento deve ridurre drasticamente il consumo di energia e ridurre il consumo di combustibili fossili.

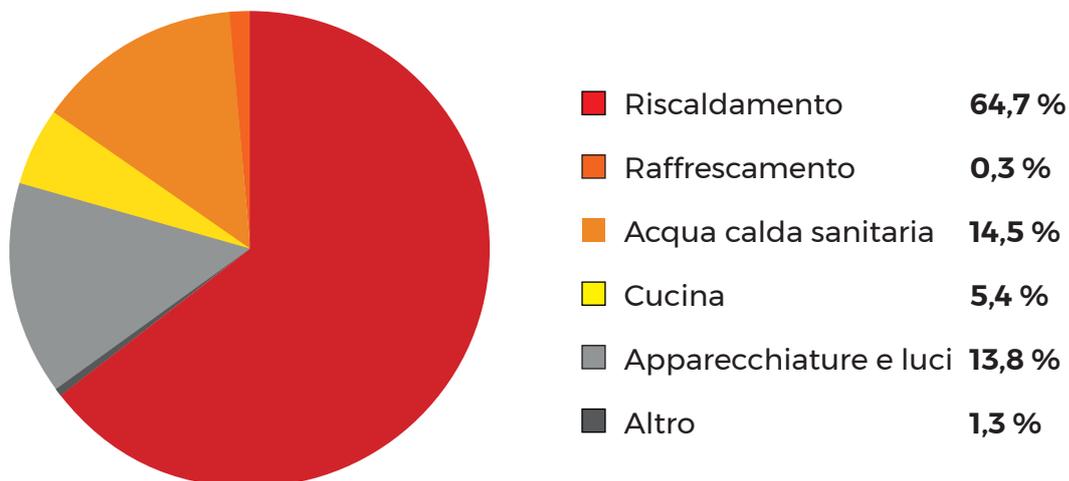


Figura 17: Rappresentazione grafica del consumo di energia all'interno delle famiglie nell'UE nel 2017. Fonte dati: Eurostat

Secondo Janda³⁷, la crescita delle conoscenze e delle preoccupazioni del pubblico riguardo alla problematica ambientale ha assicurato una maggiore attenzione al consumo energetico in relazione agli edifici.

Uno degli ostacoli più significativi per migliorare l'efficienza energetica degli edifici è la mancanza di conoscenza dei fattori che determinano l'uso di energia. Spesso il consumo totale calcolato in fase progettuale non corrisponde al consumo reale e le ragioni di questa differenza sono generalmente legate al ruolo del comportamento umano rispetto all'interno.

2.4 OCCUPANTI

Le persone spendono in media il 90% (quasi 22 ore al giorno) del loro tempo al chiuso³⁸.

Partendo da questo presupposto, il comportamento degli occupanti assume un ruolo chiave per la progettazione degli edifici e per la propria valutazione energetica in quanto ha un impatto significativo sull'uso effettivo di energia e sulla qualità ambientale.

Tuttavia, l'influenza degli occupanti è semplificata nella progettazione, nella costruzione e nel funzionamento degli edifici, in quanto l'attenzione generale si è concentrata principalmente sul consumo energetico dell'edificio. Avere una profonda comprensione di questo tema ed essere in grado di modellare e quantificare il suo impatto sui fabbisogni e sui consumi energetici finali risulta quindi cruciale soprattutto su edifici a basso consumo energetico.

L'occupante cercherà sempre di raggiungere il livello di comfort desiderato, di conseguenza interagirà con l'ambiente circostante. Alla fine del 19° secolo venne introdotto il termine "comfort termico". Secondo lo standard ANSI/ASHRAE 55-2010, il comfort termico viene definito come: *"that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment and is assessed by subjective evaluation"* ovvero *"quella condizione della mente che esprime soddisfazione per l'ambiente termico ed è valutata mediante valutazione soggettiva"*.³⁹

Questo comportamento è influenzato da diversi fattori e possono essere dovuti sia ad aspetti oggettivi come clima, velocità dell'aria, temperatura, umidità, rumore ed il tipo di attività, che ad aspetti soggettivi, come la percezione di comfort, aspettative, sesso, età e interazione sociale.

Il comfort termico descrive la percezione umana di soddisfazione dell'ambiente termico e riguarda numerosi fattori, alcuni sopracitati come la temperatura e velocità dell'aria, l'umidità ed il livello di attività fisica. Nello stato di benessere termico l'utente non avverte né sensazioni di caldo né di freddo. Secondo numerosi studi letterali, il comfort termico è considerato tra le condizioni necessarie per garantire la soddisfazione degli occupanti all'interno dell'edificio⁴⁰.

Data l'evidente influenza che gli occupanti esercitano sul consumo energetico dell'edificio, questo tema ha iniziato ad essere una questione di interesse dai primi anni '50. Ad esempio nel 1951 i ricercatori Dick e Thomas hanno discusso sulle interazioni degli occupanti con l'apertura delle finestre e le relative perdite di calore e consumi energetici⁴¹.

Socolow e Sonderegger condussero una ricerca sui consumi energetici di 200 case e scoprirono che la più grande variazione di consumi energetici era del 300%. Il 54% di tale variazione era determinata dalle caratteristiche costruttive e architettoniche dell'edificio, quali il numero delle stanze e l'area delle finestre, lasciando un 46% di variazione non giustificata. Confrontando le differenze nei consumi di gas tra le due stagioni di riscaldamento, tra gli occupanti che si trasferivano nelle case e gli occupanti che restavano nelle case, conclusero che il 71% della variazione era dovuta alle abitudini dei consumi degli occupanti⁴².

Andersen eseguì un monitoraggio dei consumi energetici di 35 appartamenti con identiche caratteristiche situate al centro di Copenhagen nel 2012. Gli appartamenti in cui gli inquilini si trasferivano avevano un consumo più elevato rispetto agli appartamenti in cui gli inquilini rimanevano gli stessi, indicando che il comportamento degli occupanti aveva un'influenza significativa sul consumo energetico dell'edificio⁴³.

Emery e Kippenhan riportarono un'indagine sugli effetti della presenza di occupanti sull'uso di energia domestica in quattro case quasi identiche monitorate dal 1987 al 2002. Le quattro case sono state divise in due coppie e l'involucro edilizio di una coppia è stato costruito con resistenza termica migliorata. Una delle due case è stata lasciata vuota, mentre l'altra occupata da famiglie di studenti universitari. I ricercatori confrontarono il consumo totale di energia delle abitazioni occupate e non occupate e dedussero che la presenza di occupanti aumentava il consumo totale di energia di entrambe le case occupate e che la casa con la copertura dell'edificio migliorata aveva un incremento minore⁴⁴.

Il progetto ROWNER (2010-2013) ha dimostrato una differenza significativa tra il consumo totale di energia tra due particelle all'interno dello stesso edificio a causa di diversi comportamenti degli occupanti, tra cui: presenza di differenti a casa, livelli di occupazione diversi e variazioni delle preferenze termiche degli occupanti⁴⁵.

Martinaitis, Zavadskas ha condotto cinque studi diversi per evidenziare che gli edifici non hanno funzionato come previsto, anche quando la simulazione energetica era molto accurata. Hanno concluso che il comportamento umano e le preferenze degli occupanti rappresentano un importante contributo al divario tra la prestazione energetica prevista e quella effettiva dell'edificio⁴⁶.

Inoltre, Schakib-Ekbatan, Çakiciha hanno identificato il comportamento degli occupanti come il parametro più trascurato che *“potrebbe non essere considerato parte del progetto energetico”* all'interno della catena di progettazione, costruzione, funzionamento e manutenzione⁴⁷.

In conclusione, gli studi hanno dimostrato che il consumo energetico effettivo degli edifici è talvolta fino a 3 volte maggiore del calcolo stimato. Pertanto, questo sottolinea la necessità di linee guida o modelli comportamentali dell'occupante per l'implementazione nei programmi di simulazione.

2.4.1 LA VARIABILITÀ DEL COMPORTAMENTO

Allo scopo di evidenziare le correlazioni principali con i consumi energetici, i nuovi studi in materia si soffermano sull'analisi dei fattori, delle azioni e degli effetti che sono in relazione con il comportamento dell'occupante negli edifici.

Il fine delle ricerche attuali in questo campo è quello di fornire le informazioni per una descrizione sempre più accurata dei parametri di input per la progettazione di edifici nuovi e restaurati per una migliore previsione del rendimento energetico degli edifici.

Come accennato nel paragrafo precedente, il comfort è uno stato d'animo che può variare da utente ad utente a causa di diversi parametri che influenzano direttamente l'uso energetico dell'occupante.

Questi parametri vengono definiti *drivers*⁴⁸, ossia guidatori, e rappresentano tutti i motivi che portano l'utente a modificare ed interagire con l'ambiente circostante. I drivers comprendono fattori sia ambientali, come le temperature interne ed esterne, che psicologici, come lo stile di vita, ma anche fisiologici, come l'età o il sesso.

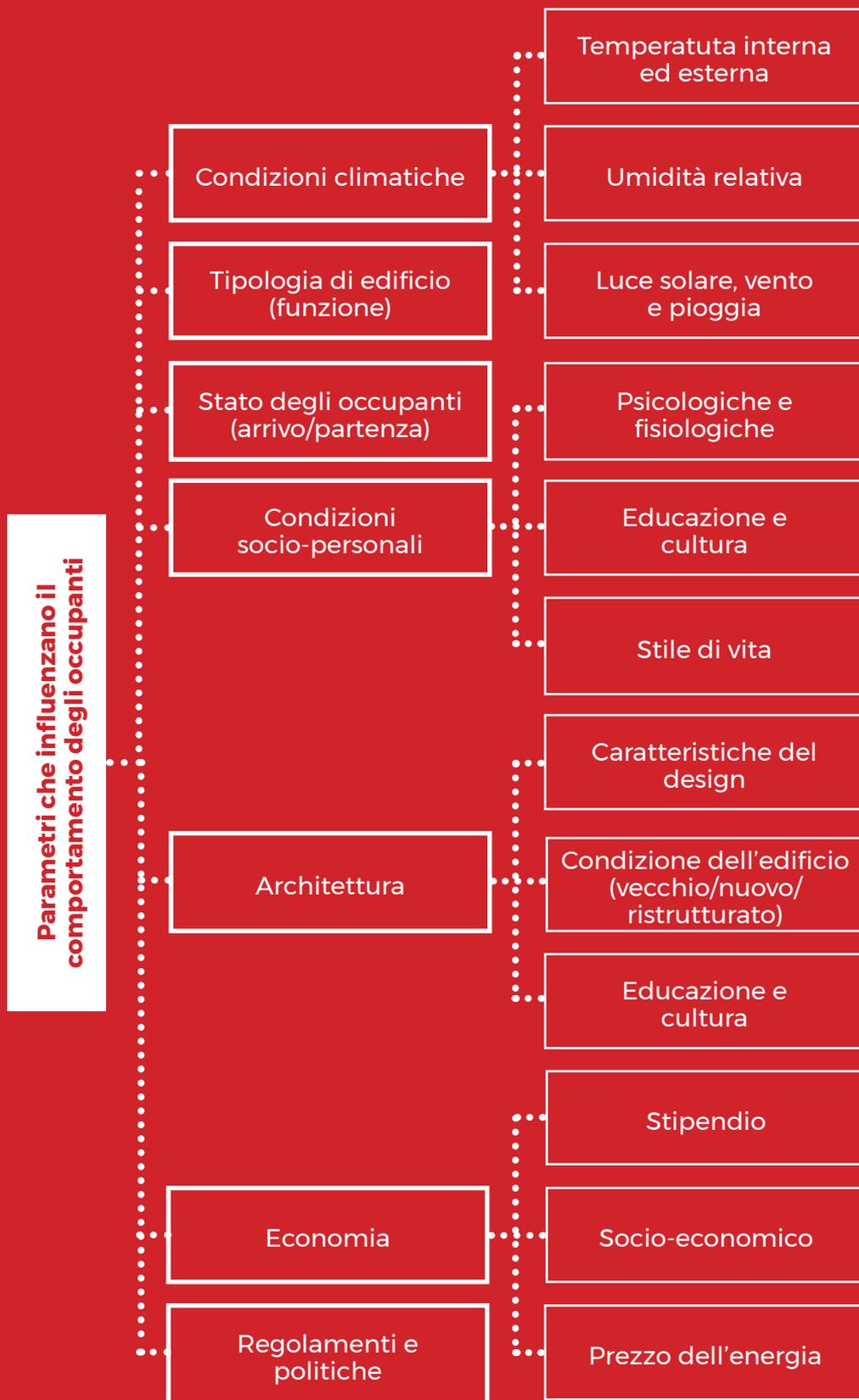


Figura 18: Rielaborazione personale dei fattori incidenti sul comportamento degli occupanti.
 Fonte: Delzendeh et al., 2017

2.5 ANNEX 53

Una delle maggiori difficoltà al raggiungimento della sostenibilità energetica è la comprensione dei fattori che definiscono il consumo energetico. Negli edifici c'è molto spesso una discrepanza tra il consumo totale di energia stimato e quello reale. Negli ultimi anni, un'importante ricerca a livello internazionale si è concentrata sul ruolo dell'occupante e del suo comportamento sui consumi energetici all'interno degli edifici.

Nel 2017 è stato pubblicato dalla International Energy Agency (IEA) l'EBC Annex 53: Total Energy Use in Buildings – Analysis and Evaluation Methods, dove vengono studiati i fattori principali che influenzano la domanda energetica negli edifici⁴⁹.

La ricerca dell'Annex 53 si sofferma su 6 fattori concentrandosi principalmente sul 5° fattore, ossia *l'occupant behaviour*, studiando due tipologie edilizie: gli edifici residenziali (case monofamigliari ed appartamenti) e edifici per uffici.

L'Annex 53 è organizzato in Subtask:

Subtask A - *Definition and reporting*

Definizione dei fattori influenzanti il consumo energetico per entrambe le tipologie edilizie

Subtask B - *Case Studies and Data Collection*

Dimostrazione, attraverso il supporto di casi studio, dei consumi energetici negli edifici in relazione agli usi finali

Dimostrazione delle tecnologie per il monitoraggio a lungo termine (Online Database)

Subtask C - *Statistical Analysis*

Dimostrazione della relazione tra le caratteristiche del database ed i metodi utilizzati per la previsione statistica che meglio si adattano allo scopo dell'analisi

Linee guida per l'applicazione dei metodi per la previsione statistica in relazione a casi studi

Subtask D - *Energy Performance Evaluation*

Manuale finale di metodologia per lo studio dei 6 fattori e delle loro influenze sui consumi energetici negli edifici in relazione agli usi finali

LA CITTA'

Dimostrazione delle conseguenze del comportamento dell'occupante e del cambiamento del suo stile di vita sul consumo energetico degli edifici.

La ricerca evidenziale che il consumo di energia negli edifici è influenzato da 6 fattori:

- il clima
- l'involucro edilizio
- gli impianti
- la manutenzione e la gestione
- il comportamento dell'occupante
- la qualità ambientale interna

Gli ultimi fattori sono in relazione all'occupante

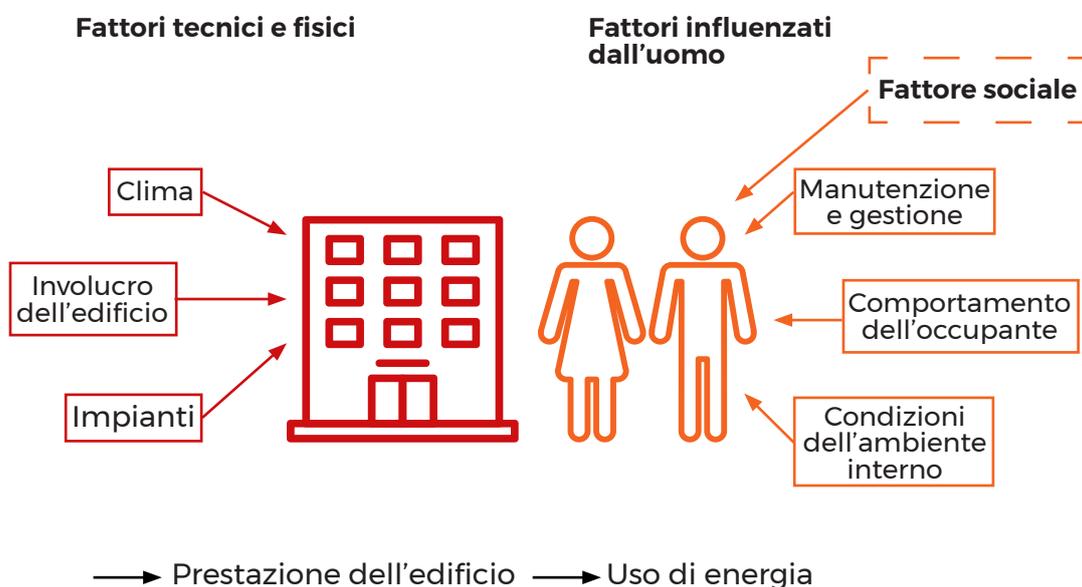


Figura 19: Rielaborazione personale dei fattori che influenzano i consumi energetici. Fonte: Annex 53

Oltre ai sei fattori sopracitati, vi è un ulteriore fattore separato denominato fattore sociale. Gli aspetti sociali, come lo stile di vita o la cultura, ricoprono un panorama molto vasto ed è molto difficile definire nello specifico.

L'allegato 53 ha contribuito in modo significativo a comprendere meglio come analizzare in modo efficace e prevedere il consumo totale di energia negli edifici, consentendo così una migliore valutazione di misure, politiche e tecniche per il risparmio energetico.

Ispirato e costruito sulla ricerca comportamentale degli occupanti svolta nell'allegato 53, il nuovo progetto Annex 66 *"Definition and Simulation of Occupant Behaviour in Buildings"* è stato redatto per far avanzare ulteriormente la ricerca sul comportamento degli occupanti all'interno degli edifici

2.6 ANNEX 66

L'Annex 66 *"Definition and Simulation of Occupant Behaviour in Buildings"*, pubblicato dalla IEA nel 2018, si pone come obiettivo la definizione delle variabili che maggiormente influenzano la domanda energetica di un edificio.⁵⁰

L'obiettivo principale dell'allegato 66 è di trovare risposta alla seguente domanda: *"How can we develop and apply a robust and standardized quantitative description and computational models of energy-related occupant behavior in buildings to analyze and evaluate the impact of occupant behavior on building energy use and occupant comfort via building performance simulation?"* ossia *"Come possiamo sviluppare e applicare una descrizione quantitativa robusta e standardizzata e modelli computazionali del comportamento degli occupanti legati all'energia negli edifici per analizzare e valutare l'impatto del comportamento degli occupanti sulla costruzione di consumo di energia e comfort degli occupanti tramite simulazione di performance degli edifici?"*

L'allegato studia quattro elementi chiave che concorrono alla risposta della domanda sopra citata:

1. Identificare e classificare le varie tipologie di comportamento degli occupanti;
2. Sviluppare metodi per misurare il comportamento degli occupanti, la modellazione, la valutazione e l'applicazione;
3. Implementare modelli comportamentali nella costruzione di strumenti di simulazione
4. Dimostrare la validità dei modelli comportamentali nella progettazione, valutazione e operatività applicandoli su casi studio.

Perciò il principale prodotto dell'Annex 66 è un quadro metodologico scientifico per definire il comportamento degli occupanti nell'ambito della simulazione energetica per mezzo della raccolta di dati, modellizzazione e valutazione. I principali risultati dell'Annex 66 comprendono 5 relazioni tecniche, 3 strumenti di modellazione del comportamento degli occupanti e 103 articoli di riviste.

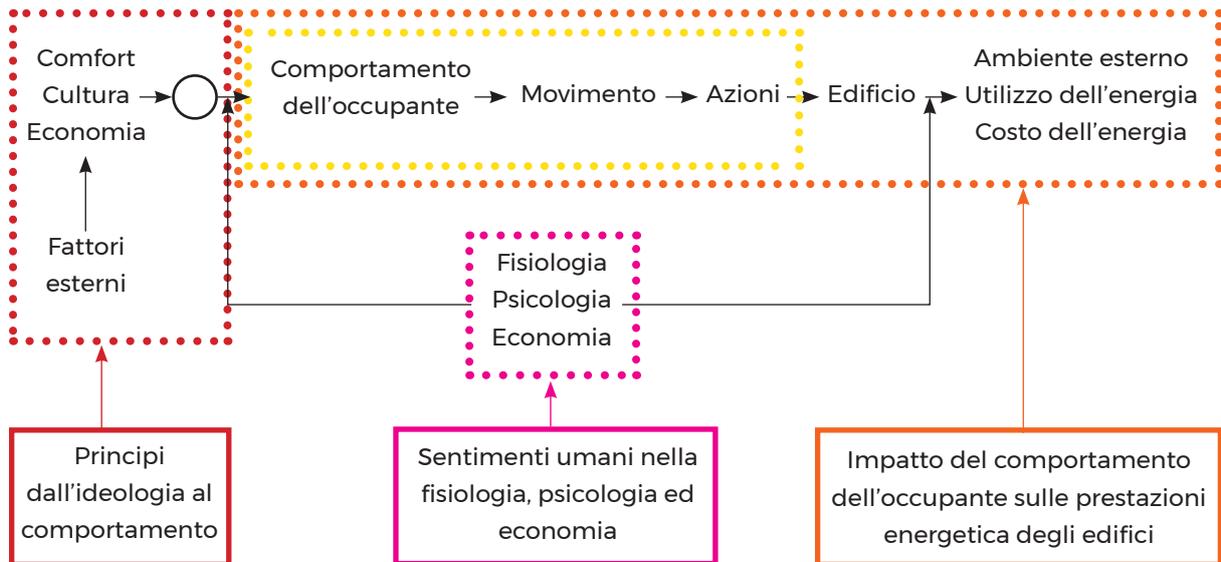


Figura 20: Rielaborazione personale dello schema rappresentante la relazione tra occupante ed edificio Fonte: Annex 66

La Figura 20 mostra come il comportamento degli occupanti influenzi in primis il funzionamento degli edifici, che influenzerà a sua volta l'uso ed il costo dell'energia. Questo processo è generato da effetti a breve termine, quali fattori psicologici e fisiologici, ma anche da effetti a lungo termine come il comfort, la cultura della società e la situazione economica. Pertanto, il comportamento degli occupanti e le prestazioni degli edifici sono legate intrinsecamente.

La relazione tra il comportamento degli occupanti e l'ambiente interno dipende in maniera considerevole dai cambiamenti nell'ambiente fisico. I parametri ambientali come la temperatura, l'umidità, l'illuminazione e la concentrazione di CO₂, sono stati monitorati e studiati in modo da definire le risposte comportamentali degli occupanti alla loro variazione. Lo scopo era limitato ad uffici tipici, appartamenti e case unifamiliari, con la valutazione dei fattori economici escluso.

Come l'Annex 53, anche l'Annex 66 è organizzato in Subtask:

Subtask A - *Occupant movement and presence*

Simulare la presenza ed il movimento degli occupanti è fondamentale per la ricerca sul loro comportamento. L'obiettivo principale della subtask è fornire una definizione standard e una metodologia di simulazione per rappresentare il modo in cui un occupante si presenta nell'ambiente e si sposta tra i diversi spazi.

Subtask B - *Action models in residential buildings*

Il comportamento degli occupanti negli edifici residenziali influisce significativamente sulle prestazioni dell'edificio. Questa subtask mira a fornire una descrizione standard per la simulazione del comportamento degli occupanti, dell'approccio di misurazione sistematica, della metodologia di modellazione e della validazione del modello negli edifici residenziali.

Subtask C - *Action models in commercial buildings*

La terza subtask ha gli stessi obiettivi della seconda ma rispetto ad edifici commerciali, dove l'occupante avrà comportamenti più variabili a causa della diversa spazialità e funzionalità dell'ambiente.

Subtask D - *OB modeling tools and integration with simulation programs*

Questa subtask funge da collegamento tra le subtask A-C e la subtask E. Vengono descritti dei software di simulazione energetica che valutino le prestazioni energetiche degli edifici e che tengano in considerazione il comportamento e la presenza degli occupanti.

Subtask E - *Case studies*

In questa subtask viene dimostrato, attraverso l'uso di casi studio, l'applicazione dei nuovi strumenti di modellazione confrontando i risultati misurati e simulati.

La definizione e i modelli di comportamento degli occupanti possono essere utilizzati da progettisti edili, valutatori del risparmio energetico, operatori edili e responsabili delle politiche energetiche.

2.7 GLI APPROCCI DI MODELLAZIONE DEGLI OCCUPANTI

Una delle principali fonti di incertezza nella simulazione energetica si riferisce al comportamento degli occupanti, che è intrinsecamente di natura stocastica.

Come descritto precedentemente, nel corso degli anni vi sono state numerose ricerche sul divario tra i consumi energetici simulati e quelli successivamente misurati nella realtà: uno dei motivi di questa notevole discrepanza è la modellazione del comportamento medio degli occupanti.

Gli approcci di modellazione principali sono:

- il modello deterministico
- il modello stocastico

L'approccio deterministico è uno dei primi metodi usati nella modellazione dell'occupazione. Nel modello deterministico, le variabili di input assumono dei valori fissi ed i risultati generati possono, entro certi limiti, tener conto della variabilità del comportamento dell'occupante (per esempio con appropriati metodi statistici);

Invece l'approccio stocastico (dovuto al caso, aleatorio, dal greco *stochastikòs*=congetturale) tiene in considerazione le variazioni dei dati di input e, di conseguenza, fornisce risultati in termini di probabilità. Proprio per questo motivo, in genere questi modelli hanno una struttura più complessa di quelli deterministici e sono anche più affidabili in quanto, proprio perché tengono conto del caso, sono capaci di fornire risultati più vicini alla realtà.

Diversi approcci stocastici si basano sul processo Markoviano, ossia un modello che descrive una sequenza di possibili eventi in cui la probabilità di ciascun evento dipende solo dallo stato raggiunto nell'evento precedente.

Numerosi ricercatori hanno effettuato studi per valutare i differenti approcci, ad esempio Tahmasebi et al⁵¹ dimostrano che i modelli stocastici forniscono dei risultati di apporti interni più realistici rispetto a quelli deterministici. Tuttavia, quando si considerano specificamente gli indicatori di prestazione energetica a livello di edificio, sono le ipotesi piuttosto che la natura del modello a svolgere un ruolo decisivo. In genere, i presupposti basati su standard sovrastimano l'occupazione effettiva, determinando maggiori carichi di raffreddamento e minori carichi di riscaldamento.

D'Oca et al⁵² hanno sviluppato dei profili utente probabilistici per l'apertura della finestra e la regolazione del set-point del termostato. Gli autori hanno studiato diversi scenari con approcci sia deterministici che probabilistici, considerando tre città con diverse caratteristiche climatiche: Atene, Stoccolma e Francoforte. I risultati hanno dimostrato come l'approccio deterministico generalmente sottovaluti il consumo di riscaldamento con un massimo del + 61%.



UBEM

C'è vero progresso solo quando i vantaggi
di una nuova tecnologia diventano per tutti

Henry Ford

3.1 LA SCELTA DEL PROGRAMMA

Il tema affrontato in questa tesi è strettamente legato allo sviluppo di nuovi software che consentano di tenere in considerazione gli occupanti nelle simulazioni energetiche. Ai fini dell'analisi è stato dunque fondamentale scegliere un software di calcolo appropriato. Per ulteriori dettagli consultare il saggio di ricerca allegato alla fine del documento.

Sono state analizzate le caratteristiche di diversi *urban building energy modeling* (UBEM). Questi software si concentrano sulla stima della domanda energetica attuale e futura degli edifici a scala urbana e distrettuale. Gli UBEM applicano metodi di simulazione delle prestazioni per rappresentare ciascun edificio e i suoi immediati dintorni come un modello termico dinamico, basato sugli stessi principi dei *building energy model* (BEM).

Un UBEM viene generalmente utilizzato dai pianificatori urbani e dai responsabili politici per valutare i potenziali adeguamenti o confrontare le alternative di approvvigionamento energetico.

I programmi analizzati sono: CityBES, CEA e CITYSIM PRO

CityBES ^{53,54}

CityBES è una piattaforma web sviluppata da Lawrence Berkeley National Lab, USA. Fornisce una serie di funzionalità per supportare la creazione di analisi di efficienza energetica, tra cui l'analisi di retrofit energetico, la pianificazione energetica urbana e il miglioramento delle operazioni di costruzione attraverso i dati. Il software utilizza EnergyPlus per le simulazioni energetiche e consente agli utenti di esportare i risultati dell'analisi di retrofit di ciascun edificio per ulteriori analisi. Genera anche dei profili di carico orari per ogni edificio al fine di supportare l'analisi dei sistemi energetici distrettuali.

Tra i risultati vi sono anche l'intensità delle emissioni di CO₂, l'intensità del picco dell'intensità elettrica, l'intensità dell'uso dell'elettricità e l'intensità di utilizzo del gas naturale della linea di base e i risultati del retrofit. Gli occupanti possono essere aggiunti nella voce "Persone" dove viene impostato il numero di occupanti e le relative schedule.

CEA ^{55,56,57}

Il secondo software analizzato è CEA, ossia City Energy Analyst, rilasciato dal gruppo di ricerca Architecture and Building Systems dell'ETH di Zurigo, in Svizzera. CEA è una piattaforma di simulazione di edifici urbani che combina la pianificazione urbana e l'ingegneria dei sistemi energetici in una piattaforma di simulazione integrata. Il software è stato programmato in Python v2.7 e realizzato come estensione del sistema informativo geografico ArcGIS v10.3.

Il programma consente di ottenere risultati per l'analisi del carbonio, i vantaggi finanziari e ambientali dei retrofit degli edifici, l'integrazione delle risorse energetiche locali e la modifica delle forme urbane. Il database contiene dati di schedule standard per tutti i tipi di edifici descritti nel database degli archetipi, tra cui circa 15 tipi diversi di occupazione, utili per determinare i modelli orari di occupazione degli edifici nell'area.

L'ultimo programma analizzato, CITYSIM PRO, è quello che è stato successivamente scelto per lo sviluppo di questa ricerca.

3.2 CITYSIM PRO ^{58,59}

CITYSIM PRO è un programma sviluppato e testato all'interno del Laboratorio di Energia Solare e Fisica degli edifici (LESO-PB) di EPFL (L'École polytechnique fédérale de Lausanne). Il software è stato ideato per fornire un supporto decisionale per la progettazione sostenibile degli insediamenti urbani al fine di ridurre al minimo l'uso di fonti energetiche non rinnovabili e le conseguenti emissioni di GHG. Il software funziona in modo dinamico, fornendo i risultati in valori orari e includendo le interazioni all'interno dell'ambiente costruito. CITYSIM PRO è basato sul linguaggio di programmazione Java con un'interfaccia grafica (Graphical User Interface anche chiamata GUI) che permette all'utente di interagire con il modello.

La struttura

Il software simula e ottimizza i flussi di energia relativi all'edificio, secondo quattro passaggi fondamentali :

- Definizione della posizione del sito e dei relativi dati climatici.
- Scelta e classificazione degli archetipi degli edifici.
- Definizione della geometria degli edifici e dei parametri di input.
- Controllo dei dati in formato XML dalla GUI al risolutore NotePad C ++.

La scala di analisi può variare da un gruppo di pochi edifici a un'intera città ma il funzionamento alla base della modellazione e i dati richiesti sono i medesimi. Il programma consente di trattare l'occupante sia secondo un modello deterministico, dove vengono utilizzate le schedule inserite come tassi di occupazione, sia secondo un modello probabilistico, dove le schedule vengono considerate come probabilità di occupazione.

I sistemi principali

Il funzionamento di CITYSIM PRO ha alla base tre sistemi chiave:

- Il modello termico
- Il modello radiativo
- Il modello comportamentale

Il modello termico degli edifici si basa su una rete elettrica resistenza-capacità (RC) e rappresenta un muro con uno o più punti corrispondenti. Il flusso di calore passante tra il muro e l'aria esterna può essere rappresentato come una corrente elettrica che passa attraverso una resistenza posta tra i due nodi corrispondenti e l'inerzia del muro può essere rappresentata con una capacità collegata a uno dei nodi di temperatura. Nel modello termico mono-zona di Kaempfer e Robinson vengono definiti cinque nodi : T_{ext} , T_{os} , T_w , T_{is} , T_a . Il T_{ext} rappresenta il nodo della temperatura dell'aria esterna che è connesso con T_{os} , ossia il nodo della temperatura della superficie esterna del muro, attraverso uno strato limitare esterno caratterizzato da una conduttanza K_e . La temperatura esterna del muro, influenzata dal flusso di calore dovuto alle onde corte e a quelle lunghe, è connessa ad un nodo del muro T_w di capacità C_w , tramite una conduttanza definita dalla parte esterna della parete del modello. La stessa situazione si rispecchia nel lato interno del muro, dove sono presenti delle connessioni simili tra un nodo di temperatura interna T_a di capacità C_i attraverso un nodo di temperatura superficiale interna T_{is} . T_a tiene conto degli apporti di calore dovuti dalle radiazioni a onde corte assorbite, dagli occupanti e dagli sistemi di condizionamento dell'aria.

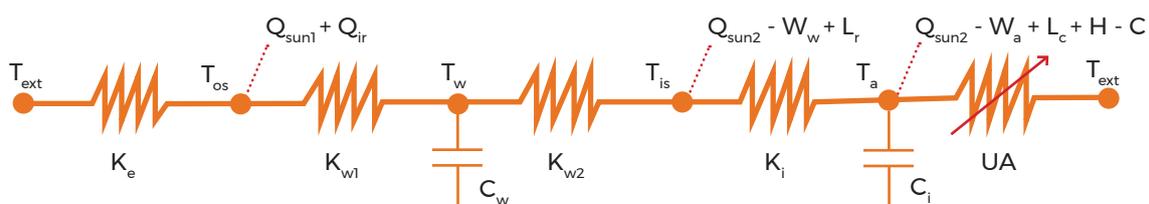


Figura 21: Rielaborazione personale dello schema di rappresentazione del muro secondo il modello mono-zona di Kaempfer e Robinson. Fonte: Kaempfer et al., 2006

Il modello di radiazione è basato sull'Algoritmo di Radiosità Semplificato (SRA) di Robinson e Stone e viene utilizzato per calcolare l'irradianza incidente, sia delle onde corte che delle onde lunghe, su tutte le superfici della scena urbana. Con l'SRA, l'ambiente esterno radiante è rappresentato da due emisferi suddivisi in diversi angoli solidi. L'algoritmo tiene conto dello Sky View Factor di ogni superficie, dell'irradianza e dell'angolo di incidenza della radiazione.

Il modello comportamentale considera i parametri principali che definiscono l'occupante ed il proprio comportamento, tra cui:

- Presenza: guadagni di calore metabolici.
- Apparecchiature e illuminazione: guadagni di calore e richiesta di energia elettrica.

La caratteristica comportamentale centrale riguarda la presenza degli occupanti, che determina se sono disponibili per esercitare qualsiasi altra forma di influenza sui flussi di risorse.

Parametri di input

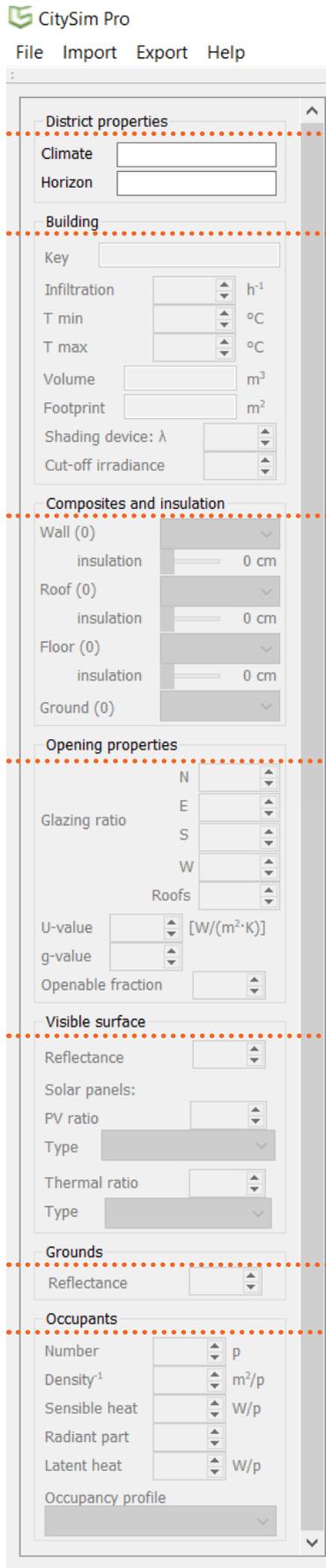
La GUI produce un file XML che contiene una descrizione geometrica della scena urbana, i riferimenti al file climatico, le schedule impostate del comportamento degli occupanti, le caratteristiche degli impianti e delle attrezzature, nonché ai combustibili bruciati.

Risultati

Questi dati vengono successivamente analizzati da CitySim Solver. Da un'unica simulazione energetica si ottengono numerosi risultati:

- Le dimensioni geometriche totali degli edifici
- L'irradianza incidente sulle superfici esterne dovuta dalle onde corte e quella dovuta dalle onde lunghe
- Le temperature superficiali delle superfici esterne
- I fabbisogni di riscaldamento e raffrescamento
- Gli apporti interni
- I consumi per il riscaldamento ed il raffrescamento

I dati di output sono a livello orario, il che significa che vengono eseguite delle simulazioni dinamiche che tengono in considerazione la variazione della temperatura esterna ad ogni singola ora. I risultati vengono restituiti sia in forma di testo che di immagini con la relativa legenda.



Proprietà del distretto

In questa sezione di può definire il file climatico

Edificio

In questa sezione di possono ottenere i riferimenti degli edifici ed i dati geometrici impostati durante la fase di modellazione. Si possono inoltre definire diversi parametri di input quali: Temperatura minima o massima all'interno del gruppo selezionato e l'infiltrazione.

Componenti e isolamento

In questa sezione si possono definire le stratigrafie di ciascun componente e le dimensioni dell'isolamento.

Proprietà delle aperture

In questa sezione si possono definire le percentuali di parte vetrata delle pareti per orientamento e caratterizzarle per trasmittanza termica, trasmittanza solare del vetro e la percentuale di apertura.

Superfici visibili

In questa sezione si possono sia caratterizzare secondo un valore di riflettanza ma anche definire la presenza d pannelli solari o fotovoltaici

Terreno

In questa sezione si può definire la riflettanza del terreno

Occupanti

In questa sezione si può definire l'occupante tramite il suo numero massimo, la sua densità, l'apporto interno ed il suo profilo di occupazione.

Figura 22: Schermata di CitySim Pro





IL CASO STUDIO

La conoscenza si acquisisce leggendo i libri; ma quello veramente necessario imparare, [...], si può acquisire soltanto leggendo gli uomini e studiando le loro diverse edizioni

Lord Chesterfield

4.1 QUARTIERE DI SAN SALVARIO

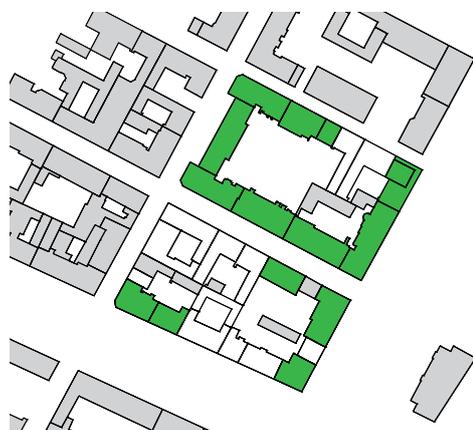
Il caso studio è situato a Sud-Est del centro storico, nel quartiere San Salvario della Circoscrizione 8 di Torino. Ad Est è situato il parco del Valentino, ad Ovest invece è a ridosso di via Madama Cristina-via Nizza ed il tratto ferroviario della Stazione Porta Nuova. Il distretto è caratterizzato da edifici costruiti tra il 1919 ed il 2005, raggruppabili in due dimensioni edilizie: blocchi di appartamenti ed edifici multifamiliari. I blocchi di appartamenti sono edifici di notevoli dimensioni con un numero elevato di unità immobiliari mentre gli edifici multifamiliari sono edifici di dimensioni più ridotte caratterizzati da un numero limitato di unità immobiliari. Il distretto è caratterizzato da uffici e ristorazione al pian terreno ed abitazioni ai piani superiori.

Suddivisione degli edifici per epoca di costruzione



Suddivisione degli edifici per dimensione edilizia

Blocchi di appartamenti



Edifici multifamiliari



4.2 LA COSTRUZIONE DEL MODELLO ENERGETICO

Il primo passo da compiere al fine di eseguire una corretta analisi energetica è la trasformazione del modello architettonico a modello energetico. Il modello energetico prendere in considerazione le reali dimensioni degli edifici e le prestazioni degli elementi che lo compongono, eliminando tutti i dati che non sono utili ai fini della simulazione energetica. In seguito vengono descritti i passaggi effettuati nella realizzazione del modello energetico.

CITYSIM PRO supporta un modello 3D realizzato su software di terze parti di estensione file .xml o .dxf. I software Rhinoceros e Google SketchUp sono i migliori integrati con CITYSIM PRO grazie al loro approccio facile da usare e alla loro ampia disponibilità di opzioni di esportazione semplificate. In questa fase, il modello tridimensionale è stato realizzato inizialmente su AutoCAD di Autodesk, partendo dalla Carta tecnica regionale (CTR) di Torino ed estrudendo le polilinee dell'altezza reale degli edifici.



Figura 23: Interfaccia di Autocad con la base del modello 3D

Al fine di realizzare un modello energetico corretto, tutti gli edifici sono stati suddivisi in due zone: il pian terreno ed i piani residenziali. Il pian terreno è stato assunto con un'altezza di 4 m, mentre i restanti piani di 3 m.

Successivamente il modello è stato importato su Google SketchUp 2018 dove è stato ulteriormente caratterizzato: CitySim è in grado di riconoscere solo le superfici assegnate a determinati layer denominati, quali Facade, Roof, Shading, Surface, Ground and Floor. Di conseguenza le facciate sono state realizzate su un livello chiamato "Nome del gruppo di edifici#FACADE", i tetti su un livello chiamato "Nome

del gruppo di edifici "#ROOF", i pavimenti su un livello denominato "Nome del gruppo di edifici #FLOOR". Le superfici esterne agli isolati studiati, come gli edifici degli isolati adiacenti, sono state raggruppate su un livello denominato "#SHADING", gli alberi su un livello chiamato "#TREES" ed il terreno sul "#GROUND". (Fig. 4)

CITYSIM PRO considera tutte le superfici disperdenti verso l'esterno, di conseguenza è stato necessario eliminare tutte le pareti adiabatiche, ossia quelle in contatto tra due o più edifici.

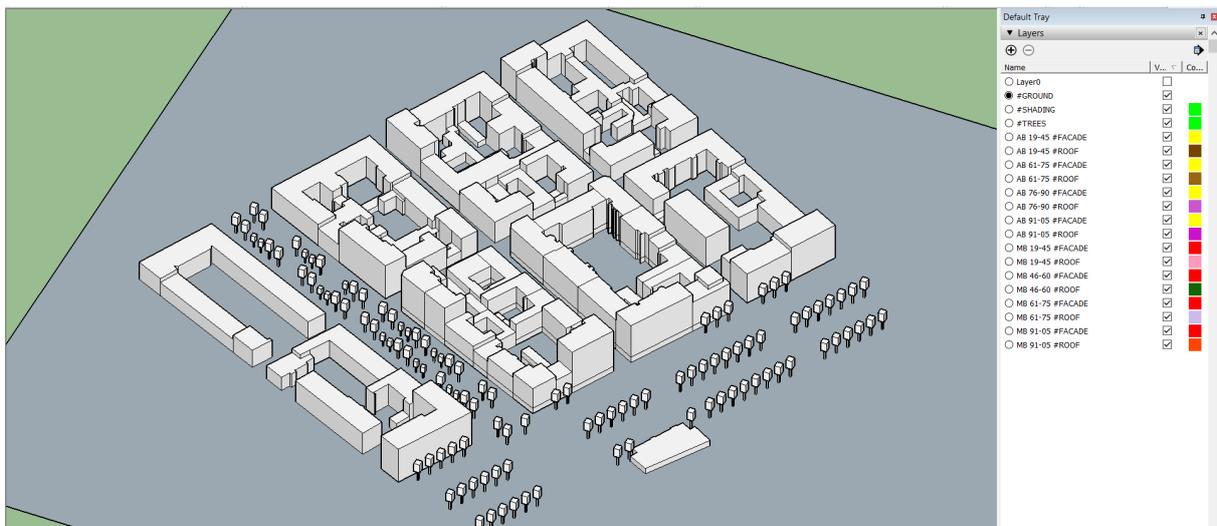


Figura 24: Interfaccia di Google SketchUp con il modello 3D ed i differenti livelli

Dopo aver esportato il file in estensione .dxf, il passaggio successivo è importare il modello su CITYSIM PRO. Il software differenzia i vari livelli con colori diversi: i tetti in rosso, le pareti in giallo, gli alberi in verde, le ostruzioni in marrone ed il terreno in grigio.

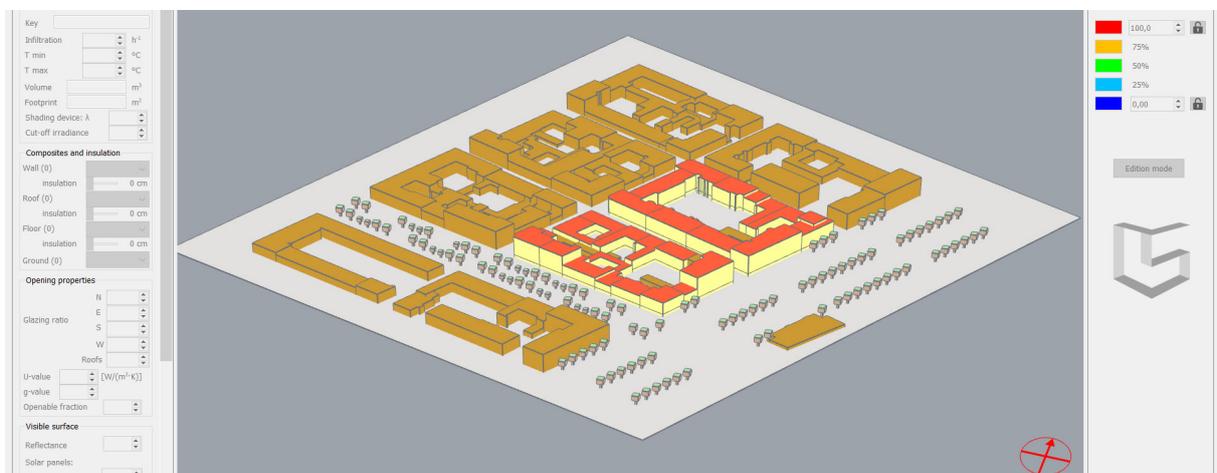


Figura 25: Interfaccia di CitySim Pro dopo aver importato il modello tridimensionale

IL CASO STUDIO

Per assegnare le caratteristiche fisico-tecniche agli edifici vi sono due strade:

- Utilizzare l'interfaccia di CITYSIM PRO
- Modificare il file con estensione .xml (esportabile da CITYSIM PRO), utilizzando il programma NotePad++

Nel primo caso si dovrà selezionare un edificio per volta e modificare i parametri tramite la finestra a sinistra del modello (Fig. 5); le stratigrafie assegnabili sono esclusivamente quelle della libreria del software.

Per quanto riguarda la seconda metodologia, dopo aver importato il file in estensione .dxf su CITYSIM PRO è necessario salvarlo in estensione .xml; tale file di contiene le stesse informazioni del modello tridimensionale ma essendo di testo le modifiche risultano più semplici. Poiché il modello prende in considerazione diversi isolati e di conseguenza la quantità di dati da modificare e da controllare è ampia, il primo metodo risulta più lungo e non adatto allo studio in quanto determinati dati, come ad esempio le stratigrafie, non sarebbero stati modificabili; perciò si è deciso di proseguire con il secondo metodo.

4.3 I PARAMETRI DI INPUT

Come è stato descritto in precedenza, i parametri che influenzano i consumi energetici degli edifici sono legati agli aspetti climatici, costruttivi e all'occupante. In seguito vengono elencate le scelte fatte per caratterizzare gli edifici e la loro occupazione.

Il Clima

Le simulazioni energetiche sono state effettuate a Torino (45.07° N, 7.68° E) nella zona climatica E.

CITYSIM PRO supporta due tipologie di file climatici:

- il file con estensione .cli contiene le informazioni riguardanti i dati climatici del sito come ad esempio l'irradiazione orizzontale diffusa e quella normale, la temperatura dell'aria esterna, l'umidità relativa, la velocità e la direzione del vento
- il file con estensione .hor definisce le ostruzioni dello skyline, come le montagne.

Le caratteristiche fisico-tecniche degli edifici

La stratigrafia dell'involucro opaco e le caratteristiche dell'involucro trasparente sono state definite attraverso l'utilizzo di TABULA, un progetto europeo che definisce le differenti tipologie edilizie europee, e della normativa tecnica UNI/TR 11552 "Abaco

delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici. Parametri termofisici⁶⁰ del 2014 che associa ad ogni periodo di costruzione la stratigrafia più comune dei componenti opachi dell'involucro. TABULA suddivide gli edifici per zona climatica, classe di epoca di costruzione e classe di dimensione edilizia. Attraverso TABULA sono state ricavate le tipologie costruttive dei diversi gruppi di edifici mentre con l'utilizzo della UNI/TR 11552 sono stati ricavati i parametri termofisici. I dati specifici sono riportati nelle schede degli edifici.

La definizione dell'occupante

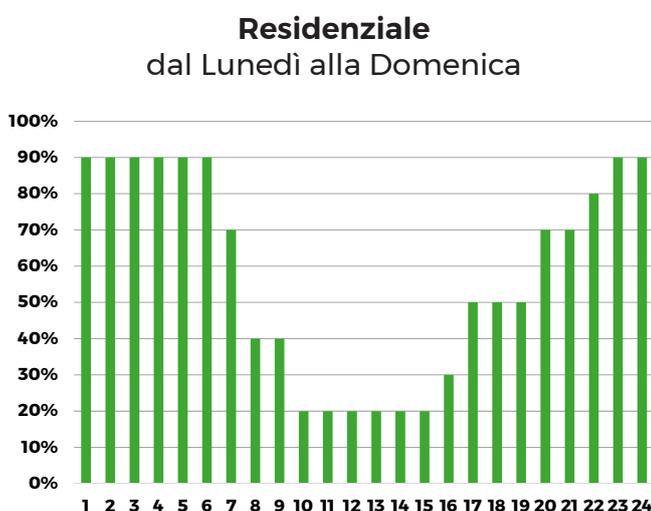
Come detto in precedenza, definire gli occupanti all'interno di un edificio è un passaggio fondamentale poiché la loro presenza ed il loro comportamento influisce in maniera significativa sulla stima del consumo energetico.

CITYSIM PRO consente di stabilire diversi parametri per definire al meglio l'occupante:

- Il numero massimo di occupanti
- Il profilo di occupazione giornaliero e annuale
- L'attività metabolica

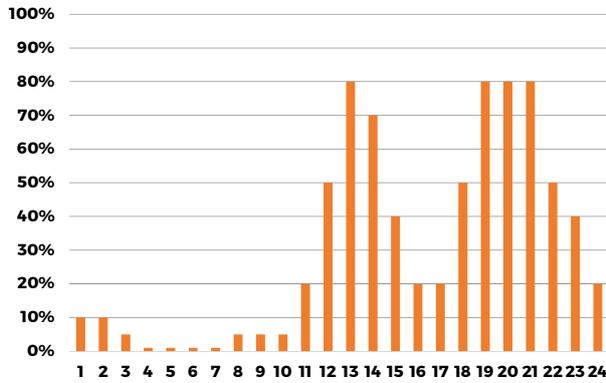
Il numero di occupanti per il residenziale è stato calcolato considerando una densità di 25 m²/persona come definito dalla normativa UNI 10339⁶¹, mentre per gli uffici e per la ristorazione la densità è di 8 m²/persona.

I profili di occupazione sono stati basati sugli standard dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer (ASHRAE) che associano ad ogni edificio, in relazione alla destinazione d'uso, un tasso di occupazione orario per giorni lavorativi, sabati e domeniche.

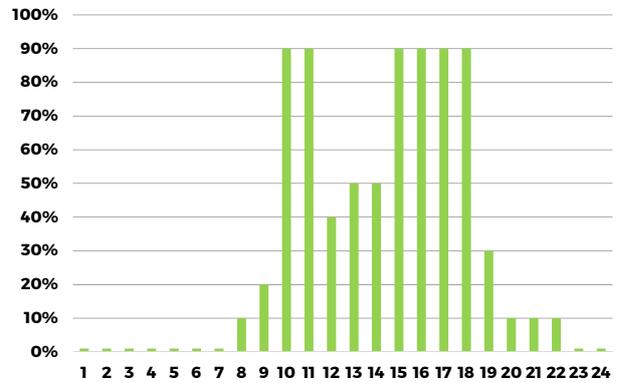


IL CASO STUDIO

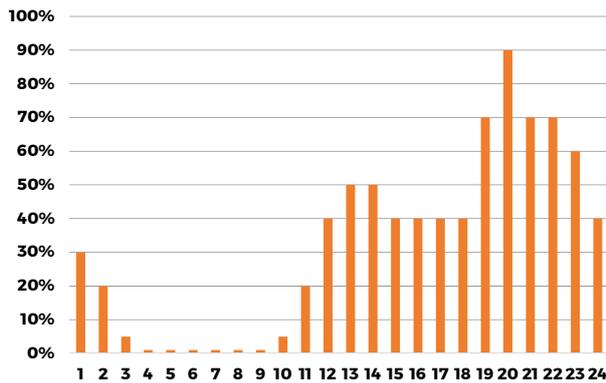
Ristorante dal Lunedì al Venerdì



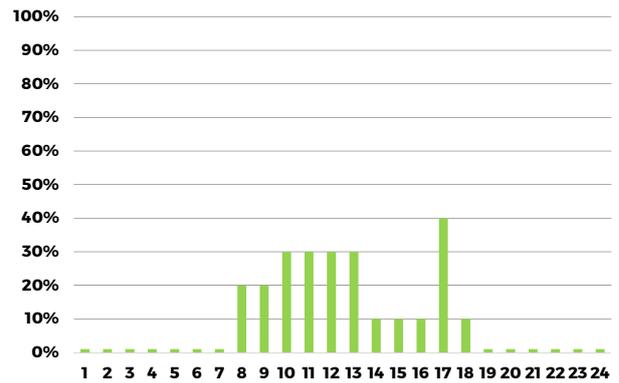
Ufficio dal Lunedì al Venerdì



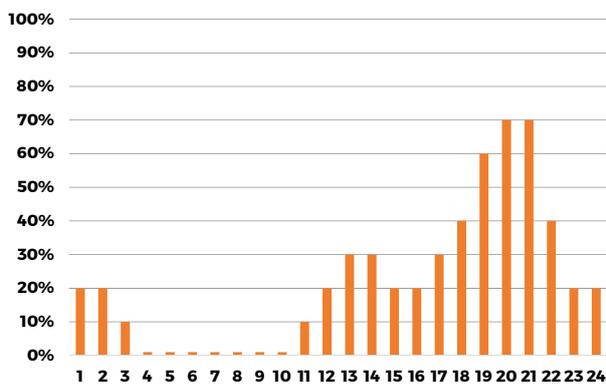
Ristorante Sabato



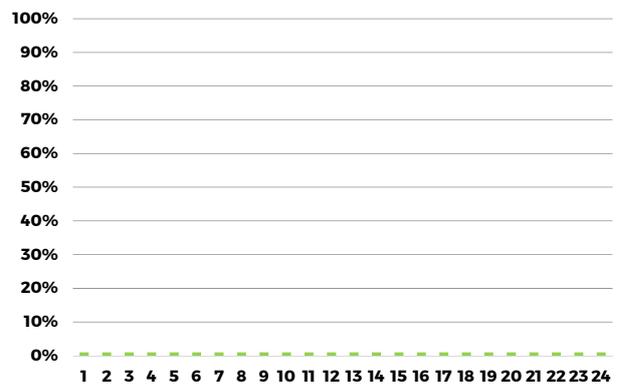
Ufficio Sabato



Ristorante Domenica



Ufficio Domenica



Apparecchiature ed illuminazione

L'occupante influenza anche i carichi elettrici generati dalle apparecchiature e dall'illuminazione. Sono stati scelti gli elettrodomestici più comuni per ogni destinazione d'uso.

Residenziale	Ufficio	Ristorazione
Frigo-congelatore	Computer	Frigo-congelatore
Forno	Stampante	Frigo bar
Microonde	Distributore automatico	Forno
Piano cottura	Frigorifero	Microonde
Lavatrice	Microonde	Friggitrice
Lavastoviglie	Sorgenti luminose	Piano cottura gas
Computer		Lavastoviglie
Televisore		Macchina del caffè
Sorgenti luminose		Cassa
		Televisore
		Sorgenti luminose

Tabella 1: Elettrodomestici suddivisi per destinazione d'uso degli edifici

I profili di utilizzo sono stati ricavati dal documento MICENE - Misure dei Consumi di ENergia Elettrica in 110 abitazioni ItalianE⁶², normalizzando le curve di carico degli elettrodomestici proposti. Per tutte le altre apparecchiature, i profili sono stati definiti in base al loro utilizzo usuale. Mediante il prospetto 14 della UNI-TS 11300-1 (sotto riportato) è stato definito l'apporto termico medio che dovessero generare. Possedendo già l'apporto termico generato degli occupanti, è stato ricavato quello generato dalle apparecchiature e dall'illuminazione.

prospetto 14

Profili temporali degli apporti termici dagli occupanti e dalle apparecchiature (edifici residenziali)

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

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

IL CASO STUDIO

Per definire l'apporto termico negli uffici e nella ristorazione è stato utilizzato il prospetto 17 della UNI-TS 11300-1, che definisce gli apporti termici forniti dalle sole apparecchiature.

prospetto 17 **Apporti termici dalle apparecchiature; valori globali in funzione della categoria di edificio (edifici non residenziali)**

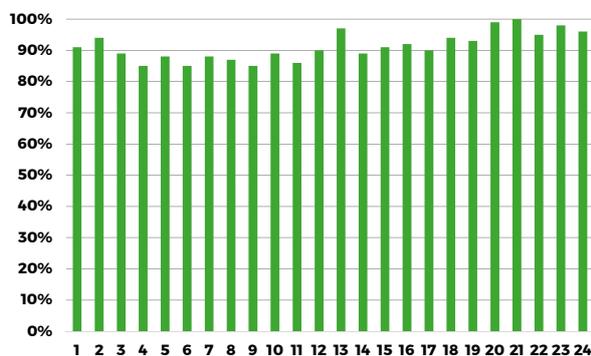
Categoria di edificio	Apporto termico delle apparecchiature durante il periodo di funzionamento $\Phi_{int,A} / A_f$ [W/m ²]	Fattore di simultaneità f_A	Apporto termico medio dalle apparecchiature $\Phi_{int,A} / A_f$ [W/m ²]
Uffici	15	0,20	3
Attività scolastiche	5	0,15	1
Cura della salute, attività clinica	8	0,50	4
Cura della salute, attività non clinica	15	0,20	3
Servizi di approvvigionamento	10	0,25	3
Esercizi commerciali	10	0,25	3
Luoghi di riunione	5	0,20	1
Alberghi e pensioni	4	0,50	2
Penitenziari	4	0,50	2
Attività sportive	4	0,25	1

$\Phi_{int,A}$ è il flusso termico dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

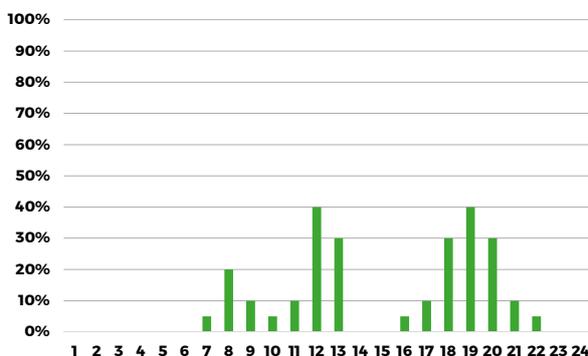
Per le prime simulazioni è stato considerato un apporto termico interno di 3 W/m² in modo da poter fare un confronto con TABULA.

A seguire vengono riportati i profili di utilizzo suddivisi per destinazione d'uso.

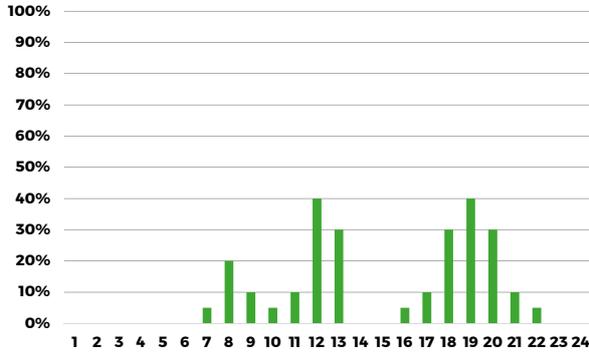
Residenziale
Frigorifero



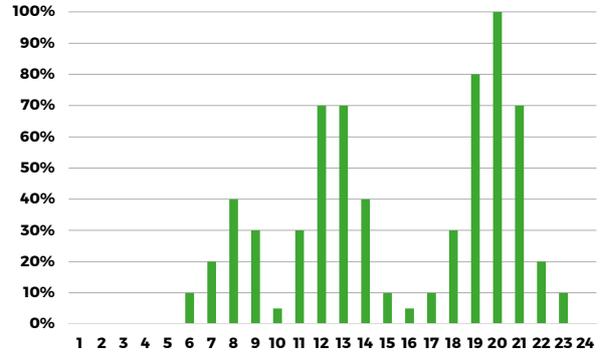
Residenziale
Forno



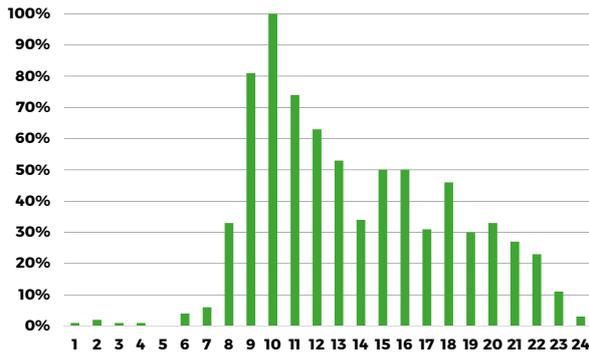
Residenziale
Microonde



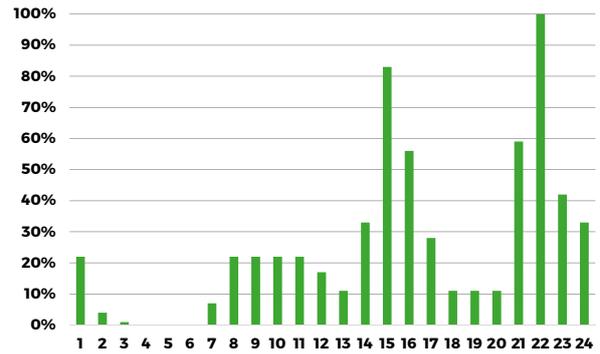
Residenziale
Piano cottura



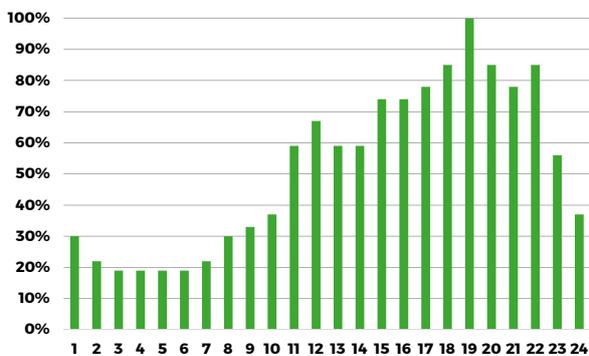
Residenziale
Lavatrice



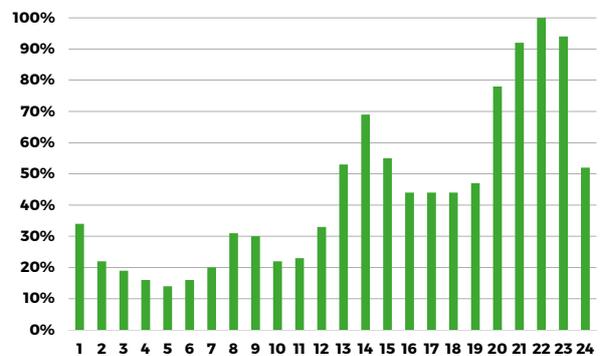
Residenziale
Lavastoviglie



Residenziale
Computer

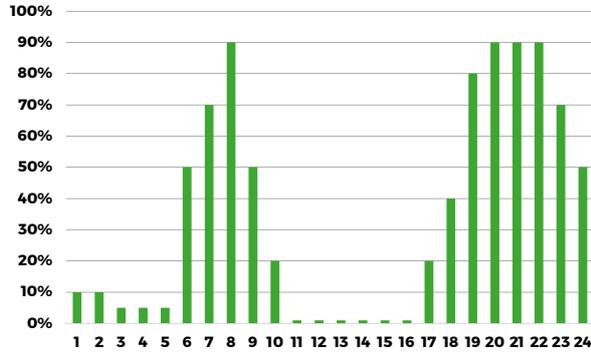


Residenziale
Televisore

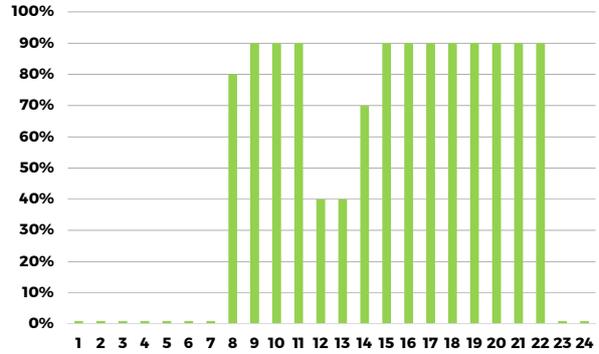


IL CASO STUDIO

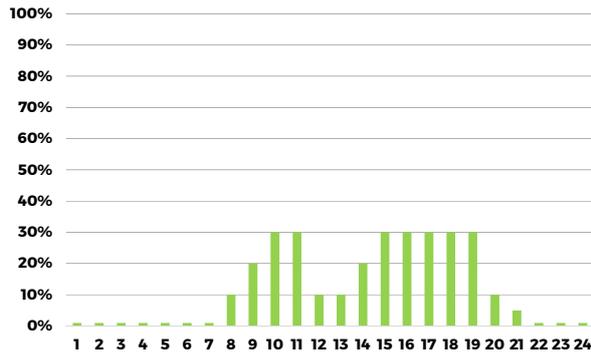
Residenziale
Luci



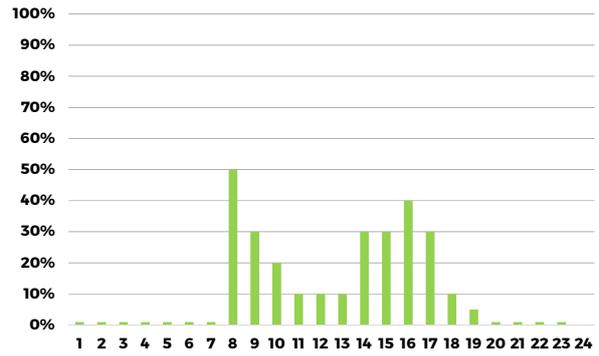
Ufficio
Computer



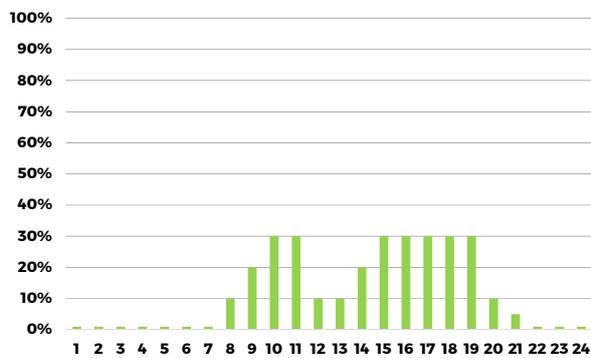
Ufficio
Stampante



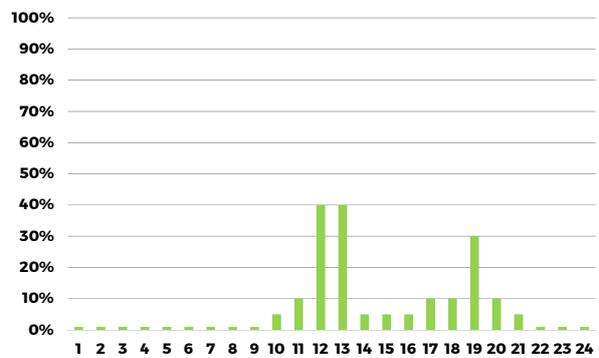
Ufficio
Distributore automatico



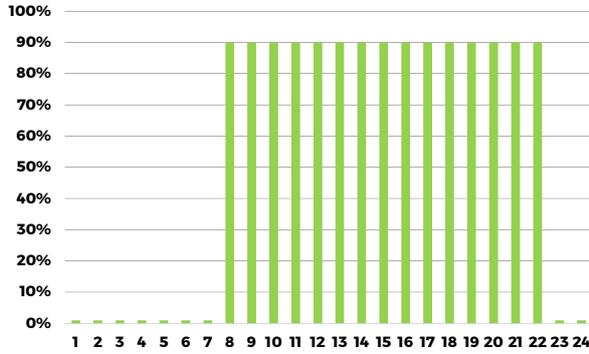
Ufficio
Frigorifero



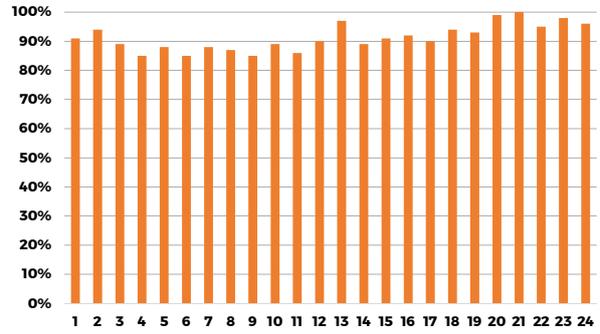
Ufficio
Microonde



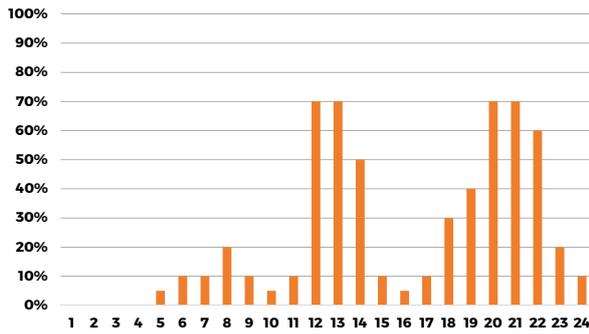
Ufficio
Luci



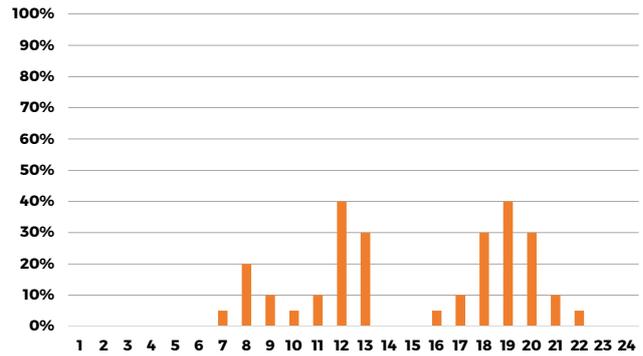
Ristorante
Frigorifero/Frigobar



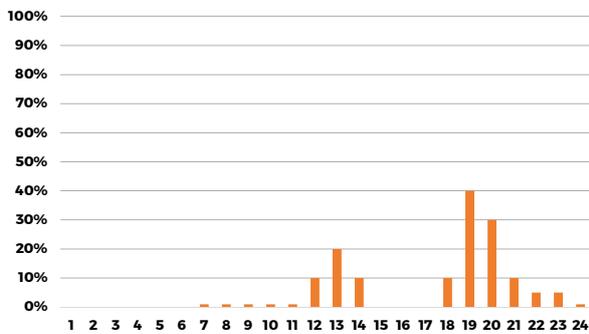
Ristorante
Forno



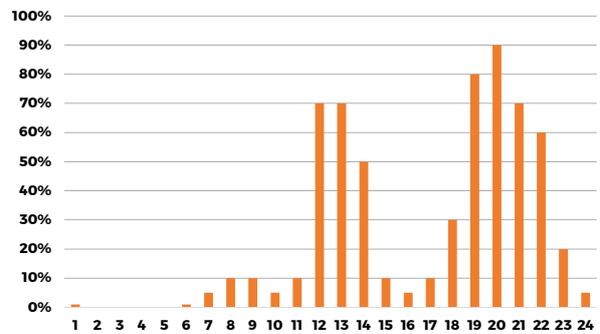
Ristorante
Microonde



Ristorante
Friggitrice

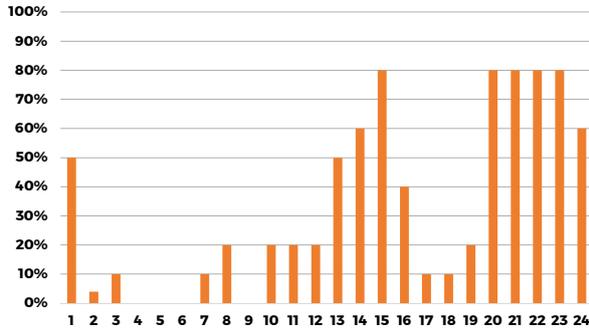


Ristorante
Piano cottura

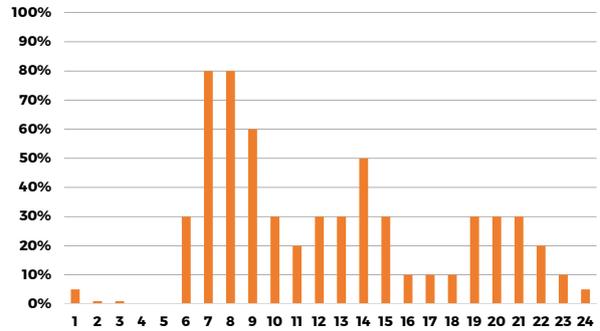


IL CASO STUDIO

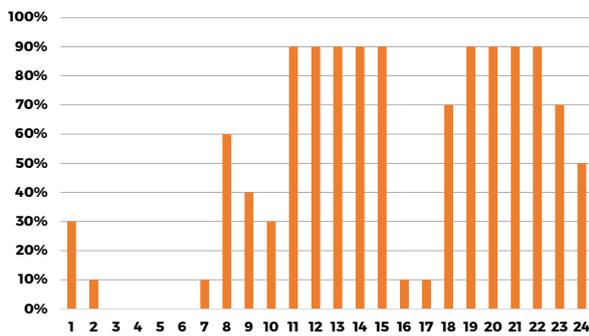
Ristorante
Lavastoviglie



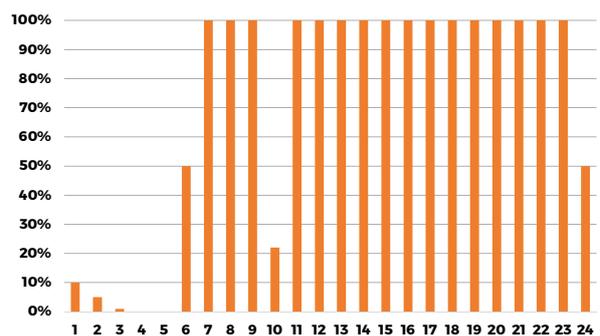
Ristorante
Macchina del caffè



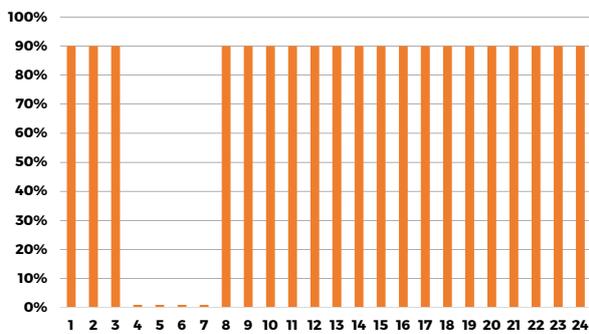
Ristorante
Cassa



Ristorante
Televisore



Ristorante
Luci



CITYSIM PRO consente inoltre di fare un'ulteriore differenziazione attraverso il sottolivello chiamato: *Activity Type*. Nel mio caso è stato utilizzato per differenziare le zone di utilizzo delle apparecchiature e dell'illuminazione.

Acqua calda sanitaria

L'occupante può essere definito anche tramite il profilo di utilizzo dell'acqua calda sanitaria (ACS). I profili sono stati definiti dall'articolo di Fuentes E. et al, *A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis*⁶³.

Ventilazione ed Infiltrazione

A causa di un'impossibilità di poter inserire i valori della ventilazione naturale, il parametro è stato inserito all'interno della voce "infiltrazione" assieme al valore dell'infiltrazione. I valori sono stati assunti da TABULA come riportato nella tabella sottostante.

	INFILTRAZIONE	VENTILAZIONE
AB 19-45	0,40 ac/h	0,40 ac/h
AB 61-75	0,40 ac/h	0,40 ac/h
AB 76-90	0,20 ac/h	0,40 ac/h
AB 91-05	0,20 ac/h	0,40 ac/h
MB 19-45	0,40 ac/h	0,40 ac/h
MB 46-60	0,40 ac/h	0,40 ac/h
MB 61-75	0,40 ac/h	0,40 ac/h
MB 91-05	0,20 ac/h	0,40 ac/h

Tabella 2: Valori dell'infiltrazione e della ventilazione assunti da TABULA suddivisi per tipologia edilizia e epoca di costruzione

Impianti

L'impianto di riscaldamento e di ACS è stato definito tramite il progetto TABULA in base al periodo di costruzione ed alla dimensione edilizia. Il dimensionamento di ciascun impianto è stato effettuato rispetto al carico termico di progetto e l'efficienza secondo la normativa UNI-TS 11300-Parte 1. I dati specifici sono riportati nelle schede degli edifici.

Set-point

I valori di set-point sono stati definiti secondo normativa UNI TS 11300-Parte 1, dove viene specificato che per la climatizzazione invernale bisogna assumere una temperatura interna costante pari a 20 °C.

Diversi studi dimostrano però che il set-point di temperatura viene spesso modificato dall'occupante. Di conseguenza per valutare quanto possano variare i consumi finali sono stati analizzati diversi scenari energetiche differenziando tre tipologie di comportamento dell'utente del residenziale:

- Low energy, dove l'occupante ambisce al risparmio energetico e mantiene il set-point impostato a 18°C
- High energy, dove l'occupante imposta il set-point a 21°C
- EcoFriendly, dove il 25% dei residenti assume un atteggiamento Low Energy

Quest'ultima tipologia di comportamento è stata definita da una tesi di ricerca⁶⁴ che ha riscontrato che nei due isolati del caso studio il 25% dei residenti è disposto a cambiare il suo atteggiamento al fine di assumerne uno più responsabile per ridurre i consumi energetici. Di conseguenza sono stati scelti questi edifici:



Rapporto di forma

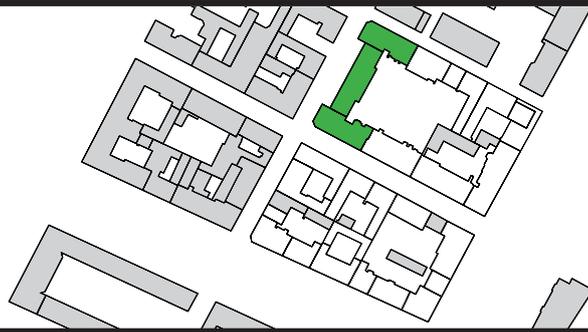
Nonostante non sia un valore di input, un parametro fondamentale per la validazione dei risultati della simulazione energetica con TABULA è il rapporto di forma, ossia S/V. Questo parametro indica il rapporto tra la superficie disperdente dell'edificio ed il suo volume; nello specifico misura la compattezza di un edificio. La compattezza di un edificio è un parametro che ne influenza le prestazioni energetiche. Quindi un edificio più compatto è energeticamente conveniente perché presenta una minore superficie disperdente per unità di spazio utilizzabile.

In seguito vengono presentate le schede tecniche degli edifici presi in esame

1 - AB 19-45

Epoca di costruzione:
1921-1945

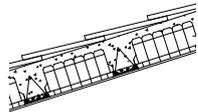
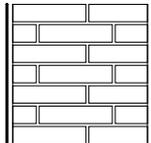
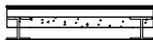
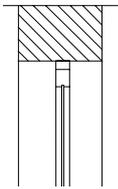
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 8.099 m ²	Residenziale: 24.294 m ³	0,27	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 1.350 m ²	Commerciale: 5.399 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Muratura in mattoni pieni (50 cm)	Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 1,17 W/m ² K	U = 1,97 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10m e antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 71 %	Sottosistema di distribuzione: 84 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 85 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
324	169	90 W

2 - AB 19-45

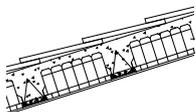
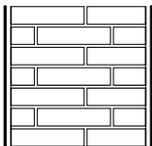
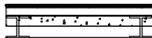
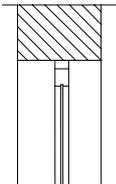
Epoca di costruzione:
1921-1945

Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA			INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
AREA	VOLUME	S/V	
Residenziale: 2.288 m ²	Residenziale: 7.263 m ³	0,26	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 381 m ²	Commerciale: 1.525 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Muratura in mattoni pieni (50 cm)	Solaio a profilati in acciaio e tavelloni in laterizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 1,17 W/m ² K	U = 1,97 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, e antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 71 %	Sottosistema di distribuzione: 84 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 85 %

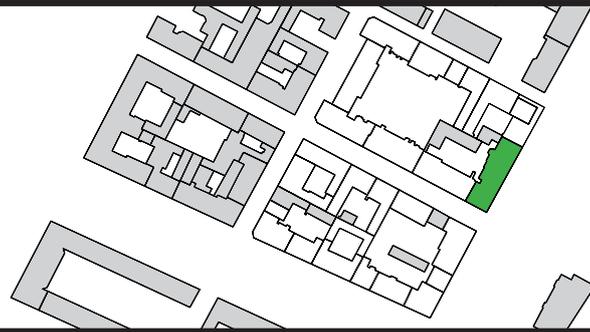
OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
92	48	90 W

3 - AB 61-75

Epoca di costruzione:
1961-1975

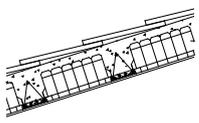
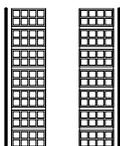
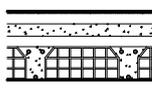
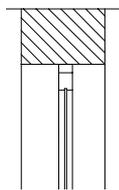
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 4.699 m ²	Residenziale: 14.091 m ³	0,24	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 587 m ²	Commerciale: 2.349 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero-cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 0,98 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, e antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 71 %	Sottosistema di distribuzione: 86 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 86 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
188	73	90 W

4 - AB 61-75

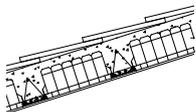
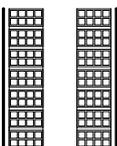
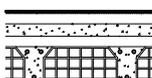
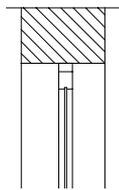
Epoca di costruzione:
1961-1975

Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA			INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
AREA	VOLUME	S/V	
Residenziale: 4.233 m ²	Residenziale: 12.698 m ³	0,26	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 529 m ²	Commerciale: 2.116 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero-cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 0,98 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, e antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 71 %	Sottosistema di distribuzione: 86 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 86 %

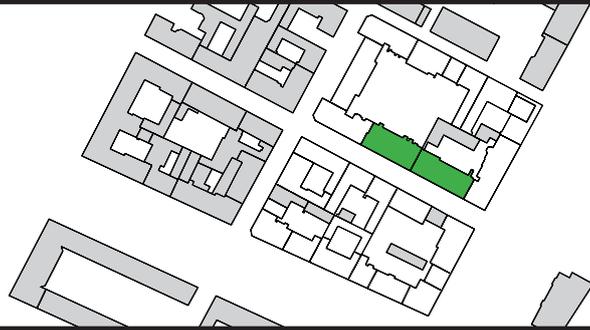
OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
169	66	90 W

5 - AB 61-75

Epoca di costruzione:
1961-1975

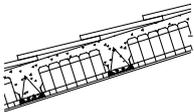
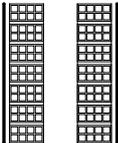
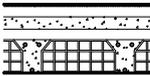
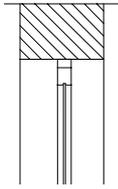
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 5.768 m ²	Residenziale: 17.308 m ³	0,25	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 961 m ²	Commerciale: 3.846 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero-cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 0,98 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, e antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 71 %	Sottosistema di distribuzione: 86 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 86 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
231	120	90 W

6 - AB 61-75

Epoca di costruzione:
1961-1975

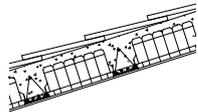
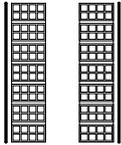
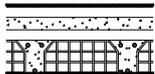
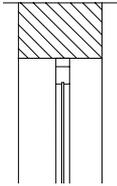
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 1.343 m ²	Residenziale: 4.030 m ³	0,28	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 269 m ²	Commerciale: 1.074 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero-cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 0,98 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, e antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 71 %	Sottosistema di distribuzione: 86 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 86 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
54	34	90 W

7 - AB 76-90

Epoca di costruzione:
1976-1990

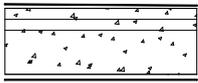
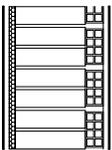
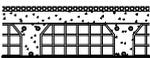
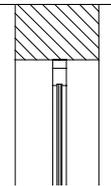
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 2.575 m ²	Residenziale: 7.381 m ³	0,26	Infiltrazione: 0,20 ac/h
Commerciale: 129 m ²	Commerciale: 1.716 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto piano in latero cemento	Muratura a cassa vuota con mattoni forati a basso livello di isolamento	Solaio latero - cementizio con basso livello di isolamento	Vetro camera con intercapedine d'aria, telaio in metallo senza taglio termico
			
U = 1,66 W/m ² K	U = 0,66 W/m ² K	U = 0,69 W/m ² K	U = 3,70 W/m ² K g _{gl} = 0,75

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 85 %	Sottosistema di distribuzione: 89 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 95 %
			Efficienza del sistema: 90 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
103	54	90 W

8 - AB 76-90

Epoca di costruzione:
1976-1990

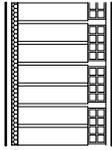
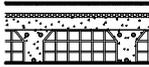
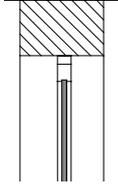
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 3.925 m ²	Residenziale: 11.772 m ³	0,25	Infiltrazione: 0,20 ac/h
Commerciale: 436 m ²	Commerciale: 1.744 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto piano in latero cemento	Muratura a cassa vuota con mattoni forati a basso livello di isolamento	Solaio latero - cementizio con basso livello di isolamento	Vetro camera con intercapedine d'aria, telaio in metallo senza taglio termico
			
U = 1,66 W/m ² K	U = 0,66 W/m ² K	U = 0,69 W/m ² K	U = 3,70 W/m ² K g _{gl} = 0,75

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 85 %	Sottosistema di distribuzione: 89 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 95 %
			Efficienza del sistema: 90 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
157	55	90 W

9 - AB 91-05

Epoca di costruzione:
1991-2005

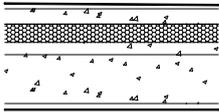
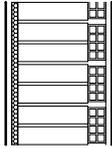
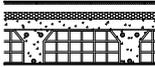
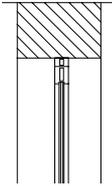
Classe di dimensione edilizia:
Blocco di Appartamenti



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 1.308 m ²	Residenziale: 3.922 m ³	0,30	Infiltrazione: 0,20 ac/h
Commerciale: 262 m ²	Commerciale: 1.046 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto piano in latero cemento, medio livello di isolamento	Muratura in mattoni forati a medio livello di isolamento	Solaio in latero cemento, medio livello di isolamento	Vetro camera con intercapedine d'aria, telaio in metallo a taglio termico
			
U = 0,75 W/m ² K	U = 0,55 W/m ² K	U = 0,77 W/m ² K	U = 3,40 W/m ² K g _{gl} = 0,75

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard per impianti di riscaldamento autonomi (per appartamento), installata in ambiente non climatizzato

Sottosistema di generazione: 88 %	Sottosistema di distribuzione: 95 %	Sottosistema di regolazione: 95 %	Sottosistema di emissione: 96 %
			Efficienza del sistema: 94 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
52	33	90 W

10- MB 19-45

Epoca di costruzione:
1921-1945

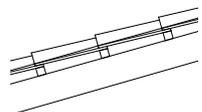
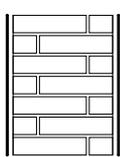
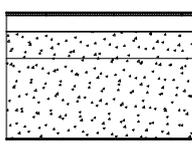
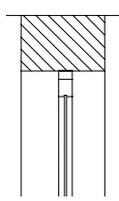
Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 2.383 m ²	Residenziale: 7.149 m ³	0,33	Infiltrazione: 0,20 ac/h
Commerciale: 596 m ²	Commerciale: 2.383 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura in mattoni pieni (38 cm)	Soletta in calcestruzzo armato	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,45 W/m ² K	U = 2,08 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 85 %	Sottosistema di distribuzione: 83 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 88 %

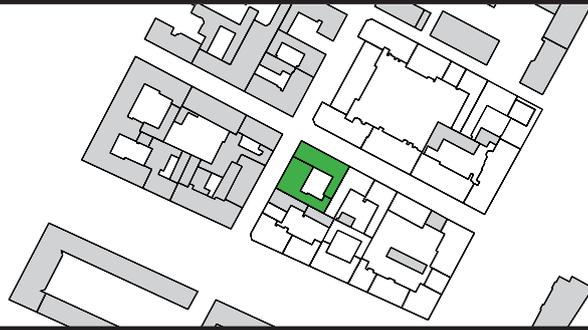
OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
95	74	90 W

11- MB 19-45

Epoca di costruzione:
1921-1945

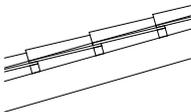
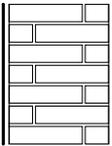
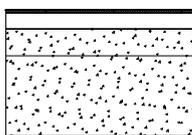
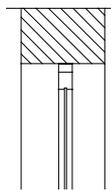
Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 2.299 m ²	Residenziale: 6.897 m ³	0,33	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 766 m ²	Commerciale: 3.065 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura in mattoni pieni (38 cm)	Soletta in calcestruzzo armato	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,45 W/m ² K	U = 2,08 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 85 %	Sottosistema di distribuzione: 83 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 88 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
92	96	90 W

12- MB19-45

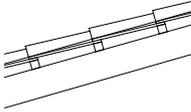
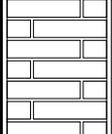
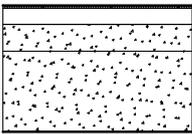
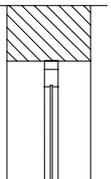
Epoca di costruzione:
1921-1945

Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA			INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
AREA	VOLUME	S/V	
Residenziale: 1.532 m ²	Residenziale: 4.598 m ³	0,28	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 383 m ²	Commerciale: 1.532 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura in mattoni pieni (38 cm)	Soletta in calcestruzzo armato	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,45 W/m ² K	U = 2,08 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 85 %	Sottosistema di distribuzione: 83 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 88 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
61	48	90 W

13- MB 46-60

Epoca di costruzione:
1946-1960

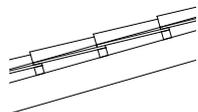
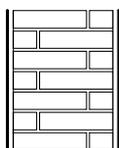
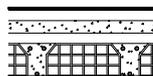
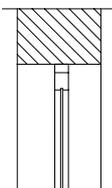
Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 2.072 m ²	Residenziale: 5.820 m ³	0,35	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 320 m ²	Commerciale: 1.280 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura in mattoni pieni (38 cm)	Solaio latero cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,45 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 85 %	Sottosistema di distribuzione: 82 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 88 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
83	40	90 W

14- MB 61-75

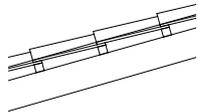
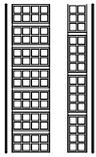
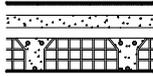
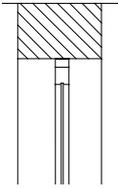
Epoca di costruzione:
1961-1975

Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA			INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
AREA	VOLUME	S/V	
Residenziale: 433 m ²	Residenziale: 1.388 m ³	0,38	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 87 m ²	Commerciale: 347 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,10 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 88 %	Sottosistema di distribuzione: 90 %	Sottosistema di regolazione: 95 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 91 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
17	11	90 W

15- MB 61-75

Epoca di costruzione:
1961-1975

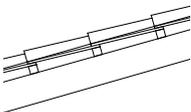
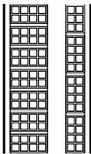
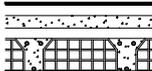
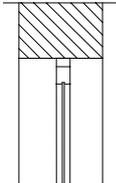
Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 510 m ²	Residenziale: 1.532 m ³	0,30	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 127 m ²	Commerciale: 510 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,10 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 88 %	Sottosistema di distribuzione: 90 %	Sottosistema di regolazione: 95 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 91 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
20	16	90 W

16- MB 61-75

Epoca di costruzione:
1961-1975

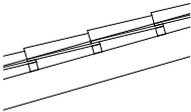
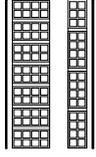
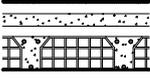
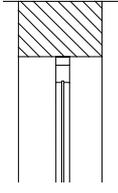
Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 1.016 m ²	Residenziale: 3.049 m ³	0,31	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 254 m ²	Commerciale: 1.016 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,10 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 88 %	Sottosistema di distribuzione: 90 %	Sottosistema di regolazione: 95 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 91 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
41	32	90 W

17- MB 61-75

Epoca di costruzione:
1961-1975

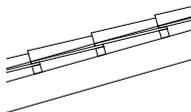
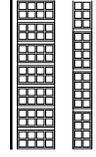
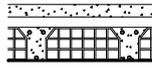
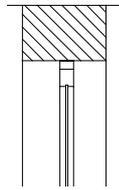
Classe di dimensione edilizia: Edifici
multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 1.182 m ²	Residenziale: 3.546 m ³	0,30	Infiltrazione: 0,40 ac/h
Commerciale: 296 m ²	Commerciale: 1.182 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno (sottotetto non climatizzato)	Muratura a cassa vuota con mattoni forati	Solaio latero - cementizio	Vetro singolo con telaio in legno
			
U = 1,80 W/m ² K	U = 1,10 W/m ² K	U = 1,58 W/m ² K	U = 4,90 W/m ² K g _{gl} = 0,85

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore ad aria soffiata, installata in centrale termica, antecedente al 1996

Sottosistema di generazione: 88 %	Sottosistema di distribuzione: 90 %	Sottosistema di regolazione: 95 %	Sottosistema di emissione: 93 %
			Efficienza del sistema: 91 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
47	37	90 W

18- MB 91-05

Epoca di costruzione:
1991-2005

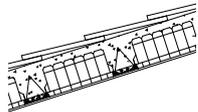
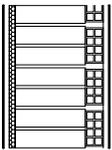
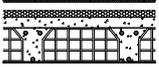
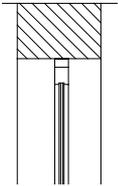
Classe di dimensione edilizia:
Edifici multifamiliari



GEOMETRIA

AREA	VOLUME	S/V	INFILTRAZIONE E VENTILAZIONE
Residenziale: 505 m ²	Residenziale: 1.516 m ³	0,34	Infiltrazione: 0,20 ac/h
Commerciale: 168 m ²	Commerciale: 674 m ³		Ventilazione nat: 0,40 ac/h

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETI	SOLAIO	SERRAMENTO
Tetto a falde in laterizio (sottotetto non climatizzato)	Solaio in latero cemento, medio livello di isolamento	Solaio in latero cemento, medio livello di isolamento	Vetro camera basso-emissivo con intercapedine d'aria, telaio in legno
			
U = 1,95 W/m ² K	U = 0,60 W/m ² K	U = 0,77 W/m ² K	U = 2,20 W/m ² K g _{gl} = 0,67

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO e ACQUA CALDA SANITARIA

Caldaia standard (a gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, successiva al 1996

Sottosistema di generazione: 88 %	Sottosistema di distribuzione: 93 %	Sottosistema di regolazione: 93 %	Sottosistema di emissione: 96 %
			Efficienza del sistema: 93 %

OCCUPANTI

RESIDENZIALE	COMMERCIALE	APPORTO
20	21	90 W





RISULTATI

5.1 INTRODUZIONE

Dopo la fase di analisi del quartiere e della costruzione del modello energetico, sono state eseguite le simulazioni energetiche per stimare fabbisogni e consumi degli edifici.

Lo scopo della ricerca è di definire in che misura il comportamento degli occupanti influenza il consumo di energia negli edifici.

I risultati ottenuti dalla prima simulazione sono stati confrontati con i valori forniti da TABULA per poter verificare sia l'esattezza del modello che l'affidabilità del programma, in quanto è essenziale che venga rappresentata la situazione reale. Per poter effettuare un confronto corretto, i fabbisogni di riscaldamento di TABULA sono stati normalizzati rispetto al rapporto di forma degli edifici del distretto. Per poter confrontare gli output ottenuti sono stati suddivisi gli edifici per dimensione edilizia ed ordinati per epoca di costruzione.

Successivamente per valutare come performano gli edifici nella realtà sono stati maggiormente caratterizzati in base alla destinazione d'uso sia dal punto di vista dell'occupante, attraverso i profili di occupazione, che delle apparecchiature e dell'illuminazione, mediante i profili di utilizzo. L'approccio di simulazione utilizzato è il deterministico.

Sono stati presi in considerazione 5 parametri di valutazione:

- Fabbisogno di Riscaldamento (kWh/m²a)
- Consumo finale dovuto al riscaldamento ed alla produzione di ACS (gas naturale) (kWh/m²a)
- Consumo finale dovuto alle apparecchiature e all'illuminazione (elettricità) (kWh/m²a)
- Emissione di CO₂eq per i ciascun vettore energetico (kgCO₂)
- Energia primaria (kWh/m²a)

Le emissioni di CO₂eq sono state calcolate partendo dai consumi finali di ciascun vettore energetico ed utilizzando i fattori di conversione⁶⁵:

- Gas naturale: 0,21 (kg/kWh)
- Energia elettrica da rete: 0,46 (kg/kWh)

RISULTATI

Per calcolare l'energia primaria, l'energia finale è stata convertita applicando i fattori di conversione per il gas naturale e per l'elettricità riportati nel D.M. requisiti minimi del 2015⁶⁶:

- Gas naturale: $fp = 1,05$
- Energia elettrica da rete: $fp = 2,42$

Per rispondere alla domanda su cui verte la tesi sono stati realizzati 4 scenari. Nello specifico si è approfondita l'influenza dell'occupante nella regolazione delle temperature interne di set-point di riscaldamento:

- Standard, dove l'occupante imposta il set-point a 20°C come definisce la normativa UNI TS 11300-parte 1⁶⁷
- Low energy, dove l'occupante mantiene il set-point impostato a 18°C
- High energy, dove l'occupante imposta il set-point a 21°C
- EcoFriendly, dove il 25% dei residenti assume un atteggiamento Low Energy

Quest'ultima tipologia di comportamento è stata definita da una tesi di ricerca⁶⁸ che ha riscontrato che nei due isolati del caso studio il 25% dei residenti è disposto a cambiare il suo atteggiamento al fine di assumerne uno più responsabile per ridurre i consumi energetici.

Infine, per catturare quanto la variabilità del comportamento degli occupanti influenzi i consumi finali è stato cambiato l'approccio di simulazione da deterministico a probabilistico. Sono stati in seguito confrontati gli output di 20 simulazioni probabilistiche ed 1 deterministica del residenziale.

Nelle pagine a seguire sono riportati i risultati

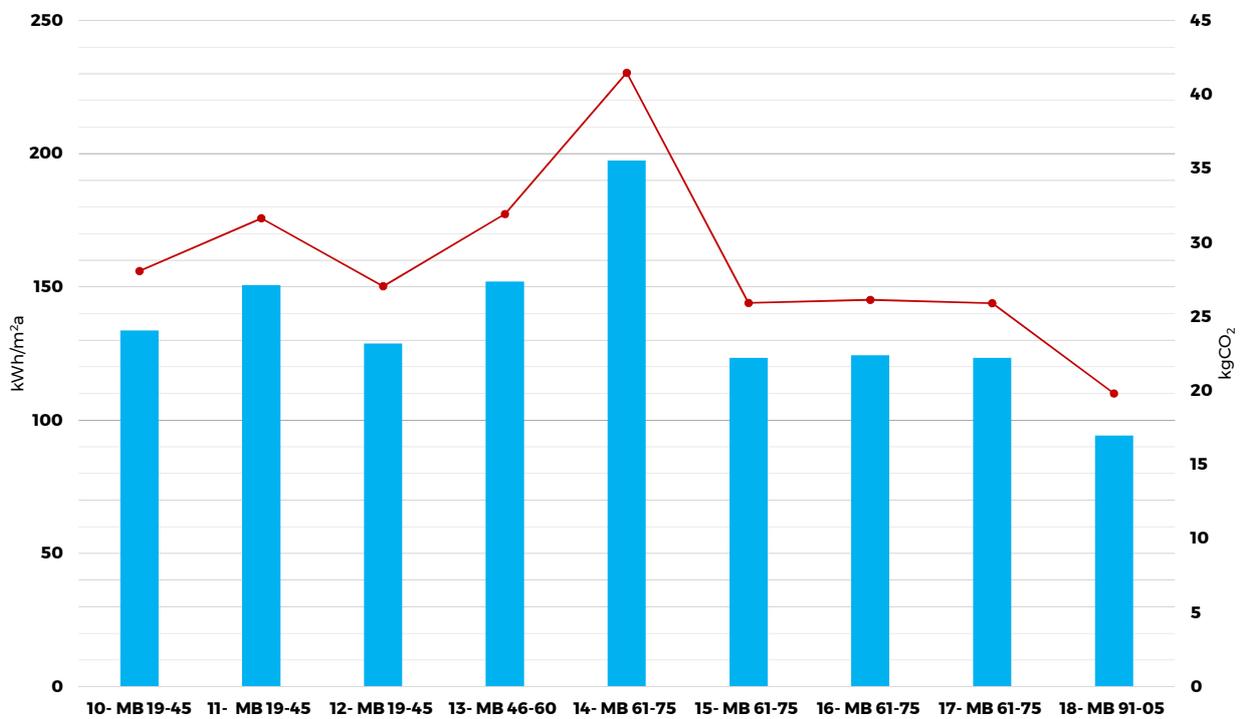
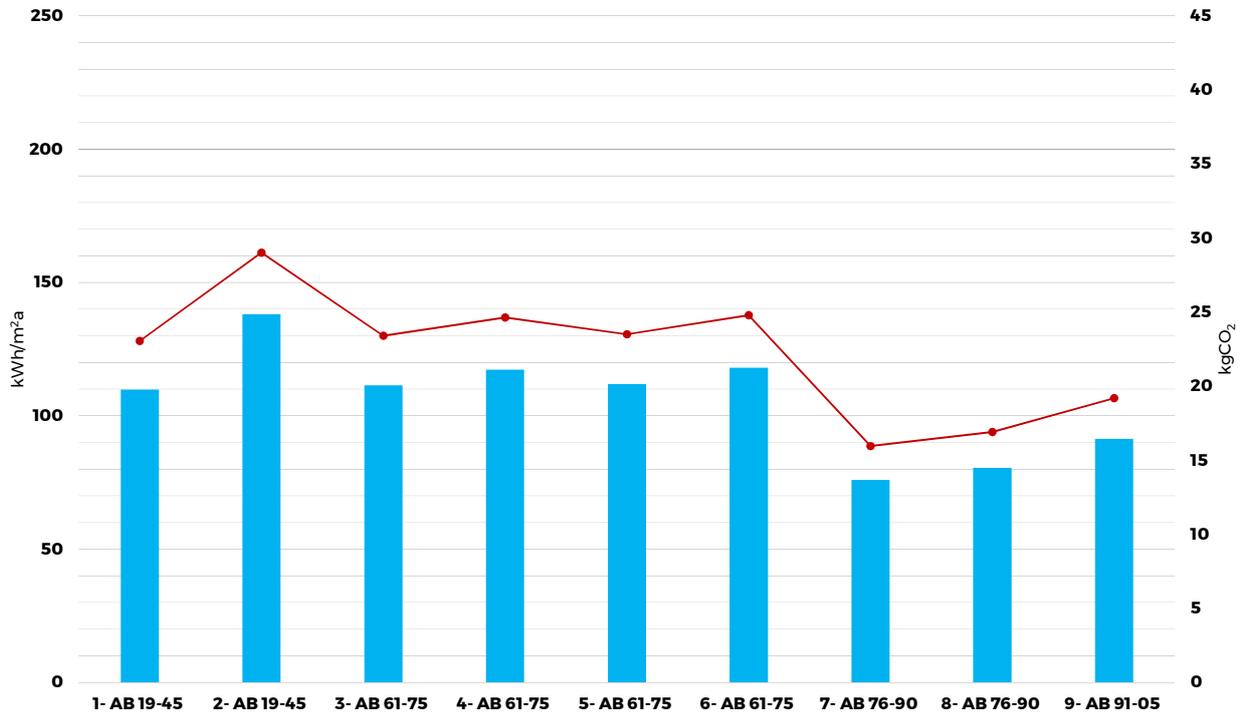
5.2 VALIDAZIONE DEL MODELLO

I fabbisogni di riscaldamento e gli apporti interni



RISULTATI

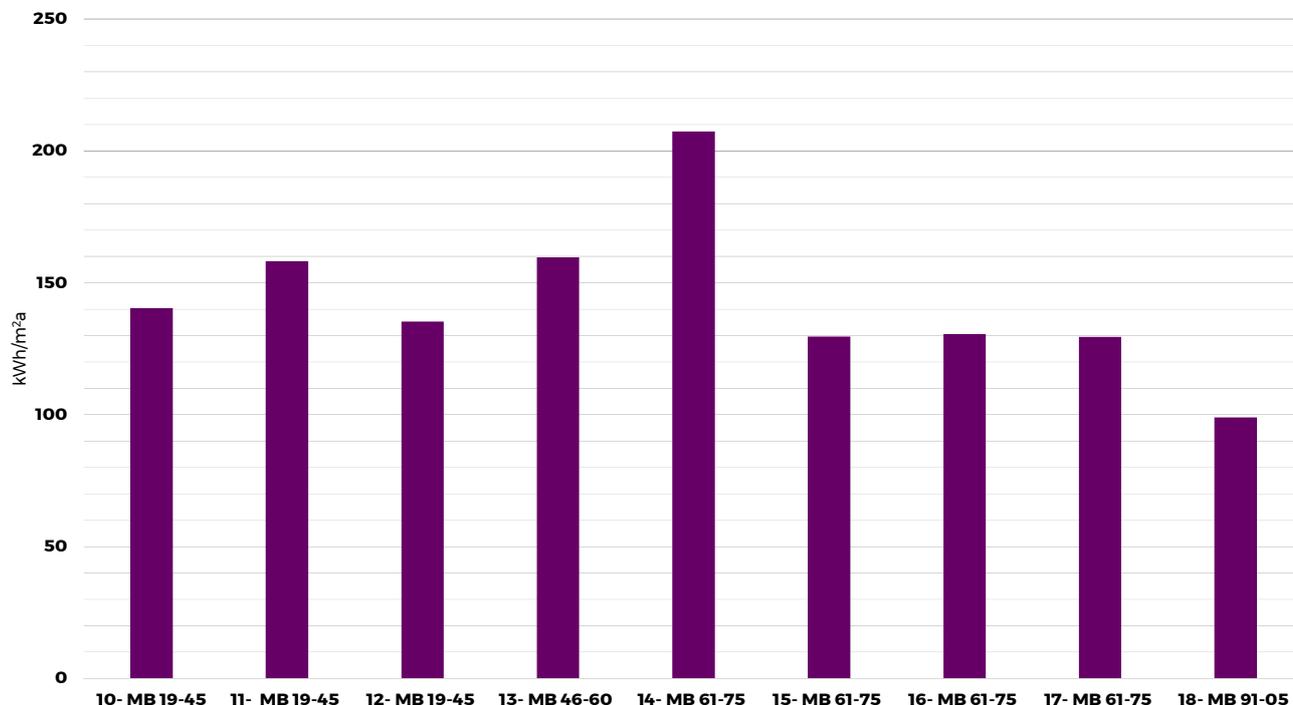
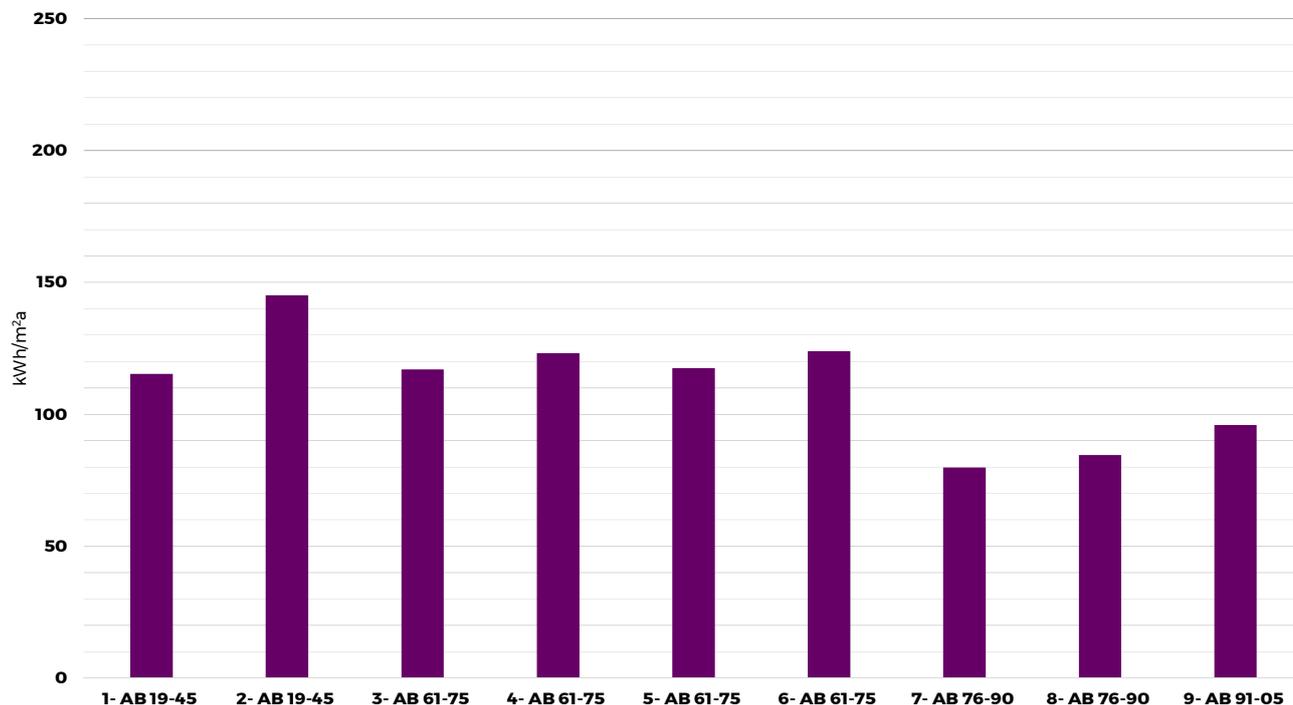
I consumi finali e le relative emissioni di CO₂eq



■ Consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS)

● Emissione di CO₂eq dovuto al consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS)

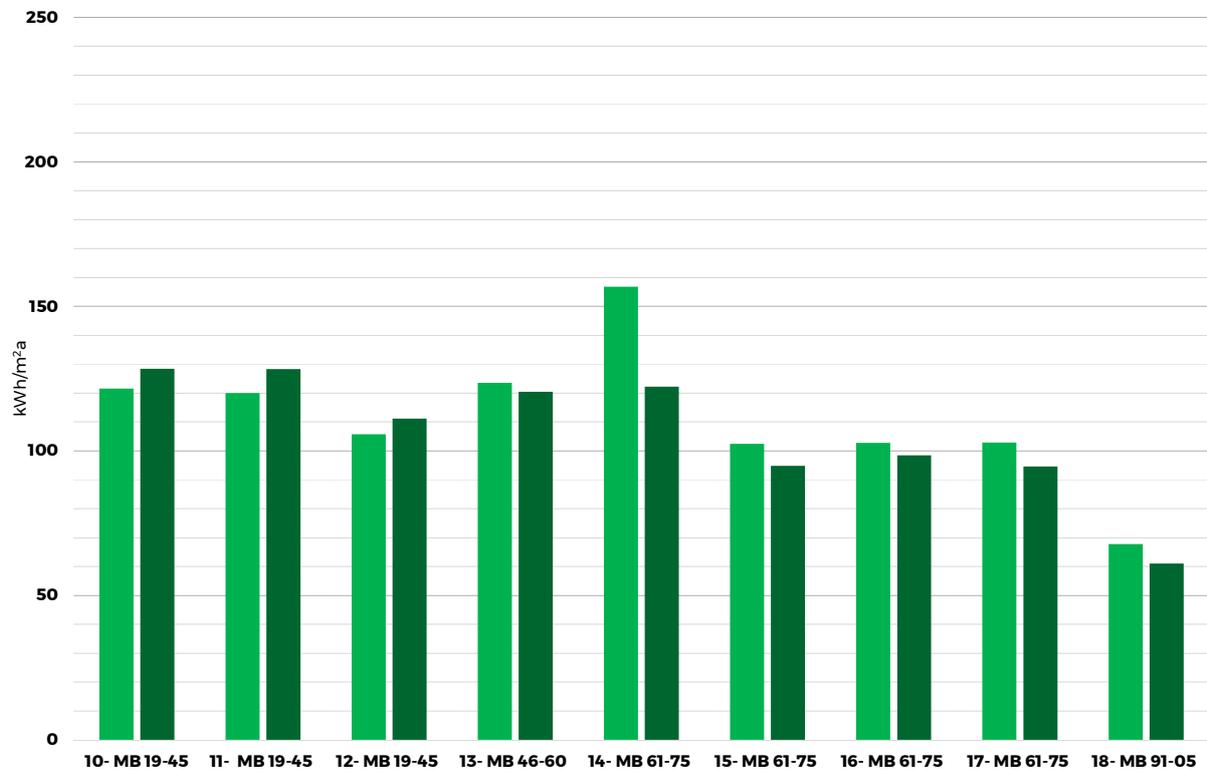
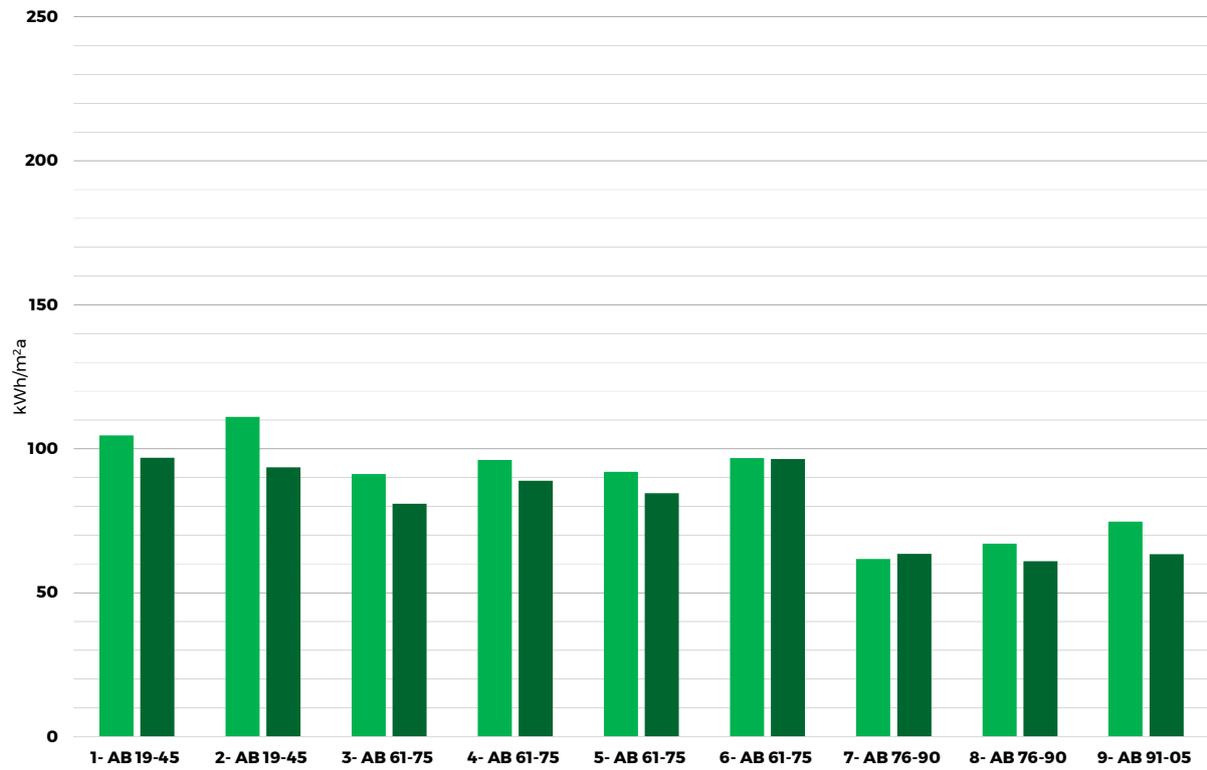
L'energia primaria



■ Energia primaria (gas naturale)

RISULTATI

Il confronto dei fabbisogni di riscaldamento del caso studio e di TABULA



■ Fabbisogno di riscaldamento del caso studio ■ Fabbisogno di riscaldamento di TABULA

Tipologia	1- AB 19-45	2- AB 19-45	3- AB 61-75	4- AB 61-75	5- AB 61-75	6- AB 61-75	7- AB 76-90	8- AB 76-90	9- AB 91-05
Rapporto di forma caso studio (m⁻¹)	0,27	0,26	0,24	0,26	0,25	0,28	0,26	0,25	0,30
Rapporto di forma TABULA	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,37	0,37	0,43
Fabbisogno TABULA (kWh/m ²)	166,30	166,30	155,70	155,70	155,70	155,70	88,70	88,70	90,00
Fabbisogno Previsto TABULA (kWh/m²)	96,88	93,58	80,94	88,90	84,61	96,41	63,47	60,95	63,36
Fabbisogno Caso studio (kWh/m²)	104,67	111,05	91,27	96,13	92,03	96,80	61,72	67,08	74,72

Tipologia	10- MB 19-45	11- MB 19-45	12- MB 19-45	13- MB 46-60	14- MB 61-75	15- MB 61-75	16- MB 61-75	17- MB 61-75	18- MB 91-05
Rapporto di forma caso studio (m⁻¹)	0,33	0,33	0,28	0,35	0,38	0,30	0,31	0,30	0,34
Rapporto di forma TABULA	0,51	0,51	0,51	0,51	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Fabbisogno TABULA (kWh/m ²)	200,00	200,00	200,00	176,80	172,20	172,20	172,20	172,20	97,70
Fabbisogno Previsto TABULA (kWh/m²)	128,38	128,25	111,14	120,47	122,19	94,85	98,40	94,58	61,07
Fabbisogno Caso studio (kWh/m²)	121,49	120,03	105,79	123,54	156,77	102,44	102,77	102,84	67,78

Tabella 4: Tabella riassuntiva dei rapporti di forma di TABULA e del caso studio ed il fabbisogno di TABULA normalizzato su di esso

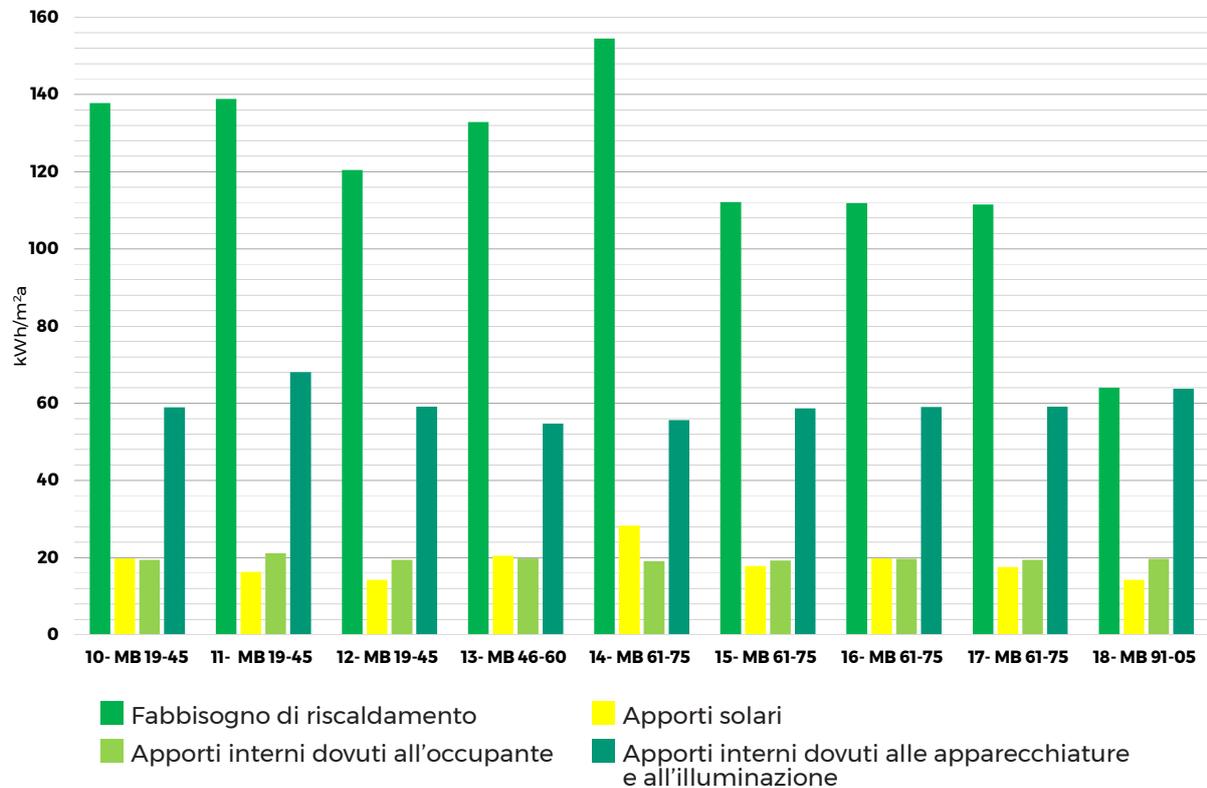
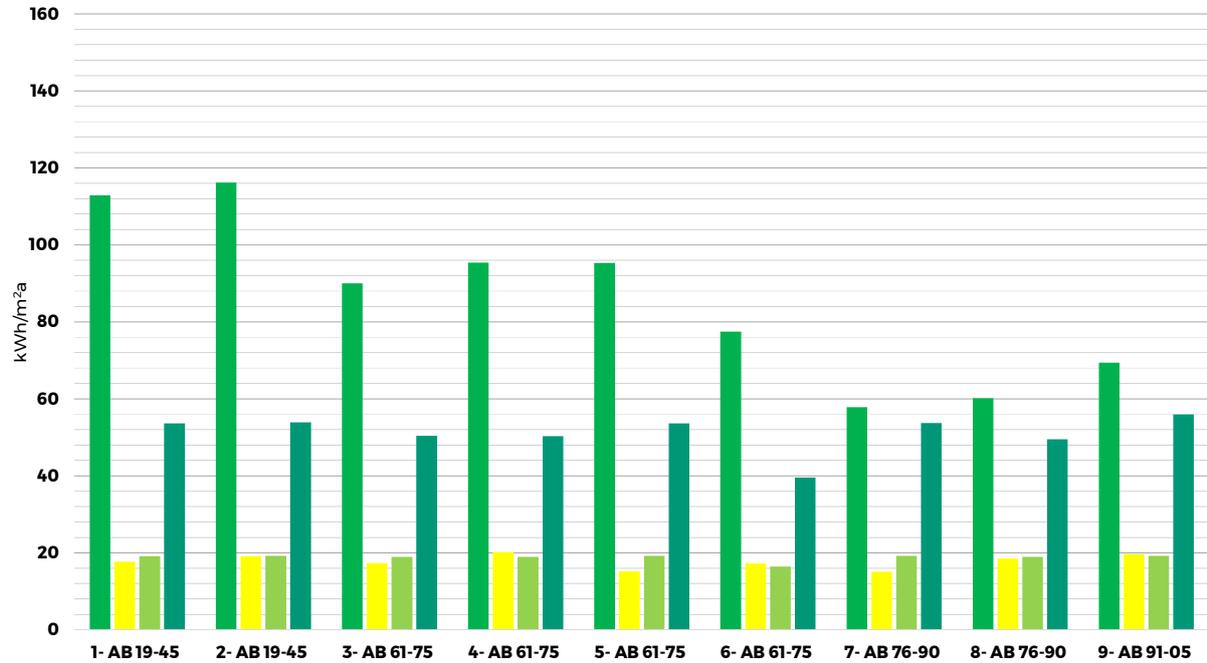
I risultati ottenuti appaiono in qualche caso discordanti ciò è dovuto all'esposizione e alla posizione degli edifici all'interno il distretto. Diversi edifici hanno la maggiore esposizione verso Nord e Sud, senza avere alcuna superficie esposta verso Est o Ovest. In ogni caso lo scarto medio tra i due modelli è del 9%.

RISULTATI A LIVELLO DISTRETTUALE	
Fabbisogno di riscaldamento	Consumo finale gas naturale (riscaldamento + ACS)
kWh/m ² a	kWh/m ² a
93,79	114,94
Emissione di CO₂eq (riscaldamento + ACS)	Energia primaria
kgCO ₂	kWh/m ² a
24,14	120,68

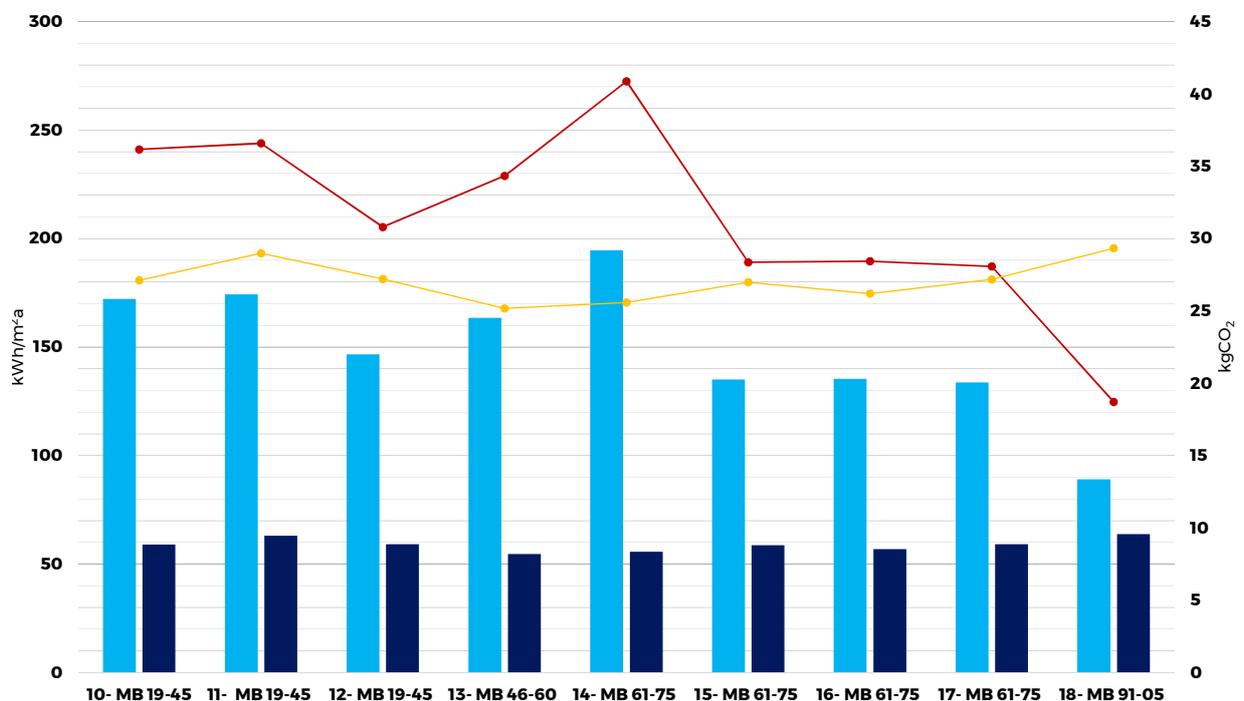
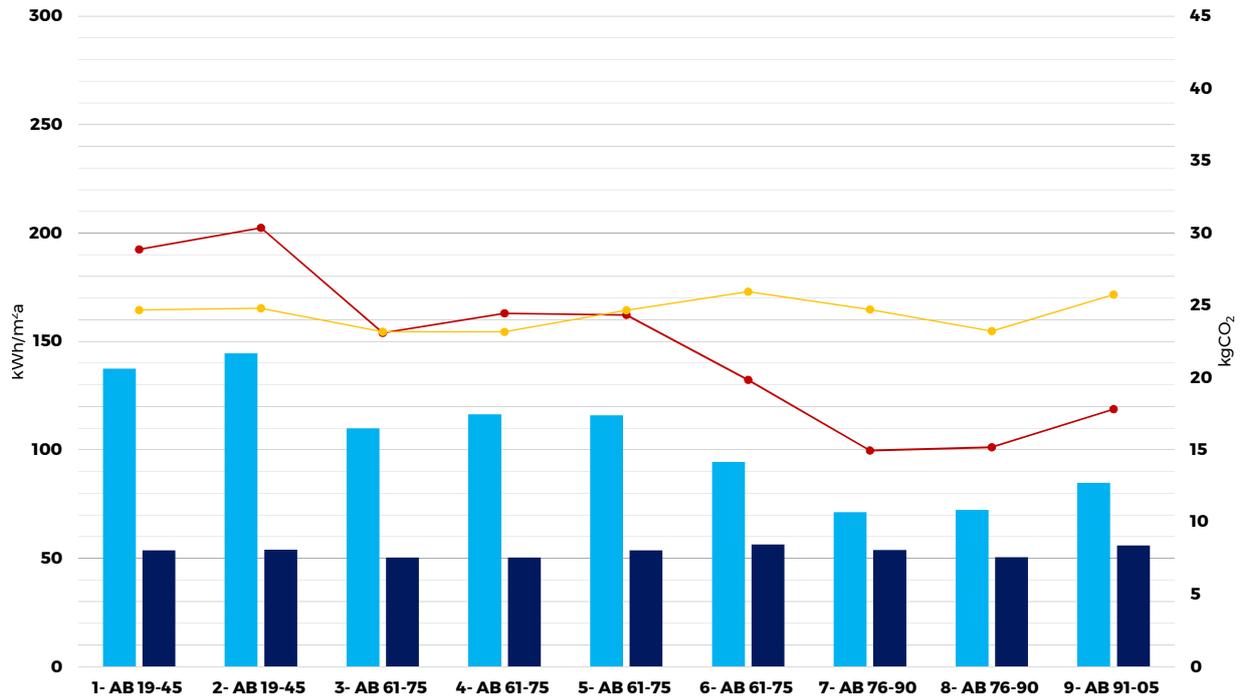
Tabella 5: Tabella riassuntiva dei risultati a livello distrettuale dello scenario di confronto con il progetto TABULA

5.3 SCENARIO STANDARD

I fabbisogni di riscaldamento e gli apporti interni

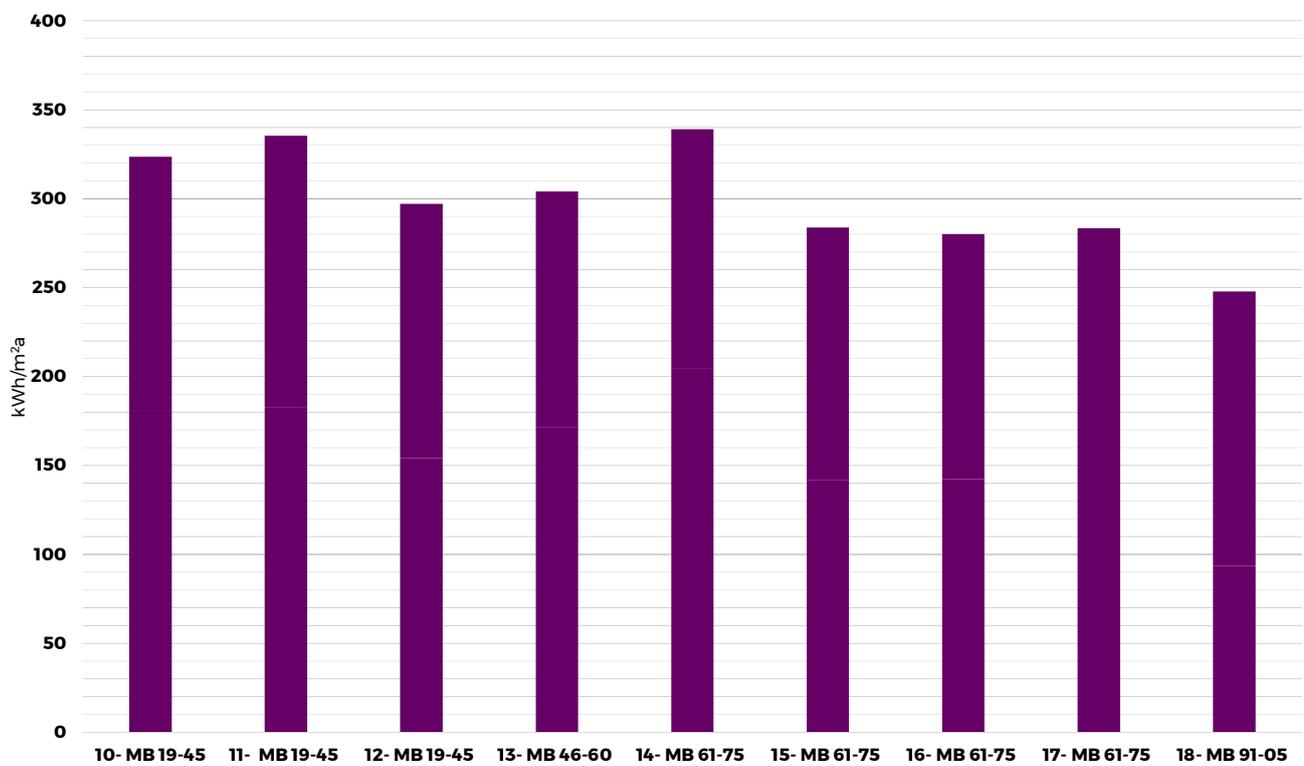
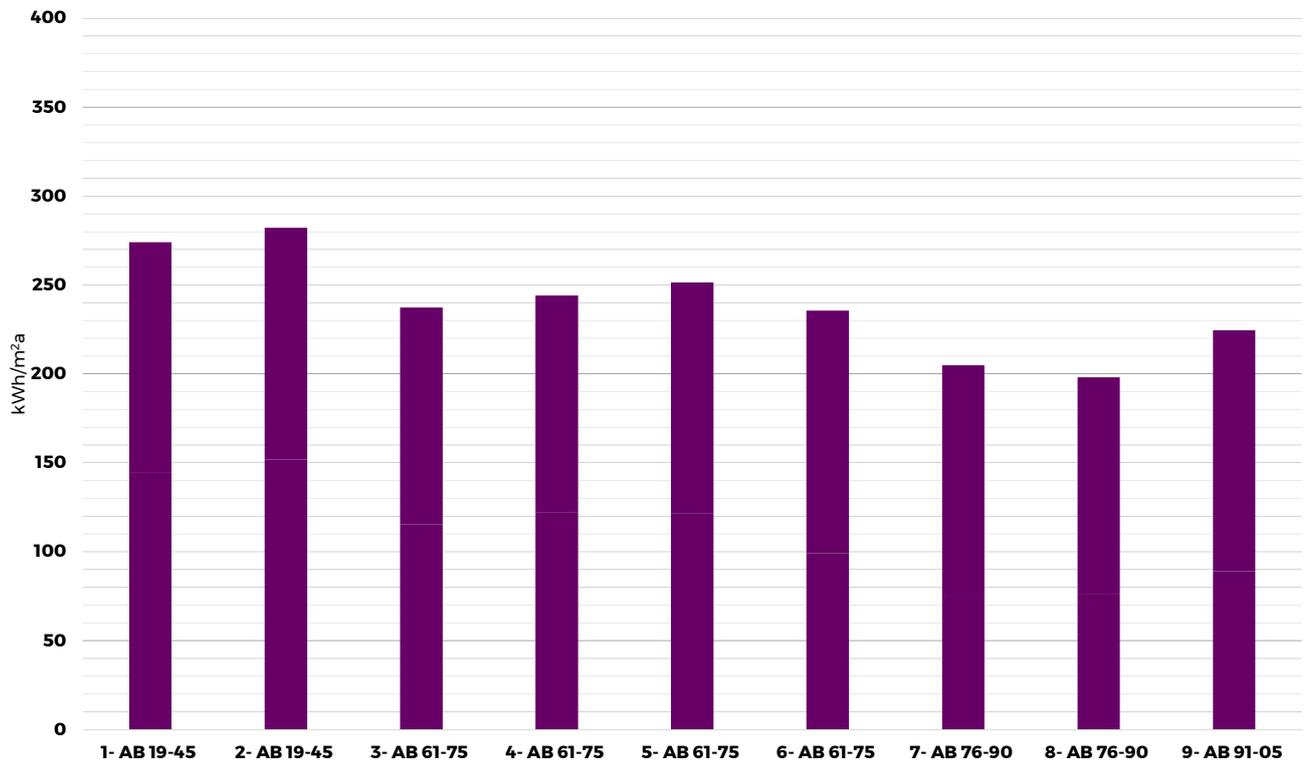


I consumi finali e le relative emissioni di CO₂eq



- Consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS)
- Consumo finale - elettricità (apparecchiature e illuminazione)
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS)
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - elettricità (apparecchiature e illuminazione)

L'energia primaria



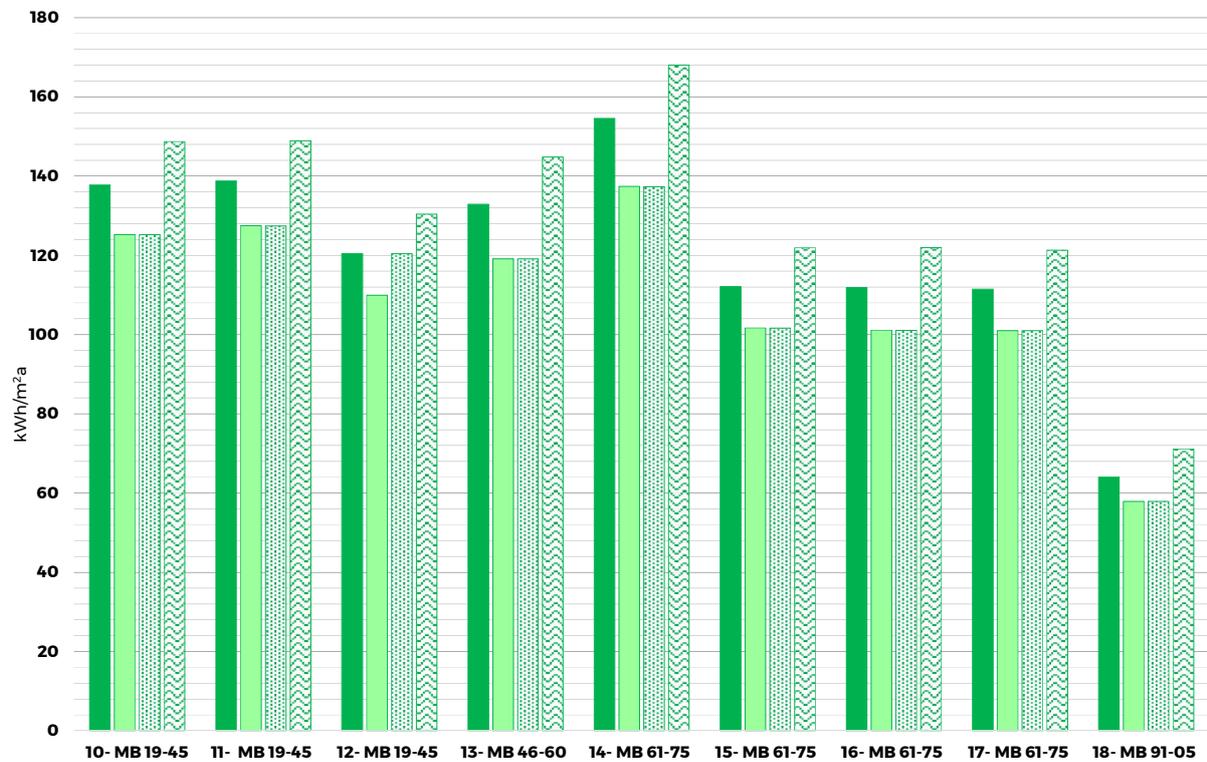
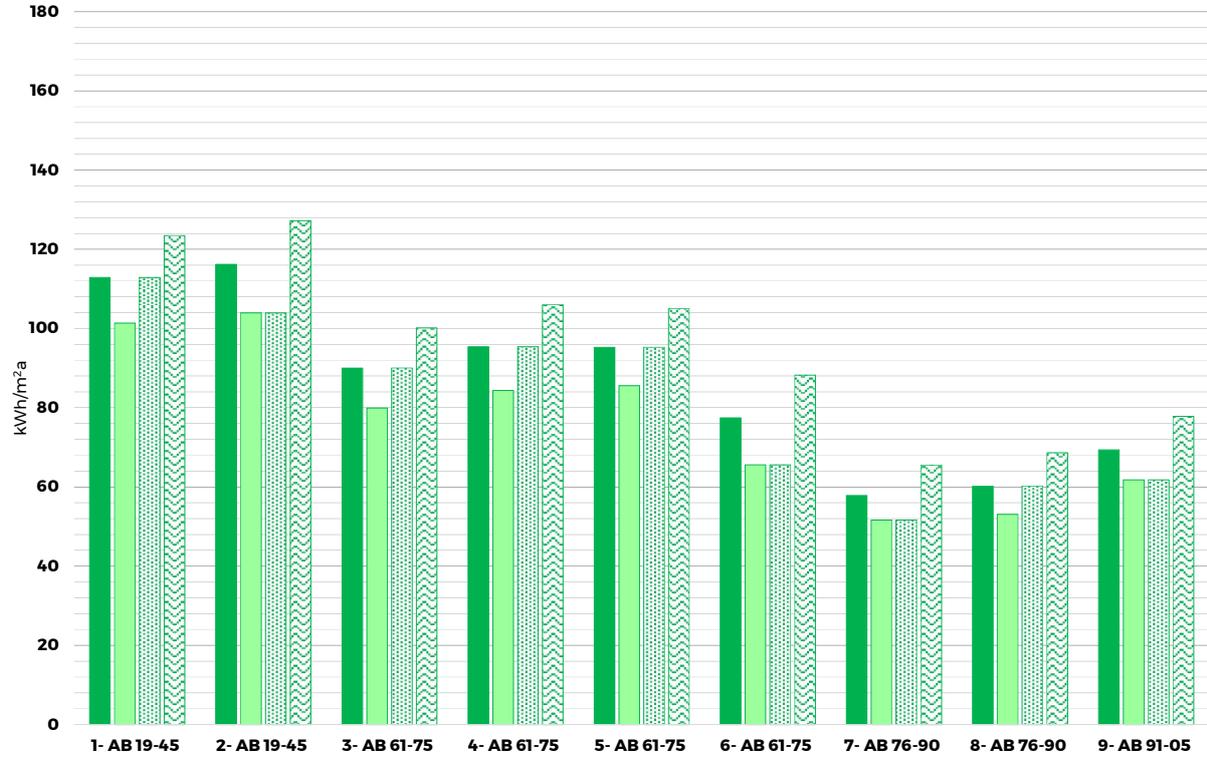
■ Energia primaria (gas naturale+elettricità)

RISULTATI A LIVELLO DISTRETTUALE		
Fabbisogno di riscaldamento	Consumo finale gas naturale (riscaldamento + ACS)	Consumo finale elettricità (apparecchiature + illuminazione)
kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a
100,62	124,01	54,26
Emissione di CO₂eq (riscaldamento + ACS)	Emissione di CO₂eq (apparecchiature + illuminazione)	Energia primaria
kgCO ₂	kgCO ₂	kWh/m ² a
23,56	23,33	261,51

Tabella 6: Tabella riassuntiva dei risultati a livello distrettuale dello scenario STANDARD

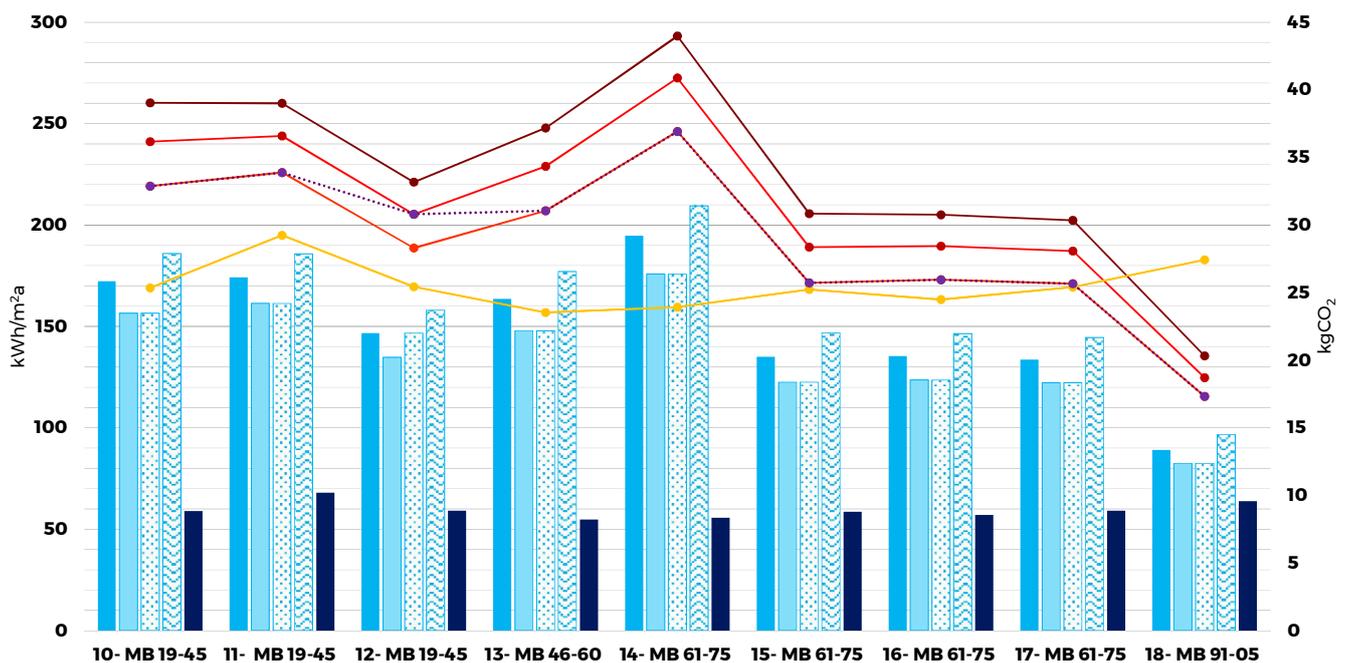
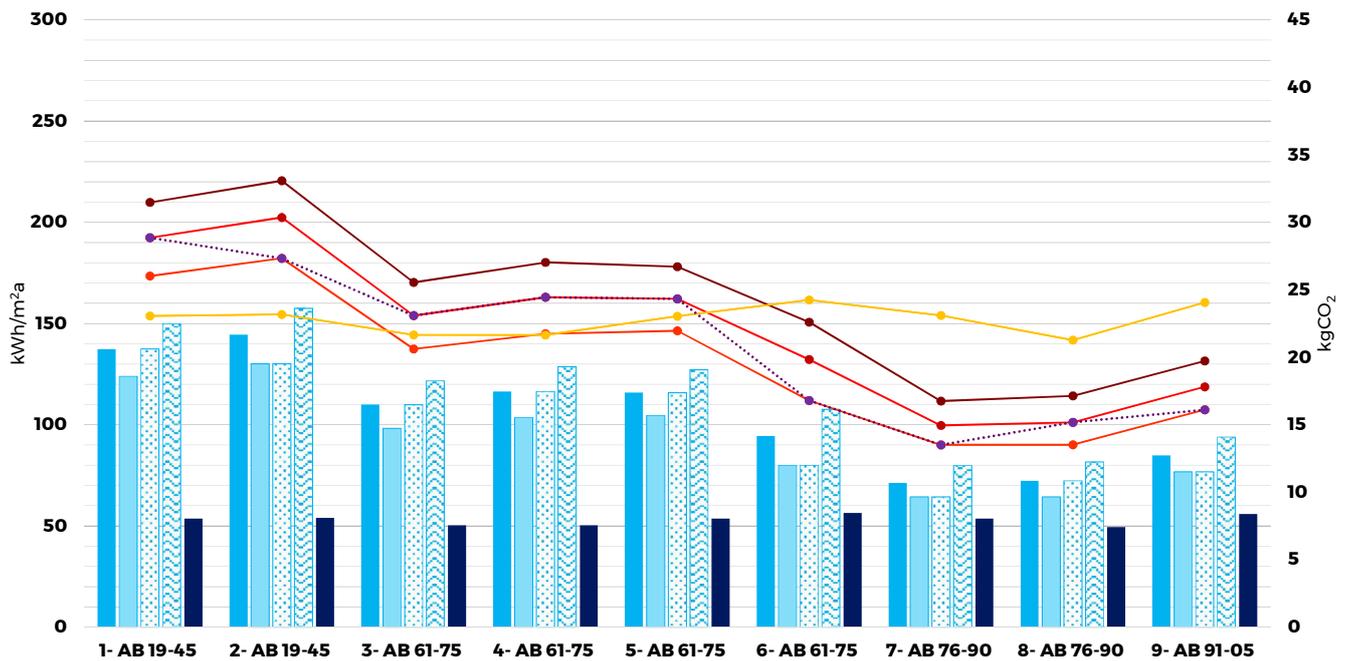
5.4 CONFRONTO TRA GLI SCENARI

Il confronto dei fabbisogni di riscaldamento tra i 4 scenari



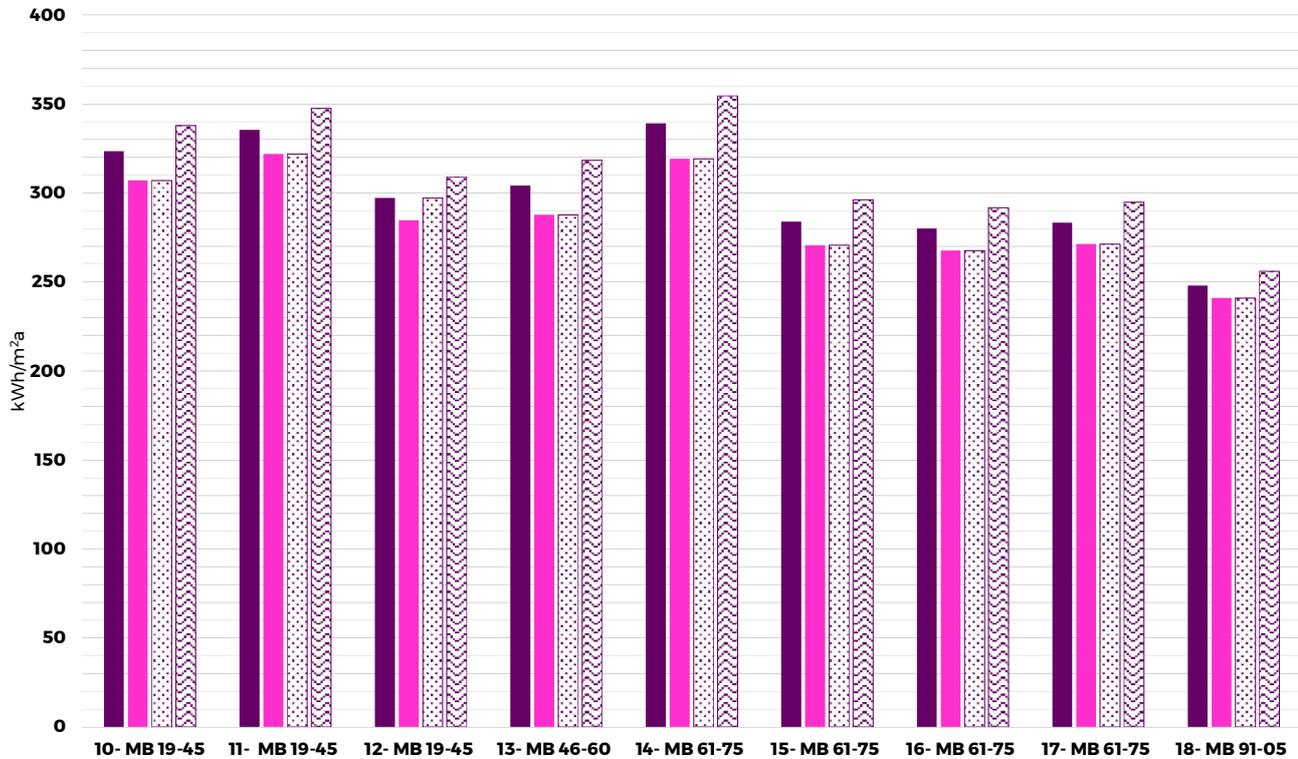
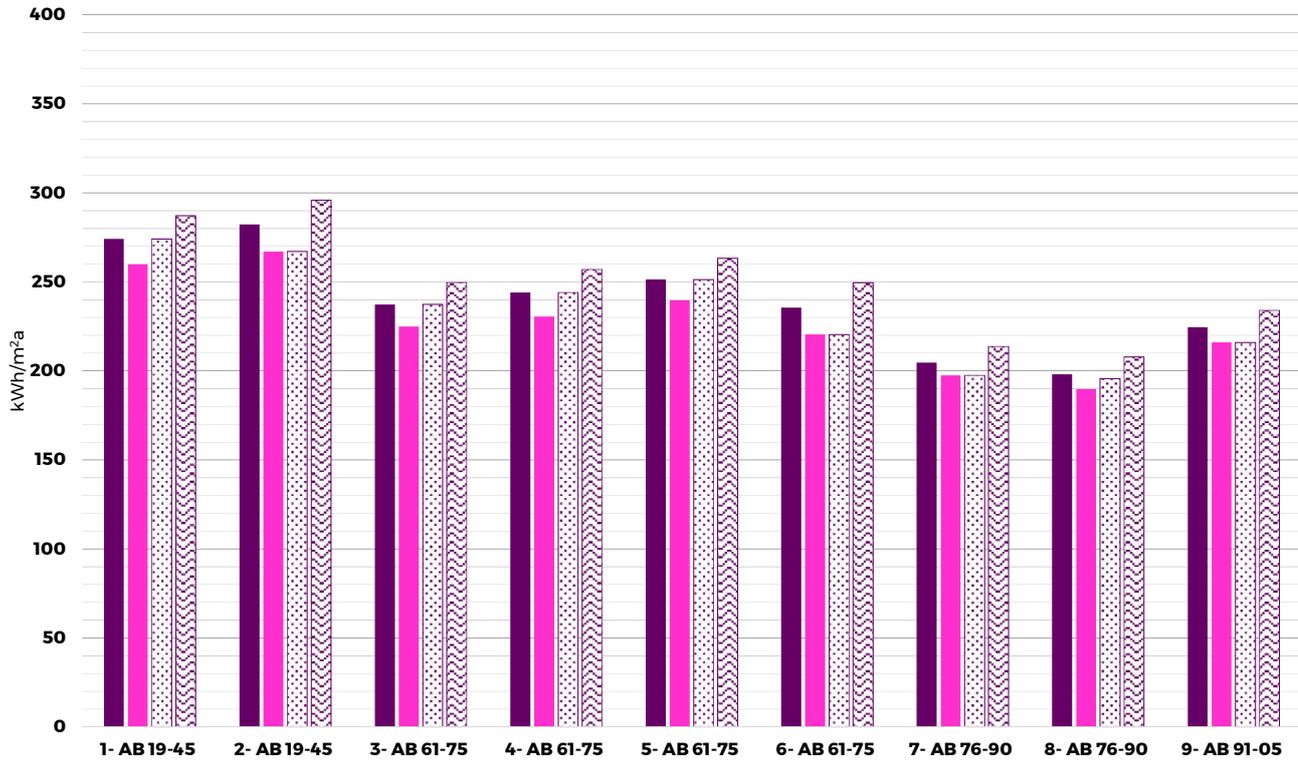
■ Fabbisogno di riscaldamento | Standard
 ■ Fabbisogno di riscaldamento | Low Energy
 Fabbisogno di riscaldamento | Ecofriendly
 Fabbisogno di riscaldamento | High Energy

Il confronto dei consumi finali e delle relative emissioni di CO₂eq tra i 4 scenari



- Consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | Standard
- Consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | Low Energy
- Consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | Ecofriendly
- Consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | High Energy
- Consumo finale - elettricità (apparecchiature e illuminazione)
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | Standard
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | Low Energy
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | High Energy
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - gas naturale (riscaldamento+ACS) | Ecofriendly
- Emissione di CO₂eq dovuta al consumo finale - elettricità (apparecchiature e illuminazione)

Il confronto dell'energia primaria tra i 4 scenari



- Energia primaria (gas naturale+elettricità) | Standard
- Energia primaria (gas naturale+elettricità) | Low Energy
- Energia primaria (gas naturale+elettricità) | Ecofriendly
- Energia primaria (gas naturale+elettricità) | High energy

CONFRONTO TRA GLI SCENARI A LIVELLO DISTRETTUALE				
	Standard	Low Energy	Ecofriendly	High Energy
Fabbisogno di riscaldamento kWh/m ² a	100,62	90,21	96,42	110,66
Consumo finale gas naturale (riscaldamento + ACS) kWh/m ² a	123,33	111,28	118,49	134,96
Consumo finale elettricità (apparecchiature + illuminazione) kWh/m ² a	54,26	54,26	54,26	54,26
Emissione di CO ₂ eq gas naturale (riscaldamento + ACS) kgCO ₂	25,90	23,37	24,88	28,34
Emissione di CO ₂ eq elettricità (apparecchiature + illuminazione) kgCO ₂	24,96	24,96	24,96	24,96
Energia primaria kWh/m ² a	260,80	248,14	255,71	273,01

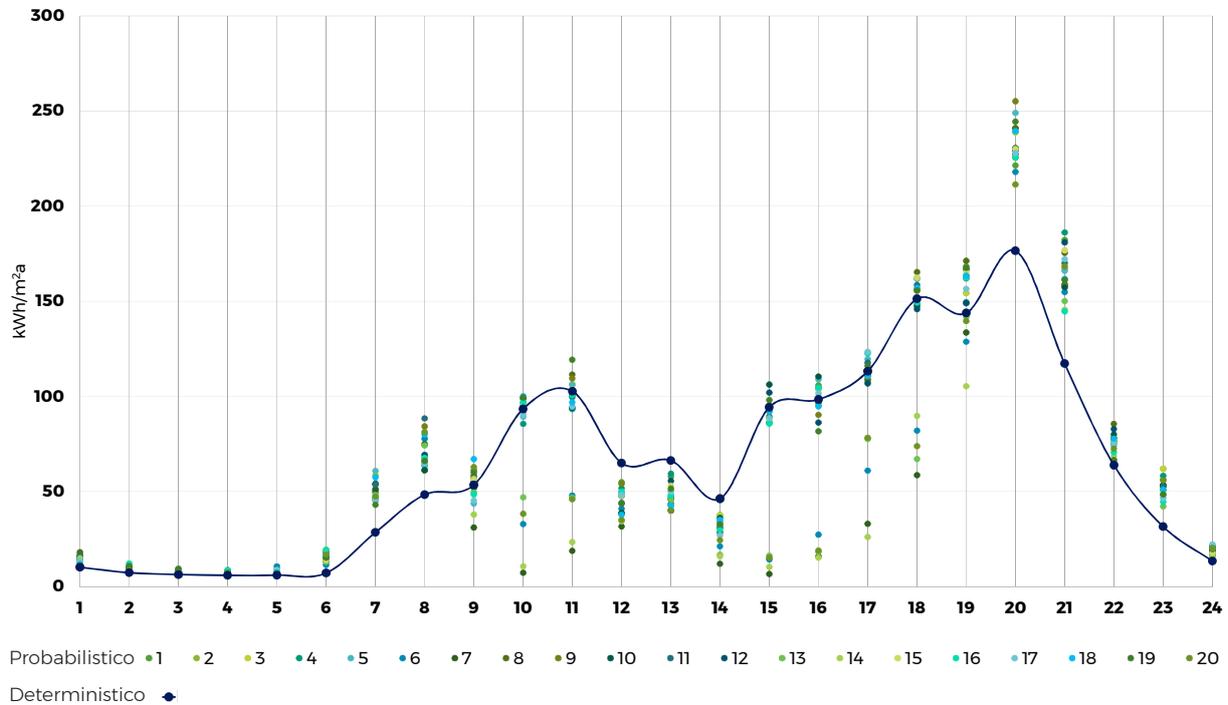
Tabella 7: Tabella riassuntiva dei confronti tra i risultati a livello distrettuale degli scenari

CONFRONTO TRA I CONSUMI FINALI GAS NATURALE (RISCALDAMENTO+ACS) DEGLI SCENARI			
	Low Energy	Ecofriendly	High Energy
Standard	- 9,7%	-3,9%	8,6%

Tabella 8: Percentuali di differenza tra i consumi finali di gas naturale (riscaldamento+ACS) dei diversi scenari rispetto allo scenario standard

5.4 APPROCCIO DI MODELLAZIONE

Il confronto tra l'approccio deterministico e quello probabilistico



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
39%	38%	31%	37%	44%	41%	53%	31%	54%	93%	84%	43%	33%	68%	94%	86%	79%	65%	38%	17%	22%	22%	32%	28%

Tabella 9: Confronto tra il valore più alto ed il valore più basso delle simulazioni energetiche con approccio probabilistico

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-9%	-3%	-3%	8%	1%	-60%	0%	-26%	42%	92%	82%	51%	40%	74%	93%	85%	77%	61%	27%	-20%	-23%	-4%	-34%	-19%

Tabella 10: Confronto tra il valore più basso delle simulazioni energetiche con approccio probabilistico e i valori della simulazione energetica deterministica

Confrontando gli output delle simulazioni si può dedurre come vari l'approccio deterministico da quello probabilistico soprattutto negli orari in cui i valori di occupazione è più basso, come ad esempio alle 10 o alle 15, dove rispettivamente si ha una variazione del 92% e del 93%. La maggiore percentuale di differenza tra gli output delle differenti simulazioni energetiche probabilistiche è del 94%.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Le città occupano il 3% della superficie terrestre ma consumano circa il 60-80% dell'energia mondiale e sono responsabili del 75% delle emissioni di carbonio⁶⁹. A livello europeo, ci sono state diverse iniziative politiche con l'obiettivo di raggiungere una totale de-carbonizzazione entro il 2050. Alla luce di tutto ciò, le ricerche e le pubblicazioni scientifiche si muovono verso la determinazione dei fattori che incidono sui consumi energetici all'interno degli edifici, individuando l'occupante come uno dei parametri più influenti.

Le persone spendono in media il 90% del loro tempo al chiuso⁷⁰. Perciò assumono un ruolo chiave per la progettazione e per la valutazione energetica degli edifici, in quanto interagiscono direttamente con l'edificio stesso per raggiungere il livello di comfort desiderato.

La ricerca letteraria svolta all'inizio del percorso ha dimostrato che esistono diversi software capaci di simulare e rappresentare la complessità del tessuto urbano tenendo in considerazione l'occupante. Tali programmi, chiamati UBEM, vengono utilizzati da professionisti ed esperti, nella fase progettuale, per determinare i fabbisogni ed i consumi energetici degli edifici. Tuttavia, vi è spesso una discrepanza tra il consumo finale stimato e quello reale.

All'inizio del lavoro di tesi è stato posto l'obiettivo di dimostrare quanto l'occupante e la variabilità del suo comportamento influenzino i consumi di energia degli edifici.

L'analisi si è concentrata su due isolati del distretto di San Salvario, a Torino. Prima di poter iniziare con le simulazioni energetiche è stato necessario svolgere un'attenta analisi degli edifici dal punto di vista strutturale e impiantistico utilizzando il progetto TABULA.

Per rispondere al quesito iniziale sono stati realizzati e confrontati 4 scenari che rappresentano diversi atteggiamenti degli occupanti: Standard, Low Energy, Ecofriendly e High Energy.

Si è condotto lo studio sulla parte residenziale dell'edificio definendo diversi set-point di riscaldamento che rispecchiano i differenti atteggiamenti: 20°C (standard), 18°C (low energy), 18/20°C (ecofriendly), 21°C (high energy).

I risultati di questo lavoro dimostrano che il consumo finale degli edifici è influenzato notevolmente dall'occupante, in particolar modo negli edifici energeticamente più prestanti. Più nello specifico, si può vedere come negli edifici più vecchi, ad esempio nell' 12 - MB 19-45, la variazione sia del 13,1% mentre negli edifici più recenti, come l'8 - AB 76-90, del 21,1%. A livello distrettuale, comparando gli output degli scenari Low Energy e High Energy risulta che tra l'atteggiamento dell'occupante porti ad una variazione del 17,5% dei consumi finali. Questo dato si riflette sulle relative emissioni di CO₂eq.

Nell'ultima fase della ricerca, per valutare come la variabilità del comportamento dell'occupante impatti sui consumi finali, è stato analizzato l'andamento dei consumi giornalieri confrontando l'approccio deterministico e quello probabilistico. Da questa analisi è emerso che vi è una variazione oraria massima del 93%.

Il lavoro svolto in questa tesi può essere uno spunto per altre ricerche.

Come dimostrato nello studio anche solo la variazione delle temperature di set-point incide sui consumi finali. Uno sviluppo futuro interessante potrebbe essere quello di considerare altri aspetti del controllo degli occupanti sull'edificio, come ad esempio la regolazione delle schermature.

BIBLIOGRAFIA

- 1 United Nation Framework Convention con Climate Change, United Nations, 1992, Article 1 Definition 2.
- 2 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change-2/> Consultato il 09/12/2018
- 3 IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- 4 <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> Consultato il 27/02/2019
- 5 https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/gwp/temp/ann_wld.html Consultato il 05/01/2019
- 6 Qiancheng Ma (1998). Greenhouse Gases: Refining the Role of Carbon Dioxide, NASA Science Briefs
- 7 IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- 8 <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/> Consultato il 15/01/2019
- 9 https://www.repubblica.it/solidarieta/emergenza/2018/06/22/news/nigeria_tra_le_rovine_del_lago_chad_prospira_solo_boko_haram-199696088/ Consultato il 07/01/2019
- 10 Conti S., Meli P., Minelli G., et al.(2004) Epidemiologic study of mortality during the summer 2003 heat wave in Italy. Environmental Research
- 11 Gas serra, 100 aziende sono responsabili del 71% delle emissioni globali - Wired Consultato il 13/12/2018
- 12 Articolo Eurostat: Greenhouse gas emission statistics - emission inventories, Giugno 2019
- 13 https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it Consultato il 13/09/2019
- 14 https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it Consultato il 13/09/2019
- 15 https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_it Consultato il 6/04/2019
- 16 Direttiva (UE) 2002/91 del parlamento europeo e del consiglio, 16 Dicembre 2002, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea
- 17 Direttiva (UE) 2018/844 del parlamento europeo e del consiglio, 30 maggio 2018, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea
- 18 Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192. Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. 23 settembre 2005, Gazzetta ufficiale n. 222
- 19 <http://11300.cti2000.it/> Consultato il 20/06/2019
- 20 UNI/TS 11300 (2014) Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 1: Determinazione del

fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

- 21 UNI/TS 11300 (2014) Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali
- 22 Giuseppe Lazzati (1984) Costruire da cristiani la città dell'uomo
- 23 <https://pocacito.eu/> Consultato il 9/12/2018
- 24 <http://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/> Consultato il 9/12/2018
- 25 https://www.aduc.it/notizia/popolazione+urbana+ha+superato+quella+rurale_90807.php Consultato il 9/12/2018
- 26 EIA. International Energy Outlook. (2016) In: energy USdo, editor.: U.S. Energy Information Administration
- 27 IEA (International Energy Agency), Energy Technology Perspectives 2016 - Towards Sustainable Urban Energy Systems, chapter 4: Sustainable buildings in the urban environment. Disponibile al: <http://www.iea.org/etp/etp2016/> Consultato il 9/04/2019
- 28 BPIE (Building Performance Institute Europe), Smart building in a decarbonised energy sistem, 10 principles to deliver real benefits for Europe's citizens, 2016
- 29 Fraunhofer-Istitute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI) and partners, Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Counties and EEA Countries, Final Report for the European Commission Directorate-General Energy and Transport, 2009
- 30 <https://pocacito.eu/info/defining-post-carbon-cities> Consultato il 9.05.2018
- 31 https://www.c40.org/other/deadline_2020 Consultato il 11/04/2019
- 32 Wilkes E., Goodright V. (2015) Energy consumption in the UK. London: Department of Energy & Climate Change
- 33 EEA (2016) Final energy consumption by sector and fuel. European Environment Agency;
- 34 EUROSTAT. (2015) Consumption of energy. <http://ec.europa.eu/EUROSTAT>
- 35 Page J., Robinson D., Scartezzini J-L. (2007) Stochastic simulation of occupant presence and behaviour in buildings. (LESO-PB) SEaBPL, CH-1015 Lausanne, Switzerland Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
- 36 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households Consultato il 3/09/2019
- 37 Kathryn B. Janda (2011) Buildings don't use energy: people do, Architectural Science Review, 54:1, 15-22, DOI: 10.3763/asre.2009.0050
- 38 <https://storie.velux.it/velux-active-contro-inquinamento-indoor> Consultato il 6/09/2019
- 39 ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 (2010) Thermal environmental conditions for human

occupancy

- 40 Frontczak M., Wargocki P. (2011) Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building Environment*, Volume: 46, pp. 922-937,
- 41 Dick J., Thomas D. (1951) Ventilation research in occupied houses. *Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers*. No.194; Volume: 19, pp.306-326
- 42 Fudge S., Peters M., M. Hoffman S., Wehrmeyer W. (2013) *The Global Challenge of Encouraging Sustainable Living: Opportunities, Barriers, Policy and Practice*. Edward Elgar Publishing, pp. 288
- 43 Andersen, R. K. (2012). The influence of occupants' behaviour on energy consumption investigated in 290 identical dwellings and in 35 apartments. Abstract from 10th International Conference on Healthy Buildings, Brisbane, Australia
- 44 Emery A. F., Kippenhan C. J. (2006) A long-term study of residential home heating consumption and the effect of occupant behavior on homes in the Pacific Northwest constructed according to improved thermal standards, *Energy* 31(5), pp. 677-693
- 45 HUB ZC. (2015) Post-occupancy Evaluation, Rowner Research Project Phase Two. Zero Carbon HUB
- 46 Martinaitis V., Zavadskas E.K., Motuziene V., Vilutiene T. (2015) Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: a case study. *Energy Buildings*. Volume: 101, pp. 64-75.
- 47 Schakib-Ekbatan K, Çakici FZ, Schweiker M, Wagner A. (2015) Does the occupant behavior match the energy concept of the building? - analysis of a German naturally ventilated once building. *Build Environment*. Volume: 84, pp. 142-50.
- 48 Fabi V, Andersen R.V, Corgnati S, Olesen B. W. (2012) Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*. Volume: 58, pp. 188-198
- 49 IEA (2017) EBC Annex 53: Total Energy Use in Buildings – Analysis and Evaluation Methods
- 50 IEA (2018) EBC Annex 66: Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings
- 51 Tahmasebi F., Mahdavi A. (2015) The sensitivity of building performance simulation results to the choice of occupants' presence models: a case study. *Journal of Building Performance Simulation*.
- 52 D'Oca S., Fabi V., Corgnati S.P., Andersen R.K. (2014) Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes, *Building Simulation*. Volume: 7, pp. 683-694
- 53 Hong T., Chen Y. and Piette M.A. (2017) City-Scale Building Retrofit Analysis: A Case Study using CityBES, *Building Simulation*
- 54 Hong T., Chen Y., Lee S.H. and Piette M.A. (2016) CityBES: A Web-based Platform to

Support CityScale Building Energy Efficiency, UrbComp2016

55 Fonseca J. A., Thuy-An N., Schlueter A. and F. Marechal A. (2016) City Energy Analyst (CEA): Integrated Framework for Analysis and Optimization of Building Energy Systems in Neighborhoods and City Districts, Energy and Buildings 113, pp 202-226

56 Fonseca J. A. (2016) Energy efficiency strategies in urban communities (Doctoral Thesis). ETH Zürich, Switzerland. pp 45-68

57 <https://cityenergyanalyst.com/what-is/> Consultato il 05/04/2018

58 <https://citysim.epfl.ch/> Consultato il 05/04/2018

59 Robinson D, Haldi F, Kämpf J, Leroux P, Perez D, Rasheed A. and Wilke U. (2009) CITYSIM: COMPREHENSIVE MICRO-SIMULATION OF RESOURCE FLOWS FOR SUSTAINABLE URBAN PLANNING, Building Simulation, pp. 1083-1090

60 UNI/TR 11552 (2014) Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici - Parametri termofisici

61 UNI 10339 (1995) Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.

62 Di Andrea F, Danese A. (2004) Misure dei consumi di energia elettrica nel settore domestico. Risultati delle campagne di rilevamento dei consumi elettrici presso 110 abitazioni in Italia. eERG, end-use Efficiency Research Group, Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano

63 Fuentes E, Arce L, Salom J. (2018) A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. Volume: 81, pp. 1530-1547

64 MariaValentinaDiNicoli(2016)Tesi:INTEGRAZIONEDELRETROFITCOMPORTAMENTALE NEGLI SCENARI DI TRANSIZIONE ENERGETICA VERSO LA POST-CARBON CITY, Politecnico di Torino

65 <http://www.efficienzaenergetica.enea.it/regioni/siape/poteri-calorifici-inferiori-dei-combustibili-e-fattori-di-emissione-della-co2> Consultato il 13/09/2019

66 Ministero dello Sviluppo Economico (2016) Decreto ministeriale: Requisiti minimi, 26 Giugno 2015

67 UNI/TS 11300 (2014) Prestazioni energetiche degli edifici-Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

68 MariaValentinaDiNicoli(2016)Tesi:INTEGRAZIONEDELRETROFITCOMPORTAMENTALE NEGLI SCENARI DI TRANSIZIONE ENERGETICA VERSO LA POST-CARBON CITY, Politecnico di Torino

69 <https://pocacito.eu/> Consultato il 9/12/2018

70 <https://storie.velux.it/velux-active-contro-inquinamento-indoor> Consultato il 6/09/2019

RIFERIMENTI IMMAGINI

Figura 1-4: climate.nasa.com

Figura 5: nca2014.globalchange.gov

Figura 6: PNUD 2006

Figura 7-8: IPCC, Fourth Assessment Report

Figura 9: Global Carbon Project (GCP); ourworldindata.org

Figura 10-11: Eurostat (env_air_gge), European Environment Agency

Figura 12: IPCC, Fourth Assessment Report

Figura 13-14: ETP

Figura 15: Eurostat (env_air_gge), European Environment Agency

Figura 16: BPIE

Figura 17: Eurostat (env_air_gge), European Environment Agency

Figura 18: Delzendeh et al., 2017

Figura 19: Annex 53

Figura 20: Annex 66

Figura 21: Kaempf et al., 2006

ALLEGATI

ALLEGATO 1: SAGGIO DI RICERCA

Prima dello svolgimento della tesi, ho realizzato un articolo scientifico che mi ha permesso di svolgere un'ampia ricerca sul tema degli UBEM e grazie al quale sono riuscita a selezionare il software più adatto.

Il lavoro per questo articolo è stato molto utile in quanto mi ha permesso di raccogliere notevole materiale e fonti necessarie per i capitoli di tesi.

Il documento di seguito riportato è:

Laboratorio di Tesi: Metodologie e Misure per l'Ambiente Costruito

Titolo: "Urban building energy models considering occupants: a software review".

Studente: Giulia Schiari

Docenti: Becchio Cristina, Corgnati Stefano e Fabi Valentina

Politecnico di Torino

Anno: 2017-2018

Urban building energy models considering occupants: a software review

Studente: Giulia Schiari

Docenti: Becchio Cristina, Corgnati Stefano and Fabi Valentina

Politecnico di Torino

A B S T R A C T

Buildings are responsible for more than 40 % of global energy use and one third of global greenhouse gas emissions¹. Therefore, successes in this sector can support a significant and positive change in total consumption and emissions. Nowadays the use of a tool that helps in the design choices with an energetic background, in the vision of a Post-carbon cities, becomes more and more important. In response to these global challenges, the urban building energy modelling (UBEM) is a constantly evolving method for exploring energy efficiency solutions at large scale. Currently, the focus is not only on energy models of individual buildings, but on global models, at the national level, of cities and districts, as they are complete systems based on multiple buildings and on synergies between them. This tool can be used by urban planners and decision-makers in the evaluation of potential retrofits or to compare energy supply alternatives. These energy modelling approaches can be divided into two main categories: "top-down" and "bottom-up" models. The purpose of both approaches is to channel data sets that are the basis of large-scale models. The aim of both approaches is channelling data sets which are the base of large scale models. "Top-down" building stock models link building energy demand and supply to macroeconomic variables and predict future energy use relying on statistical data. However, while using "bottom-up" methodology, single building energy demand and consumption are extended to group of buildings with similar geometrical and technical characteristics. The occupant also takes on an increasingly important role because of its influence on the energy consumption. Through the review of research literature, this paper is focusing on exploration of modelling methodologies and comparison of urban energy models and simulation platforms linked to them.

Keywords: Urban Energy Modelling, Urban building energy models, Occupant Behaviour

1. Introduction

In 2017 at the Boun Climate Conference (COP23), the parties made significant progress toward clear and comprehensive implementation guidelines for the Paris Agreement (COP21), which will make the agreement operational. The central goal of the Paris Agreement is to achieve net zero emissions, in the second half of the century, and to contain the rise in average global temperatures to

well below 2 degrees Celsius, while pursuing efforts to achieve a rise no greater than 1.5 degrees Celsius². The Talanoa Dialogue³ is enabling countries to collectively move closer to the goal of keeping the rise in global temperature to 1.5 degrees Celsius. In response to those global challenges, the city governments worldwide have developed ambitious long term GHG emission

reduction targets, such as 20% by 2020 and 85-90% by 2050 compared to 1990⁴, in the direction of Post-Carbon Cities. The concept of Post-Carbon Cities indicates a *"rupture in the carbon-dependent urban system, which has led to the emission of significant quantities of greenhouse gases, and the creation of new types of cities with low carbon and environmental, socially and economically sustainable"*⁵. Post-carbon cities imply a paradigm shift about relationships between energy and city. The "post-carbon" term emphasizes the transformation process needed to counter the threat of climate change, ecosystem degradation and economic pressures, towards ecosystem health and a clean energy economy. These global climate and energy challenges impact on cities, their residents and the environment. More than 50% of the CO₂ emission in our cities comes from the energy used in buildings⁶. Considering the climate and in particular the problems of adaptation, cities are particularly vulnerable because they are exposed to the effects of climate change, as well as the greenhouse effect, heat waves and floods, concentrating also many activities, people and wealth in limited areas⁷. As a result, they represent an interesting scale both for understanding the impacts of climate change and for policy evaluation. Furthermore, considering energy vulnerability, energy availability and price are particularly crucial for cities that fully import their primary energy. Retrofitting the existing building stock to improve energy efficiency and reduce energy use is a key strategy for cities to reduce green-house-gas emissions and mitigate climate change. For these reasons cities are the keys to a positive transition to a post-carbon society, especially because they are clearly in the best position to educate and mobilize residents.

Different mid/long-term scenarios are the only opportunity to produce indications about the future and to support decision making in the choice between different policies designed to reach those targets. In order to manage and reduce emissions all the parties of the whole dynamic energy system - residential, industry, transport, services and supply - should be considered. Energy models are useful tools for an energy-oriented city planning. They start from a simplified, but adequate, description of the reality and provide a realistic approach to reproduce urban transformations. The energy systems' structure and flows are graphically

represented through the Reference Energy System (RES) in which the links between the different commodities flows are described, for all sectors and activities, by involving the energy chain from final use to extraction and by considering existing and future technologies characterization. Urban building energy modelling is divided into two major approaches that have been labelled "top-down" and "bottom-up". The "top-down" energy models start with the building energy demand for a region and increasingly subdivide existing stock into smaller subsection.⁸ These models are based on macroeconomic theory so lack of technological detail and so deliver generalized information. Such models extrapolate from the status quo and so are less suitable when more integrated energy supply-demand scenarios are being investigated or when the analysis focuses on a specific neighbourhood. At this urban scale "bottom-up" energy models, from now on referred to as UBEM, are a key for the urban planning. These models incorporate a high degree of technological detail which enables them to present very detailed picture of energy demand and energy supply technologies⁹. They can also predict the consumes at the urban scale and so they can be a useful support in the urban planning. The building sector accounts for nearly 40% of the energy consumption worldwide¹⁰ and as occupants spend more time in their houses¹¹ this will only increase. The occupants are of fundamental importance as they influence the consumption of buildings. Kavulya shows that there is a 38% energy saving if the occupants turn off the appliances when they are not used¹². It is fundamental to promote Advanced Input Modelling (AIM) procedures to deepen the analysis on service demands evaluation, by including the humans-related variables. From an inaccurate representation could derive a negative impact on measure recommendations, so this aspect is particularly interesting. The purpose of the essay is to revise the software that allows estimating the current and future energy demand of buildings considering the influence of the occupant. After drawing a common picture about the modelling approach of an UBEM and the structure, this paper illustrates the state of art of the different software and, in particular, the three that consider the occupant are deepen.

2. Methodology

In order to have an accurate picture, the discussion of this study builds upon a literature review and a critical revision linked to comparative tables. Firstly, a research of existing related city-scale models with the scope of energy modelling focusing on demand-side forecast was done in the scientific database of ScienceDirect and Scopus. For this study, the terms "urban building energy model" and "occupant" were used to select any papers where it was found in the title, abstract and keywords. In order to limit this wide scope and to focus closely on software supporting urban buildings energy modelling considering the influence of the occupant, a further search was made through the database using more specific keywords, such as "occupant behaviour", "software review", "Post-carbon cities" and "urban archetypes". The programs were compared according to general characteristics but in the end only the three programs that took into account the occupant were studied in detail, as the occupant is an element that can't be ignore for an accurate representation of reality. To sum up, the aim of the study is to demonstrate a critical review of current software for UBEM and their shortcoming in different layers in order to support the development of further efforts in this field of urban design. To support energy efficiency strategies, urban building energy modeling (UBEM) tools focus on estimating the current and future energy demand of buildings at the city and district scale. UBEMs apply performance simulation methods to represent each building and its immediate surroundings as a thermal model. As with single building models (BEM), the generation of a UBEM requires the definition of numerous data inputs, including a large set of non-geometric parameters such as building assemblies, utilization programs and internal loads¹³. To define these model inputs, UBEMs usually rely on "archetypes", classifying buildings for use or age¹⁴, and then assigning them a common set of properties.

3. Overview of the modelling approach

At the city scale, urban geometry is very complex and heterogeneous, materials are different and numerous phenomena at different scale interact. Consequently, urban energy modelling requires huge amount of data, which are difficult to gather, and high computational capacities, which are currently not available for usual use¹⁵. Therefore, two approaches addressing urban energy issue were defined: "top-down" and "bottom-up". Top down models study city as an entity, according to its general characteristics. As the components of the city are not considered explicitly, this approach is not able to consider explicitly the energy demand of each building. The total urban energy consumption is related to macroeconomic parameters, such as energy price and income, and to other parameters related to the city, such as population density and urban morphology. As it is mentioned in the introduction, the bottom-up reconstitute the behaviour of a city from the behaviours of its components. Therefore, the urban energy demand is calculated as the sum of the energy demand of each building. It is characterized by a rich technological description; they have been predominantly used for deriving the lowest cost opportunity to reach a fixed efficiency level or GHG reduction¹⁶. Snakin presents a case study in northern Karelia for the assessment of environment heating energy and greenhouse gas emissions related. The aim was to improve the quality and quantity of energy for heating and emission data, especially for the benefit of local manufacturing decision, so the model was used to estimate the annual energy production and CO₂ emissions. Farahbakhsh developed the Canadian Residential Energy End-use Model (CREEM) to investigate the impact of various carbon reduction strategies. This model was used to conduct technical-economic comparative analyses for a wide range of retrofit scenarios and to define the energy and emissions impact of building code changes¹⁷. The high degree of detail means that bottom-up modellers are heavily dependent on data availability and credibility with regard to their many assumptions on technology diffusion, investments and operating cost.

According to the available information, it is possible to identify three different groups:

- Statistical Method
- Engineering Method
- Hybrid Method

The first one is used when physical parameters of a building are not known¹⁸. It relies on huge amounts of various data originating from field measurements, energy consumption recording, energy price, meteorological data, government publications or surveys, for instance. These data are used in regression analysis, which is not the only one but is the most used method for establishing relationships between energy consumption and other parameters related to the building considered.

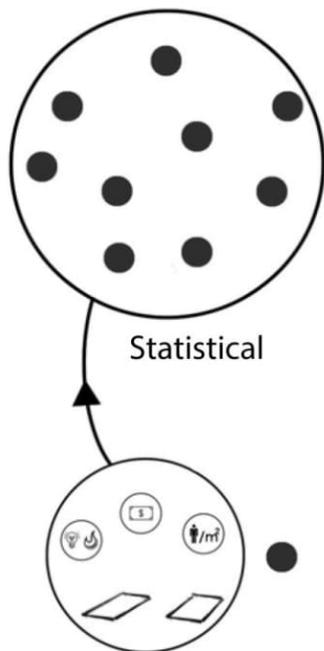


Fig 1. Statistical Method: Every single building (black dots) is characterized mainly by non-physical parameters like energy consumption, energy price and number of occupants. Source: Á. Magyari, K. V. Vizi (2016): City-scale energy modelling - Comparative review of city-scale energy modelling approaches.

The second one calculate the energy demand of each energy system of buildings using detailed inputs about the physical properties of buildings components and characteristics of systems. Buildings are usually categorized by features. Buildings with the same properties are represented, by the same sets of inputs, in an archetype¹⁹.

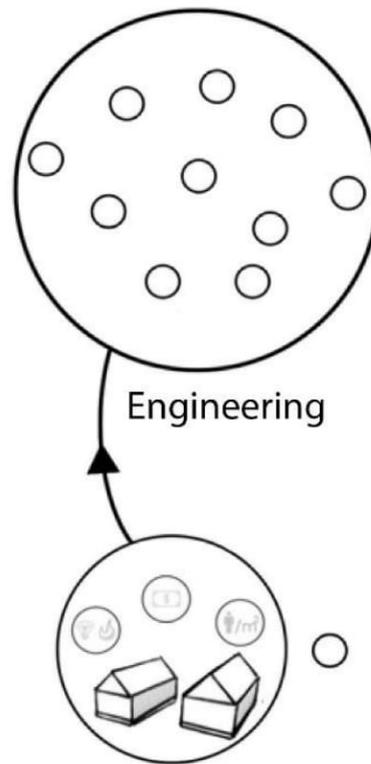


Fig 2. Engineering Method: Every single building (white dots) is characterized by detailed physical parameters from the building envelope. Source: Á. Magyari, K. V. Vizi (2016): City-scale energy modelling - Comparative review of city-scale energy modelling approaches.

To overcome the shortcomings of the statistical and engineering method, the hybrid method was created. These models combine both physical and statistical approaches. The statistical part is generally used to estimate the annual data on energy consumption, therefore the estimation of the heating of the environment and the cooling loads are realized with a simulation software. This way the statistical method is responsible for managing the behaviour of the occupants, as it is aggregated by real historical data and the engineering method is responsible for dealing with the effect of the implementation of new technologies²⁰.

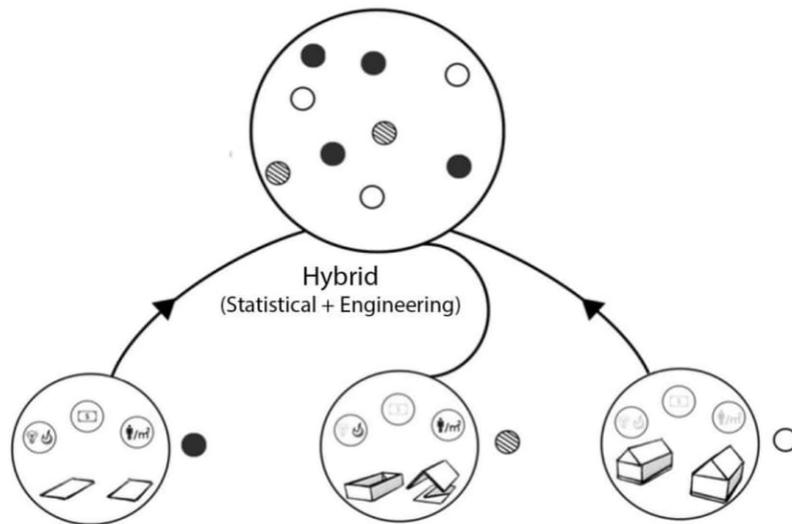


Fig 3. Hybrid method: it combines buildings from both statistical (black dots) and engineering (white dots) method. Source: Á. Magyari, K. V. Vizi (2016): City-scale energy modelling - Comparative review of city-scale energy modelling approaches.

4. Overview of the software

4.1 The structure of an UBEM

Urban Building Energy Models (UBEM) apply performance simulation methods to represent each building as a dynamic thermal model, based on the same principles that guide individual building energy models (BEM). An UBEM is generally used by urban planners and policy maker to evaluate potential retrofits or compare energy supply alternatives.²¹

Reinhart et al. states UBEM have three main pillars: simulation input organization (data input), thermal model generation and execution (thermal modeling), and result validation (validation)²².

- Data input

A UBEM requires the combination of different data sets including climate data, building geometry, construction standards and usage schedules. Weather data sets for simulating building performance have been available thanks to the initial creation of a feasible data format, the typical meteorological year (TMY), and the subsequent distribution of such data in that format for multiple regions throughout the world. The data of the building geometry can be divided into: " Form ", which concerns the type of building (e.g. office, school, etc.), the dimensions and general geometry of the

building, and " Envelope ", which concerns the construction technologies and the material used in the building, providing a description of the physical and thermal properties of the envelope²³. Non-geometric building properties have also to be defined, such as Physical parameters that describe the properties of the building that remain unchanged over time, Occupancy parameters that are ones that are correlated with occupancy rather than with the physical properties of the building.

In an urban area, the collection of these properties become impractical. One of the approaches is to cluster buildings into groups basing on their characteristics and defining, for each group, a "building archetypes". This approach has been extensively used in the context of regional or national bottom-up building models to understand the aggregated impact of energy efficiency policies²⁴. The generation of archetypes requires two steps²⁵:

- segmentation, the investigated building stock is divided into groups according to building age, use and shape
- characterization, a complete set of thermal properties, usage patterns and building systems is defined

The TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment) project made the effort of constructing a European database of building typologies sharing the same approach,

by presenting a methodology for the identification of reference buildings focusing on residential building. This methodology shows the types of buildings in a "matrix of types of buildings" both for a climatic zone and for a specific use. The matrix is characterized by two axes, on the vertical one there is the age class of the building and on the horizontal one the size class of the building²⁶.

Monteiro et al. applied this methodology to the residential buildings of a neighbourhood in Lisbon, with 442 inhabitants and 3145 buildings. In this work, the selected parameters are: residential use, construction period, size class, roof type and neighbouring buildings²⁷.

Mata et al. proposed a "building archetype" of a building stock, residential (R) and non-residential (NR), in UK, Germany, Spain and France. The number of "building archetype" is obtained by combining the different segmentation criteria: type of building, defined by the use of the building, by its layout and by the neighbouring buildings; year of construction, determined by updates of building codes, but also on the basis of changes in construction technologies; main heating system; and climate zone. Numerous archetypes have been identified: in the UK 252 archetypes, of which 168 R and 84 NR, in Germany 122, all residential, in Spain 120 archetypes, of which 40 R and 80 NR and in France 99, of which 54 R and 45 NR²⁸.

- Thermal modeling

Once climate data, building massing models and archetype template are defined and available, they need to be combined into a thermal model, which then needs to be executed to obtain the results.

- Validation

The ability of UBEM models to support different design or policy decisions depends on how reliable the results of the simulation are. When comparing aggregated annual measured versus simulated energy use of multiple buildings, these inaccuracies tend to average out, resulting in reported errors ranges between only

7% and 21% for heating loads and 1% and 19% for Total Use Intensity (EUI). These error range are acceptable for guiding decisions that affect multiple buildings.

Therefore, to examine the state of the art, six UBEMs have been compared but the only three software, that have taken into account the occupant, as it is a fundamental element for an accurate representation of reality, have been investigated.

4.2 Comparison of the six software

- **SUNtool**

SUNtool (Sustainable Urban Neighborhood modeling tool) was developed by Robinson et al. to address the complexity of urban models, in order to support urban designer to optimise the environmentally sustainability of the projects²⁹. Maintaining the scale of 50-500 buildings, the aims were to develop a quick and easy to use interface to describe the factors which influence the dynamic demand and supply of energy, water and waste. An integrated solver simulates the flows of these resources in a way that is sensitive to the urban microclimate, to human behaviour, to synergies between buildings and resources and finally to the presence of district resource management centres. The program is no longer in circulation and is the predecessor of CitySim.

- **CitySim**

The aim of the research project CitySim was to support the environmental design of urban master plans dealing with non-domestic buildings as well. The software is open source and is a developed version of SUNtool. It was found out to support a more reliable and more comprehensive city-wide simulation process, than SUNtool had had before. It has been used to manipulate the geometry of city blocks in order to optimize their form for active and passive solar energy utilization. CitySIM is based on the following three parts: a graphical user interface (GUI), that allows to draw and edit the new buildings' geometry; a database containing technical specification of groups of buildings; and a solver. After grouping all

buildings into archetypes, there is a further opportunity to specify these settings in case of having more precise information or individual elements³⁰. It can simulate the energy demand of buildings, taking into account the stochastic nature of occupants' presence and behaviour and accounting for a range of commonly used heating, ventilation and HVAC systems. It can determine the energy supplies of buildings issued from renewable sources, including the radiation exchange driven by the urban environment.

- **Umi**

The Urban Modeling Interface (umi) has been developed by the Sustainable Design Lab at the Massachusetts Institute of Technology. It is a Rhino-based urban energy modelling platform developed to evaluate the environmental performance of neighbourhoods and cities with respect to operational and embodied energy use, walkability and daylighting potential³¹. The open source software use EnergyPlus for thermal building-by building simulations, Daysim for daylight simulations and custom Python scripts for walkability evaluations³².

- **Simstadt**

The model from Nouvel et al. is a hybrid method based in Rotterdam. This platform aims at supporting urban planners and city managers with defining and coordinating low-carbon energy strategies for their cities, with a variety of multi-scale energy analyses.³³ The statistical approach is used to predict energy consumption at city level, to select the neighbourhood in which there is the biggest necessity of the energy saving. This data is also used as a validation at the end of the process. Then the analytical model is used to model the selected part of the city. Although without dataset about refurbishment, the statistical model itself cannot predict the energy savings, it is estimated with benchmark values.

- **CEA**

The City Energy Analyst (CEA) is an open source urban building simulation platform that combines urban planning and energy systems engineering in an integrated simulation

platform. This model was programmed in Python v2.7 and it is possible to use the visual of the Geographic Information System ArcGIS v10.5, a program that requires a license. This allows to study the effects, trade-offs and synergies of urban design options and energy infrastructure plans.³⁴

The latest version of CEA offers tools for the analysis of the carbon, financial and environmental benefits of the building retrofits, the integration of the local energy resources and the modification to urban form. This framework contains detailed models for forecasting the building demand, assessment of the availability of resources, simulation of conversion, storage and distribution technologies, bi-level optimization, multi-criteria assessment and four-dimensional visualization. It has a more detailed model structure.

- **CityBES**

City Building Energy Saver (CityBES) is a web-based platform developed by Lawrence Berkeley National Lab, USA³⁵. It is publicly available and provides a set of features to support building energy efficiency analyses including energy retrofit analysis, energy benchmarking, urban energy planning, and building operation improvements through data. The software uses an international open data standard, CityGML, to represent and exchange 3D city model and employs EnergyPlus to simulate building energy use and savings from energy efficient retrofits.

Program	Author	Year	Open Source	Simulation Platform	Modeling approach	Retrofit scenarios	Occupant presence	Topography	Urban heat Island	Carbon emission
SUNtool	Robinson et al.	2007	No more in circulation	a JAVA based GUI, EA and CitySim	bottom-up engineering	Yes	Yes	Yes	No	No
CitySIM	J. Kampf, D. Robinson	2009	Yes	CitySim	bottom-up hybrid	Yes	Yes	Yes	No	Yes
umi	Reinhart et al.	2013	Yes, but requires 64-bit Rhinoceros	EnergyPlus	bottom-up engineering	No, only energy simulation	No	Yes	Yes	Embodied Carbon use
Simstadt	Nouvel et al.	2015	No	Simstadt	bottom-up hybrid	Yes	No	No	No	Yes
CEA	J. Fonseca, A. Schlueter	2015	Yes, but need prerequisites	Python (open source)	bottom-up hybrid	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CityBES	Hong et al.	2016	Yes	EnergyPlus and Openstudio	bottom-up statistical	Yes	Yes	Yes	No	Yes

Tab 1. Comparison of the six programs

4.3 Occupant related parameters

As mentioned before, the occupants' definition is fundamental for an accurate representation of reality³⁶. Occupants influence the total energy consumption of buildings not only through the heat produced, which is considered within the "occupancy" section of the energy simulation software, but also through their interaction with the building components to reach their staff comfort level in different ways: for example through the use of building openings by opening or closing windows, or through the use of lighting and solar shading control such as roller shutter adjustment, by using HVAC systems by switching on or turning off the air conditioning and adjusting the temperature of the thermostat and finally using hot water and appliances³⁷. Bahaj et al. said that buildings with the same characteristics, such as the same geometric position, the envelope and the shape of the building, could have differences in the actual use of the building's energy up to 300%, mainly due to the different behaviours of occupants in the use of household appliances³⁸.

The occupant behavior related parameters have a decisive impact on the energy consumption of a building, particularly in residential cases where the real demand can differ significantly. Becchio et al. compared the monitored consumptions of the Porta Palazzo Temporary Residence and the ones hypothesized during design phase with a dynamic simulation software, and found out a huge discrepancy. The difference between the estimated energy consumptions and the monitored one highlights higher real end uses: +50% for space

heating, +19% for DHW and +16% for electricity uses (internal lighting and equipment). This problem is related to the interaction between the occupants' attitude and the building itself.³⁹

Therefore, only the programs that consider the occupant are depend.

4.4 Comparison of the selected software

- **CitySim**

The software CitySim has been conceived to provide a decision support for urban energy planners and stakeholders to minimize the net use of non-renewable energy sources as well as the associated emissions of greenhouse gases⁴⁰.

In common with its predecessor SUNtool, the use of CitySim's Java-based GUI to simulate and optimise building-related resource flows is based on four steps:

- Definition of site location and associated climate data.
- Choice and adjustment of default archetypes of buildings.
- Definition of 3D form of buildings; definition of energy supply and storage systems; refinement of building and systems attributes.
- Parsing of data in XML format from the GUI to the C++ solver for simulation of hourly resource flows; analysis of results streamed back to the GUI.

The scale of analysis may vary from a neighbourhood of just a few buildings through an entire city of tens of thousands.

The software comprises CitySim Solver, a command-line Integrated Solver for simulating the energy demand and supply of buildings for space conditioning, together with the specification of the input buildings' characteristics and the climate files.

The central behavioural characteristic relates to occupants' presence, which determines whether they are available to exercise any other form of influence on resource flows). The program is based on the Markov condition. This condition hypothesis that all occupants act independently and that their actions at time $t+1$ depend only upon the immediate past (t). Although this occupancy model has been integrated with CitySim, it is currently disabled. Rather, and as an intermediate step, use is currently made of deterministic rules / profiles describing occupants' presence and behaviour. In the near future however, the possibility will be provided to switch between deterministic representations and stochastic models.

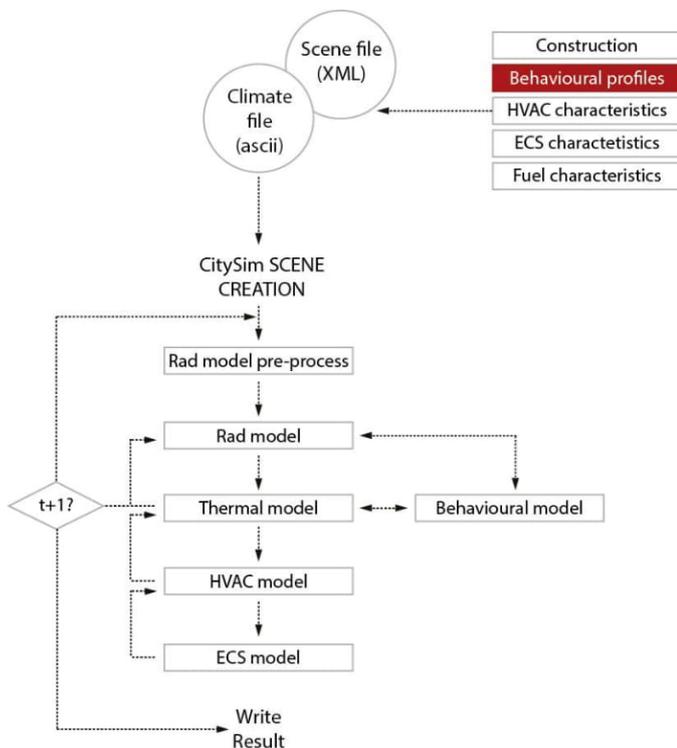


Fig 5. Conceptual structure of CitySim: the red box is where the occupant is taken into account

• CityBES

CityBES is a web-based tool designed to support city-scale building energy efficiency, including currently implemented features of energy retrofit analysis, and visualization of city building energy disclosure datasets ⁴¹.

CityBES is divided in three layers: The Data layer, that includes the weather data and the CityGML 3D city model, the Software layer, that includes EnergyPlus and OpenStudio and the Use Cases layer, that provides examples of potential applications, including energy benchmarking, urban energy planning, energy retrofit analysis, building operation improvement, as well as performance visualization.

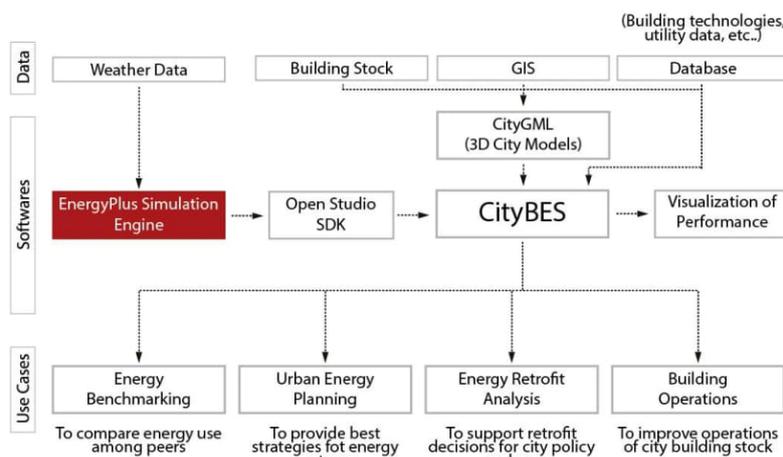


Fig 4. CityBES software structure and use cases: the red box is where the occupant is taken into account

CityBES integrates more than 75 Energy Conservation Measures (ECM), namely any type of project to reduce the consumption of energy in a building, from Commercial Building Energy Saver (CBES), a powerful toolkit for energy retrofit analysis. The ECM database includes a detailed description of the technical specifications, modelling methods and investment costs for each ECM.

The program provides a feature to color-code the building with the results of the simulation. It can show the Energy Use Intensity (EUI) of the site, source EUI, the intensity of CO₂ emissions, the peak electricity load intensity, the electricity use intensity and the natural gas use intensity from the baseline and the results of the retrofit. It also displays savings on electricity costs, natural gas costs savings, total costs savings, investment costs,

the amount of incentives and the payback year of each retrofit scenario. parts: a day description, a week description and an annual description. Occupants can be added to the "People" (fig. 6) entry by setting different inputs including numbers and the employment schedule. These are calculated as internal gains and contaminant rates for employment in the area.

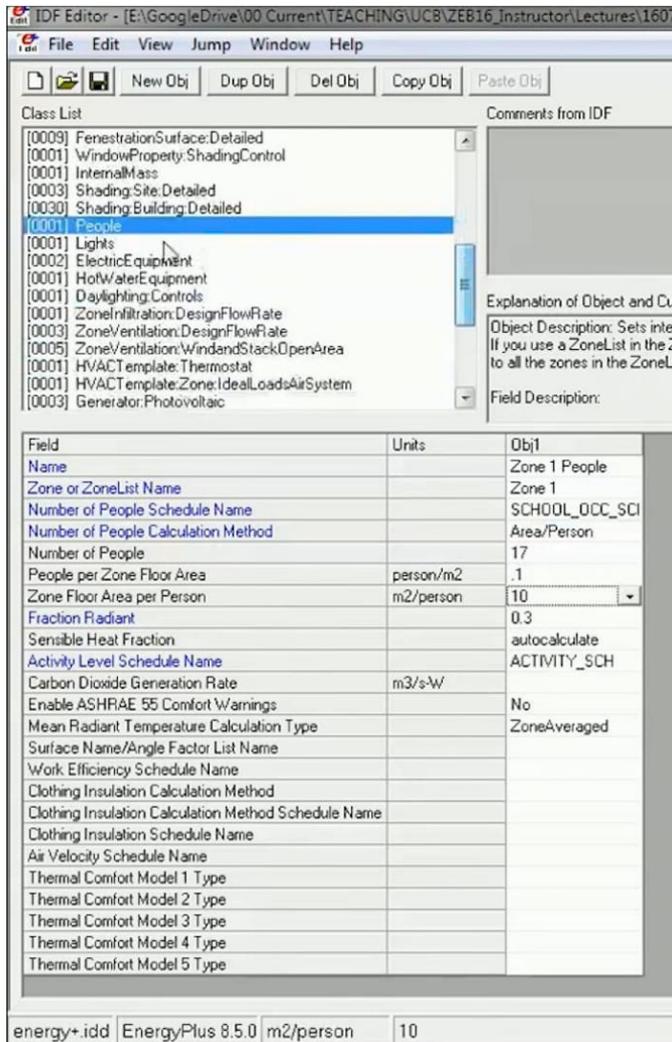


Fig 6. Occupancy database in EnergyPlus. Source: T4.7 Internal Loads and Schedules in EnergyPlus; https://www.youtube.com/watch?v=_ZpX6u0rVS0&t=130s

- **CEA**

City Energy Analyst (CEA) is an integrated framework to optimize building energy systems at neighbourhood and district scales⁴².

The framework allows you to holistically evaluate building and infrastructure retrofit options and find optimal energy generation schemes. Furthermore, it allows the analysis of energy, carbon, financial and environmental benefits of multiple urban scenarios, the integration of local energy resources and the change to the urban form.

CEA framework consists of a demand module (1), a resource potential module (2), a systems technology module (3), a system optimization module (4), a decision module (5) and a spatiotemporal analysis module (6). The sensitivity analysis is conducted only by the decision module⁴³.

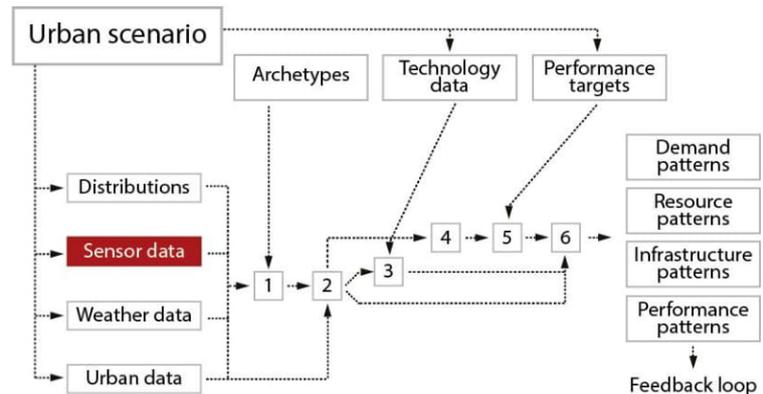


Fig 7. Operating method of CEA framework

The distribution database contains standard time series data for all building types described in the archetypes database. These time-series contain schedules of occupancy as well as other parameters such as temperature and humidity.

By modifying some of the data in the attribute table of "occupancy.shp", the user can simulate a scenario of changing the occupancy of some or all buildings.

FID	Shape *	Name	PFloor	HOTEL	COOLROOM	PARKING	SCHOOL	OFFICE	GYM	HOSPITAL	INDUSTRIAL	RETAIL	RESTAURANT	SINGLE_RES	MULTI_RES	SERVERROOM	SWIMMING	FOODSTORE
0	Polygon	Bau A	0.2	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0
1	Polygon	Bau D	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Polygon	Bau E	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Polygon	Bau F	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Polygon	Bau 17	1	0	0	0	0	0.3	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0
5	Polygon	Bau 22	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	Polygon	Bau 19	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	Polygon	Bau 06	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	Polygon	Bau 02	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	Polygon	Bau 05	1	0	0	0	0	0.85	0	0	0.15	0	0	0	0	0	0	0

Fig 8. Occupancy database in CEA

5. Results

Several urban energy modelling tools have been developed. As it is summarized in tab. 1, CitySim, Simstadt and CEA are the software based on the hybrid approach. SUNtool and UMI are the only two using engineering methodology and CityBES is based on statistical method.

The majority are open source but still require prerequisites, such as CEA, or basic modelling software, such as UMI. There are programs that have integrated a simulation platform while other need the support of a suitable energy simulation software, such as CityBES and UMI that need EnergyPlus or CEA that requires Python, an open source script.

Since these tools has been made to support municipalities and urban planners to understand spatiotemporal energy supply-demand patterns due to buildings and help them in decision making process, the main focus is on predicting interventions' impacts on future scenarios. The only software that has not been designed for this use is UMI, as it was ideated solely for energy simulation and not for retrofit operations. Some of the aspects connected to scenarios (retrofit scenarios, renewable potential calculation) are incorporated into the capabilities of most platforms, although the lack of financial calculation is a big problem. Only CEA calculates financial background of retrofitting scenarios.

Related to input parameters, there are only three of the underlined modelling platforms which take occupant presence into account (CitySim-CEA-CityBES). While all of them build the model of urban context in geometrical level, or use existing datasets for this reason, only Simstadt doesn't deal with topography and only CEA predicts results

regarding to urban heat islands.

Since many parameters, including the occupant, are not constant, it is essential that the programs are able to perform dynamic analysis. Another fundamental analysis for this type of program is the sensitivity analysis that studies how the uncertainty of input parameters is assigned to different output parameters. CEA, CityBES and CitySIM are able to support dynamic analysis but only the first two can support the sensitivity one.

CEA includes tools for two different methods of global sensitivity analysis and CityBES also provides a sensitivity analysis of the whole building electricity use and building tightness and ventilation rates.

Although the financial aspects are crucial in the decision-making process, only CEA takes them into account.

Program	Dynamic approach	Schedule	Sensitivity analysis	Financial aspect
CitySIM	Yes	Yes	No	No
CEA	Yes	Yes	Yes	Yes
CityBES	Yes	Yes	Yes	No

Tab 2. Comparison of the selected program

Regarding the capabilities of each models, it can be concluded that all tools satisfy their base target with providing results for diverse aspects of presenting the urban energy flow such as heating or cooling supply and demand of each building of the entire city.

6. Conclusion

In the field of urban energy modelling clearly there are several challenges, such as technical obstacles related to the complexity and the heterogeneity of the urban reality and data uncertainty. Hybrid models are working well in numerous viewpoint, in fact, they can support analysing future scenarios including renewable potentials and interventions with new technologies with results including user behaviour.

Within urban contexts, obtaining all the information necessary for a UBEM is a very complicated process. The Georeferencing Information System (GIS) provides a large amount of information to facilitate the collection of key building data needed to make a UBEM.

One lack is related to the financial aspect. Since decision making is strongly influenced by financial aspects, especially regarding the building sector and energy related issues, even in case of retrofitting processes or new building's deployment.

7. References

- [1] <https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/unep207.pdf>
- [2] <https://cop23.com.fj/key-achievements-cop23/> Consulted 15.04.2018
- [3] <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/2018-talanoa-dialogue-platform> Consulted 9.05.2018
- [4] COM(2011)112- A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050
- [5] <https://pocacito.eu/info/defining-post-carbon-cities> Consulted 9.05.2018
- [6] <http://www.cityenergyproject.org/faq/> Consulted 14.05.2018
- [7] S. Hallegatte, F. Henriot and J. Corfee-Morlot (2008), "The Economics of Climate Change Impacts and Policy Benefits at City Scale: A Conceptual Framework", OECD Environment Working Papers 4, OECD Publishing
- [8] B. Howard, L. Parshall, J. Thompson, S. Hammer, J. Dickson and V. Modi (2012), Spatial distribution of urban building energy consumption by end use, *Energy Build* 45, pp. 141-151
- [9] A. Herbst, F. Toro, F. Reitze and E. Jochem (2012) Introduction to Energy Systems Modelling, *Swiss Journal of Economics and Statistics*
- [10] European Commission and Eurostat 2013;
- [11] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz and C. Pout (2008) A Review on Buildings Energy Consumption Information. *Energy and Buildings* 40, pp. 394-398.
- [12] G. Kavulya and B. Becerik-Gerber (2012) Understanding the Influence of Occupant Behavior on Energy Consumption Patterns in Commercial Buildings, *Computing in Civil Engineering*, pp 569-576
- [13] C. Davila, N. Jones and A. Al-Mumin (2017) Implementation of a calibrated Urban Building Energy Model (UBEM) for the evaluation of energy efficiency scenarios in a Kuwaiti residential neighborhood, *Building simulation*
- [14] L. Filogamo, G. Peri, G. Rizzo and A. Giaccone (2014) On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes, *Applied Energy* 135, pp 825-835
- [15] J. Keirstead, M. Jennings and A. Sivakumar (2012) A review of urban energy system models: approaches, challenges and opportunities. *Renew Sustain Energy Rev* 16, pp 3847-3866
- [16] M. Kavgic, A. Mavrogianni, D. Mumovic, A. Summerfield, Z. Stevanovic and M. Djurovic-Petrovic (2010), A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector, *Building and Environment* 45, pp. 1683-1697
- [17] J.P.A Snakin (2000) An engineering model for heating energy and emission assessment: the case of North Karelia, Finland. *Applied Energy* 67, pp. 353-381.
- [18] G. Tardioli, R. Kerrigan, M. Oates, J.O'Donnell and D. Finn (2015) Data driven approaches for prediction of building energy consumption at urban level, *Energy Procedia* 78, pp. 3378-3383
- [19] C. Davila, C. Reinhart and J.L Bemis (2016) Modeling Boston: A workflow for the efficient generation and maintenance of urban building energy

models from existing geospatial datasets, *Energy*, Elsevier 117, pp 237-250.

[20] M. Kavgić, A. Mavrogianni, D. Mumović, A. Summerfield, Z. Stevanović, M. Djurović-Petrović (2010), A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector, *Building and Environment* 45, pp. 1683-1697

[21] C. Cerezo, J. Sokol, S. AlKhaled, C. Reinhart and A. Al-Mumin (2017) Comparison of four building archetype characterization methods in urban building energy modeling (UBEM): A residential case study in Kuwait City, *Energy and Building* 154, pp 321 - 334

[22] C. Reinhart and C. Davila (2016) Urban building energy modeling: A review of a nascent field, *Building and Environment*, pp. 196-202

[23] S. P. Corgnati, E. Fabrizio, M. Filippi and V. Monetti, (2013) Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application, *Applied Energy* 102, pp. 983-993

[24] S. K. Firth, K.J. Lomas (2009) Investigating CO₂ emission reductions in existing urban housing using a community domestic energy model, *Proceedings of Building Simulation*

[25] E. Mata, A. Sasic Kalagasidis and F. Johnston (2014) Building stock aggregation through archetype buildings: France, Spain, Germany and the UK, *Building and Environment* 81, pp. 270-282

[26] V. Corrado, I. Ballarini and S.P. Corgnati (2012) National scientific report on the TABULA activities in Italy

[27] C. Sousa Monteiro, A. Pina, C. Cerezo, C. Reinhart and P. Ferrao (2017) The use of multi-detail building archetypes in urban energy modelling, *Energy Procedia* 111, pp. 817-825

[28] E. Mata, A. Sasic Kalagasidis and F. Johnsson (2014) Building-stock aggregation through archetype buildings: France, Germany, Spain and the UK. *Building and Environment* 81, pp. 270-282

[29] D. Robinson, N. Campbell, W. Gaiser, K. Kabel, A. Le-Mouel, N. Morel, J. Page, S. Stankovic and A. Stone (2007) SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability, *Solar Energy* 81, pp. 1196-1211

[30] D. Robinson, F. Haldi, J. Kämpf, P. Leroux, D. Perez, A. Rasheed and U. Wilke, (2009) CITYSIM: COMPREHENSIVE MICRO-SIMULATION OF RESOURCE FLOWS FOR

SUSTAINABLE URBAN PLANNING, *Building Simulation*, pp. 1083-1090

[31] <http://urbanmodellinginterface.ning.com> Consulted 10.05.2018

[32] C. Reinhart, T. Dogan, J. Jakubiec, T. Rakha and A. Sang (2013) UMI - AN URBAN SIMULATION ENVIRONMENT FOR BUILDING 1 ENERGY USE, DAYLIGHTING AND WALKABILITY, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association

[33] R. Nouvel, K. Brassel, M. Bruse, E. Duminil, V. Coors, U. Eicker and D. Robinson (2015) SimStadt, a new workflow-driven urban energy simulation platform for CityGML city models, *CISBAT 2015*, pp. 889-894

[34] <https://cityenergyanalyst.com/what-is/> Consulted 05.04.2018

[35] T. Hong, Y. Chen, S.H. Lee and M.A. Piette (2016) CityBES: A Web-based Platform to Support CityScale Building Energy Efficiency, *UrbComp2016*

[36] S. Pan, X. Wang, S. Wei, C. Xu, X. Zhang and J. Xie (2017) Energy waste in buildings due to occupant behaviour, *Energy Procedia* 105, pp. 2233-2238

[37] E. Delzendeha, S. Wua, A. Lee and Y. Zhou (2017) The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80, pp. 1061-1071
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264>

[38] A.S. Bahaj and P.A.B. James (2007), Urban energy generation: the added value of photovoltaics in social housing, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, pp. 2121-2136,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.007>

[39] C. Becchio, C. Bello, S.P. Corgnati and L. Ingaramo (2016) Influence of occupant behaviour lifestyle on an Italian social housing, *Energy Procedia* 101, pp. 1034-1041

[40] <https://citysim.epfl.ch/> Consulted 05.04.2018

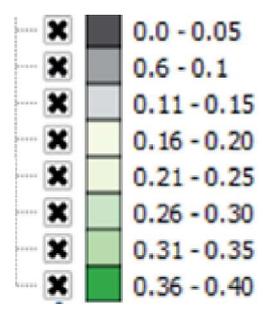
[41] T. Hong, Y. Chen and M.A. Piette (2017) City-Scale Building Retrofit Analysis: A Case Study using CityBES, *Building Simulation*

[42] J. A. Fonseca, N. Thuy-An, A. Schlueter and F. Marechal (2016) City Energy Analyst (CEA): Integrated Framework for Analysis and Optimization of Building Energy Systems in Neighborhoods and City Districts, *Energy and Buildings* 113, pp 202-226.

[43] J. A. Fonseca (2016) Energy efficiency strategies in urban communities (Doctoral Thesis). ETH Zürich, Switzerland. pp 45-68

ALLEGATO 2: PROBABILITA' DEL RETROFIT COMPORTALE DI TORINO

L'elaborato è tratto dalla tesi: "INTEGRAZIONE DEL RETROFIT COMPORTAMENTALE NEGLI SCENARI DI TRANSIZIONE ENERGETICA VERSO LA POST-CARBON CITY" di Maria Valentina Di Nicoli



RINGRAZIAMENTI

Dopo questi intensi e lunghi mesi è arrivato il faticoso momento di scrivere le frasi di ringraziamento. È stato un periodo di profonda crescita, non solo a livello di conoscenza, ma anche personale. Perciò vorrei terminare con alcune parole di ringraziamento nei confronti di coloro che mi hanno appoggiata ed aiutata durante questo periodo.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori che mi hanno supportata, ma soprattutto sopportata, per tutti questi anni. Senza di loro questo lavoro non sarebbe stato possibile.

A mia sorella, per il continuo sostegno e per le notti passate a studiare insieme.

Vorrei ringraziare le mie amiche che sono sempre state al mio fianco e che sono, ogni giorno di più, il mio punto di riferimento.

Vorrei anche ringraziare i miei relatori e le assistenti, per la pazienza e la disponibilità che hanno continuato a dimostrare nei miei confronti.

E a tutti coloro che hanno avuto un peso determinante nel conseguimento di questo risultato, punto di arrivo e contemporaneamente di partenza della mia vita. Grazie per aver condiviso con me in questi anni le esperienze più importanti.